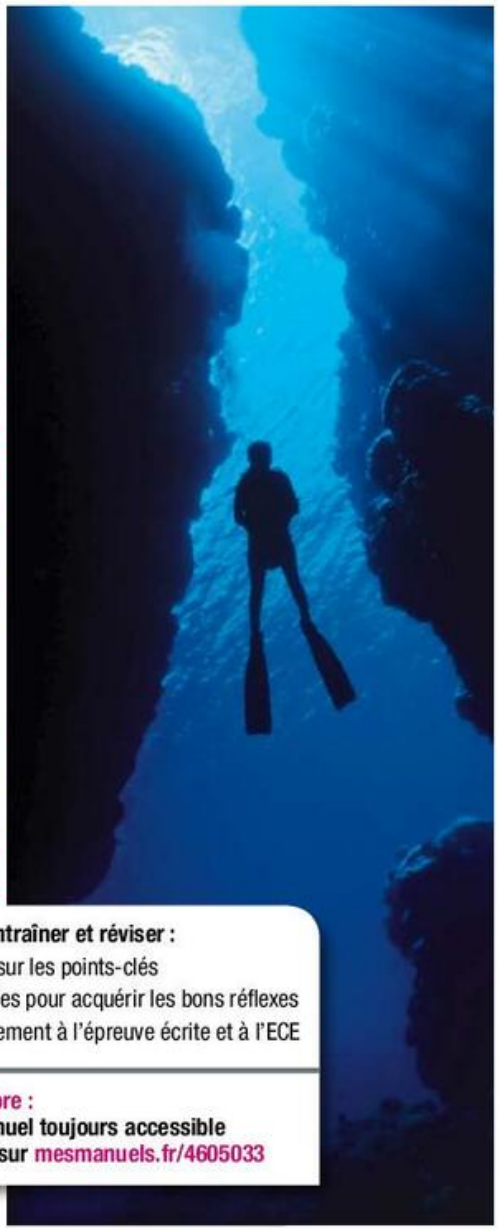
Physique Chimie

Tle SPÉCIALITÉ

+ PRÉPARATION AU GRAND ORAL

NOUVEAU BAC • PROGRAMME 2020 • Collection Bellier • Calafell • Lescure







Pour s'entraîner et réviser :

- Vidéos sur les points-clés
- Méthodes pour acquérir les bons réflexes
- Entraînement à l'épreuve écrite et à l'ECE

Accès libre :
Mon manuel toujours accessible en ligne sur mesmanuels.fr/4605033

Manuel numérique

Ressources numériques

hachette ÉDUCATION

Principales grandeurs et relations utilisées en physique

Grandeur et symbole	Unité et symbole
longueur (ℓ)	mètre (m)
temps (t)	seconde (s)
masse (m)	kilogramme (kg) ou gramme (g)
volume (V)	mètre cube (m^3) ou litre (L)
valeur d'une vitesse (v)	mètre par seconde ($m \cdot s^{-1}$)
valeur d'une accélération (a)	mètre par seconde au carré ($m \cdot s^{-2}$)
puissance ($\mathcal{P}$)	watt (W) ou kilowatt (kW)
énergie ($\mathcal{E}$)	joule (J) ou kilowattheure ($kW \cdot h$)
fréquence (f)	hertz (Hz)
période (T)	seconde (s)
valeur d'une force (F)	newton (N)
valeur d'un champ électrique (E)	newton par coulomb ($N \cdot C^{-1}$)
pression (P)	pascal (Pa) ou bar (bar)
température (T ou θ)	kelvin (K) ou degré Celsius (°C)
tension (U)	volt (V)
intensité du courant (I)	ampère (A)
résistance (R)	ohm (Ω)
charge électrique (q)	coulomb (C)
masse volumique (ρ)	kilogramme par mètre cube ($kg \cdot m^{-3}$) ou gramme par millilitre ($g \cdot mL^{-1}$)
capacité électrique (C)	farad (F)

En rouge, les unités du système international (unités S.I.).
En bleu, les unités généralement utilisées au laboratoire.

Force de gravitation exercée sur un corps B de masse m_B par un corps A de masse m_A

valeur en N ; kg ; vecteur unitaire ; $N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$; m

$$\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{d^2} \vec{u}_{A \to B}$$

Force électrique exercée sur un corps B de charge q_B placé dans un champ $\vec{E}$

valeur en N ; C ; valeur en $N \cdot C^{-1}$

$$\vec{F} = q_B \times \vec{E}$$

Poussée d'Archimède

valeur en N ; $kg \cdot m^{-3}$; m^3 ; valeur en $m \cdot s^{-2}$

$$\vec{F}_p = -\rho \times V_{im} \times \vec{g}$$

Premier principe de la thermodynamique

J ; J ; J

$$\Delta U_{i \to f} = W + Q$$

Variation d'énergie interne d'un système incompressible de capacité thermique massique c.

J ; kg ; $J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$ ou $J \cdot kg \cdot K^{-1}$; °C ; K

$$\Delta U_{i \to f} = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$$
$$\Delta U_{i \to f} = m \times c \times (T_f - T_i)$$

Flux Φ ou puissance $\mathcal{P}_{th}$ thermique

W ; J ; s

$$\Phi = \mathcal{P}_{th} = \frac{Q}{\Delta t}$$

Résistance thermique

$W \cdot °C^{-1}$; °C ; W ; $W \cdot K^{-1}$; K

$$R_{th} = \frac{\Phi}{\theta_A - \theta_B}$$
$$R_{th} = \frac{\Phi}{T_A - T_B}$$

Albédo α

sans unité ; W ; W

$$\alpha = \frac{|\mathcal{P}_{reçue}|}{\mathcal{P}_{incidente}}$$

Niveau d'intensité sonore

dB ; $W \cdot m^{-2}$

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Angle caractéristique de diffraction

sans unité ; m

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$$

Angle caractéristique de diffraction dans le cas des ondes lumineuses et pour une ouverture circulaire de diamètre a

rad ; m

$$\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{a}$$

Grossissement d'une lunette astronomique afocale

m ; rad

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f'_1}{f'_2}$$

Énergie d'un photon

J ; J·s ; Hz ; J·s ; $m \cdot s^{-1}$; m

$$\mathcal{E}_{photon} = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda}$$

Rendement d'une cellule photovoltaïque

sans unité ; W ; J

$$\eta = \frac{\mathcal{P}_{élec}}{\mathcal{P}_{lum}} = \frac{\mathcal{E}_{élec}}{\mathcal{E}_{lum}}$$

Intensité i du courant électrique pour une portion de conducteur en régime variable

A ; C ; s

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Charge de l'armature A d'un condensateur

C ; F ; V

$$q_A = C \times u_C$$

Constantes fondamentales

Grandeur	Symbole	Valeur approchée
Vitesse de la lumière dans le vide et dans l'air	c	$3{,}00 \times 10^8\ m \cdot s^{-1}$
Constante de Planck	h	$6{,}63 \times 10^{-34}\ J \cdot s$
Constante universelle de gravitation	G	$6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$
Constante des gaz parfaits	R	$8{,}314\ Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
Charge élémentaire	e	$1{,}60 \times 10^{-19}\ C$
Masse d'un électron	m_e	$9{,}11 \times 10^{-31}\ kg$
Masse d'un nucléon (proton ou neutron)	m_n	$1{,}67 \times 10^{-27}\ kg$

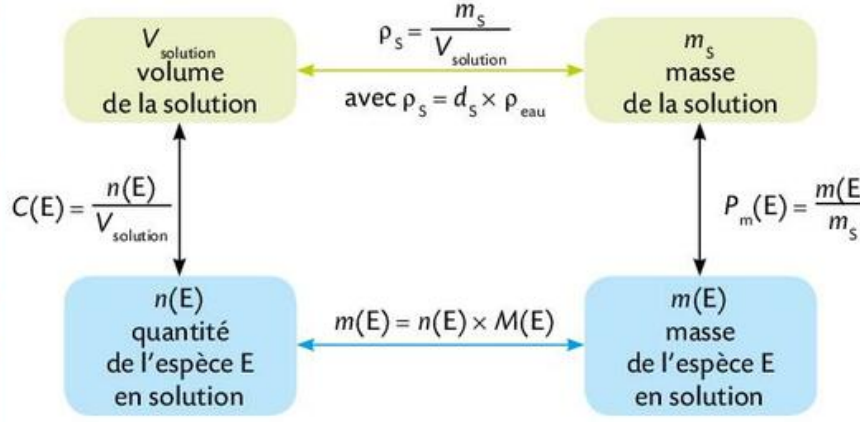
Puissances de 10

10^n	10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10	10^2	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}
Abréviation	f	p	n	µ	m	c	d	da	h	k	M	G	T	P
Préfixe	femto	pico	nano	micro	milli	centi	déci	déca	hecto	kilo	méga	giga	téra	péta

Principales grandeurs et relations à connaître en chimie

Grandeur et symbole	Unité et symbole
masse (m)	kilogramme (kg) ou gramme (g)
volume (V)	mètre cube (m^3) ou litre (L)
masse volumique (ρ)	kilogramme par mètre cube ($kg \cdot m^{-3}$) ou gramme par millilitre ($g \cdot mL^{-1}$)
quantité de matière (n)	mole (mol)
densité (d)	pas d'unité
masse molaire (M)	kilogramme par mole ($kg \cdot mol^{-1}$) gramme par mole ($g \cdot mol^{-1}$)
concentration en masse ou titre massique (t)	kilogramme par mètre cube ($kg \cdot m^{-3}$) ou gramme par litre ($g \cdot L^{-1}$)
concentration en quantité de matière (C)	mole par mètre cube ($mol \cdot m^{-3}$) ou mole par litre ($mol \cdot L^{-1}$)

En rouge, les unités du système international (unités S.I.).
En bleu, les unités généralement utilisées au laboratoire.



Conductivité

$$\sigma = \sum_i \lambda_{X_i} \times [X_i]$$

σ : $S \cdot m^{-1}$; λ_{X_i} : $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$; $[X_i]$: $mol \cdot m^{-3}$

Loi de Beer-Lambert

$$A = \varepsilon \times \ell \times C$$

A : sans unité ; ε : $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$; ℓ : cm ; C : $mol \cdot L^{-1}$

Volume molaire du gaz

$$V_m = \frac{V}{n}$$

V_m : $L \cdot mol^{-1}$; V : L ; n : mol

Loi des gaz parfaits

$$P \times V = n \times R \times T$$

P : Pa ; V : m^3 ; n : mol ; R : $Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$; T : K

Densité

$$d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$$

d : sans unité ; ρ et ρ_{eau} : même unité

Taux d'avancement final

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$$

τ : sans unité ; x_f et x_{max} : mol

Capacité électrique d'une pile

$$Q_{max} = n(e^-)_{max} \times F$$

Q_{max} : C ; $n(e^-)_{max}$: mol ; F : $C \cdot mol^{-1}$

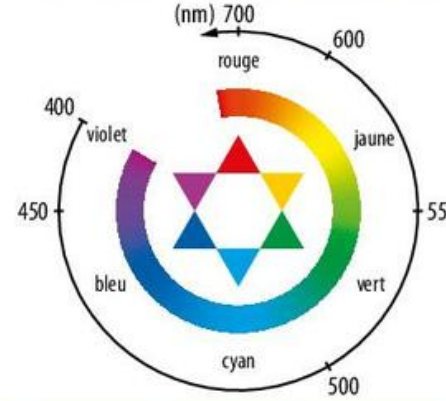
Constante d'acidité K_A

$$K_A = \frac{[A^-] \times [H_3O^+]}{[AH] \times c^\circ}$$

Électronégativités de quelques atomes

H 2,2						
Li 1,0	Be 1,6	B 2,0	C 2,6	N 3,0	O 3,4	F 4,0
Na 0,9	Mg 1,3	Aℓ 1,6	Si 1,9	P 2,2	S 2,6	Cℓ 3,2

Cercle chromatique



Spectroscopie IR

Liaisons	Alcool O – H	Cétone C = O	Aldéhyde C – H C = O	Acide carboxylique O – H C = O	Ester C = O	Alcène C = C	Amine N – H
Nombres d'ondes (cm^{-1})	3 200 - 3 400 Bande forte et large	1 705 - 1 725 Bande forte et fine	2 750 - 2 900 2 bandes moyennes et fines 1 720 - 1 740 Bande forte et fine	2 500 - 3 200 Bande forte et très large 1 680 - 1 710 Bande forte et fine	1 700 - 1 740 Bande forte et fine	1 625 - 1 685 Bande moyenne	3 100 - 3 500 Bande moyenne

JE RÉVISE EN VIDÉO

VIDÉO
Loi de vitesse d'ordre 1



Vidéos de cours

- Les acides et les bases
- Dosages par étalonnage
- Détermination d'une quantité de gaz
- Spectroscopie IR
- Titrage
- Titrage conductimétrique
- Loi de vitesse d'ordre 1
- Mécanismes réactionnels
- Datation
- Équation de réaction nucléaire
- Pile électrochimique
- Tableau d'avancement
- Équation d'oxydoréduction
- Diagramme de prédominance
- Électrolyse
- Stratégie de synthèse
- Groupes caractéristiques
- Nomenclature
- Tracé d'un vecteur accélération
- Mouvement dans un champ uniforme
- Lois de Kepler
- La relation de Bernoulli
- Du premier principe au bilan d'énergie
- Loi de Newton
- Le décalage Doppler
- La différence de chemin optique
- Construction du faisceau
- Bilan énergétique de l'effet photoélectrique
- Charge et décharge d'un condensateur

Vidéos « Les bons gestes »



- Dilution
- Dissolution
- Extraction liquide-liquide
- Filtration
- Montage de chauffage à reflux
- Calculatrice

JE M'AUTO-ÉVALUE

QCM

QCM
Version interactive





Je retrouve toutes les ressources sur
lycee.hachette-education.com/pc/tle

Physique Chimie

Tle SPÉCIALITÉ

PROGRAMME 2020 • Collection Bellier • Calafell • Lescure

Sous la direction de

Jean-Philippe Bellier
Lycée Michel-Montaigne à Bordeaux

Julien Calafell
Lycée Thiers à Marseille

Nicolas Lescure
Lycée Michel-Montaigne à Bordeaux

Nathalie Barde
Lycée Saint-Charles à Marseille

Michel Barde
Lycée Marcel-Pagnol à Marseille

Thierry Baudoin
Lycée Victor-Louis à Talence

Sylvie Bertin
Lycée de Borda à Dax

Stéphanie Bigorre
Lycée Alfred-Kastler à Talence

Marc Bigorre
Lycée des Graves à Gradignan

Patrice Boudey
Lycée de la mer à Gujan-Mestras

Saverio Callea
Lycée Gay-Lussac à Limoges

Joël Carrasco
Lycée Marcel-Pagnol à Marseille

Jean-Paul Castro
Lycée Toulouse-Lautrec à Toulouse

Maryline Daïni-D'incan
Lycée Maurice-Janetti
à Saint-Maximin-la-Sainte-Baume

Éric Daïni
Lycée Paul-Cézanne à Aix-en-Provence

Thierry Dulaurans
Lycée Fernand-Daguin à Mérignac

Laurence Hilaire
Lycée Raoul-Dautry à Limoges

Cyrille Lémonie
Lycée Saint-Exupéry
à Terrasson-Lavilledieu

Bruno Poudens
Lycée des Graves à Gradignan

hachette
ÉDUCATION

Remerciements

Nous remercions vivement Benoît Champin, Richard Benkada, Mickaël Blanchard, David Ramade, Guy Bouyrie, Olivier Brun et Isabelle Tarride qui ont accepté de participer à la relecture critique du manuscrit.

Nous remercions Thomas Corben, Clément Bertin et Damien Cambay, pour leurs conseils en anglais, en programmation python et Arduino et en mathématiques.

Nous remercions Franck Damay, Proviseur du Lycée Gay-Lussac de Limoges, et Xavier Yvart, Proviseur au Lycée des Graves de Gradignan de nous avoir accueillis pour la réalisation des photos d'expériences, et les Techniciens Guillaume Perlade, Cyril Deleage, Estelle Engelmann, Sylvie Thiault, pour leur aide dans la mise au point des expériences.

Nous remercions Caroline Luc, Marie-Ghyslaine Gasnet, Daniel Ramirez et Didier Blanqui pour leur participation au numérique.

Les auteurs tiennent à remercier leurs familles pour leur accompagnement pendant ces mois intenses d'écriture.

Les éditeurs tiennent à remercier les nombreux enseignants qui, par leurs avis exprimés lors de tables rondes ou de rencontres avec nos délégués pédagogiques dans les différentes académies, nous ont aidés à élaborer cet ouvrage.

www.hachette-education.com
© Hachette Livre 2020
58, rue Jean Bleuzen - 92178 Vanves Cedex
ISBN : 978-2-01-786609-1
ISBN à utiliser pour toute commande de l'ouvrage

PAPIER À BASE DE FIBRES CERTIFIÉES

hachette s'engage pour l'environnement en réduisant l'empreinte carbone de ses livres. Celle de cet exemplaire est de : 2000 g éq. CO_2 Rendez-vous sur www.hachette-durable.fr

L'usage de la photocopie des ouvrages scolaires est encadré par la loi www.cfcopies.com

Enseignants, dans quel cadre pouvez-vous réaliser des COPIES DE MANUELS SCOLAIRES pour vos élèves ?

Grâce aux différents accords signés entre le CFC, votre établissement et le ministère de l'Éducation nationale :

- vous pouvez réaliser des photocopies d'extraits de manuels (maximum 10 % du livre) ;
- vous pouvez diffuser des copies numériques d'extraits de manuels dans le cadre d'une projection en classe (au moyen d'un vidéoprojecteur, d'un TBI-TNI...) ou d'une mise en ligne sur l'intranet de votre établissement, tel que l'ent (maximum 4 pages consécutives dans la limite de 5 % du livre) ;
- n'oubliez pas d'indiquer les références bibliographiques des ouvrages utilisés !

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des articles L.122-4 et L.122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisations collective » et, d'autre part, que « les analyses et les courtes citations » dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite ».

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de droit de copie (20, rue des Grands-Augustins – 75006 Paris), constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par l'article L335-2 du Code de la propriété intellectuelle.

Sommaire

Préparation au Bac 6
Pratiquer une démarche scientifique 8
L'approche par compétences 9

Constitution et transformations de la matière

Métiers et Fomations 12

1 Transformations acide-base 13
1 Mesures de pH
Vers le BAC 26
Vers l'oral 28

2 Méthodes physiques d'analyse 29
1 Dosage par étalonnage conductimétrique
2 Spectroscopie infrarouge
Vers le BAC 46
Vers l'oral 48

3 Méthodes chimiques d'analyse 49
1 Préparer une solution
2 Dosage par suivi pH-métrique
3 Simuler une courbe d'un titrage
4 Titrage suivi par conductimétrie
Vers le BAC 68
Vers l'oral 70

4 Modélisation macroscopique de l'évolution d'un système 71
1 À l'épreuve du temps
2 Suivi cinétique par mesure de pression
3 La catalyse
4 Loi de vitesse d'ordre 1
5 Hydrolyse du chlorure de tertiobutyle
Vers le BAC 90
Vers l'oral 92

5 Modélisation microscopique de l'évolution d'un système 93
1 Des entités en interaction
2 Catalyse et mécanisme réactionnel
3 Formalisme des flèches courbes
Vers le BAC 108
Vers l'oral 110

6 Évolution d'un système, siège d'une transformation nucléaire 111
1 Instabilité et désintégration d'un noyau
2 Datation d'un objet
Vers le BAC 128
Vers l'oral 130

7 Sens d'évolution spontanée d'un système chimique 131
1 Notion d'équilibre dynamique
2 Constante d'équilibre
3 Réaliser une pile
Vers le BAC 150
Vers l'oral 152

8 Force des acides et des bases 153
1 Force des acides
2 Constante d'acidité K_A
Vers le BAC 170
Vers l'oral 172

9 Forcer l'évolution d'un système 173
1 Forcer l'évolution d'un système
2 Les voitures « à hydrogène »
Vers le BAC 186
Vers l'oral 188

10 Synthèses organiques 189
1 Synthèse conduisant à la modification d'un groupe caractéristique
2 Rendement et vitesse
3 Synthèse et nomenclature
Vers le BAC 210
Vers l'oral 212

Exercices Synthèse 213

Sommaire

Mouvement et interactions

Métiers et Fomations 216

11 Mouvement et deuxième loi de Newton 217
1 Accélération d'un système
2 Vecteur accélération lors d'un mouvement circulaire
Vers le BAC 234
Vers l'oral 236

12 Mouvement dans un champ uniforme 237
1 Mouvement dans un champ de pesanteur
2 Évolution des énergies d'un système en mouvement dans un champ de pesanteur
3 Accélération de particules chargées
Vers le BAC 258
Vers l'oral 260

13 Mouvement dans un champ de gravitation 261
1 Les satellites artificiels de la Terre
2 Les lois de Kepler à l'ère de l'informatique
Vers le BAC 274
Vers l'oral 276

14 Modélisation de l'écoulement d'un fluide 277
1 Poussée d'Archimède
2 Écoulement d'un fluide
Vers le BAC 294
Vers l'oral 296

Exercices Synthèse 297

L'énergie : conversions et transferts

Métiers et Fomations 300

15 Premier principe de la thermodynamique et bilan énergétique 301
1 Premier principe de la thermodynamique
2 Variation d'énergie interne d'un système incompressible
Vers le BAC 318
Vers l'oral 320

16 Transferts thermiques 321
1 Résistance thermique de conduction d'un matériau
2 Température d'un système incompressible au cours du temps
3 Température terrestre moyenne
Vers le BAC 340
Vers l'oral 342

Exercices Synthèse 343

Ondes et signaux

Métiers et Fomations 346

17 Sons et effet Doppler 347
1 Atténuation des sons
2 Effet Doppler et vitesse d'un véhicule
Vers le BAC 364
Vers l'oral 366

18 Diffraction et interférences 367
1 Le phénomène de diffraction
2 La diffraction d'une lumière monochromatique
3 Les interférences lumineuses
Vers le BAC 384
Vers l'oral 386

19 Lunette astronomique 387
1 Une maquette de lunette afocale
Vers le BAC 402
Vers l'oral 404

20 La lumière : un flux de photons 405
1 L'effet photoélectrique
2 Rendement d'une cellule photovoltaïque
Vers le BAC 420
Vers l'oral 422

21 Dynamique du dipôle *RC* 423
1 Le condensateur et sa capacité
2 Charge et décharge d'un condensateur
3 Des capteurs capacitifs
Vers le BAC 442
Vers l'oral 444

Exercices Synthèse 445

(*) Les corrigés des pages **Vers le BAC** sont accessibles sur le site collection.

Côté maths

Côté maths 1 Utiliser la fonction logarithme décimal 21
Côté maths 2 Déterminer la valeur d'une dérivée 83
Côté maths 3 Résoudre une équation différentielle du premier ordre 121
Côté maths 4 Résoudre une équation du second degré 163
Côté maths 5 Écrire une dérivée – Dériver une fonction 227
Côté maths 6 Déterminer la primitive d'une fonction 249
Côté maths 7 Résoudre une équation différentielle de second membre constant et non nul 333
Côté maths 8 Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque 357
Côté maths 9 Résoudre une équation différentielle 435

Fiches

Fiche 1 Résolution d'un problème scientifique 452
Fiche 2 Mesures et incertitudes 453
Fiche 3 Écriture d'un résultat numérique 456
Fiche 4 Rédiger une réponse nécessitant l'utilisation d'une relation 456
Fiche 5 Faire une analyse dimensionnelle : introduire les unités dans les calculs 457
Fiche 6 Spectrophotométrie 458
Fiche 7 « Les bons gestes » 458
Fiche 8 Nomenclature 459
Fiche 9 Banque de réactions 460

Pages Bac : exercices et ECE 446

Corrigés des exercices(*) 462

Index 479

Rabats au début du manuel
I. Liste des vidéos de l'ouvrage
II. Principales grandeurs et relations utilisées en physique
III. Principales grandeurs et relations utilisées en chimie

Rabats à la fin du manuel
IV. La sécurité au laboratoire de chimie
V. Utiliser des produits chimiques : consignes de sécurité
VI. Classification périodique des éléments

Préparation au BAC

Le contenu des sujets

Dans le manuel

L'écrit

3h30

MARS

Sujet national(*)

Des notions liées aux différentes parties du programme.

Des tâches simples et complexes mobilisant les compétences de la démarche scientifique.

Un contexte à s'approprier, des documents à exploiter.

Préparer

Les ECE

1h

MARS

Sujets(*) choisis par les enseignants du lycée parmi ceux d'une banque nationale. Tirage au sort par élève.



Une phrase d'appropriation de la problématique.



Une élaboration de protocole expérimental.



Une réalisation et une exploitation des résultats.

Préparation à l'écrit

30 crédit 40 min

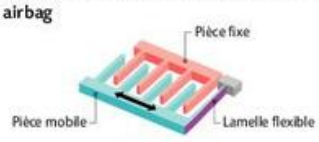
Airbag et condensateur

Exploiter des mesures ; effectuer des calculs ; proposer un modèle.

D'après Baccalauréat France métropolitaine, 2009

Les accéléromètres sont utilisés dans les voitures pour détecter des variations brutales de vitesse liées à des chocs et déclencher des airbags.
Un accéléromètre capacitif est constitué de deux pièces en forme de peignes, sans contact entre elles (schémas A).

A Fonctionnement de l'accéléromètre et déclenchement d'un airbag



Préparation à l'ECE



Les pastilles du bassin de Vichy sont supposées avoir des propriétés digestives. Elles contiennent entre autres de l'hydrogénocarbonate de sodium, $NaHCO_3(s)$. Une pastille du bassin de Vichy pèse 2,9 g.

A Régime hyposodé

En raison de problèmes cardiaques ou d'hypertension, un régime hyposodé (pauvre en élément sodium Na) peut être prescrit. La masse m_{max} quotidienne maximale d'élément sodium ingérée dépend du régime :
– régime hypodosé strict : $m_{max} \leqslant 500$ mg ;
– régime hyposodé standard : $m_{max} \leqslant 1\,000$ mg ;
– régime hyposodé large : $m_{max} \leqslant 2\,000$ mg.

B Méthode de titrage

Une pastille du bassin de Vichy, réduite en
introduite dans un bécher de 100 mL. Un volu
d'eau distillée est ajouté. Le titrage suivi par p
cette solution est réalisé avec une solution de c
$C_A = 5{,}00 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1} en acide chlorhydri
L'équation de la réaction support du titrage e

$$HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow CO_2(aq) + 2$$

C Résultats expérimentaux

V_A (mL)	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	1
pH	9,3	8,5	8,1	7,8	7,4	7,1	7,0	6,8	6,7	6,5	6,3	5,9	5,5	5,2	4,8	4,6	4,5	4,3	4,2	4,0	4,0	

Le grand oral

2 × 20 min

JUIN

Sujets au choix de l'élève

20 min — Préparation de la présentation orale de la question choisie par le jury parmi les deux questions proposées par le candidat et étudiées pendant l'année.

5 min — Présentation de la question choisie devant le jury.

10 / 5 min — Des questions du jury :
– sur les contenus scientifiques liés à la présentation,
– sur les choix d'orientation.



(*) Chaque année, le professeur indique la liste des notions n'étant pas évaluées au BAC.

Notions exclues du programme des parties écrite et pratique de l'épreuve pour la session 2021

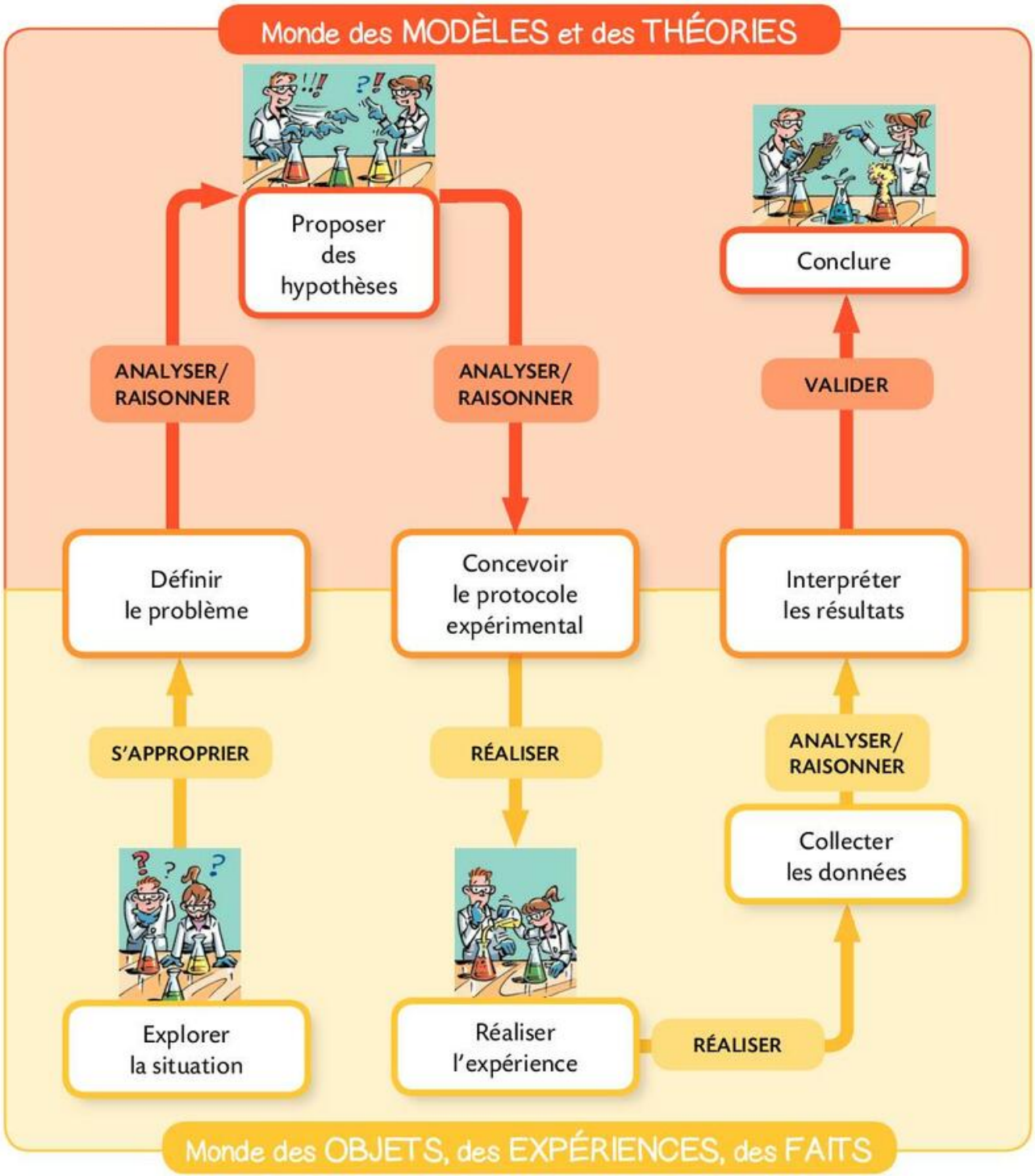
- Modélisation microscopique
- Modéliser l'évolution temporelle d'un système, siège d'une transformation nucléaire
- Forcer le sens d'évolution d'un système
- Modéliser l'écoulement d'un fluide
- Décrire la lumière par un flux de photons

Pratiquer une démarche scientifique

Pratiquer une démarche scientifique, c'est proposer des théories, des modèles permettant d'interpréter ou d'analyser des événements, des phénomènes.

Le scientifique doit distinguer le « **monde des objets, des expériences, des faits** » et le « **monde des modèles et des théories** ».

Les **compétences** de la démarche scientifique permettent de rendre compte de ces passages successifs entre ces deux mondes. Ces compétences sont détaillées dans le tableau de la page 7. Le schéma très simplifié ci-dessous résume ces allers-retours entre les deux mondes. Il ne fige en rien le déroulement de la démarche qui peut être plus complexe.



L'approche par compétences

Dans la continuité du Collège, la notion de compétence est associée, au Lycée, à la démarche scientifique (connaître, s'approprier, analyser-raisonner, réaliser, valider, communiquer).

Dans votre manuel, ces compétences sont indiquées dans toutes les activités et au début de chaque exercice.

Les compétences de la démarche scientifique sont déclinées dans le tableau ci-dessous :

Connaître (CON)	Restituer ses connaissances.
S'approprier (APP)	Observer, décrire des phénomènes. Extraire et organiser l'information. Mobiliser et organiser ses connaissances. Énoncer une problématique.
Analyser/Raisonner (ANA-RAIS)	Procéder à des analogies. Formuler des hypothèses. Choisir, élaborer, justifier un protocole. Exploiter des observations, résultats, mesures, informations, graphiques, tableaux, schémas. Proposer un modèle. Évaluer un ordre de grandeur. Passer d'une forme de langage scientifique à une autre. Prendre conscience des limites d'un modèle. Construire les étapes d'une résolution de problème.
Réaliser (RÉA)	Mettre en œuvre un protocole en respectant les règles de sécurité. Utiliser le matériel de manière adaptée. Utiliser un langage de programmation. Utiliser un modèle pour prévoir, décrire et expliquer. Faire un schéma adapté. Construire des vecteurs. Construire un tableau, tracer un graphique. Effectuer des calculs. Écrire un résultat de manière adapté (unités, chiffres significatifs, incertitudes etc.). Effectuer une analyse dimensionnelle.
Valider (VAL)	Interpréter des observations, des mesures, des résultats, etc. Confronter des résultats à des hypothèses. Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. Discuter un modèle, un résultat, une hypothèse, etc. Identifier les sources d'erreurs. Estimer une incertitude de mesure. Comparer à une valeur de référence. Faire preuve d'esprit critique et argumenter. Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle. Mettre en lien des phénomènes et des concepts.
Communiquer (COM)	Pratiquer une langue vivante étrangère. Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux. Présenter sous une forme appropriée (schéma, graphique, tableau, figure). Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté. Rédiger ou présenter oralement un protocole, une explication ou une argumentation. Présenter un travail soigné. Échanger entre pairs.



Les bassins naturels, dans le parc de Yellowstone, sont le lieu de diverses transformations chimiques. Dans certaines de ces eaux chaudes et acides vivent des microorganismes qui leur confèrent leurs couleurs étonnantes.



Constitution et transformations de la matière

CHAPITRE 1 Transformations acide-base

CHAPITRE 2 Méthodes physiques d'analyse

CHAPITRE 3 Méthodes chimiques d'analyse

CHAPITRE 4 Modélisation macroscopique de l'évolution d'un système

CHAPITRE 5 Modélisation microscopique de l'évolution d'un système

CHAPITRE 6 Évolution d'un système, siège d'une transformation nucléaire

CHAPITRE 7 Sens d'évolution spontanée d'un système chimique

CHAPITRE 8 Force des acides et des bases

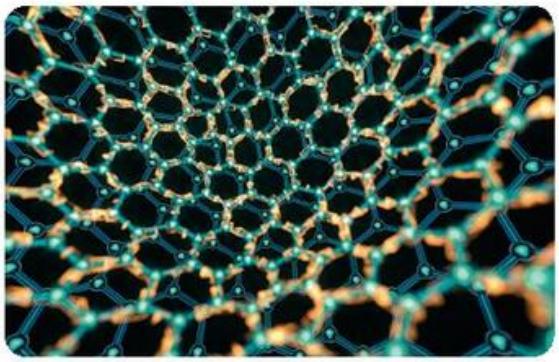
CHAPITRE 9 Forcer l'évolution d'un système

CHAPITRE 10 Synthèses organiques

Métiers et formations

Des idées de métiers pour découvrir la variété des parcours de formation après le Bac

Les formations évoluent régulièrement, consultez les sites de l'Onisep et du CIDJ.



Ingénieur(e) des matériaux

Son métier consiste à améliorer les matériaux existants et en imaginer de nouveaux : textiles intelligents, matériaux autonettoyants, alliages allégés... Le champ des applications est très vaste !

Il met au point des protocoles puis dirige la réalisation des expériences. Il traite les données obtenues et interprète les résultats en fonction de l'objectif recherché.

Exemples de formations

Au niveau Bac + 5

Master Chimie et sciences des matériaux

Master SPIM (Sciences pour l'Ingénieur et Sciences des Matériaux)

Master Physique fondamentale et applications

Master Sciences et génie des matériaux

EEIGM, École Européenne d'Ingénieur en Génie des Matériaux

ENSIACET, École Nationale Supérieure des Ingénieurs en Arts Chimiques et Technologiques



Formulateur/ Formulatrice

Son objectif est de créer des produits (cosmétiques, alimentaires, etc.) aux goûts, couleurs et odeurs à même de satisfaire le consommateur dans le respect des règlementations en vigueur.

Ce métier nécessite des sens aiguisés mais également une connaissance fine de la chimie de laboratoire. Au quotidien, le formulateur doit assembler des espèces naturelles ou artificielles, créer ou reproduire des saveurs, travailler une texture, en lien avec les services marketing et les équipes de production.

Les champs d' application sont nombreux : les industries cosmétiques, pharmaceutiques, agroalimentaires, ainsi que les fabricants de lessives et de savons.

Exemples de formations

Au niveau Bac + 2

BTS Bioanalyse et contrôle

DUT Chimie

BTS Métiers de la chimie

Au niveau Bac + 3

Licence Pro Applications, analyses et naturalité en parfumerie et arômes alimentaires (ou en cosmétique)

Licence Pro Chimie : formulation, parcours parfums, arômes et cosmétiques

Au niveau Bac + 5

Master Formulation et chimie industrielle

Master Chimie et ingénierie de la formulation

Diplôme d'ingénieur en formulation

1 Transformations acide-base



Les coraux peuvent blanchir sous l'effet de l'augmentation de la température et de l'acidification des mers et des océans. Ces deux phénomènes sont une conséquence de l'effet de serre.

- Pourquoi le corail peut-il être dégradé par un environnement acide ?

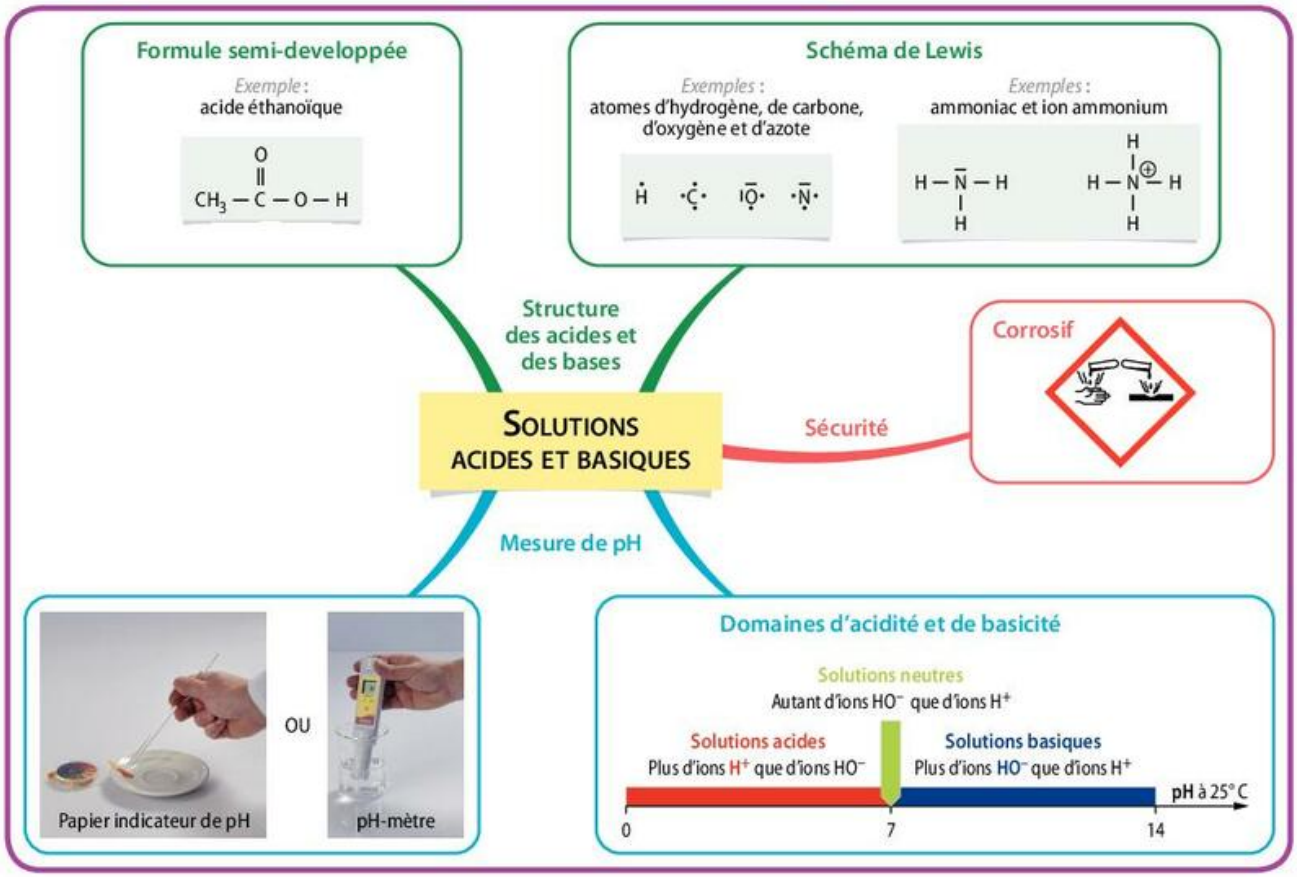
> Rendez-vous : exercice 12 p. 23

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Identifier un transfert d'hydrogène et les couples acide-base mis en jeu. **Activité 1 p. 15**
- Connaître les couples acide-base de l'eau, de l'acide carbonique, d'acides carboxyliques et d'amines. **Exercice 6 p. 22**
- Identifier le caractère amphotère d'une espèce chimique. **Exercice 5 p. 22**
- Citer des solutions d'acides et de bases courantes et les formules des espèces dissoutes. **Exercice 6 p. 22**
- Déterminer, à partir de la valeur de la concentration en ions oxonium H_3O^+, la valeur du pH de la solution et inversement à l'aide de la relation $pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$. **Activité 1 p. 15**
- Établir l'équation d'une réaction acide-base. **Exercice 6 p. 22**
- Représenter le schéma de Lewis et la formule semi-développée d'un acide carboxylique, d'un ion carboxylate, d'une amine et d'un ion ammonium. **Exercice 4 p. 22**
- Mesurer le pH de solutions d'acide chlorhydrique ($H_3O^+ + C\ell^-$) obtenues par dilutions successives d'un facteur 10 pour tester la relation entre le pH et la concentration en ions oxonium H_3O^+ apporté. **Activité 1 p. 15**
- **Capacité mathématique** : Utiliser la fonction logarithme décimal et sa réciproque. **Activité 1 p. 15 et Côté maths 1 p. 21**

Vu en 1re

Transformations acide-base



Réactiver ses connaissances

lycee.hachette-education.com/pc/tle



Le pH d'une solution S_1 est $pH_1 = 3$ et celui d'une solution S_2 est $pH_2 = 9$.

1. Préciser si ces solutions sont acides, neutres ou basiques.
2. Identifier la solution qui contient plus d'ions hydroxyde HO^- que d'ions hydrogène H^+.
3. Justifier le schéma de Lewis de l'ion hydroxyde HO^- : $H-\overline{\underline{O}}\overset{\ominus}{|}$.
4. La solution S_1 est diluée. Expliquer comment évolue son pH lors de sa dilution.

Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Le pH d'une solution basique vérifie :	$pH > 7$	$pH = 7$	$pH < 7$
2. Une solution qui contient plus d'ions hydrogène H^+ que d'ions hydroxyde HO^- est :	acide.	neutre.	basique.
3. Le schéma de Lewis de l'eau H_2O comporte :	2 doublets non liants et 2 doublets liants.	2 doublets liants et aucun doublet non liant.	2 doublets non liants et 4 doublets liants.
4. Pour manipuler des acides ou des bases concentrés, il est recommandé d'utiliser :	des gants.	des lunettes.	une blouse.

Activité 1 expérimentale

Mesures de pH

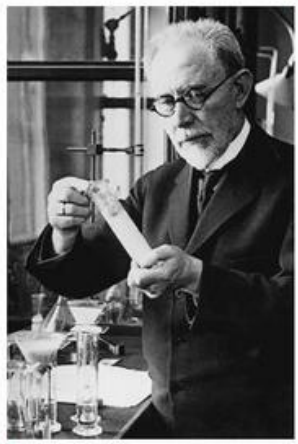
Notions
- pH
- Acide-base

Le pH renseigne sur l'acidité ou la basicité d'une solution. Il dépend de la concentration en ions oxonium $H_3O^+(aq)$ présents dans la solution.

▶ Objectif de l'activité : La relation $pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$ avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$ est-elle toujours valable ?

A La définition du pH

C'est au sein du laboratoire Carlsberg, chargé initialement d'effectuer des recherches sur la fabrication de la bière, que le danois Søren SØRENSEN introduit la notion de pH. Dès 1881, son prédécesseur à la direction du laboratoire, J.G. KJELDAHL, avait observé que l'activité de l'enzyme saccharase dépendait de la quantité des différents acides présents dans le milieu, mais aucune relation claire entre ces acides et l'activité enzymatique n'avait pu être établie. Sørensen comprit que le facteur déterminant n'était pas la concentration en acides, mais la concentration en ions hydrogène H^+ provenant de ces acides. C'est ainsi qu'il a été amené à définir le pH. Par la suite, cette définition a évolué en faisant intervenir les ions oxonium $H_3O^+(aq)$, forme solvatée des ions hydrogène :



> Søren Sørensen dans son laboratoire

$$pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right) \text{ avec } c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$$

Cette relation n'est valable que pour des solutions diluées.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

L'eau distillée contient des molécules d'eau $H_2O(\ell)$ mais également des ions oxonium $H_3O^+(aq)$ et des ions hydroxyde $HO^-(aq)$ en quantités égales et très faibles : $[H_3O^+] = [HO^-] = 10^{-7}\ mol \cdot L^{-1}$ à 25 °C.

MATÉRIEL ET PRODUITS DISPONIBLES

- Solution S_0 d'acide chlorhydrique de concentration $[H_3O^+] = 1{,}0\ mol \cdot L^{-1}$.
- Pipettes jaugées de 5,0 ; 10,0 et 25,0 mL.
- Poire à pipeter.
- Huit fioles jaugées de 50,0 mL avec bouchon.
- Huit béchers de 50 mL.
- Pissette d'eau distillée, gants et lunettes.
- pH-mètre ; tableur grapheur.

B La solution d'acide chlorhydrique

Une solution d'acide chlorhydrique est une solution aqueuse contenant des ions oxonium $H_3O^+(aq)$ et des ions chlorure $C\ell^-(aq)$ en quantités identiques.



Extrait de l'étiquette d'une solution concentrée d'acide chlorhydrique

Mentions de dangers
H290 : peut être corrosif pour les métaux ;
H314 : provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves ;
H335 : peut irriter les voies respiratoires.



Pratique expérimentale

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

1 a. À partir du matériel disponible, proposer un protocole expérimental pour :
– préparer huit solutions par dilutions successives d'un facteur 10 à partir de la solution S_0 (doc. B) ;
– mesurer le pH de ces huit solutions.
b. Mettre en œuvre le protocole.

Utiliser un modèle pour prévoir RÉA

2 a. Calculer la concentration en ions oxonium de chaque solution.
b. Prévoir l'allure de la courbe $pH = f\left(-\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)\right)$ (doc. A).

Interpréter des résultats VAL

3 À l'aide des valeurs expérimentales obtenues à la question 1, tracer le graphe $pH = f\left(-\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)\right)$. Commenter l'allure de la courbe.

Un pas vers le cours

Proposer un modèle ANA-RAIS

4 Préciser les conditions d'utilisation de la relation $pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$.

Cours

lycee.hachette-education.com/pc/tle



1 Les acides et les bases

a. Acide et base selon Brønsted

Selon la théorie de Joannes Brønsted, chimiste danois (1879-1947), un **transfert d'ion hydrogène H^+** a lieu entre un acide et une base.

Un **acide** est une espèce chimique capable de **céder** au moins un ion hydrogène H^+. L'**acide AH** se transforme alors en sa **base A^-** conjuguée.

$$\underset{\text{Acide}}{AH\,(aq)} \rightarrow \underset{\text{Base}}{A^-\,(aq)} + \underset{\text{Ion hydrogène}}{H^+}$$

Exemple : En cédant un ion hydrogène H^+, l'**acide éthanoïque** $CH_3CO_2H\,(aq)$ se transforme en **ion éthanoate** $CH_3CO_2^-\,(aq)$:

$$\underset{\text{Acide}}{CH_3CO_2H\,(aq)} \rightarrow \underset{\text{Base}}{CH_3CO_2^-\,(aq)} + \underset{\text{Ion hydrogène}}{H^+}$$

Une **base** est une espèce chimique capable de **capter** au moins un ion hydrogène H^+. La **base A^-** se transforme alors en son **acide AH** conjugué.

$$\underset{\text{Base}}{A^-\,(aq)} + \underset{\text{Ion hydrogène}}{H^+} \rightarrow \underset{\text{Acide}}{AH\,(aq)}$$

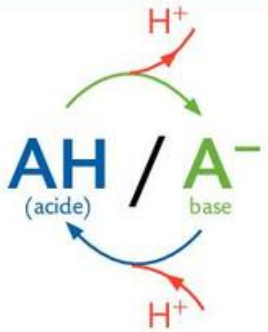
Exemple : En captant un ion hydrogène H^+, l'**ion éthanoate** $CH_3CO_2^-\,(aq)$ se transforme en **acide éthanoïque** $CH_3CO_2H\,(aq)$:

$$\underset{\text{Base}}{CH_3CO_2^-\,(aq)} + \underset{\text{Ion hydrogène}}{H^+} \rightarrow \underset{\text{Acide}}{CH_3CO_2H\,(aq)}$$

Info

En chimie, l'ion hydrogène H^+ est parfois appelé proton.

A La notation AH / A^-



> Le passage d'un acide à sa base conjuguée, et inversement, se fait par transfert d'un ion hydrogène. AH représente un acide comme par exemple : CH_3CO_2H ; NH_4^+ ; H_3O^+ ; etc.

b. Couple acide-base

• L'acide **AH** et la base **A^- conjuguée** forment un **couple acide-base** noté **AH / A^-** s'il est possible de passer de l'un à l'autre par transfert d'un ion hydrogène. La **demi-équation du couple** s'écrit :

$$AH\,(aq) \rightleftarrows A^-\,(aq) + H^+$$

• Le signe $\rightleftarrows$ signifie que le transfert d'ion hydrogène peut se produire dans les deux sens (doc. A) :

$$AH\,(aq) \rightarrow A^-\,(aq) + H^+$$

ou bien

$$A^-\,(aq) + H^+ \rightarrow AH\,(aq)$$

• **Quelques couples acide-base conjugués à connaître :**

- acide carboxylique / ion carboxylate : $RCO_2H\,(aq)$ / $RCO_2^-\,(aq)$
- ion ammonium / amine : $RNH_3^+\,(aq)$ / $RNH_2\,(aq)$
- acide carbonique / ion hydrogénocarbonate : $CO_2, H_2O\,(aq)$ / $HCO_3^-\,(aq)$
- ion hydrogénocarbonate / ion carbonate : $HCO_3^-\,(aq)$ / $CO_3^{2-}\,(aq)$

• Une espèce **amphotère** est à la fois l'**acide** d'un couple et la **base** d'un autre couple.

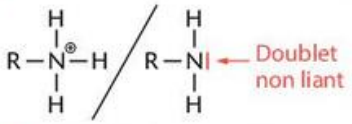
Exemple : L'eau est une espèce amphotère. Selon le couple, elle peut se comporter comme :

- une base : $H_3O^+\,(aq)$ / $H_2O\,(\ell)$; $H_2O\,(\ell) + H^+ \rightleftarrows H_3O^+\,(aq)$
- un acide : $H_2O\,(\ell)$ / $HO^-\,(aq)$; $H_2O\,(\ell) \rightleftarrows HO^-\,(aq) + H^+$

Info

$CO_2, H_2O\,(aq)$ peut parfois s'écrire $H_2CO_3\,(aq)$.

B **Ion ammonium / Amine**



> Le doublet non liant de l'atome d'azote est un site donneur de doublet d'électrons permettant de se lier à l'ion hydrogène.

INFO

En solution, l'ion hydrogène H^+ s'associe à une molécule d'eau pour former l'ion oxonium H_3O^+.

C **Mesure du pH**



> Pour donner une valeur fiable du pH, le pH-mètre doit être **étalonné**. Le pH est exprimé avec une seule décimale : pH = 5,0.

Point maths

La fonction **logarithme décimal** notée **log** est différente de la fonction **logarithme népérien** noté **ln**.
C'est la fonction réciproque de la fonction $f(x) = 10^x$:

$$\log(10^x) = x$$

ou $10^{\log(x)} = x$, pour $x > 0$.

• La concentration standard c° (en $mol \cdot L^{-1}$) assure une cohérence dimensionnelle au sein des relations. Cependant, on écrit aussi :

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

D **pH d'une solution d'acide sulfurique**

L'équation de la réaction de l'acide sulfurique $H_2SO_4(\ell)$ avec l'eau est :

$$H_2SO_4(\ell) + 2\,H_2O(\ell) \rightarrow 2\,H_3O^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

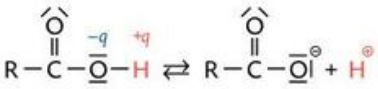
C est la concentration en acide sulfurique $H_2SO_4(\ell)$, soluté apporté.

$[H_3O^+] = 2C$ et $[SO_4^{2-}] = C$.

$pH = -\log\left(\frac{2C}{c^\circ}\right)$.

• La formule semi-développée ou le schéma de Lewis de l'entité acide ou basique permet de comprendre son processus de formation (doc. B).

Exemple : Dans une molécule d'acide carboxylique, le départ de l'atome d'hydrogène lié à l'atome d'oxygène est favorisé par la différence d'électronégativité entre l'oxygène ($\chi = 3{,}4$) et l'hydrogène ($\chi = 2{,}2$).



c. Solutions aqueuses acides et basiques

Solutions aqueuses acides	Solutions aqueuses basiques
• Acide éthanoïque : $CH_3CO_2H(aq)$	• Hydroxyde de sodium : $Na^+(aq) + HO^-(aq)$
• Acide chlorhydrique : $H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$	• Ammoniac : $NH_3(aq)$
• Acide nitrique : $H_3O^+(aq) + NO_3^-(aq)$	

Dans les exemples ci-dessus $C\ell^-(aq)$, $NO_3^-(aq)$ et $Na^+(aq)$ sont des ions spectateurs. Ils n'ont aucun caractère acide ou basique.

2 La réaction acide-base

Au cours d'une **réaction acide-base,** l'acide d'un couple réagit avec la base d'un autre couple.

L'équation s'écrit avec une double flèche ⇌ si la transformation est non totale, avec une simple flèche → si la transformation est totale.

Exemple : La réaction entre l'acide hypochloreux $HC\ell O(aq)$ et l'ammoniac met en jeu les couples **$HC\ell O(aq)$ / $C\ell O^-(aq)$** et **$NH_4^+(aq)$ / $NH_3(aq)$**. L'équation s'écrit :

$$HC\ell O(aq) \rightleftarrows C\ell O^-(aq) + H^+ \quad (1)$$
$$NH_3(aq) + H^+ \rightleftarrows NH_4^+(aq) \quad (2)$$
$$HC\ell O(aq) + NH_3(aq) \rightleftharpoons C\ell O^-(aq) + NH_4^+(aq) \quad (1)+(2)$$

3 Le pH d'une solution

• Le pH (**p**otentiel **H**ydrogène) est un indicateur d'acidité lié à la présence des **ions oxonium H_3O^+ (aq)** en solution.

• Pour une solution aqueuse diluée, $[H_3O^+] < 0{,}05\ mol \cdot L^{-1}$, le **pH** est défini par :

$$pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$$

pH sans unité ; $[H_3O^+]$ en $mol \cdot L^{-1}$; c° en $mol \cdot L^{-1}$

c° est appelée **concentration standard** : $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$.

• Le pH d'une solution est mesuré avec un **pH-mètre** (doc. C).

• Le pH augmente si $[H_3O^+]$ diminue et inversement.

• Le pH permet de déterminer la concentration en ions oxonium :

$$[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-pH}$$

• La **concentration en soluté apporté** est le quotient de la quantité de matière de soluté introduit par le volume de solution. Elle est notée C et s'exprime généralement en $mol \cdot L^{-1}$ (doc. D).

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Les acides et les bases
QCM
Version interactive

1 Les acides et les bases

Acide

Un acide AH cède au moins un ion hydrogène :
$AH(aq) \rightarrow A^-(aq) + H^+$

Exemples
- Acide éthanoïque : $CH_3CO_2H(aq)$
- Acide chlorhydrique : $H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$
- Acide nitrique : $H_3O^+(aq) + NO_3^-(aq)$

Base

Une base A^- capte au moins un ion hydrogène :
$A^-(aq) + H^+ \rightarrow AH(aq)$

Exemples
- Ammoniac : $NH_3(aq)$
- Hydroxyde de sodium : $Na^+(aq) + HO^-(aq)$

Couple acide/base

Demi-équation du couple $AH(aq)$ / $A^-(aq)$:
$AH(aq) \rightleftarrows A^-(aq) + H^+$

Couples à connaître
- Acide carboxylique / Ion carboxylate
  $RCO_2H(aq)$ / $RCO_2^-(aq)$
- Ion ammonium / Amine
  $RNH_3^+(aq)$ / $RNH_2(aq)$
- Acide carbonique / Ion hydrogénocarbonate
  $CO_2, H_2O(aq)$ / $HCO_3^-(aq)$
- Ion hydrogénocarbonate / Ion carbonate
  $HCO_3^-(aq)$ / $CO_3^{2-}(aq)$

Espèce amphotère

Espèce à la fois acide d'un couple et base d'un autre

Exemple des couples de l'eau :
$H_3O^+(aq)$ / $H_2O(\ell)$ $\qquad$ $H_2O(\ell)$ / $HO^-(aq)$

2 La réaction acide-base

Réaction entre l'acide d'un couple $AH(aq)$ / $A^-(aq)$ et la base d'un autre couple $BH(aq)$ / $B^-(aq)$.

$$AH(aq) \rightleftarrows A^-(aq) + H^+$$
$$B^-(aq) + H^+ \rightleftarrows BH(aq)$$
$$AH(aq) + B^-(aq) \rightleftharpoons A^-(aq) + BH(aq)$$

3 Le pH d'une solution

Le pH

$$pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$$

pH sans unité

$[H_3O^+]$ en $mol \cdot L^{-1}$

$c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$ (concentration standard)

$$[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-pH}$$

pH-mètre



Pour mesurer le pH, on utilise un pH-mètre étalonné.

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 Les acides et les bases

Si erreur, revoir § 1 p. 16

	A	B	C
1. L'acide méthanoïque $HCO_2H(aq)$ est un acide au sens de Brønsted :	il capte un ion hydrogène H^+.	il cède un ion hydrogène H^+.	sa base conjuguée est $HCO_2^-(aq)$.
2. L'acide conjugué de l'ion hydrogénocarbonate $HCO_3^-(aq)$ est :	$CO_3^{2-}(aq)$	$CO_2, H_2O(aq)$	$HCO_3^+(aq)$
3. Une espèce amphotère :	est à la fois un acide et une base.	appartient à deux couples acide-base différents.	n'est ni un acide, ni une base.
4. L'ion hydrogénosulfate $HSO_4^-(aq)$ appartient au(x) couple(s) acide-base suivant(s) :	$HSO_4^-(aq) / H_2SO_4(\ell)$	$H_2SO_4(\ell) / HSO_4^-(aq)$	$HSO_4^-(aq) / SO_4^{2-}(aq)$
5. $H_3O^+(aq) + NO_3^-(aq)$ désigne la solution :	d'acide oxonium.	d'acide éthanoïque.	d'acide nitrique.
6. Dans une solution d'hydroxyde de sodium $Na^+(aq) + HO^-(aq)$:	les deux ions sont des bases.	seul l'ion hydroxyde $HO^-(aq)$ est une base.	seul l'ion sodium $Na^+(aq)$ est une base.

2 La réaction acide-base

Si erreur, revoir § 2 p. 17

7. L'acide cyanhydrique $HCN(aq)$ réagit avec l'ion hydroxyde $HO^-(aq)$. L'équation de la réaction est :	$HCN(aq) + HO^-(aq) \rightarrow CN^-(aq) + H_2O(\ell)$	$CN^-(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow HCN(aq) + HO^-(aq)$	$HCN(aq) + HO^-(aq) \rightarrow CN^-(aq) + H_3O^+(aq)$
8. Soit les réactions opposées d'équation : $NH_4^+(aq) + HS^-(aq) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_2S(aq)$ Les deux couples mis en jeux sont :	$NH_4^+(aq) / HS^-(aq)$ et $H_2S(aq) / NH_3(aq)$	$NH_4^+(aq) / NH_3(aq)$ et $H_2S(aq) / HS^-(aq)$	$NH_3(aq) / NH_4^+(aq)$ et $HS^-(aq) / H_2S(aq)$

3 Le pH d'une solution

Si erreur, revoir § 3 p. 17

9. Le nom de l'ion de formule $H_3O^+(aq)$ est :	ion oxonium.	ion hydroxyde.	ion hydrogène.
10. Lorsqu'une solution acide est diluée, le pH :	augmente.	diminue.	n'est pas modifié.
11. Le pH d'une solution de concentration en ions oxonium H_3O^+ égale à $1{,}0 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$ est :	pH = 1,0	pH = 2,0	pH = 3,0
12. Le pH-mètre affiche pH = 3,0. Cette solution a une concentration en ions oxonium $[H_3O^+]$ égale à : 	$1{,}0 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$	$3{,}0 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$	$1{,}0 \times 10^{3}\ mol \cdot L^{-1}$

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Identifier un transfert d'ion hydrogène et un couple acide-base.	**Réflexe 1** Ex. 4 p. 22 **Identifier** l'acide et la base conjuguée en s'assurant que leurs formules chimiques ne se différencient que par un ion hydrogène H^+. **Écrire** la demi-équation acide-base qui les relie afin de distinguer l'acide de la base. **Écrire** le couple acide-base en commençant par l'acide : $AH(aq) / A^-(aq)$.
Établir l'équation d'une réaction acide-base.	**Réflexe 2** Ex. 6 p. 22 **Identifier** les deux couples mis en jeu au cours de la réaction. **Écrire** les demi-équations des couples acide-base en plaçant les réactifs à gauche. **Établir** l'équation de la réaction en sommant les deux demi-équations afin que les ions hydrogène n'y apparaissent pas.
Déterminer, à partir de la concentration en ions oxonium $H_3O^+(aq)$ la valeur du pH de la solution.	**Réflexe 3** Ex. 8 p. 23 **Écrire** la définition du pH : $pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$ avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$. **Calculer** le pH en convertissant, si nécessaire, la concentration d'ions oxonium $[H_3O^+]$ en $mol \cdot L^{-1}$.
Déterminer, à partir du pH, la concentration de la solution en ions oxonium $H_3O^+(aq)$.	**Réflexe 4** Ex. 9 p. 23 **Écrire** la relation donnant la concentration en ions oxonium en fonction du pH : $[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-pH}$ avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$. **Calculer** la concentration en précisant l'unité : $mol \cdot L^{-1}$.

1 Exercice résolu

Les fourmis contre-attaquent

Extraire l'information ; mobiliser ses connaissances.



Lors d'une attaque, les fourmis adoptent pour se défendre une position légèrement arquée sur leurs pattes arrières, contractant leur abdomen afin de projeter le venin sur leur ennemi. Ce venin contient entre autres l'espèce de formule $HCO_2H(aq)$. La molécule de formule $HCO_2H(aq)$ réagit avec l'eau pour donner l'ion oxonium et l'ion méthanoate $HCO_2^-(aq)$.

1. Écrire, en justifiant, le couple acide-base auquel appartient $HCO_2H(aq)$.
2. L'acide formique $HCO_2H(aq)$ réagit avec l'eau selon une transformation non totale. Écrire l'équation.

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 1.**

Identification de l'acide et de la base

1. L'espèce de formule $HCO_2H(aq)$ et l'ion méthanoate de formule $HCO_2^-(aq)$ s'obtiennent l'un à partir de l'autre par transfert d'un ion hydrogène H^+. Ils sont donc acide et base conjugués.

Écriture de la demi-équation

La demi-équation acide-base est : $HCO_2H(aq) \rightleftarrows HCO_2^-(aq) + H^+$

La molécule de formule HCO_2H est donc l'acide du couple car elle cède un ion hydrogène H^+ pour donner l'ion méthanoate HCO_2^-, sa base conjuguée.

Écriture du couple acide-base

Le couple s'écrit en plaçant l'acide à gauche : **$HCO_2H(aq) / HCO_2^-(aq)$**.

- **On utilise le Réflexe 2.**

Identification des deux couples mis en jeu

2. Le premier couple mis en jeu est $HCO_2H(aq) / HCO_2^-(aq)$. L'acide de ce couple réagit avec l'eau $H_2O(\ell)$. L'eau est donc une base qui capte un ion hydrogène H^+ pour former l'ion oxonium $H_3O^+(aq)$.

Le deuxième couple est donc $H_3O^+(aq) / H_2O(\ell)$.

Écriture des deux demi-équations

Les demi-équations sont écrites en plaçant les réactifs à gauche :

$$HCO_2H(aq) \rightleftarrows HCO_2^-(aq) + H^+ \quad (1)$$
$$H_2O(\ell) + H^+ \rightleftarrows H_3O^+(aq) \quad (2)$$

Écriture de l'équation

$$\mathbf{HCO_2H(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)} \quad (1)+(2)$$

2 Exercice résolu

Le soda est-il bon pour les dents ?

I Effectuer un calcul ; interpréter des résultats.



Sur l'étiquette d'un soda, on peut lire la liste des ingrédients suivante :
eau gazéifiée au dioxyde de carbone, sucre, colorant (caramel), conservateur (acide benzoïque), acidifiant (acide phosphorique), extraits végétaux, caféine, arômes naturels.
La concentration en ions oxonium de la boisson est $[H_3O^+] = 3{,}2\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.
Un aliment peut déminéraliser la surface dentaire, ce qui peut engendrer par la suite une carie, si sa consommation fait diminuer le pH de la salive à une valeur inférieure à 5,7.

1. Déterminer le pH de cette boisson.

2. Commenter sa composition.

3. a. Déterminer la valeur de la concentration en ions oxonium à partir de laquelle la surface dentaire risque une déminéralisation.

b. La boisson présente-t-elle un risque pour la surface dentaire ?

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 3.**

Écriture de la définition du pH

Calcul du pH

1. Le pH est défini par la relation : $\text{pH} = -\log\left(\dfrac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$ avec $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$\text{pH} = -\log\left(\dfrac{3{,}2 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}{1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}\right)$ soit **pH = 2,5**.

2. pH < 7, le soda est donc acide, ce que confirme la présence d'acides (benzoïque et phosphorique).

• **On utilise le Réflexe 4.**

Écriture de la relation donnant $[H_3O^+]$ en fonction du pH

Calcul de la concentration $[H_3O^+]$

3. a. La concentration en ions oxonium se calcule à partir de la relation :

$$[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-\text{pH}}.$$

Application numérique : $[H_3O^+] = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 10^{-5{,}7} = 2{,}0 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Soit $\mathbf{[H_3O^+] = 2{,}0 \times 10^{-3}\ mmol \cdot L^{-1}}$

b. $3{,}2\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} > 2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, donc la boisson peut déminéraliser la surface dentaire.

Côté maths 1 : Utiliser la fonction logarithme décimal

Côté maths

Soit la fonction f définie sur $]0\,;+\infty[$ par $f(x) = -\log(x)$.

1. Calculer l'image de $x = 10^{-3}$ par la fonction f.

2. Calculer l'antécédent de 4 par la fonction f.

Méthode

1. $f(10^{-3}) = -\log(10^{-3})$
$\Leftrightarrow f(10^{-3}) = -(-3)$
$\Leftrightarrow f(10^{-3}) = 3$

2. $f(x) = -\log(x) = 4$
$\Leftrightarrow \log(x) = -4$
$\Leftrightarrow 10^{\log(x)} = x = 10^{-4}$ donc $x = 0{,}0001$

Côté physique & chimie

Soient deux solutions aqueuses S_1 et S_2.

1. Calculer le pH de S_1 de concentration en ions oxonium $[H_3O^+] = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

2. Calculer la concentration en ions oxonium de S_2 dont le pH = 4,0.

Méthode

1. $\text{pH} = -\log\left(\dfrac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right) = -\log\left(\dfrac{1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}{1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}\right) = 3{,}0$

2. $[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-\text{pH}}$
$= 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 10^{-4{,}0}$
$= 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

À retenir !

La fonction logarithme décimal log est la fonction réciproque de la fonction f telle que $f(x) = 10^x$.

$$x = \log(10^x) \text{ et } x = 10^{\log(x)}, \text{ pour } x > 0.$$

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Identifier un transfert d'ion hydrogène et les couples acide-base mis en jeu.	4	14	19
Connaître les couples acide-base de l'eau, de l'acide carbonique, d'acides carboxyliques et d'amines.	4	14	19
Identifier le caractère amphotère d'une espèce chimique.	4	14	19 20
Citer des solutions d'acides et de bases courantes et les formules des espèces dissoutes.	4	14	19
Représenter le schéma de Lewis et la formule semi-développée d'un acide carboxylique, d'un ion carboxylate, d'une amine et d'un ion ammonium.	4	14	19
Établir l'équation d'une réaction acide-base.	6	14	19
Déterminer, à partir de la valeur de la concentration en ions oxonium H_3O^+, la valeur du pH de la solution et inversement.	8	14	19 20

1 Les acides et les bases

VIDÉO DE COURS **Les acides et les bases – QR Code p. 18**

4 Identifier un transfert d'ion hydrogène

CORRIGÉ

Restituer ses connaissances.

Les espèces chimiques suivantes sont des acides ou des bases selon la théorie de Brønsted :
$HCO_3^-(aq)$; $CH_3CO_2H(aq)$; CO_2, $H_2O(aq)$; $NH_3(aq)$; $HO^-(aq)$; $H_3O^+(aq)$; $CH_3CO_2^-(aq)$; $NH_4^+(aq)$; $H_2O(\ell)$.

1. Définir un acide et une base selon la théorie de Brønsted.
2. Former les couples acide-base à partir des formules chimiques données ci-dessus.
3. Écrire les demi-équations acide-base associées aux couples formés.
4. Justifier que l'eau est une espèce amphotère.
5. Représenter le schéma de Lewis et la formule semi-développée de l'acide éthanoïque en entourant l'hydrogène acide. Utiliser le réflexe 1

5 Identifier des couples acide-base

Mobiliser et organiser ses connaissances.

1. Parmi les couples suivants, identifier les couples acide-base :
$MnO_4^-(aq)$ / $Mn^{2+}(aq)$; $NH_4^+(aq)$ / $NH_3(aq)$; $SO_4^{2-}(aq)$ / $HSO_3^-(aq)$; $O_2(g)$ / $H_2O_2(aq)$; $HCO_2H(aq)$ / $HCO_2^-(aq)$.
2. Écrire les demi-équations des couples acide-base.
3. a. L'ion hydrogénosulfate $HSO_4^-(aq)$ est une espèce amphotère. Définir ce terme.
b. Écrire les deux couples acide-base formés par l'ion hydrogénosulfate.
4. Justifier le caractère basique de l'ammoniac à partir du schéma de Lewis de sa molécule.

2 La réaction acide-base

6 Établir l'équation d'une réaction acide-base

CORRIGÉ

Exploiter des observations.

En mélangeant une solution d'hydrogénocarbonate de sodium $Na^+(aq) + HCO_3^-(aq)$ avec du vinaigre (solution contenant de l'acide éthanoïque), une réaction acide-base a lieu. On observe alors une effervescence.



1. Donner la formule chimique de l'acide éthanoïque.
2. Écrire les couples acide-base mis en jeu au cours de la transformation.
3. Deux réactions opposées ont lieu. Écrire l'équation sachant que la transformation est non totale.
4. Justifier l'effervescence observée. Utiliser le réflexe 2

7 Exploiter l'équation d'une réaction acide-base

Extraire l'information.

L'équation de la réaction entre l'éthylamine $C_2H_5NH_2(aq)$ et l'ion oxonium s'écrit :
$C_2H_5NH_2(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow C_2H_5NH_3^+(aq) + H_2O(\ell)$

1. L'éthylamine est-elle une base ou un acide ? Justifier.
2. Écrire les couples mis en jeu dans cette réaction.
3. L'ion éthylammonium $C_2H_5NH_3^+(aq)$ réagit avec l'eau selon une transformation non totale. Écrire l'équation.

3 Le pH d'une solution

8 Calculer le pH d'une solution

CORRIGÉ

Effectuer des calculs.



Pour ne pas irriter la peau, l'eau d'une piscine doit avoir un pH compris entre 7,2 et 7,4.
La détermination de la concentration en ions oxonium d'une eau de piscine donne $[H_3O^+] = 3{,}2 \times 10^{-7}$ mol·L^{-1}.

1. L'eau de la piscine analysée peut-elle provoquer des irritations ?

2. Calculer les concentrations en ions oxonium correspondantes à l'intervalle de pH préconisé. Utiliser le réflexe 3

3. Préciser la nature acide ou basique de l'espèce à ajouter pour retrouver une eau de piscine acceptable.

9 Déterminer une concentration en ions oxonium

Exploiter des informations.

Les eaux de pluie ont un pH généralement compris entre 5,5 et 8,0. Cependant, la pollution atmosphérique peut faire baisser leurs pH.
Ces pluies sont dites acides si le pH est inférieur à 5,0.

1. Déterminer la concentration en quantité de matière d'ions oxonium à partir de laquelle l'eau de pluie est dite acide.

2. Calculer le pH d'une eau de pluie dont la concentration en ions oxonium est $[H_3O^+] = 1{,}6 \times 10^{-6}$ mol·L^{-1}.
Est-elle issue d'une pluie acide ? Utiliser le réflexe 4

Exercices S'entraîner

10 Il en voit de toutes les couleurs

Exploiter des observations.

Le bleu de bromophénol se présente sous deux formes différentes : l'une colore la solution en jaune lorsque le pH est inférieur à 3,0, l'autre la colore en bleu lorsque le pH de la solution est supérieur à 4,6.
Une solution S est obtenue en versant de l'acide nitrique $HNO_3(\ell)$ et quelques gouttes de bleu de bromophénol pur dans un volume d'eau. La solution S obtenue est verte.

1. Écrire l'équation de la réaction acide-base entre l'acide nitrique et l'eau sachant que la transformation est totale.

2. Donner un encadrement de la concentration en quantité de matière d'ions oxonium présents dans la solution S.

3. Préciser la démarche à suivre pour que la couleur de la solution vire au jaune.

4. a. On ajoute de l'hydroxyde de sodium dans la solution S. Écrire l'équation de la réaction entre les ions hydroxyde et les ions oxonium présents dans la solution S. La transformation est totale.
b. Justifier que les ions sodium $Na^+(aq)$ sont spectateurs.
c. Indiquer la couleur de la solution si l'on continue d'ajouter de l'hydroxyde de sodium à la solution S.

Côté maths

Côté maths 1, p. 21

11 Utiliser la fonction logarithme décimal

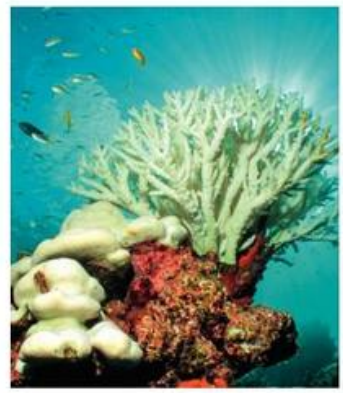
Une solution obtenue à partir de jus de citron a une concentration en ions oxonium H_3O^+ égale à $5{,}0 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}.

1. À l'aide de la fonction log, calculer le pH de la solution.

2. Calculer le pH de la solution si $[H_3O^+] = 1{,}5$ mol·L^{-1}. Commenter.

12 Les coraux face à l'acidification des océans

Utiliser un modèle pour expliquer.



Le pH moyen des eaux des mers et des océans était de 8,15 avant l'ère industrielle, et se situe désormais autour de 8,05. Les coquilles ou les exosquelettes des crustacés et des coraux formés essentiellement de carbonate de calcium $CaCO_3(s)$ ont plus de difficultés à se former dans les eaux acides.

1. Le dioxyde de carbone dissout CO_2, $H_2O(aq)$ réagit avec l'eau selon une transformation non totale. Écrire l'équation.

2. Pourquoi le pH des eaux des mers et des océans diminue-t-il depuis l'ère industrielle ?

3. Montrer que la diminution constatée du pH depuis le début de l'ère industrielle correspond à une augmentation de 30 % des ions oxonium dans les océans.

4. Soient les réactions opposées dont l'équation est donnée ci-dessous.

$$CaCO_3(s) + H_3O^+(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + HCO_3^-(aq) + H_2O(\ell)$$

En déduire pourquoi les coraux sont menacés par les activités humaines.

Donnée

$$\log(a) - \log(b) = \log\left(\frac{a}{b}\right)$$

13 À chacun son rythme

Préparation d'une solution d'acide chlorhydrique

Comparer à une valeur de référence ; effectuer des calculs.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

L'acide chlorhydrique a de multiples usages en bricolage, il permet de rénover certains cuivres oxydés, déboucher les canalisations, polir, nettoyer les métaux, etc.



A Acide chlorhydrique commercial

- Les solutions d'acide chlorhydrique peuvent être préparées par dissolution de chlorure d'hydrogène gazeux $HC\ell$ (g) dans l'eau, cette transformation est totale. Le chlorure d'hydrogène est le soluté apporté.
- La plupart des bidons vendus dans les enseignes de bricolage contiennent des solutions d'acide chlorhydrique. Le pourcentage massique en chlorure d'hydrogène $HC\ell$ apporté est de 23 %.
- Pour la rénovation des matériaux en cuivre, le fabricant préconise une dilution de 30 volumes d'acide chlorhydrique pour 70 volumes d'eau.

On dispose d'une bouteille contenant une solution S d'acide chlorhydrique dont le pH est égal à 1,7.

Énoncé compact

La solution S peut-elle convenir pour la rénovation d'une casserole en cuivre oxydé ?

Énoncé détaillé

1. Écrire l'équation de la réaction acide-base entre le chlorure d'hydrogène $HC\ell$ (g) et l'eau.
2. Calculer la masse de chlorure d'hydrogène nécessaire pour produire 1,0 L de solution commerciale d'acide chlorhydrique à 23 %.
3. En déduire la concentration en quantité de matière d'ions oxonium $[H_3O^+]_{com}$ de la solution commerciale.
4. Calculer la concentration en quantité de matière d'ions oxonium $[H_3O^+]_{diluée}$ de la solution obtenue après la dilution préconisée par le fabricant.
5. Déterminer la concentration en ions oxonium $[H_3O^+]_S$ de la solution S et la comparer à $[H_3O^+]_{diluée}$.
6. La solution S peut-elle convenir pour la rénovation d'une casserole en cuivre oxydée ?

Données

- $M(H) = 1{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; $M(C\ell) = 35{,}5\ g \cdot mol^{-1}$.
- Masse volumique de l'acide chlorhydrique à 23 % : $\rho = 1{,}11\ g \cdot cm^{-3}$.

14 Nettoyer à l'ammoniaque

CORRIGÉ

Utiliser un modèle ; exploiter des informations.

Une solution aqueuse commerciale S_1 contenant de l'ammoniac NH_3 (aq) peut être utilisée, après dilution, comme produit nettoyant (éviers, lavabos, etc.) ou comme produit détachant (moquette, tapis).
Une solution aqueuse S_2 est obtenue après dilution de la solution S_1.





Solution d'ammoniac
$C > 25\ \%$

1. Lister la verrerie nécessaire pour réaliser une dilution, ainsi que les consignes de sécurité.
2. a. L'ammoniac NH_3 (aq) réagit avec l'eau selon une transformation non totale. Écrire l'équation.
b. Écrire les couples acide-base mis en jeu.
3. Le pH de la solution S_2 est égal à 10,5. Préciser la nature (basique, neutre, acide) de la solution.
4. Déterminer la concentration en ions oxonium $[H_3O^+]$ de la solution S_2.
5. Justifier le caractère acide ou basique d'une solution d'ammoniac à partir du schéma de Lewis de la molécule.
6. À partir du schéma de Lewis de l'ion ammonium, justifier que l'ion ammonium ne peut pas être une espèce amphotère.

15 Détartrer une machine à laver

Utiliser un modèle pour expliquer.

Du tartre se dépose souvent sur les résistances chauffantes des machines à laver réduisant l'efficacité du nettoyage. Des détartrants à base d'acide lactique permettent de résoudre ce problème.



La formule brute de l'acide lactique est $C_3H_6O_3$. Cette molécule contient deux groupes caractéristiques : un groupe hydroxyle porté par un carbone lui-même lié à un groupe carboxyle. Au cours de la préparation d'une solution détartrante, on dissout une masse $m = 54{,}1$ g d'acide lactique pour 1,0 L de solution. Après agitation, le pH de la solution est mesuré à 1,9.

1. Établir la formule semi-développée de l'acide lactique.
2. Sachant que le groupe carboxyle de l'acide lactique est responsable de son acidité, écrire l'équation de la réaction entre l'acide lactique et l'eau.
3. Construire le tableau d'avancement associé à cette réaction.
4. Calculer l'avancement maximal x_{max}.
5. En tenant compte du pH, déterminer si la transformation est totale.

Donnée

M(acide lactique) $= 90{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

16 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Contrôler la qualité de l'eau d'un aquarium

Construire les étapes d'une résolution de problème.



Le pH de l'eau d'un aquarium doit être contrôlé régulièrement et régulé car la vie des plantes et des poissons en dépend. Ce pH doit être compris entre 5,5 et 8,5 selon les espèces vivantes présentes.

Un aquarium de 120 L contient une eau trop acide de pH = 4,5. Une technique de régulation de pH consiste à introduire un bâton de craie constituée presque exclusivement de carbonate de calcium $CaCO_3$ (s) dont l'équation de la réaction de dissolution dans l'eau s'écrit :

$$CaCO_3\,(s) \rightarrow Ca^{2+}\,(aq) + CO_3^{2-}\,(aq)$$

On modélisera la transformation des bâtons de craie avec l'eau par la réaction entre les ions carbonate CO_3^{2-} (aq) présents dans la craie et les ions oxonium H_3O^+ (aq) présents dans l'eau de l'aquarium.

L'équation de la réaction s'écrit :

$$CO_3^{2-}\,(aq) + 2\,H_3O^+\,(aq) \rightarrow CO_2, H_2O\,(aq) + 2\,H_2O\,(\ell)$$

• Déterminer la masse de bâtons de craie à introduire pour corriger le pH.

Donnée

$M(CaCO_3) = 100{,}1\ g \cdot mol^{-1}$.

17 Discuter un modèle

Discuter un modèle ; confronter un modèle à des résultats expérimentaux.

Partie I **Étude de solutions fortement concentrées en ions oxonium**

On mesure le pH de trois solutions aqueuses de différentes concentrations en ions oxonium.

$[H_3O^+]$ (mol · L^{-1})	0,10	0,50	1,0
pH	1,13	0,42	0,16

1. Commenter le nombre de chiffres significatifs affichés par le pH-mètre.

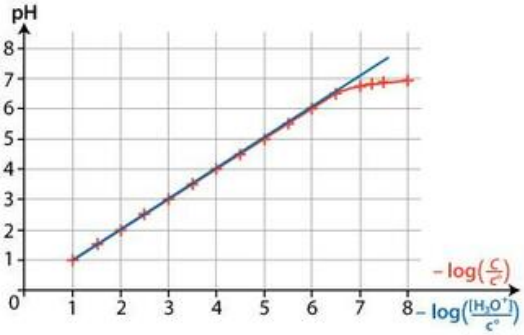
2. a. Donner la relation entre le pH d'une solution et sa concentration en ions oxonium.

b. Calculer le pH de chaque solution à l'aide de cette relation.

3. Comparer avec les valeurs expérimentales et expliquer les écarts observés.

Partie II **Étude de solutions faiblement concentrées en ions oxonium**

Dans un deuxième temps, on mesure le pH de solutions aqueuses diluées d'acide chlorhydrique de différentes concentrations C en soluté apporté.



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Outre des molécules d'eau, l'eau distillée contient des ions oxonium H_3O^+ (aq) et des ions hydroxyde HO^- (aq) en très faibles quantités :

$[H_3O^+] = [HO^-] = 1{,}0 \times 10^{-7}\ mol \cdot L^{-1}$ à 25 °C.

4. Écrire la formule des espèces présentes dans une solution d'acide chlorhydrique.

5. Justifier que les ions chlorure sont spectateurs.

6. Sachant que la relation $pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$ reste valable pour des solutions très diluées, proposer une explication au fait que la relation $pH = -\log\left(\frac{C}{c^\circ}\right)$ n'est plus valable pour une concentration C inférieure à $1{,}0 \times 10^{-6}\ mol \cdot L^{-1}$.

18 Acide-base *versus* oxydoréduction

Formuler des hypothèses ; effectuer des calculs.

L'acide chlorhydrique a des propriétés acides et oxydantes. Une solution S est obtenue en mélangeant deux solutions d'acide chlorhydrique différentes :

• $V_1 = 50{,}0$ mL d'une solution aqueuse S_1 de concentration en ions oxonium : $[H_3O^+]_1 = 5{,}0 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$;

• $V_2 = 50{,}0$ mL d'une solution aqueuse S_2 de concentration en ions oxonium : $[H_3O^+]_2 = 2{,}5 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$.

1. Expliciter la différence entre les réactions acide-base et les réactions d'oxydoréduction.

2. Écrire la formule des espèces présentes dans une solution d'acide chlorhydrique.

3. Calculer le pH de la solution S_1.

4. Prévoir le sens d'évolution de ce pH lors de l'ajout de la solution S_2. Justifier.

5. Calculer le pH du mélange obtenu et valider l'hypothèse formulée.

6. a. On ajoute de la poudre de fer Fe (s) à la solution S_1. L'acide chlorhydrique oxyde le fer. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction entre l'acide chlorhydrique et le fer. La transformation est totale.

b. Prévoir l'évolution du pH de la solution.

Données

Couples oxydant/réducteur : Fe^{2+} (aq) / Fe (s) ; H_3O^+ (aq) / H_2 (g).

Vers le BAC

Être vigilant aux unités

pH sans unité → $pH = -\log\left(\frac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$

$[H_3O^+]$ en $mol \cdot L^{-1}$

$c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$

Ne pas confondre log et ln

Pour calculer 10^a :
Touches
SHIFT + log



Pour calculer $\log(a)$:
Touche
log

Donner des chiffres significatifs sans tenir compte de c°

La valeur de la concentration standard $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$ étant fixée, elle n'est pas à prendre en compte pour exprimer un résultat avec le bon nombre de chiffres significatifs.

Ne pas confondre demi-équation et équation

$CH_3CO_2H(aq) \rightleftarrows CH_3CO_2^-(aq) + H^+$

Demi-équation
(présence d'ion hydrogène H^+)

$CH_3CO_2H(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CH_3CO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$

Équation
(absence d'ion hydrogène H^+)

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2, 3 et 4 sont présentés p. 20

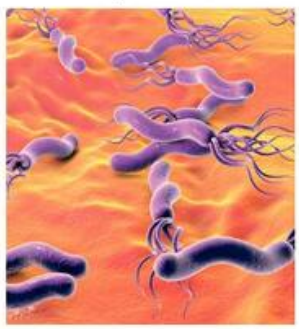
19 CORRIGÉ — 30 min

L'uréase dans le milieu stomacal

Exploiter des informations, un graphique ; effectuer des calculs.

D'après Baccalauréat

La bactérie *Helicobacter pylori* (*H. pylori*) est responsable de la plupart des ulcères de l'estomac.
On souhaite savoir comment elle réussit à survivre dans un milieu très acide, comme les sucs gastriques de l'estomac, avant de rejoindre la muqueuse stomacale où elle pourra se développer.

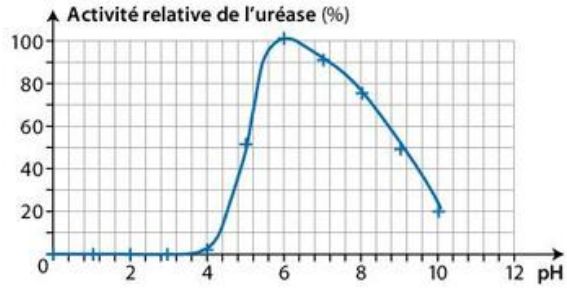


A L'uréase

L'uréase est une enzyme qui joue un rôle important au sein des organismes vivants. Elle accélère (catalyse) considérablement la décomposition d'une molécule organique, l'urée $CH_4N_2O(aq)$, qui réagit avec l'eau pour former de l'ammoniac et du dioxyde de carbone. Sans elle, la décomposition de l'urée durerait plusieurs années.
On trouve l'uréase dans des bactéries pathogènes telles que *Helicobacter pylori*.

B Influence du pH sur l'activité enzymatique

Condition expérimentale : température $T = 30\ °C$.



1. Le contenu de l'estomac est un milieu très acide qui peut être considéré comme une solution aqueuse d'acide chlorhydrique de pH = 2,0.

Préciser la formule des espèces contenues dans la solution aqueuse d'acide chlorhydrique et calculer la concentration en ions oxonium de ce milieu.

Utiliser le réflexe 4

2. a. L'uréase de la bactérie *H. pylori* permet d'augmenter la vitesse de réaction de l'urée avec l'eau et ainsi de sécréter de l'ammoniac dans son environnement proche. Dans l'estomac, l'ammoniac réagit avec les ions H_3O^+ (aq). Écrire la formule semi-développée et le schéma de Lewis de l'ammoniac.
b. Justifier le caractère basique de l'ammoniac et écrire le couple acide-base auquel il appartient.

Utiliser le réflexe 1

c. Écrire l'équation de l'hydrolyse de l'urée sachant que la transformation est non totale (doc. **A**).

d. Écrire l'équation de la réaction acide-base entre l'ammoniac et l'ion oxonium. La transformation est totale.

Utiliser le réflexe 2

3. Quel est l'effet de la libération de l'ammoniac par la bactérie sur le pH de la solution qui l'entoure ?

4. L'enzyme sécrétée par la bactérie *H. pylori* est en réalité une association de l'uréase avec d'autres entités chimiques. En quoi le document **B** illustre-t-il le fait que l'uréase seule ne peut pas agir dans l'estomac ?

20 CORRIGÉ 20 min Préparation d'une solution d'acide chlorhydrique

Mobiliser ses connaissances ; effectuer des calculs.

Afin de préparer une solution S d'acide chlorhydrique, on introduit un volume $V_1 = 5{,}0$ L de chlorure d'hydrogène gazeux HCℓ (g) dans un volume $V_2 = 1{,}0$ L d'eau. On négligera la variation de volume du liquide.

1. Expliquer pourquoi l'eau est une espèce amphotère.

2. Écrire l'équation de la réaction entre HCℓ (aq) et l'eau. La transformation est totale.

3. Calculer la concentration en ions oxonium présents dans la solution S.

4. La solution S est diluée 10 fois. En déduire le pH de la solution ainsi obtenue.

Utiliser le réflexe 3

5. On prélève 10,0 mL de la solution. Déterminer le volume V d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration en ions hydroxyde $[HO^-] = 0{,}10$ mol·L^{-1} à ajouter pour que la solution S devienne neutre. La transformation est totale. On négligera toute autre source d'ions oxonium.

Coup de pouce QR Code p. 18

Donnée

Volume molaire d'un gaz dans les conditions de l'expérience $V_m = 24{,}0$ L·mol^{-1}.

Préparation à l'ECE

La version intégrale de cette ECE, réalisable en activité expérimentale, est disponible dans la version numérique. La version proposée ci-dessous, permet à l'élève de travailler en autonomie les compétences ANA-RAIS et VAL.



Les olives cueillies sur l'arbre ont un goût amer très désagréable. Une préparation, appelée désamérisation, consiste à plonger dans un premier temps les olives dans un bain de soude pendant plusieurs heures avant d'être rincées. Dans un deuxième temps, elles sont plongées dans un bain de saumure composé d'eau et de sel de mer (solution S) dans lequel les olives vont fermenter grâce à des bactéries. Pour cela, il est nécessaire d'ajouter à la solution S une solution acide afin d'abaisser le pH à 5,0. Après plusieurs mois, les olives sont prêtes à être dégustées.
La solution S de volume $V = 1{,}0$ L a été auparavant neutralisée (pH = 7) par de l'acide.

MATÉRIEL ET PRODUITS DISPONIBLES

- 50 mL d'une solution S_0 acide chlorhydrique de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1} en ions oxonium.
- 1,0 L de solution S.
- Des pipettes de 1,0 ; 5,0 ; 10,0 mL ; des fioles de 50 mL, un bécher de 50 mL.
- Un pH-mètre et une pissette d'eau distillée.

1. ANA-RAIS Proposer un protocole pour préparer un volume $V = 50$ mL d'une solution S_A d'acide chlorhydrique de concentration $C_A = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en ions oxonium.

2. ANA-RAIS En s'aidant de la solution S_A, proposer un protocole pour rendre la solution S de saumure neutralisée propice à la fermentation. On ne tiendra pas compte de l'augmentation de volume lors de l'ajout de l'acide chlorhydrique pour abaisser le pH.

3. VAL Le pH de la solution obtenue est de 5,1. Lister les éventuelles sources d'erreurs expérimentales.

Donnée

On négligera la présence des ions oxonium dans la solution S neutralisée.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Choisir son sujet

Deux questions doivent être présentées au jury. Ces questions sont adossées à tout ou partie du programme du cycle terminal et doivent mettre en lumière un des grands enjeux des enseignements de spécialité. Le sujet des questions peut être **par exemple** un enjeu sociétal.

CONSEILS

- **Choisir un sujet motivant.**
- **Choisir un sujet qui revêt une importance sociétale ou historique.**
- **Choisir un sujet qui permet de réinvestir facilement les acquis.**

ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

Comprendre
Observer
Modéliser
Expérimenter



EXEMPLES D'ENJEUX SOCIÉTAUX

Intelligence artificielle
Énergie Santé
Environnement
Communication



À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation fournie. Puis les élèves échangent leurs rôles et à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

Grille d'évaluation

Évaluation orale n° 1 : Santé

- À l'aide de certains termes issus du nuage de mots, expliquer pourquoi un médicament à base de bicarbonate de sodium $Na^+(aq) + HCO_3^-(aq)$ est qualifié d'antiacide.



Évaluation orale n° 2 : Environnement

- À l'aide de certains termes issus du nuage de mots, justifier que l'ajout d'hydroxyde de sodium à une eau acide issue de rejets industriels permet d'en limiter les effets néfastes.



Donnée

$CO_2, H_2O(aq) / HCO_3^-(aq)$

Réaction Couple Acide/Base
Équation pH
Base Acide

Je m'exprime à l'oral sur

Les transformations acide-base

Quelle est la définition du **pH** ?

Qu'appelle-t-on **un acide et une base conjugués** ?

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Comment établit-on **une équation** de réaction acide-base ?

Comment mesurer le pH d'une solution aqueuse ?

2 Méthodes physiques d'analyse



Les phtalates sont fréquemment ajoutés aux matières plastiques pour les assouplir et les mettre en forme plus facilement. Soupçonnés d'être des perturbateurs endocriniens, la teneur en phtalates des emballages alimentaires ou des jouets pour enfants, par exemple, ne doit pas dépasser certaines valeurs, fixées par des normes.

- Comment la spectroscopie infrarouge permet-elle d'effectuer des contrôles ?

> Rendez-vous : exercice 18 p. 44

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Exploiter la loi de Beer-Lambert pour déterminer une concentration. **Exercice 4 p. 40**
- Exploiter la loi de Kohlrausch pour déterminer une concentration. **Activité 1 p. 31**
- Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour déterminer une quantité de matière. **Exercice 8 p. 40**
- Mesurer une conductance et tracer une courbe d'étalonnage pour déterminer une concentration. **Activité 1 p. 31**
- Exploiter, à partir de données tabulées, un spectre d'absorption infrarouge pour identifier un groupe caractéristique ou une espèce chimique. **Activité 2 p. 32**
- Exploiter un spectre UV-visible pour identifier une espèce chimique. **Exercice 13 p. 41**

Vu en 1re

Spectroscopies UV-visible et infrarouge

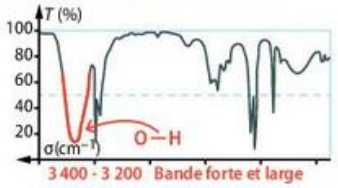
VIDÉOS
- Groupes caractéristiques
- Spectroscopie IR

SPECTROSCOPIES

Spectroscopie IR

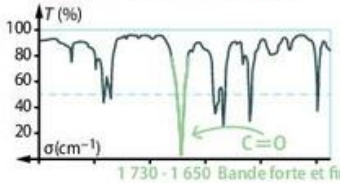
Détermination des groupes caractérisques

Groupe hydroxyle — OH



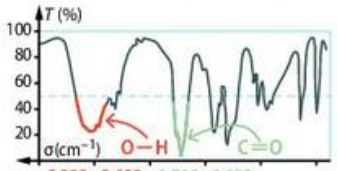
3 400 - 3 200 Bande forte et large

Groupe carbonyle



1 730 - 1 650 Bande forte et fine

Groupe carboxyle

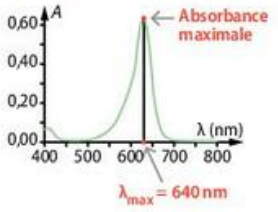


3 200 - 2 600 Bande forte et très large

1 710 - 1 680 Bande forte et fine

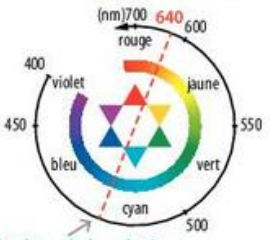
Spectroscopie UV-visible

Spectre d'absorption



λ_{max} dépend de l'espèce chimique

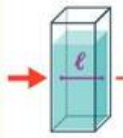
Cercle chromatique



Couleur de la solution

Absorbance d'une solution

Loi de Beer-Lambert



Absorbance sans unité

Épaisseur de la solution traversée en cm

$A = \varepsilon \times \ell \times C$

Concentration en espèce absorbante en $mol \cdot L^{-1}$

Coefficient d'absorption molaire en $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$

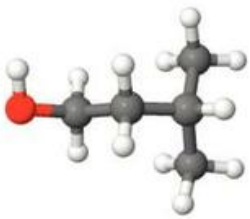
Réactiver ses connaissances

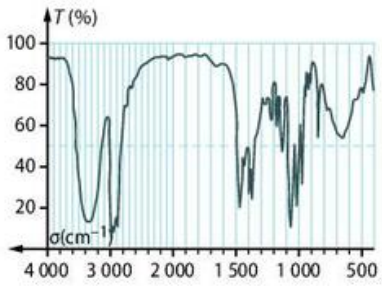
La molécule de 3-méthylbutan-1-ol est modélisée ci-contre.

1. Écrire sa formule semi-développée.
2. Le spectre infrarouge ci-contre peut-il être celui de la molécule de 3-méthylbutan-1-ol ? Justifier.

Donnée

Bandes d'absorption infrarouges : Rabat III .





Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. La loi de Beer-Lambert :	permet de déterminer une concentration.	n'est applicable qu'à des espèces chimiques colorées.	traduit une relation linéaire entre la concentration et l'absorbance.
2. Dans un spectre IR, on lit généralement :	la longueur d'onde en abscisse.	la transmittance en ordonnées.	le nombre d'ondes en abscisses.
3. La spectroscopie infrarouge permet :	d'identifier un groupe caractéristique présent dans une molécule.	de déterminer le nombre d'atomes de carbone présents dans une molécule.	de déterminer la formule semi-développée d'une molécule.
4. La molécule dont la formule semi-développée est : $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}-\overset{\displaystyle O}{\overset{\Vert}{C}}-OH$	possède deux groupes hydroxyle.	possède un groupe carbonyle.	possède un groupe carboxyle.

Activité expérimentale 1

Dosage par étalonnage conductimétrique

Notions
- Conductivité
- Courbe d'étalonnage
- Loi de Kohlrausch

Le *Scatophagus* est un poisson qui peut être élevé en aquarium dans une eau salée adaptée.

Tâche complexe

▶ Objectif de l'activité : Comment effectuer un contrôle qualité d'une solution ionique ?

A Le *Scatophagus argus*

Le *Scatophagus argus* est un poisson d'eau salée, peu agressif, qui s'adapte facilement en aquarium. Il est donc souvent choisi par les aquariophiles débutants.



Pour aider les *Scatophagus argus* qu'il vient d'acheter à s'adapter à leur nouvel environnement, un aquariophile doit faire en sorte que l'eau de son aquarium ait une concentration en masse en chlorure de sodium égale à $3{,}0 \pm 0{,}3\ g \cdot L^{-1}$.

Il réalise un prélèvement de l'eau qu'il a préparée et le confie à un ami chimiste afin qu'il vérifie si cette eau peut convenir à ses *Scatophagus*.

Matériel et produits disponibles

- Deux burettes graduées de 25,0 mL.
- Six tubes à essai sur support avec bouchons.
- Flacon contenant l'eau salée préparée par l'aquariophile.
- Solution mère S_0 de concentration en chlorure en sodium $C_0 = 2{,}0 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$.
- Pissette d'eau distillée.
- Fiole jaugée de 100,0 mL.
- Pipette jaugée de 10,0 mL.
- Conductimètre avec cellule.
- Tableur grapheur.

Complément scientifique

- Un conductimètre, relié à une cellule conductimétrique, est un appareil qui mesure la conductivité σ d'une solution ionique.



- La conductivité σ d'une solution ionique traduit sa capacité à conduire le courant électrique. Elle s'exprime en siemens par mètre ($S \cdot m^{-1}$) et dépend de la nature et des concentrations en ions présents dans cette solution.
- On admet que les conductivités mesurées dans cette activité sont dues exclusivement à la présence d'ions chlorure $C\ell^-(aq)$ et sodium $Na^+(aq)$.

Étapes de la démarche de résolution

1. LIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre.
4. EXPLOITER les résultats et conclure.

Données

Masses molaires : $M(Na^+) = 23{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; $M(C\ell^-) = 35{,}5\ g \cdot mol^{-1}$.

Investigation

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1 La solution préparée par l'aquariophile peut-elle convenir aux *Scatophagus* ?

Un pas vers le cours

Proposer un modèle ANA-RAIS

2 Par analogie avec la loi de Beer-Lambert, énoncer la loi de Kohlrausch qui relie la conductivité d'une solution ionique à sa concentration en soluté ionique.

Activité documentaire 2

Spectroscopie infrarouge

La spectroscopie infrarouge est une technique d'analyse des molécules utilisée en chimie organique.

Notions
- Spectroscopie infrarouge
- Groupes caractéristiques

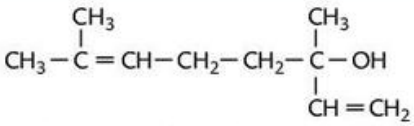
▶ Objectif de l'activité : Comment exploiter un spectre infrarouge pour détecter la présence d'une espèce chimique dans un mélange ?

A Linalol et éthanoate de linalyle

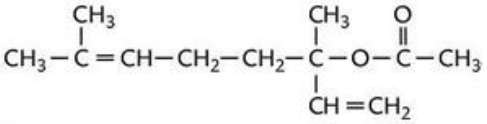


Le linalol et l'éthanoate de linalyle sont quelques-uns des composés odorants présents dans les fleurs de lavande. On les retrouve donc dans les huiles essentielles qui en sont extraites à des proportions différentes selon le type de lavande :

Nom	Linalol	Éthanoate de linalyle	Autres espèces
Lavande aspic	40 %	0 %	60 %
Lavande fine	35 %	45 %	20 %



> Formule semi-développée du linalol



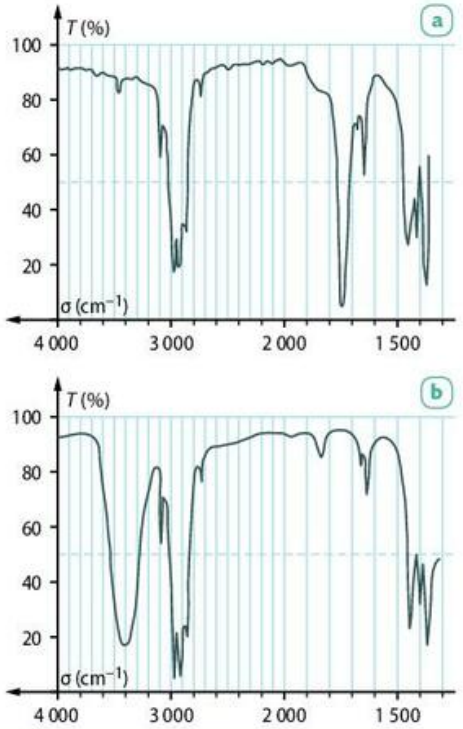
> Formule semi-développée de l'éthanoate de linalyle

Donnée

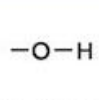
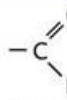
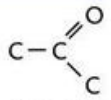
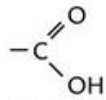
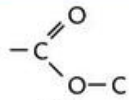
Bandes d'absorption infrarouges : Rabat III.

B Spectres infrarouges

Les spectres infrarouges du linalol et de l'éthanoate de linalyle sont donnés ci-dessous :



Complément scientifique

Famille de composés	Alcool	Aldéhyde	Cétone	Acide carboxylique	Alcène	Ester
Groupe caractéristique	 Hydroxyle	 Carbonyle	 Carbonyle	 Carboxyle	 Alcène	 Ester

Analyse des documents

Mobiliser ses connaissances APP

1 Recopier les formules semi-développées du linalol et de l'éthanoate de linalyle (doc. A), entourer puis nommer le(s) groupe(s) caractéristique(s) présent(s) dans les deux molécules.

Exploiter des informations ANA-RAIS

2 Attribuer l'un des spectres IR du document B, au linalol et l'autre à l'éthanoate de linalyle en justifiant la réponse.

Faire preuve d'esprit critique VAL

3 Discuter si la spectroscopie infrarouge permet de distinguer, avec certitude, une huile essentielle de lavande fine d'une huile essentielle de lavande aspic.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication VAL

4 Comment exploiter un spectre infrarouge pour repérer la présence d'une espèce chimique dans un mélange ?

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Dosages par étalonnage

VIDÉO DE COURS

1 Les dosages par étalonnage

Réaliser un **dosage par étalonnage** consiste à déterminer la concentration d'une espèce en solution en comparant une grandeur physique, caractéristique de la solution, à la même grandeur physique mesurée pour des solutions étalons de concentrations connues.

a. Dosage spectrophotométrique

• La grandeur physique mesurée est l'**absorbance** A d'une **solution absorbante**. L'absorbance est mesurée avec un **spectrophotomètre**.

• Pour une longueur d'onde λ fixée, si la solution est suffisamment diluée (A inférieur à environ 1,2), l'absorbance A d'une solution est proportionnelle à la concentration C en espèce absorbante (doc. A).

• La **Loi de Beer-Lambert** traduit la proportionnalité entre A et C :

ε en L·mol^{-1}·cm^{-1} ; ℓ en cm ; k en L·mol^{-1} ; A sans unité ; C en mol·L^{-1}

$$A = \varepsilon \times \ell \times C = k \times C$$

où ℓ est l'épaisseur de solution traversée par la lumière et ε le coefficient d'absorption molaire de l'espèce absorbante.

b. Dosage conductimétrique

• La grandeur physique mesurée est **la conductivité σ** d'une **solution ionique**. La conductivité est mesurée avec un **conductimètre**.

• La conductivité σ traduit la capacité d'une solution ionique à conduire le courant électrique, elle s'exprime en Siemens par mètre (S·m^{-1}).

• Chaque ion participe de façon particulière à la conduction du courant électrique, on lui attribue donc une conductivité molaire ionique notée λ (doc. B). Ainsi, la conductivité d'une solution dépend de la nature des ions présents ainsi que de la concentration de la solution en ces ions (doc. C).

Une solution ionique diluée contenant les ions X_i de concentration en quantité de matière $[X_i]$ et de conductivité molaire ionique λ_{X_i} a une conductivité σ :

λ_{X_i} en S·m^2·mol^{-1} ; σ en S·m^{-1} ; $[X_i]$ en mol·m^{-3}

$$\sigma = \sum_i \lambda_{X_i} \times [X_i]$$

Exemple : La conductivité σ d'une solution aqueuse de chlorure de sodium, contenant les ions chlorure $C\ell^-$ (aq) et sodium Na^+ (aq) s'écrit :

$$\sigma = \lambda_{C\ell^-} \times [C\ell^-] + \lambda_{Na^+} \times [Na^+]$$

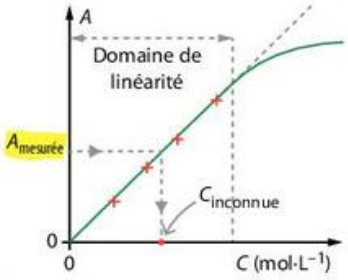
Si la solution ionique est suffisamment diluée ($C < 10^{-2}$ mol·L^{-1}) et ne contient qu'un seul soluté ionique, la conductivité σ est proportionnelle à sa concentration C en soluté ionique apporté.
La **loi de Kohlrausch** traduit la proportionnalité entre σ et C :

k en S·L·m^{-1}·mol^{-1} ; σ en S·m^{-1} ; C en mol·L^{-1}

$$\sigma = k \times C$$

• Les lois de Kohlrausch $\sigma = k \times C$ et de Beer-Lambert $A = k \times C$ ont des équations analogues.

A Loi de Beer-Lambert



> La loi de Beer-Lambert correspond au domaine de linéarité de la courbe $A = f(C)$. Dans ce domaine : $A = k \times C$.

COMPLÉMENT

La **conductance** G est l'inverse de la résistance électrique d'une portion de solution. La conductance dépend de la solution mais aussi des caractéristiques géométriques de la cellule de mesure.
Pour s'affranchir de ces caractéristiques, on définit la conductivité σ à partir de la conductance :

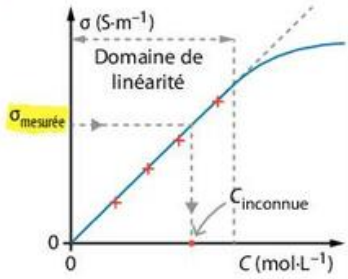
$$G = k_{cellule} \times \sigma$$

où $k_{cellule}$ est la constante de cellule.

B Conductivité molaire ionique λ_{X_i} de quelques ions à 25 °C

Ions	λ_{X_i} en mS·m^2·mol^{-1}
Na^+	5,01
H_3O^+	34,98
$C\ell^-$	7,63
HO^-	19,86

C Loi de Kohlrausch



> La loi de Kohlrausch correspond au domaine de linéarité de la courbe $\sigma = f(C)$. Dans ce domaine : $\sigma = k \times C$.

Cours

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Détermination d'une quantité de gaz

VIDÉO DE COURS

2 La détermination d'une quantité de gaz

a. L'équation d'état du gaz parfait

• À l'échelle microscopique, un gaz est modélisé par un ensemble d'entités (molécules ou atomes) en mouvement désordonné. Un gaz est dit « parfait » si la taille de ses entités est négligeable devant la distance qui les sépare et si les interactions entre elles sont négligeables (doc. D et chapitre 15).

• À basse pression, tous les gaz peuvent être assimilés à des gaz parfaits.

L'équation d'état du gaz parfait s'écrit :

Quantité en mol
Pression en Pa → $P \times V = n \times R \times T$ ← Température en K
Volume en m^3 → ← R en $Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$

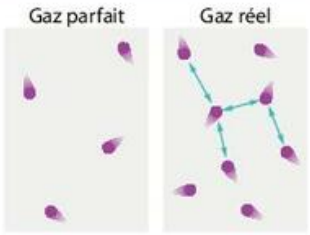
R est la **constante des gaz parfaits** : $R = 8{,}314\ Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$.

• L'équation d'état du gaz parfait permet de calculer une quantité de matière de gaz.

Exemple : Sous une pression de $1{,}20 \times 10^5$ Pa et à 22°C, un échantillon de gaz supposé parfait occupe un volume de 0,31 L. La quantité de matière de ce gaz est :

$$n = \frac{P \times V}{R \times T} = \frac{1{,}20 \times 10^5\ Pa \times 0{,}31 \times 10^{-3}\ m^3}{(8{,}314\ Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1} \times (273 + 22)K)} = 1{,}5 \times 10^{-2}\ mol$$

D Modèle du gaz parfait



À θ = 0 °C, $P = 1{,}0 \times 10^5$ Pa. À θ = 0 °C, $P = 2{,}0 \times 10^6$ Pa.

INFO

La constante des gaz parfaits peut s'écrire avec deux unités équivalentes, $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ ou $Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$.

CONVERSION D'UNITÉS

• **de pression :**
1 bar = 10^5 Pa = 10^3 hPa
• **de volume :**
1 m^3 = 10^3 dm^3 = 10^3 L
1 m^3 = 10^6 cm^3 = 10^6 mL
• **de température :**
$T(K) = \theta(°C) + 273$

b. Volume molaire et quantité de gaz

• À température et pression fixées, une même quantité de gaz parfait occupe le même volume quel que soit le gaz.

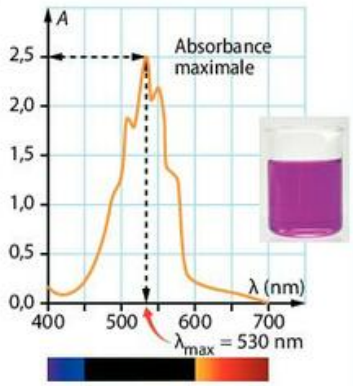
Le **volume molaire V_m** d'un gaz parfait est le volume occupé par une mole de ce gaz :

R en $Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ — T en K
V_m en $m^3 \cdot mol^{-1}$ → $V_m = \frac{R \times T}{P}$ ← P en Pa

• Le volume molaire V_m permet de relier la quantité de gaz n à son volume V :

n en mol → $n = \frac{V}{V_m}$ ← V en L
← V_m en $L \cdot mol^{-1}$

E Spectre d'absorption



> Le spectre présente un maximum d'absorption à $\lambda_{max} = 530$ nm caractéristique des solutions aqueuses de permanganate de potassium.

3 La spectroscopie

a. Spectroscopie UV-visible

• Les solutions colorées absorbent dans le domaine visible, entre 400 et 800 nm. Les solutions incolores peuvent absorber des radiations dans le domaine ultra-violet. Le graphe qui représente l'absorbance A en fonction de la longueur d'onde λ est appelé **spectre d'absorption** « UV-visible ».

• La valeur de la longueur d'onde correspondant à l'absorbance maximale du spectre d'absorption (doc. E), de même que l'allure du spectre, peuvent permettre l'identification d'une espèce chimique.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Spectroscopie

VIDÉO DE COURS

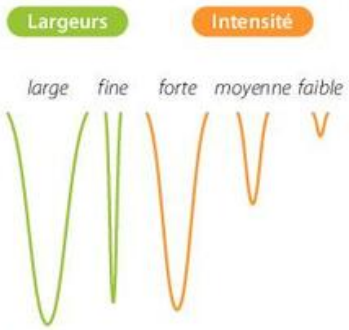
b. Spectroscopie infrarouge

- La spectroscopie infrarouge (IR) est une technique d'analyse des molécules utilisée en chimie organique.
- L'**identification** des bandes d'absorption du spectre IR nécessite l'utilisation de **tables de spectroscopie IR** qui indiquent l'intensité de la bande d'absorption d'une liaison chimique et sa largeur (doc. F et G).

F **Nombres d'ondes et allures des bandes d'absorption de quelques liaisons**

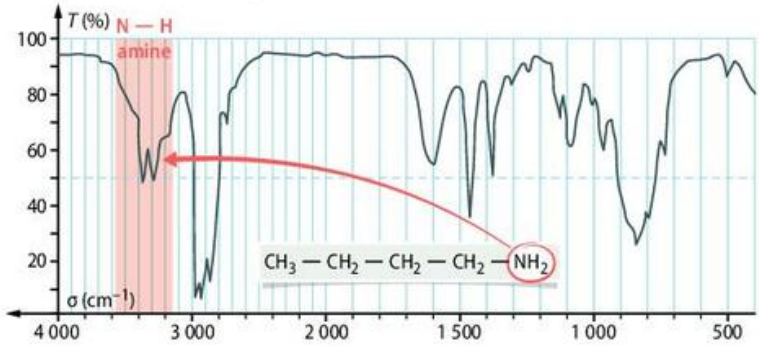
Liaisons	Nombres d'ondes (cm^{-1})
Alcool O – H	3 200 - 3 400 Bande forte et large
Cétone C = O	1 705 - 1 725 Bande forte et fine
Aldéhyde C – H C = O	2 750 - 2 900 2 bandes moyennes et fines 1 720 - 1 740 Bande forte et fine
Acide carboxylique O – H C = O	2 500 - 3 200 Bande forte et très large 1 680 - 1 710 Bande forte et fine
Ester C = O	1 700 - 1 740 Bande forte et fine
Alcène C = C	1 625 - 1 685 Bande moyenne
Amine N – H	3 100 - 3 500 Bande moyenne

G **Bandes d'absorption**

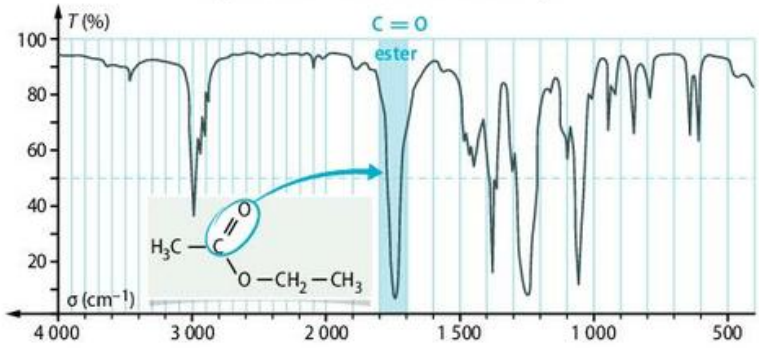


Exemples :

Spectre IR du butan-1-amine



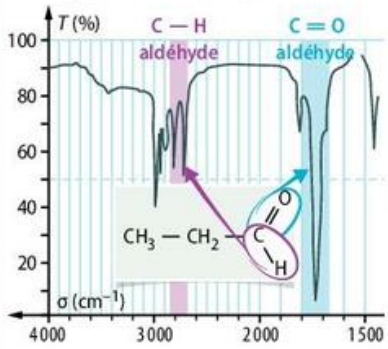
Spectre IR de l'éthanoate d'éthyle



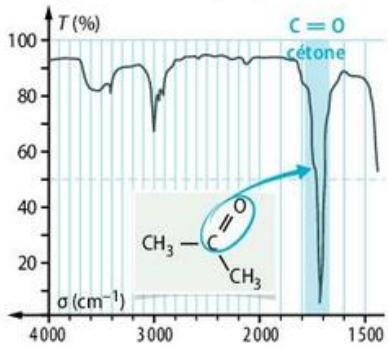
Un **spectre infrarouge** renseigne sur la nature des liaisons présentes dans une molécule et permet d'en identifier **les groupes caractéristiques**.

Exemples :

Spectre IR du propanal



Spectre IR de la propanone



Les spectres IR du propanal et de la propanone présentent une bande forte et fine centrée sur 1 700 cm^{-1} et caractéristique du groupe carbonyle C=O. L'analyse de cette seule bande ne permet pas de distinguer les deux molécules. En revanche, la présence de deux bandes moyennes et fines entre 2 750 et 2 900 cm^{-1} dans le spectre du propanal, caractéristique de la liaison $C–H_{aldéhyde}$ et leur absence dans le spectre de la propanone, permet de les différencier.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉOS DE COURS
- Dosages par étalonnage
- Spectroscopie IR
- Détermination d'une quantité de gaz

QCM
Version interactive

1 Les dosages par étalonnage

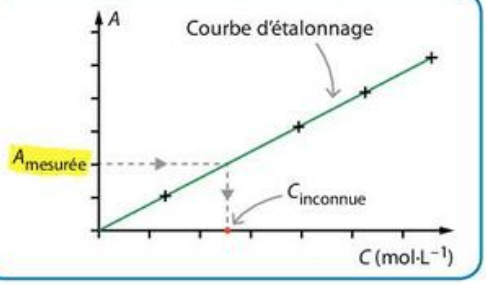
Dosage par étalonnage

Permet de déterminer **la concentration C** d'une espèce chimique dissoute en solution.

Dosage spectrophotométrique

Loi de Beer-Lambert

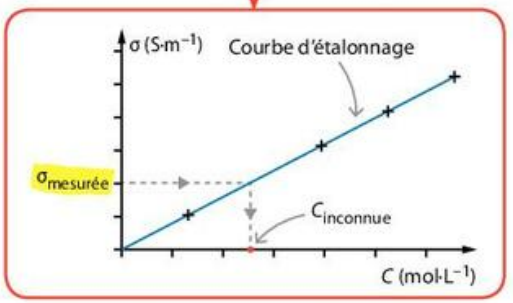
$A = k \times C$ (k en $L \cdot mol^{-1}$; C en $mol \cdot L^{-1}$)



Dosage conductimétrique

Loi de Kohlrausch

$\sigma = k \times C$ (k en $S \cdot L \cdot m^{-1} \cdot mol^{-1}$; σ en $S \cdot m^{-1}$; C en $mol \cdot L^{-1}$)



2 La détermination d'une quantité de gaz

Équation d'état du gaz parfait

$P \times V = n \times R \times T$

P en Pa ; V en m^3 ; n en mol ; T en K ; R en $Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$

$n = \dfrac{P \times V}{R \times T}$

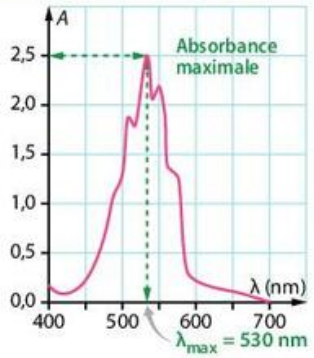
$n = \dfrac{V}{V_m}$

Volume molaire V_m du gaz parfait

$V_m = \dfrac{R \times T}{P}$ (V_m en $m^3 \cdot mol^{-1}$; T en K ; P en Pa ; R en $Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)

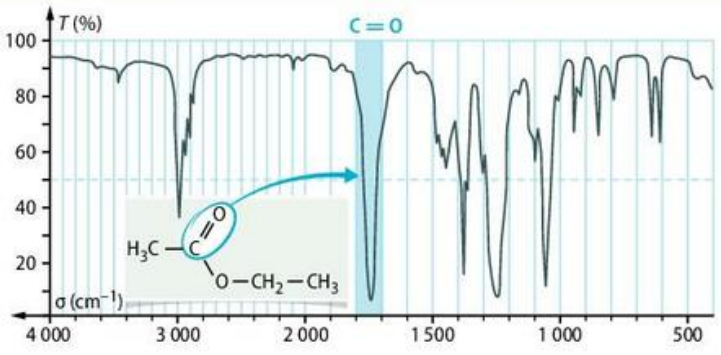
3 La spectroscopie

La spectroscopie UV-visible



Un spectre UV-visible peut permettre l'identification d'une espèce chimique.

La spectroscopie infrarouge



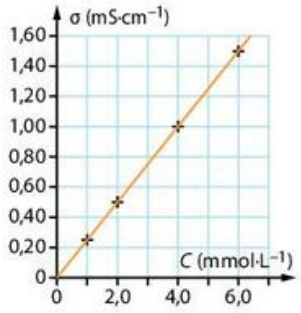
Un spectre infrarouge renseigne sur la nature des liaisons présentes dans une molécule et permet d'en identifier les groupes caractéristiques.

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 Les dosages par étalonnage

Si erreur, revoir § 1 p. 33

	A	B	C
1. Un dosage par étalonnage :	est réalisé en utilisant des solutions étalons.	met en jeu une réaction chimique.	permet de déterminer la concentration d'une espèce chimique.
2. La droite d'étalonnage d'un dosage spectrophotométrique :	peut être exploitée avec la loi de Beer-Lambert.	a un coefficient directeur sans unité.	est la droite représentative de $A = f(C)$.
3. L'absorbance d'une solution colorée diluée est :	indépendante de l'espèce chimique absorbante.	proportionnelle à la concentration en espèce absorbante.	est un nombre sans unité.
4. Le graphe ci-dessous a été obtenu lors d'un dosage par conductimétrie. Ce graphe : 	traduit une relation de proportionnalité entre σ et C.	traduit la loi de Beer-Lambert.	est une courbe d'étalonnage.
5. La conductivité d'une solution de concentration C en soluté est $\sigma = 1{,}0\ \text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$. En exploitant le graphe ci-dessus, on détermine que :	$C = 4{,}0\ \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.	l'équation de la courbe est $\sigma = 0{,}25 \times C$.	l'équation de la courbe est $\sigma = 4{,}0 \times C$.

2 La détermination d'une quantité de gaz

Si erreur, revoir § 2 p. 34

6. L'équation d'état du gaz parfait :	s'écrit $P \times V = n \times R \times T$	est valable quelle que soit la pression du gaz.	permet de calculer une quantité de matière de gaz.
7. Lors de l'utilisation de l'équation d'état du gaz parfait :	la température doit être exprimée en °C.	le volume doit être exprimé en L.	la pression doit être exprimée en Pa.
8. Pour calculer une quantité de matière n de gaz, on peut utiliser la relation :	$n = C \times V_{\text{solution}}$	$n = \dfrac{V}{V_m}$	$n = \dfrac{P \times V}{R \times T}$

3 La spectroscopie

Si erreur, revoir § 3 p. 34

9. Le spectre UV-visible d'une molécule peut permettre :	de déterminer les groupes caractéristiques qu'elle contient.	d'identifier sa chaine carbonée.	de l'identifier.
10. Les bandes d'absorption du spectre IR d'une molécule de nombres d'onde supérieurs à $1\,500\ \text{cm}^{-1}$ peuvent permettre :	de déterminer les groupes caractéristiques qu'elle contient.	d'identifier sa chaine carbonée.	de l'identifier.

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Déterminer la concentration C d'une espèce chimique en solution en exploitant la loi de Beer-Lambert ou la loi de Kohlrausch.	**Réflexe 1** Ex. 4 p. 40 **Tracer**, si nécessaire, la courbe d'étalonnage en portant l'absorbance A ou la conductivité σ en ordonnée et la concentration C en abscisse. **Repérer**, par lecture graphique, l'absorbance A ou la conductivité σ de la solution à doser. **Déterminer** la valeur de la concentration C sur l'axe des abscisses.
Déterminer une quantité de matière gazeuse à partir de l'équation d'état du gaz parfait.	**Réflexe 2** Ex. 8 p. 40 **Écrire** l'équation d'état du gaz parfait : $P \times V = n \times R \times T$. **Isoler** la quantité de matière n : $n = \frac{P \times V}{R \times T}$. **Calculer** la valeur de n, en convertissant, si nécessaire, la pression P en Pa, le volume V en m^3 et la température T en K.
Exploiter un spectre infrarouge pour identifier des groupes caractéristiques présents dans une molécule.	**Réflexe 3** Ex. 10 p. 41 **Chercher**, dans la zone utile du spectre IR, les bandes d'absorption des liaisons dont les nombres d'ondes sont indiqués dans la table de données. **Regrouper** les informations pour **identifier** le groupe caractéristique.

1 Exercice résolu

Chewing-gum à la fraise

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.



Certains chewing-gums contiennent le colorant naturel E120 acide carminique. On introduit un chewing-gum dans de l'eau jusqu'à dissolution complète du colorant E120. On ajuste le volume de cette solution, notée S, à $V_S = 50{,}0$ mL. Les absorbances A de solutions de différentes concentrations C en colorant E120 sont reportées dans le tableau ci-dessous :

C (mol·L^{-1})	$6{,}7 \times 10^{-6}$	$1{,}3 \times 10^{-5}$	$2{,}0 \times 10^{-5}$	$2{,}6 \times 10^{-5}$	$3{,}4 \times 10^{-5}$	$6{,}7 \times 10^{-5}$
A	0,06	0,12	0,17	0,25	0,30	0,59

Dans les mêmes conditions, l'absorbance de la solution S est $A_S = 0{,}21$.

1. Déterminer la concentration C_S en colorant E120 de la solution S.
2. Calculer le nombre de chewing-gums qu'un élève de 60 kg devrait consommer pour atteindre la DJA du E120.

Données

- DJA(E120) = 2,5 mg/kg de masse corporelle/jour.
- M(E120) = 492 g·mol^{-1}.

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 1.**

Tracé de la courbe d'étalonnage

1. La courbe d'étalonnage $A = f(C)$ est tracée en passant au plus près des points expérimentaux.

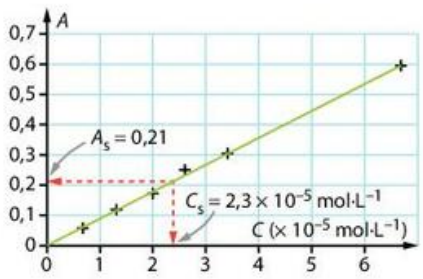
Repérage de l'absorbance A_S mesurée

L'absorbance $A_S = 0{,}21$ est reportée sur l'axe des ordonnées.

Détermination de la valeur de la concentration C_S

La concentration C_S est lue sur l'axe des abscisses :

$$C_S = 2{,}3 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$



2. La masse m_{E120} de colorant E120 dans un chewing-gum et donc dans la solution S est :

$m_{E120} = n_S \times M(\text{E120}) = C_S \times V_S \times M(\text{E120})$

$m_{E120} = 2{,}3 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 50{,}0 \times 10^{-3} \text{ L} \times 492 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 5{,}7 \times 10^{-4} \text{ g} \approx 0{,}57 \text{ mg}$.

La masse de E120 correspondant à la DJA de l'élève est : $m_{DJA} = 2{,}5 \times 60 = 150$ mg.

Le nombre de chewing-gum correspondant à la DJA est $N = \frac{150}{0{,}57}$ donc $N \approx 265$.

1 chewing-gum	0,57 mg
N chewing-gums	150 mg

2 Exercice résolu

Un gaz qui fait des bulles

Effectuer un calcul ; confronter des résultats à des hypothèses.

Une machine à gazéifier permet d'obtenir de l'eau pétillante à partir de l'eau du robinet. La recharge en gaz CO_2 (g) de la machine donne les informations suivantes :

Pression : $P = 250$ bar Volume de la recharge : 600 mL 425 g de CO_2



1. Calculer la quantité de matière de dioxyde de carbone contenue dans la recharge pleine.

2. En supposant que le dioxyde de carbone contenu dans la recharge est un gaz parfait, calculer la quantité de gaz que contiendrait la recharge pleine à la température ambiante $\theta = 20$ °C.

3. Formuler une hypothèse pour expliquer la différence entre les deux valeurs obtenues.

Données

- 1 bar = 10^5 Pa.
- $T(K) = \theta(°C) + 273$.
- $M(CO_2) = 44{,}0$ g·mol^{-1}.
- Constante des gaz parfaits : R = 8,314 Pa·m^3·mol^{-1}·K^{-1}.

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 2.**

Écriture de l'équation d'état du gaz parfait

Isolement de la quantité de matière

Conversion des grandeurs et calcul de la quantité de gaz

1. La quantité de matière de dioxyde de carbone dans la recharge pleine est :

$$n(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)} \text{ soit } \boldsymbol{n(CO_2)} = \frac{425 \text{ g}}{44{,}0 \text{ g·mol}^{-1}} = \boldsymbol{9{,}66 \text{ mol}}.$$

2. On applique l'équation d'état du gaz parfait : $P \times V = n \times R \times T$.

La quantité de matière de CO_2 est alors : $n'(CO_2) = \dfrac{P \times V}{R \times T}$.

On convertit la pression P en Pa, la température θ en K et le volume V en m^3 :

$P = 250 \text{ bar} = 250 \times 10^5$ Pa et $T = 20 + 273 = 293$ K.

$V = 600 \text{ mL} = 600 \times 10^{-3} \text{ L} = 600 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 600 \times 10^{-6} \text{ m}^3$.

$$n'(CO_2) = \frac{250 \times 105 \text{ Pa} \times 600 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{8{,}314 \text{ Pa·m}^3\text{·mol}^{-1}\text{·K}^{-1} \times 293 \text{ K}} \text{ soit } \boldsymbol{n'(CO_2) = 6{,}16 \text{ mol}}.$$

3. Les deux valeurs sont nettement différentes. En effet, la pression du gaz dans la recharge pleine est très élevée (250 bar) et donc le modèle du gaz parfait n'est pas valide. D'ailleurs, à cette pression, le dioxyde de carbone est liquide.

3 Exercice résolu

L'acide lactique

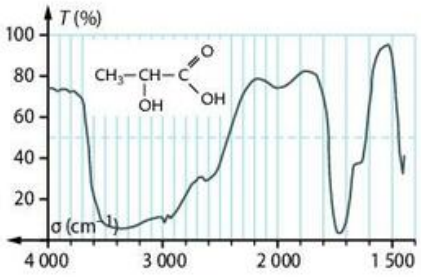
Exploiter des informations.

Un spectre infrarouge et la formule semi-développée de la molécule d'acide lactique sont donnés ci-contre.

- Ce spectre infrarouge peut-il être celui de l'acide lactique ?

Donnée

Bandes d'absorption infrarouges : Rabat III.



Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 3.**

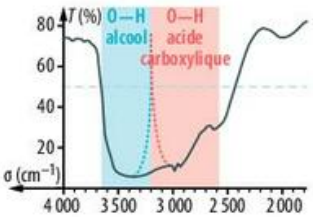
Recherche des bandes d'absorption dans le spectre infrarouge et identification des liaisons

Identification des groupes caractéristiques

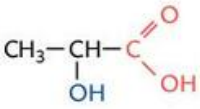
Sur le spectre infrarouge, on repère :

– une bande forte et fine vers 1 750 cm^{-1} caractéristique de la liaison C=O ;

– une bande forte et très large entre 2 600 et 3 600 cm^{-1} qui englobe la bande d'absorption de la **liaison O–H d'un alcool** entre 3 200 et 3 600 cm^{-1} et la bande d'absorption de la **liaison O–H d'un acide carboxylique** entre 2 600 et 3 200 cm^{-1}.



La molécule doit posséder un **groupe hydroxyle** et un **groupe carboxyle**. Le spectre infrarouge peut donc être celui de l'acide lactique.



Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Exploiter la loi de Beer-Lambert ou la loi de Kohlrausch pour déterminer une concentration.	4	16	23
Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour déterminer une quantité de matière.	8	19	24
Exploiter, à partir de données tabulées, un spectre d'absorption infrarouge ou UV-visible pour identifier un groupe caractéristique ou une espèce chimique.	10 12	16	23

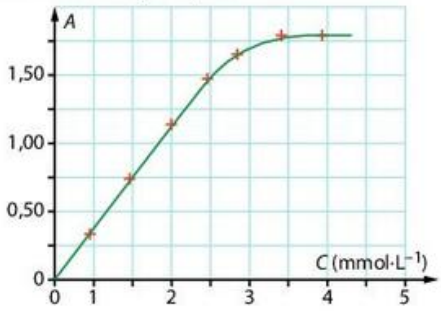
1 Les dosages par étalonnage

VIDÉO DE COURS **Dosages par étalonnage – QR Code p. 36**

4 Utiliser la loi de Beer-Lambert CORRIGÉ

Exploiter un graphique.

La courbe ci-dessous représente l'absorbance A en fonction de la concentration C en diiode d'une gamme de solutions étalons. Dans les mêmes conditions de mesure que celles de la gamme étalon, une solution S de diiode a une absorbance $A_S = 1{,}25$.



1. Énoncer la loi de Beer-Lambert.
2. Dans quel domaine de concentration le graphe traduit-il la loi de Beer-Lambert ? Justifier.
3. Déterminer la concentration C_S en diiode de la solution S. Utiliser le réflexe 1

5 Exploiter la loi de Kohlrausch

Tracer un graphique ; effectuer un calcul.

Les conductivités σ de solutions de différentes concentrations C en chlorure de calcium sont :

C (mmol·L⁻¹)	1,0	2,5	5,0	7,5	10,0
σ (mS·cm⁻¹)	0,27	0,68	1,33	2,04	2,70

Une solution S_0 de chlorure de calcium est diluée 100 fois. La conductivité de la solution diluée S est :

$$\sigma_S = 2{,}25 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}.$$

1. Tracer la courbe d'étalonnage $\sigma = f(C)$.
2. La courbe traduit-elle la loi de Kohlrausch ? Justifier.
3. Déterminer les concentrations C_S et C_0 en chlorure de calcium des solutions S et S_0.
4. Justifier la dilution de la solution S_0.

6 Écrire l'expression d'une conductivité CORRIGÉ

Effectuer une analyse dimensionnelle.

1. Écrire l'expression littérale de la conductivité σ d'une solution aqueuse de nitrate d'argent $Ag^+(aq) + NO_3^-(aq)$ en fonction des concentrations $[Ag^+]$ et $[NO_3^-]$ et des conductivités molaires ioniques λ_{Ag^+} et $\lambda_{NO_3^-}$.
2. Par analyse dimensionnelle, déterminer l'unité dans laquelle doivent être exprimées les concentrations $[Ag^+]$ et $[NO_3^-]$ sachant que σ s'exprime en $S \cdot m^{-1}$ et que λ_{Ag^+} et $\lambda_{NO_3^-}$ s'expriment en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

7 Exploiter la valeur d'une conductivité

Effectuer un calcul.

Une solution aqueuse de chlorure de potassium $K^+(aq) + C\ell^-(aq)$ a une conductivité σ égale à $1{,}04 \times 10^{-1}$ S·m⁻¹ à 25 °C.

1. Exprimer la conductivité σ de cette solution sachant que $[K^+] = [C\ell^-] = C$.
2. Calculer la concentration des ions :
   a. en $mol \cdot m^{-3}$; b. en $mol \cdot L^{-1}$.

Données

$\lambda_{K^+} = 7{,}35 \times 10^{-3}\ S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$; $\lambda_{C\ell^-} = 7{,}63 \times 10^{-3}\ S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

2 La détermination d'une quantité de gaz

VIDÉO DE COURS **Détermination d'une quantité de gaz – QR Code p. 36**

Donnée

Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$.

8 Utiliser l'équation d'état du gaz parfait CORRIGÉ

Effectuer un calcul.

Le gonflage de certains airbags de voiture est assuré par du diazote gazeux $N_2(g)$. Lors d'un gonflage, une quantité n de diazote, considéré comme un gaz parfait, occupe un volume $V = 90$ L à la pression $P = 1{,}3 \times 10^5$ Pa et à la température $\theta = 30$°C.

1. Écrire l'équation d'état du gaz parfait et indiquer les unités de chacune des grandeurs.
2. Calculer la quantité n de diazote. Utiliser le réflexe 2

9 Calculer la valeur d'une pression

| Effectuer un calcul.



L'atmosphère de la planète Mars est constituée essentiellement de dioxyde de carbone $CO_2(g)$ et a une température moyenne égale à −63°C. Dans ces conditions, un volume de 1,0 m^3 d'atmosphère martienne contient 0,36 mol de dioxyde de carbone.

1. Calculer la pression P de l'atmosphère martienne.
2. À la même température, un volume de 1,0 m^3 d'atmosphère terrestre contient 58 mol de gaz. Comparer la pression atmosphérique martienne à la pression atmosphérique terrestre.

3 La spectroscopie

VIDÉO DE COURS Spectroscopie IR – QR Code p. 36

Donnée

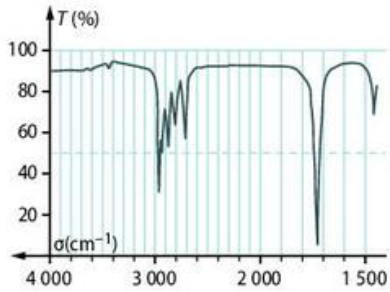
Bandes d'absorption infrarouges : Rabat III.

10 Associer une espèce à un spectre infrarouge

CORRIGÉ

| Exploiter des informations ; rédiger une argumentation.

Le spectre infrarouge d'une espèce chimique E est donné ci-dessous.



• Parmi les trois propositions ci-dessous, identifier, en justifiant, la formule semi-développée de E :

a $CH_3-CH_2-CH_2-OH$

b $CH_3-CH_2-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3$

c $CH_3-CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$

Utiliser le réflexe 3

11 Identifier des bandes d'absorption

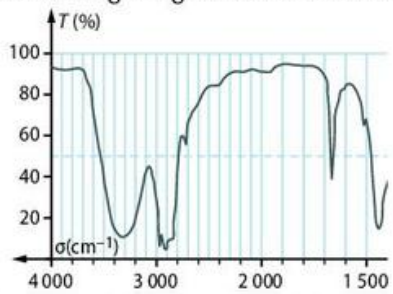
| Exploiter des informations.

L'un des composants de l'huile essentielle d'Ylang-Ylang est le géraniol dont la formule semi-développée est :



$$CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=CH-CH_2-CH_2-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=CH-CH_2-OH$$

Le spectre infrarouge du géraniol est donné ci-dessous.



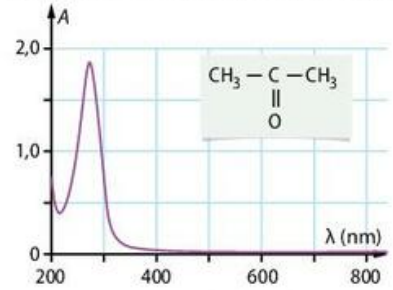
• Dans le spectre infrarouge, identifier deux bandes associées aux deux groupes caractéristiques présents dans la formule semi-développée du géraniol.

12 Exploiter un spectre

CORRIGÉ

| Mobiliser ses connaissances.

On considère le spectre ci-dessous associé à la propanone:

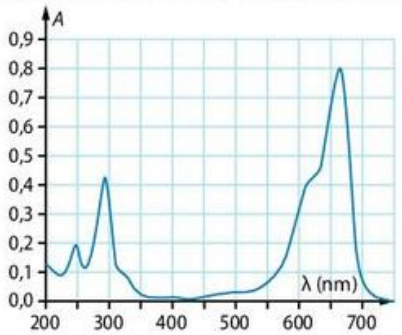


1. De quel type de spectre s'agit-il ?
2. Dans quel domaine de longueurs d'onde, la propanone absorbe-t-elle ?
3. La propanone est-elle une espèce colorée ? Justifier.

13 Identifier une espèce à partir d'un spectre

| Rédiger une argumentation.

Le spectre d'absorption UV-visible d'une solution contenant un colorant à identifier est donné ci-dessous :



En argumentant, répondre aux questions suivantes :

1. Justifier le nom de spectre « UV-visible » donné à ce spectre.
2. Cette solution est-elle colorée ?
3. Identifier le colorant parmi ceux qui sont cités dans les données.

Données

Longueurs d'onde d'absorbance maximale de différents colorants : λ_{max}(E131) = 640 nm ; λ_{max}(E132) = 608 nm ; λ_{max}(E133) = 630 nm ; λ_{max}(bleu de méthylène) = 662 nm.

14 À chacun son rythme

Contrôle qualité d'un produit

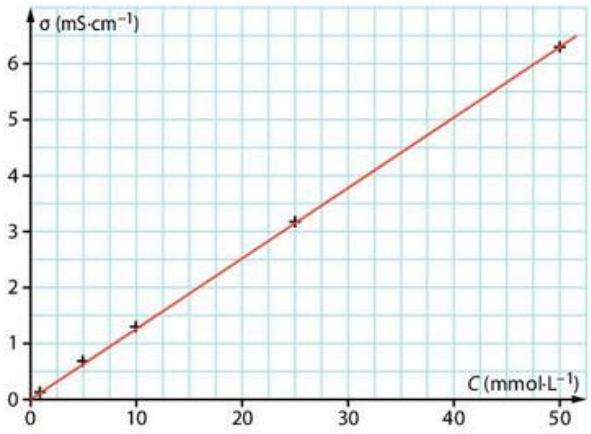
Exploiter un graphique ; comparer à une valeur de référence.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.



Un produit utilisé pour le nettoyage des lentilles de contact contient, comme seule espèce ionique, du chlorure de sodium. Le fabricant indique : « chlorure de sodium : 0,85 g pour 100 mL de solution ».

La conductivité σ de solutions étalons de concentrations en quantité de matière C en chlorure de sodium est mesurée. Le graphe $\sigma = f(C)$ est donné ci-dessous :



La solution commerciale S_0 est diluée 10 fois. La conductivité de la solution diluée S est $\sigma_S = 1{,}8$ mS · cm^{-1}.

Énoncé compact

La concentration en masse t_0 en chlorure de sodium de la solution S_0 satisfait-elle au critère de qualité ?

Énoncé détaillé

1. Déterminer graphiquement la concentration C_S en chlorure de sodium de la solution diluée S.
2. Calculer la concentration C_0 de la solution S_0.
3. En déduire sa concentration en masse t_0.
4. À partir des indications de la notice, calculer la concentration en masse t_{notice} en chlorure de sodium de la solution commerciale.
5. Calculer l'écart relatif $\dfrac{|t_{notice} - t_0|}{t_{notice}}$.
6. La concentration en masse t_0 en chlorure de sodium de la solution S_0 satisfait-elle au critère de qualité ?

Données

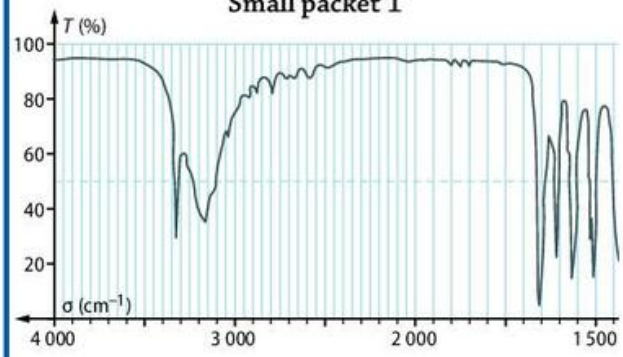
- $M(NaCl) = 58{,}5$ g · mol^{-1}.
- Critère de qualité : le contrôle qualité est considéré comme satisfaisant si l'écart relatif est inférieur à 5 %.

15 Olympic Drug

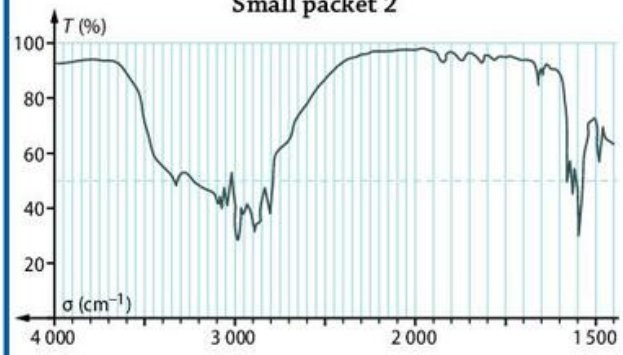
Pratiquer une langue vivante étrangère.

In the doctor's office of a sports team, investigators found two small packets containing unlabelled[1] pills. They want to identify the active ingredients contained in these pills. An analysis is performed.

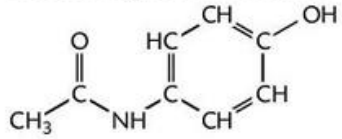
Small packet 1



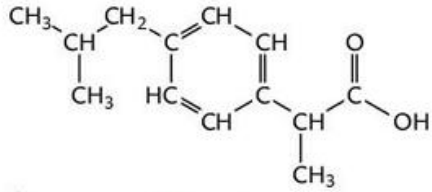
Small packet 2



List of suspected molecules



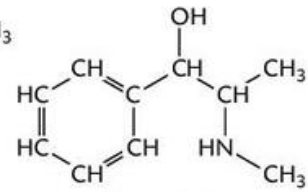
› Paracetamol



› Ibuprofen



› Aspirin



› Ephedrine

Vocabulary: 1. *unlabelled*: non étiqueté.

- You have been hired to determine by IR spectroscopy what is in each pill.

Data

Sheet of IR values: rabat III

16 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

La tyrosine

Exploiter un graphique ; comparer à une valeur de référence.

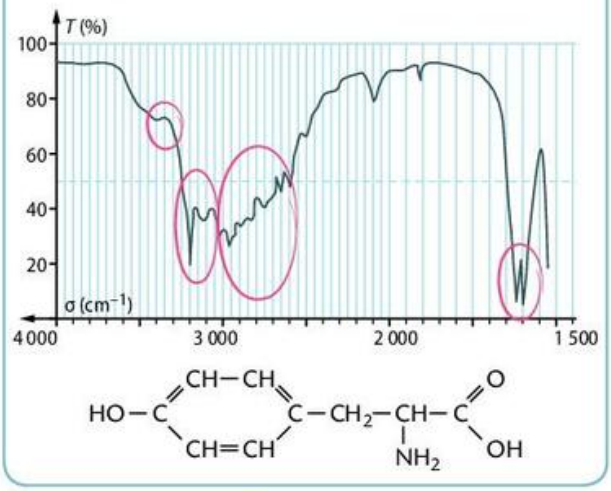
D'après baccalauréat.



La L-tyrosine $C_9H_{11}NO_3$ peut être consommée en complément alimentaire sous forme de gélules pour lutter contre le stress et l'anxiété.

A **Spectre infrarouge de la L-tyrosine**

Le spectre infrarouge et la formule semi-développée de la L-tyrosine sont donnés ci-dessous :



PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

☑ Le tableau ci-après indique l'absorbance A, à $\lambda = 280$ nm, de cinq solutions étalons de concentrations C en L-tyrosine.

C (mmol·L^{-1})	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
A	0,40	0,78	1,18	1,48	1,84

☑ DISSOUDRE totalement une gélule de L-tyrosine dans un volume $V_S = 2{,}00$ L d'eau. Soit S la solution obtenue.
☑ MESURER, dans les mêmes conditions, l'absorbance de la solution S est $A_S = 1{,}0$.

1. En utilisant les bandes entourées en rouge sur le spectre infrarouge du doc. A montrer qu'il peut être celui de la L-tyrosine.

2. Une solution aqueuse de L-tyrosine est-elle colorée ? Justifier.

3. La masse de L-tyrosine contenue dans la solution S est-elle cohérente avec l'indication de l'étiquette ?

Données

- M(L-tyrosine) = 181,0 g·mol^{-1}.
- Bandes d'absorptions infrarouges : Rabat III et tableau suivant.

Liaison	σ (cm^{-1})	Intensité
N–H (R–NH$_2$)	3 100 – 3 500	bande moyenne
N–H (R–NH$_2$)	1 610 – 1 630	2 bandes fortes et fines

- Le spectre UV-visible d'une solution aqueuse de L-tyrosine montre qu'elle n'absorbe que dans les UV.

Critères de réussite

Justification des réponses

J'ai utilisé le vocabulaire spécifique pour justifier les réponses aux questions 1 et 2. ☐ ☐

Rédaction de la réponse

J'ai annoncé les étapes de la méthode par des phrases à la question 3. ☐ ☐

Réalisation du graphique

J'ai nommé les deux axes du graphique et je les ai gradués en indiquant les unités. ☐ ☐

Conduite du calcul

J'ai écrit l'expression littérale avant d'effectuer l'application numérique. ☐ ☐

J'ai utilisé la valeur de référence pour conclure. ☐ ☐

17 Dosage de la vanilline

Extraire et exploiter des informations.

D'après baccalauréat

Sur l'étiquette d'une boîte de sucre vanillé, il est précisé : « 4 % en masse de gousse de vanille ». On souhaite vérifier cette information.



A **Courbe d'étalonnage**

Une gamme d'étalonnage de solutions de concentrations connues en vanilline a été réalisée, les absorbances de ces solutions, mesurées à 348 nm, sont consignées dans le tableau ci-dessous :

Solutions filles	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
Concentration (µmol·L^{-1})	6,6	13	20	26	33
Absorbance	0,175	0,342	0,510	0,670	0,851

Dans une fiole jaugée de 500,0 mL, on introduit 1,00 g de sucre vanillé puis la fiole est complétée jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. L'absorbance de cette solution est égale à 0,241.

1. Montrer, à l'aide des résultats expérimentaux, que la masse de vanilline présente dans 1,0 g de sucre vanillé est d'environ 0,7 mg.

2. Sachant qu'un gramme de gousse de vanille peut contenir de 5 à 25 mg de vanilline, vérifier si la mention sur l'étiquette est acceptable.

Donnée

M(vanilline) = 152,0 g·mol^{-1}.

18 Les phtalates dans les emballages alimentaires

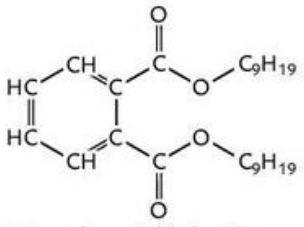
Exploiter un graphe ; rédiger une explication.

A Les phtalates

Les phtalates sont fréquemment ajoutés aux matières plastiques pour les rendre flexibles et souples.

Soupçonnés d'être des perturbateurs endocriniens, leurs utilisations sont réglementées. Ainsi, le diisononyle phtalate (DINP) ne doit pas représenter plus de 0,1 % en masse de matière plastique pour les jouets pour enfants pouvant être portés à la bouche.





> Formule semi-développée du diisononyle phtalate (DINP)

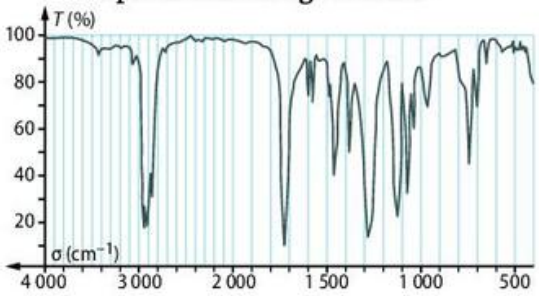
Le cycle à six atomes de carbone et à trois doubles liaisons C=C est appelé cycle aromatique.

Le DINP présente deux groupes ester : $-C(=O)-O-C$

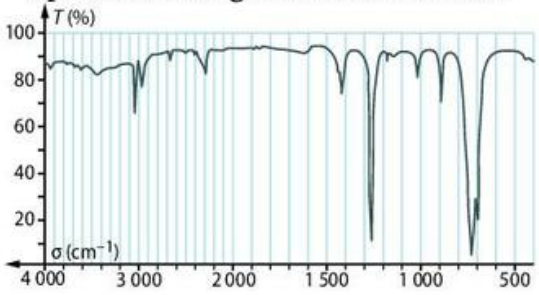
La teneur en DINP d'un jouet pour enfant est déterminée, après dissolution d'un échantillon du plastique dans du dichlorométhane, par mesure de l'absorbance à 1 730 cm^{-1}. À ce nombre d'onde, l'aire de la surface délimitée par la bande d'absorption est proportionnelle à la concentration en DINP.

B Spectres infrarouges

Spectre infrarouge du DINP



Spectre infrarouge du dichlorométhane



1. Interpréter les bandes d'absorption situées vers 1 500 et 1 700 cm^{-1} sur le spectre infrarouge du DINP.
2. Justifier le choix du dichlorométhane comme solvant pour une analyse IR du DINP.
3. Proposer un protocole qui pourrait être utilisé pour déterminer la teneur en DINP d'un jouet pour bébé.
4. Une mesure réalisée sur un échantillon de 10,0 g de plastique d'un hochet pour bébé a montré que cet échantillon contenait 36 mg de DINP. Ce jouet peut-il être mis sur le marché ? Justifier.

Données

- Bandes d'absorption infrarouges : Rabat III.

Liaison	σ (cm^{-1})	Intensité
C=C (aromatique)	1 450 – 1 600	Moyenne

19 CORRIGÉ Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Briquet à gaz

Construire les étapes d'une résolution de problème.



Les briquets à gaz contiennent du butane liquide $C_4H_{10}(\ell)$. Le réservoir d'un briquet est rempli aux trois-quarts de butane liquide. Dans les conditions habituelles de température et de pression (P = 1 013 hPa et θ = 20 °C), chaque utilisation du briquet consomme 20 mL de butane gazeux.

- Déterminer le nombre maximal d'utilisations du briquet.

Données

- Le butane gazeux est assimilé à un gaz parfait.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$.
- $M(C_4H_{10}) = 58{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.
- Masse volumique du butane liquide : $\rho = 580\ kg \cdot m^{-3}$.
- Les dimensions intérieures du réservoir d'un briquet à gaz parallélépipédique sont 5,0 cm, 2,0 cm et 1,0 cm.

20 L'eau oxygénée « 130 volumes »

Utiliser un modèle ; effectuer des calculs.



L'eau oxygénée « 130 volumes » est une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène H_2O_2 aux propriétés oxydantes. La décomposition du peroxyde d'hydrogène a pour équation :

$$2\ H_2O_2(aq) \rightarrow 2\ H_2O(\ell) + O_2(g)$$

Sous une pression de 1,00 bar et à une température de 0 °C, un volume de 1,00 L d'eau oxygénée « 130 volumes » libère 130 L de dioxygène.

1. Calculer la quantité de matière de dioxygène produite par la décomposition d'un litre d'eau oxygénée à 130 volumes.
2. Déterminer la concentration C_0 en peroxyde d'hydrogène de cette solution.
3. Vérifier par un calcul, l'indication du flacon « peroxyde d'hydrogène en solution 35,0 % ».

Données

- $M(H_2O_2) = 34{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.
- 1 bar = 10^5 Pa.
- Densité à 0 °C de l'eau oxygénée à 130 volumes : 1,13.

21 Python

Hypocalcémie

Utiliser un langage de programmation ; tracer et exploiter un graphique.



Des analyses de sang permettent de diagnostiquer une hypocalcémie, c'est-à-dire une carence de l'organisme en calcium, qui peut être traitée par injection intraveineuse d'une solution de chlorure de calcium $Ca^{2+}(aq) + 2\,C\ell^{-}(aq)$.

On prépare cinq solutions étalons, de concentrations C en chlorure de calcium apporté. Les conductances G de ces solutions étalons sont données ci-dessous :

Solutions	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4
C (mmol·L^{-1})	10,0	7,5	5,0	2,5	1,0
G (mS)	5,88	4,41	2,94	1,47	0,59

Une ampoule de solution injectable de chlorure de calcium, de volume 10,0 mL, est diluée 100 fois. Dans les mêmes conditions de mesure que celles des solutions étalons, la conductance de la solution diluée est $G' = 2{,}71$ mS.

1. Copier le programme Python ci-dessous et compléter les cadres blancs des lignes 4, 5 et 7 à 9 afin de tracer le graphe $G = f(C)$. Exécuter le programme.

```
1  import matplotlib.pyplot as plt
2  import numpy as np
3  # Données expérimentales
4  x =
5  y =
6  # Affichage
7  plt.title
8  plt.xlabel
9  plt.ylabel
10 plt.plot(x,y,"bo",label="points\
   expérimentaux")
11 plt.axis(xmin=0,xmax=10,ymin=0,ymax=6)
12 plt.grid(linestyle="-.")
13 plt.xticks(range(11))
14 # Modélisation polynôme ordre 1
15 modele=np.polyfit(x,y,1)
```

2. Analyser la ligne 11 du programme.

3. La fonction « modele » de la ligne 15 du programme renvoie, dans l'ordre, la pente « a » et l'ordonnée à l'origine « b » d'une régression polynomiale d'ordre 1, de la forme $y = ax + b$, pour les points expérimentaux.

a. Identifier les valeurs de a et de b.

b. En déduire l'équation de la modélisation du graphe $G = f(C)$.

4. a. Calculer la concentration C' en chlorure de calcium apporté de la solution diluée en utilisant l'équation du graphe.

b. En déduire la concentration C_{amp} de la solution injectable.

5. Pourquoi a-t-il été nécessaire de diluer la solution injectable ?

22 Oxydation des alcools

Exploiter des informations ; rédiger une explication.

A Alcool et classe d'un alcool

Un alcool est un composé oxygéné qui contient un groupe hydroxyle –OH porté par un atome de carbone C tétragonal. Il existe trois classes d'alcool :

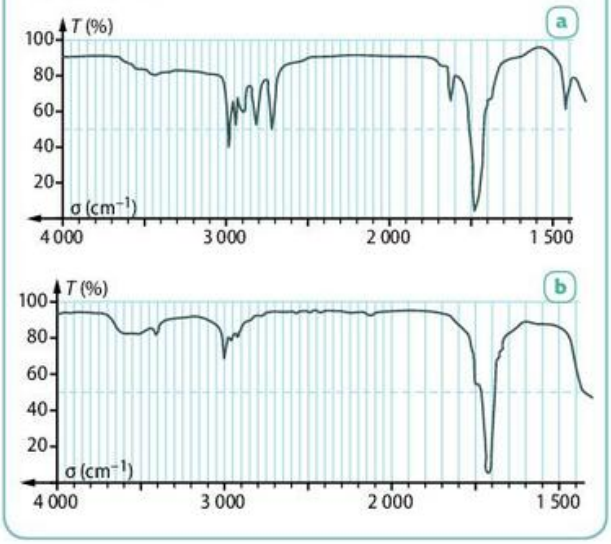
Classe de l'alcool	Atome de carbone fonctionnel lié à ...
Primaire	0 ou 1 atome de carbone
Secondaire	2 atomes de carbone
Tertiaire	3 atomes de carbone

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

L'oxydation ménagée des alcools conserve la chaine carbonée. Le groupe hydroxyle est modifié, le produit d'oxydation dépend de la classe de l'alcool. Avec certains oxydants, l'oxydation d'un alcool peut conduire à un aldéhyde ou à une cétone.

B Spectres infrarouges

Spectres IR de l'aldéhyde et de la cétone issues de l'oxydation ménagée d'un alcool à trois atomes de carbone.



1. Déterminer les formules semi-développées de tous les alcools à trois atomes de carbone.

2. Associer sa classe à chacun des alcools.

3. Déterminer la formule semi-développée et la famille chimique des produits oxygénés obtenus lors de l'oxydation ménagée de l'alcool primaire et de l'alcool secondaire.

4. Associer chacun des spectres du doc. B à l'aldéhyde ou à la cétone en justifiant.

5. Avec d'autres oxydants, l'aldéhyde peut être oxydé en acide carboxylique, quelle partie du spectre sera modifiée ? Justifier.

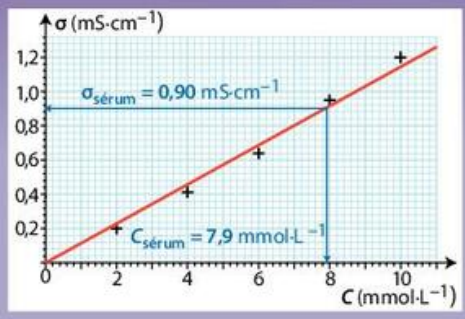
Donnée

Bandes d'absorption infrarouges : Rabat III.

Vers le BAC

Bien exploiter des points expérimentaux

- Quand il est demandé de tracer σ en fonction de C, l'abscisse est C et l'ordonnée est σ et non l'inverse.
- Les points expérimentaux ne doivent pas être reliés deux à deux.
- Une droite d'étalonnage est la droite moyenne qui passe au plus près de tous les points expérimentaux ; elle passe par l'origine du graphique si la relation est linéaire.



Bien vérifier l'homogénéité des unités

Pour tracer une courbe d'étalonnage ou pour montrer que deux grandeurs sont proportionnelles, **on peut conserver, pour chacune de ces grandeurs, l'unité dans laquelle elle a été mesurée.**
Par exemple, pour vérifier la loi de Kohlrausch :

$$\sigma = k \times C,$$

on peut conserver σ en $mS \cdot cm^{-1}$ et C en $mmol \cdot L^{-1}$.

Bien distinguer les deux grandeurs représentées par la lettre σ

Ne pas confondre la *conductivité* d'une solution et le *nombre d'ondes* qui s'écrivent avec la **même lettre grecque σ**.

Bien repérer les bandes d'absorption exploitables en infrarouge

Dans un spectre IR, pour identifier un groupe caractéristique, il n'est pas nécessaire de s'intéresser :
– aux bandes fines d'absorption situées autour de 3 000 cm^{-1} correspondant aux liaisons C–H, car elles sont présentes dans la plupart des composés organiques ;
– aux nombreuses bandes d'absorption situées avant 1 500 cm^{-1}.

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 38

23 CORRIGÉ — 35 min

Sirop de menthe glaciale

Extraire des informations ; tracer et exploiter un graphique ; comparer à une valeur de référence.

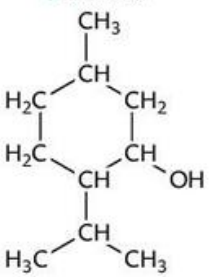
Sur l'étiquette d'une bouteille de sirop de menthe glaciale, on peut lire les indications suivantes :

> Sucre, sirop de glucose – fructose, eau, arôme de menthe, colorant E133.

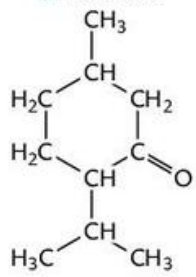
L'arôme naturel de menthe contient, entre autres, du menthol et de la menthone.

A Formules semi-développées

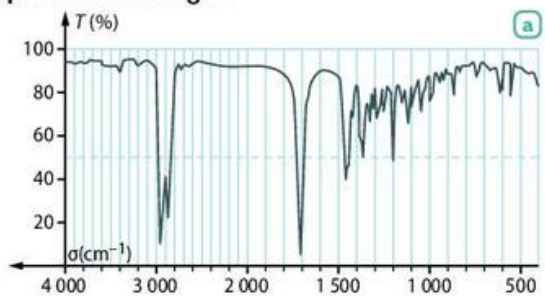
Menthol

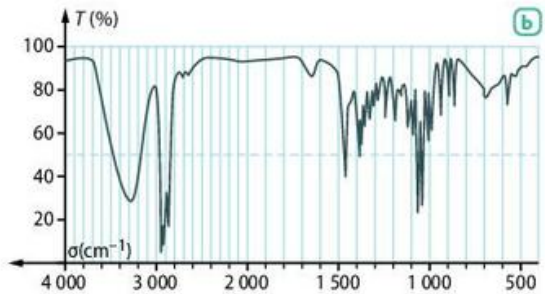


Menthone



B Spectres infrarouges





C Dosage du colorant d'un sirop de menthe

Quatre solutions étalons de concentrations C en colorant E133 ont été préparées. Les mesures de leur absorbance A sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Dans les mêmes conditions, l'absorbance d'un sirop de menthe glaciale dilué 5 fois est égale à 0,29.

Solutions	S_1	S_2	S_3	S_4
C (mg·L^{-1})	24,0	12,0	6,0	3,0
A	0,84	0,41	0,21	0,10

1. Parmi les spectres (doc. **B**), identifier, en justifiant, celui de la menthone et celui du menthol. Utiliser le réflexe 3

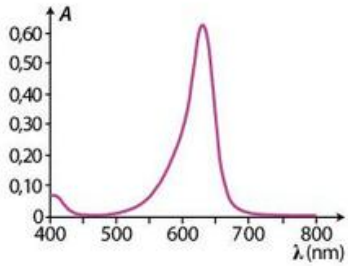
2. Justifier la couleur du sirop de menthe glaciale à partir de l'étude de son spectre d'absorption.

3. Déterminer la concentration en colorant E133 en exploitant la loi de Beer-Lambert. Utiliser le réflexe 1

4. Un adolescent qui consommerait en un jour 1,0 L de ce sirop de menthe glaciale, dépasserait-il la DJA du colorant E133 ?

Données

- Bandes d'absorption infrarouge et cercle chromatique : Rabat III.
- Spectre d'absorption du colorant E 133 ci-contre.
- La dose journalière admissible (DJA) du colorant E133 est la masse de ce colorant qu'une personne peut consommer quotidiennement sans risque pour sa santé. La DJA du colorant E133 est de 6,0 mg par kilogramme de masse corporelle.



24 CORRIGÉ 15 min Sol truffier

Utiliser un modèle ; rédiger une argumentation.

Le pourcentage massique en carbonate de calcium $CaCO_3(s)$ d'un sol truffier doit être compris entre 20 % et 60 %. Pour déterminer le pourcentage massique en carbonate de calcium d'un sol, on utilise le dispositif expérimental ci-contre.

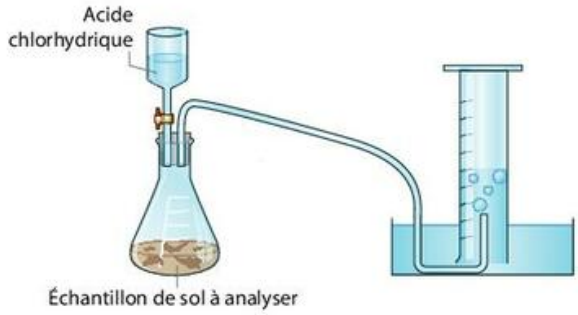
Un échantillon de masse $m = 1{,}2$ g de sol à analyser est placé dans un erlenmeyer.

On y introduit de l'acide chlorhydrique $H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$ en excès.

Une transformation a lieu, modélisée par la réaction d'équation :

$$CaCO_3(s) + 2\,H_3O^+(aq) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + CO_2(g) + 3\,H_2O(\ell)$$

Dans l'éprouvette graduée, remplie au préalable d'eau, on recueille un volume $V = 72$ mL de gaz à la pression $P = 1\,015$ hPa et à la température $\theta = 20$ °C.



1. Expliquer pourquoi l'acide chlorhydrique doit être introduit en excès.

2. Le sol analysé est-il favorable à la culture de la truffe ? Utiliser le réflexe 2

Préparation à l'ECE

La version intégrale de cette ECE, réalisable en activité expérimentale, est disponible dans la version numérique. La version proposée ci-dessous, permet à l'élève de travailler en autonomie les compétences RÉA et VAL.

Une ampoule de sérum physiologique contient une solution aqueuse de chlorure de sodium $Na^+(aq) + C\ell^-(aq)$ de concentration en masse en chlorure de sodium égale à 9,0 g·L^{-1}.

A Dosage d'un sérum physiologique

Cinq solutions étalons, de concentrations C en chlorure de sodium, ont été préparées par dilution d'une solution mère. Les mesures des conductivités σ des solutions étalons sont indiquées dans le tableau ci-contre. Dans les mêmes conditions, la conductivité d'une solution de sérum physiologique diluée 20 fois est égale à 0,90 mS · cm^{-1}.

Solutions	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
C (mmol·L^{-1})	10,0	8,0	6,0	4,0	2,0
σ (mS·cm^{-1})	1,19	0,94	0,64	0,41	0,21

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Un contrôle qualité est considéré comme satisfaisant si l'écart relatif entre la grandeur de référence indiquée par le fabricant et la même grandeur mesurée expérimentalement est inférieur à 5 %.

1. RÉA Exploiter les mesures pour déterminer la concentration en masse en chlorure de sodium de la solution de sérum physiologique (doc. **A**).

2. VAL Le résultat obtenu satisfait-il au contrôle qualité ?

Données

- $M(NaC\ell) = 58{,}5$ g·mol^{-1}.
- Masse volumique du sérum physiologique : $\rho = 1{,}00$ kg·L^{-1}.

Vers l'oral

Fiche Méthode — Alimenter le sujet par des recherches

La presse scientifique





Les grands centres de recherches

cea — cnrs — cnes (CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES)

Sujet choisi par le candidat

Formation/métiers

cidj #infojeunesse — onisep

Les institutions scientifiques

cité des sciences & de l'industrie — Palais DÉCOUVERTE — ENS ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE

À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation fournie. Puis les élèves échangent leurs rôles et à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

Grille d'évaluation
Vidéo

- Regarder la vidéo ci-contre issue du site Internet de Science et Avenir.
- Á l'aide du nuage de mots ci-dessous, rédiger une courte synthèse expliquant comment la caméra Chemcam, qui équipe le robot Curiosity, permet d'obtenir des informations sur la composition de la surface de Mars.

Laser chauffe roche Caméra composition spectre



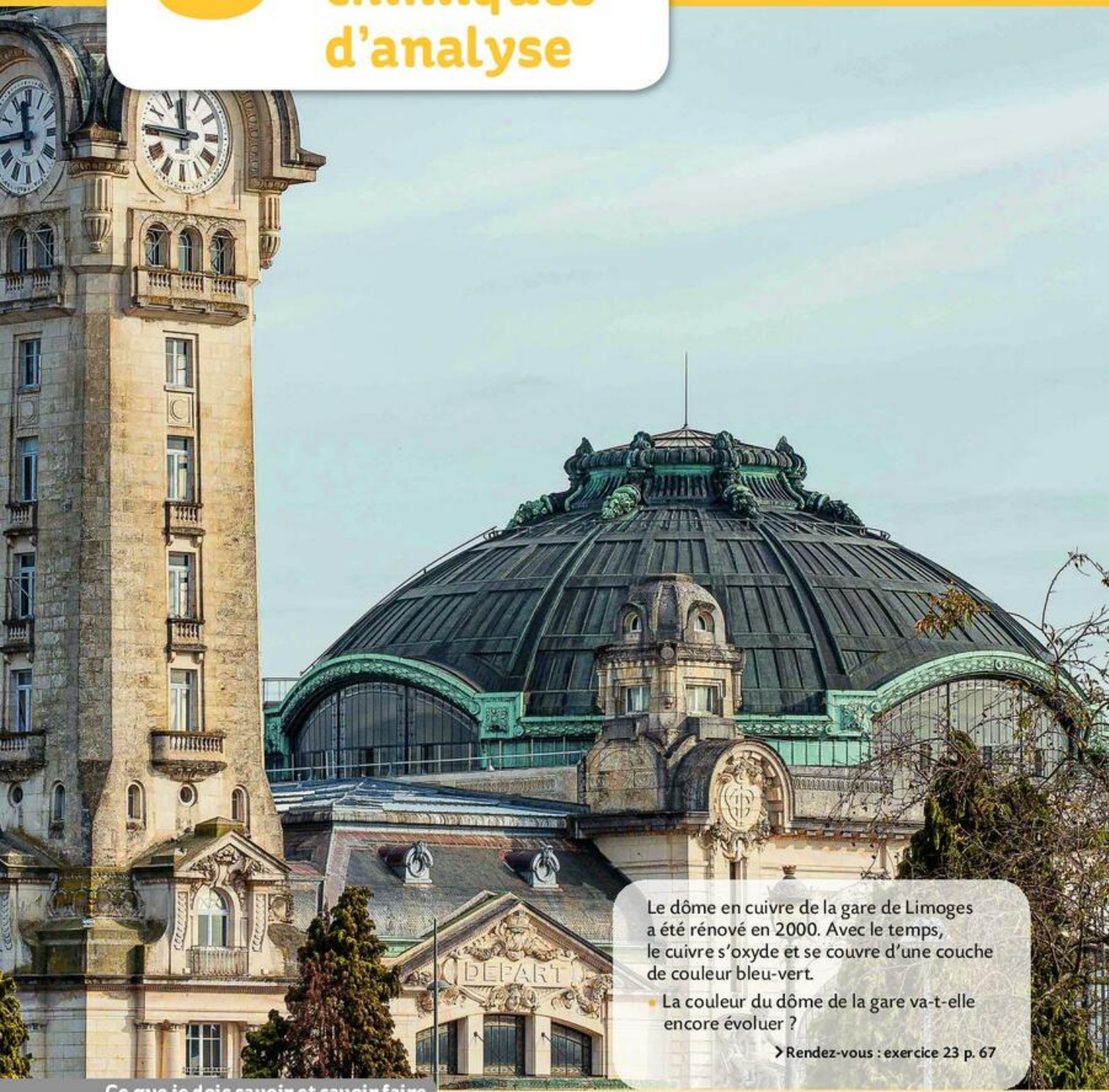
SYLVESTRE MAURICE ET LA CAMÉRA CHEMCAM

Je m'exprime à l'oral sur — La spectroscopie infrarouge (IR)

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

- Qu'est-ce que la **spectroscopie infrarouge** ?
- Un spectre IR permet-il d'établir la **formule semi-développée** d'une molécule ?
- Comment identifier un **groupe caractéristique** à l'aide d'un spectre IR ?
- Quelles sont les **limites** de la spectroscopie IR ?

3 Méthodes chimiques d'analyse



Le dôme en cuivre de la gare de Limoges a été rénové en 2000. Avec le temps, le cuivre s'oxyde et se couvre d'une couche de couleur bleu-vert.

- La couleur du dôme de la gare va-t-elle encore évoluer ?

Rendez-vous : exercice 23 p. 67

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Réaliser une solution de concentration donnée en soluté apporté à partir d'une solution de titre massique et de densité fournis. **Activité 1 p. 51**
- Mettre en œuvre le suivi pH-métrique d'un titrage ayant pour support une réaction acide-base. **Activité 2 p. 52**
- Établir la composition du système après ajout d'un volume de solution titrante. **Activité 3 p. 53**
- Mettre en œuvre le suivi conductimétrique d'un titrage. **Activité 4 p. 54**
- Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une concentration ou une masse. **Activité 2 p. 52**
- Dans le cas d'un titrage avec suivi conductimétrique, justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe à l'aide de données. **Exercice 2 p. 61**
- **Capacité numérique :** Représenter, à l'aide d'un langage de programmation, l'évolution des quantités de matière des espèces en fonction du volume de solution titrante versé. **Activité 3 p. 53**

Vu en 1re

Les titrages colorimétriques

Dosage par titrage colorimétrique

Dosage

Doser une espèce consiste à déterminer la quantité de cette espèce.

Réaction de titrage

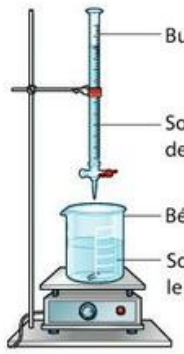
- Lors d'un titrage, une **réaction totale et rapide** a lieu.
- Équation de la réaction de titrage de A par B d'équation : $a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$

Équivalence

Mélange des réactifs titré A et titrant B en **proportions stœchiométriques.**

- **Repérage de l'équivalence** : Changement de couleur du milieu réactionnel
- **Relation à l'équivalence** : $\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_E(B)}{b}$; A et B réactifs **limitants**

Montage



Réactiver ses connaissances

Une solution incolore d'eau oxygénée H_2O_2 (aq) est titrée par les ions permanganate MnO_4^- (aq). Les ions permanganate donnent une coloration violette à la solution qui les contient.

• Dans la situation expérimentale photographiée ci-contre, indiquer si l'on se situe avant ou après l'équivalence.



lycee.hachette-education.com/pc/tle



VIDÉO DE COURS

Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Le réactif titrant est le réactif :	dont on connaît la concentration.	dont on cherche la concentration.	placé le plus souvent dans la burette graduée.
2. L'équation de la réaction support du titrage des ions Fe^{2+} (aq) par les ions permanganate MnO_4^- (aq) s'écrit : $5\,Fe^{2+}(aq) + MnO_4^-(aq) + 8\,H^+(aq) \rightarrow 5\,Fe^{3+}(aq) + Mn^{2+}(aq) + 4\,H_2O(\ell)$ À l'équivalence de ce titrage :	$\frac{n_0(Fe^{2+})}{5} = \frac{n_E(MnO_4^-)}{1}$	$\frac{n_E(Fe^{2+})}{5} = \frac{n_0(MnO_4^-)}{1}$	$\frac{n_0(Fe^{2+})}{1} = \frac{n_E(MnO_4^-)}{5}$
3. Lors d'un titrage suivi par colorimétrie, à l'équivalence :	le réactif titré est limitant.	le réactif titrant est limitant.	un changement de couleur se produit dans le bécher.

Activité expérimentale 1

Préparer une solution

Notions
- Pourcentage massique
- Densité d'une solution

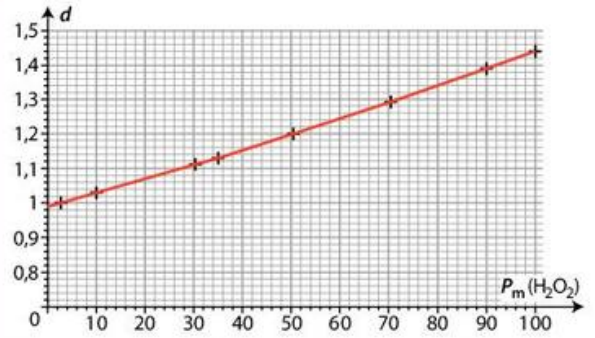
Une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène, de formule $H_2O_2(aq)$, est appelée eau oxygénée. Elle permet de blanchir, détacher, désinfecter. Son usage dépend de la concentration en peroxyde d'hydrogène H_2O_2.

▶ **Objectif de l'activité : Comment préparer une solution de concentration donnée en soluté apporté à partir d'une solution commerciale ?**

A Eau oxygénée et traitement textile

- Pour blanchir les fibres textiles de coton, des solutions d'eau oxygénée à environ 10 $mol{\cdot}L^{-1}$ sont utilisées.
- Pour détacher un tissu, la concentration en peroxyde d'hydrogène H_2O_2 doit être comprise entre 2,0 $mol \cdot L^{-1}$ et 4,5 $mol \cdot L^{-1}$.
- Pour désinfecter le linge, une concentration de 1,5 $mol \cdot L^{-1}$ en peroxyde d'hydrogène suffit.

B Densités de solutions d'eau oxygénée



Évolution de la densité d d'une solution d'eau oxygénée en fonction du pourcentage massique $P_m(H_2O_2)$ en espèce apportée.

C Étiquette d'une solution commerciale

Peroxyde d'hydrogène concentré

Eau oxygénée 30 %
$M = 34\ g{\cdot}mol^{-1}$; $d = \ldots$



H318 : Provoque des lésions oculaires
H302 : Nocif en cas d'ingestion
H412 : Nocif pour les organismes aquatiques

Données

Pourcentage massique $P_m(H_2O_2)$	Mentions de danger*	Pictogrammes
$25\ \% \leqslant P_m(H_2O_2) < 35\ \%$	H318 H302 H412	
$8\ \% \leqslant P_m(H_2O_2) < 25\ \%$	H318 H302	
$5\ \% \leqslant P_m(H_2O_2) < 8\ \%$	H319	
$P_m(H_2O_2) < 5\ \%$	pas de danger	

* La liste des mentions de danger figure sur le site de l'UNECE.

Matériel et produits disponibles



Pratique expérimentale

Extraire l'information APP

1 Déterminer l'information manquante de l'étiquette de la solution commerciale d'eau oxygénée (doc. B et C).

Élaborer et mettre en œuvre un protocole en respectant les règles de sécurité ANA-RAIS · RÉA

2 Élaborer puis mettre en œuvre, en toute sécurité, un protocole expérimental permettant de préparer 100,0 mL de solution permettant de détacher un linge à partir de la solution commerciale d'eau oxygénée (doc. A, B et C).

Exploiter des résultats ANA-RAIS

3 Établir un étiquetage de la solution préparée en vue d'une utilisation en blanchisserie.

Un pas vers le cours

Présenter sous une forme appropriée RÉA

4 Présenter sous forme d'un organigramme la démarche et les calculs permettant de réaliser une solution de concentration donnée en soluté apporté à partir d'une solution dont le pourcentage massique et la densité sont fournis.

Activité 2 expérimentale

Dosage par suivi pH-métrique

Notions
- Suivi pH-métrique d'un titrage
- Réaction acide-base

La limonade est une boisson froide gazeuse constituée d'eau, de sucre et d'acide citrique, noté AH_3, apporté par du jus de citron.

Tâche complexe

▶ Objectif de l'activité : Comment mettre en œuvre un titrage suivi par pH-métrie ?

A Étiquette d'une limonade

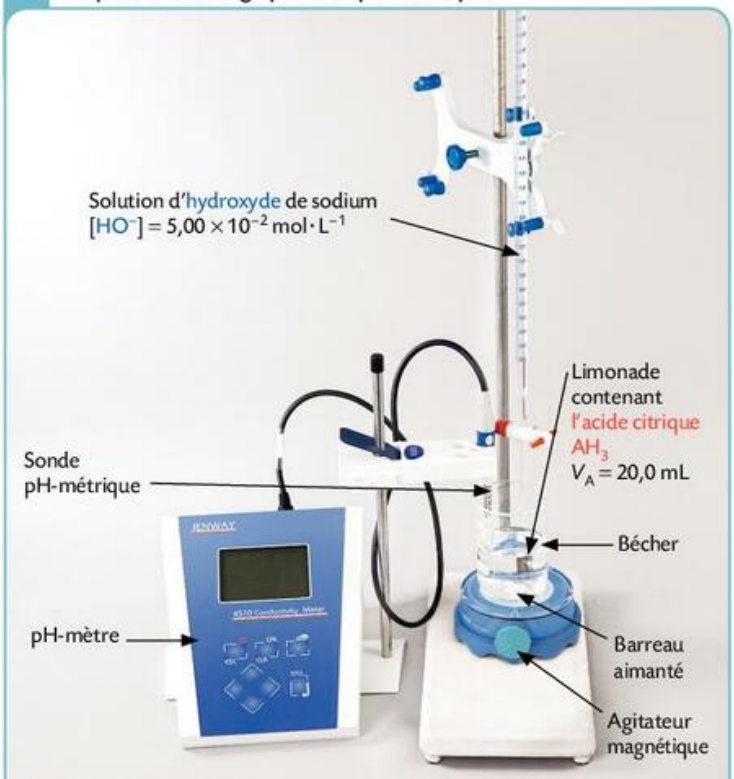
Ingrédients : eau gazéifiée, acide citrique, sucre de canne bio, arôme naturel de citron vert.

INFORMATIONS NUTRITIONNELLES pour 1 L

Énergie (kj) / (kcal)	1 550 / 360
Matières grasses	
dont acides gras saturés (g)	0
Glucides dont sucres (g)	91
Protéines (g)	0
Sel (g)	< 0,1

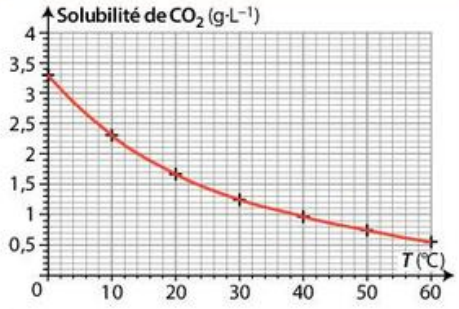


B Dispositif de titrage par suivi pH-métrique



> L'équation de la réaction acide-base support du titrage, est :
$AH_3(aq) + 3\,HO^-(aq) \rightarrow A^{3-}(aq) + 3\,H_2O(\ell)$

C Solubilité du dioxyde de carbone en fonction de la température

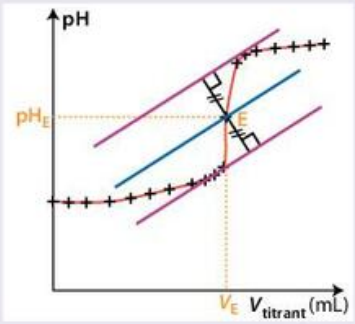


> Le dioxyde de carbone gazeux est responsable de l'effervescence de la limonade et possède des propriétés acides.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- Pour réaliser un suivi pH-métrique, on trace les variations du pH en fonction du volume V de solution titrante versée.
- L'équivalence du titrage peut être obtenue à l'aide de la méthode des « tangentes » dont les étapes sont décrites ci-dessous :

❶ Tracer deux tangentes à la courbe pH = $f(V_{titrant})$ parallèles, avant et après le saut de pH.
❷ Tracer une troisième parallèle équidistante des deux autres.
❸ L'intersection de la parallèle équidistante et de la courbe détermine le point équivalent E.



Étapes de la démarche de résolution

1. LIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre.
4. EXPLOITER les résultats et conclure.

Données

- Masse molaire de l'acide citrique : $M(AH_3) = 192$ g·mol^{-1}.
- Un citron peut fournir en moyenne 45 mL de jus.
- La concentration en acide citrique AH_3 d'un jus de citron est voisine de 0,3 mol·L^{-1}.
- Un citron contient en moyenne 2,5 g de glucides.

Investigation

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1 À partir d'eau gazeuse, de citron(s) et de sucre, écrire une « recette » permettant de reproduire la composition d'un litre de limonade (doc. A, B et C).

Un pas vers le cours

Faire un schéma adapté RÉA

2 Schématiser le dispositif de titrage d'une espèce par suivi pH-métrique.

Activité numérique 3

Simuler une courbe de titrage

À l'aide d'un langage de programmation, on simule une courbe de titrage suivi par conductimétrie.

▶ Objectif de l'activité : Comment déterminer l'équivalence d'un titrage suivi par conductimétrie ?

Notions
- Évolution des quantités de matière lors d'un titrage.
- Repérer l'équivalence.

PROGRAMME Python – QR Code p. 58

A Programme principal

❶ Définir le système à simuler

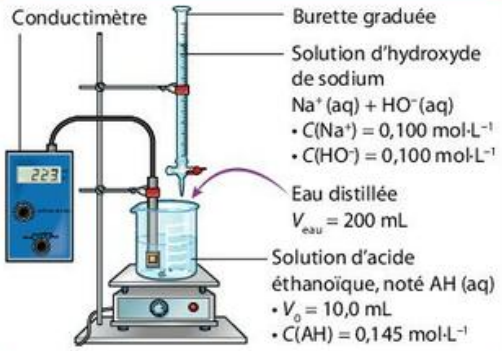
❷ Déterminer l'évolution des quantités de matière des espèces présentes dans le bécher

❸ Calculer la conductivité pour tout volume V versé

❹ Afficher l'évolution des quantités de matière et de la conductivité

```
1  import matplotlib.pyplot as plt
2  import numpy as np
…
18 VE = 14.5  #saisie du volume équivalent en mL
19 Veau = 200 #saisie du volume d'eau ajouté en mL
20 n_AH, n_HO, n_Na, n_A, V = [], [], [], [], [] # initialisation de 5 listes
21 for i in range(0,26,1) :
22     if i <= VE :
23         #appelle une fonction qui calcule les quantités avant et à l'équivalence
24         calcul_quantites_avant_et_a_equivalence(i)
25     else :
26         #appelle une fonction qui calcule les quantités après l'équivalence
27         calcul_quantites_apres_equivalence(i)
28 #Expression de la conductivité
29 Conduct = (20*np.array(n_HO)+5.0*np.array(n_Na)+4.1*np.array(n_A)) \
   /(Veau*1E-3+1E-3*np.array(V))
30 #affichage des courbes
31 plt.subplot(121) #subplot permet d'afficher deux graphes
32 plt.plot(V,n_AH,'bx-',linewidth=0.5,label="n_AH")
33
…
36 plt.legend()
37 plt.subplot(122)
38 plt.scatter(V, Conduct, label="Conductivité en $\mathrm{mS\cdot m^{-1}}$")
39 plt.legend()
40 plt.show()
```

B Système étudié



C Fonction auxiliaire appelée dans le programme principal

```
4  def calcul_quantites_avant_et_a_equivalence(i):
5      V.append(i)
6      #append ajoute une valeur à la fin d'une liste
7      n_AH.append((0.145*10-0.10*i)*0.001)
8      n_HO.append(0)
9      n_Na.append(0.10*i*0.001)
10     n_A.append(0.10*i*0.001)
```

Données
- L'équation de la réaction acide-base support du titrage s'écrit :
$$AH(aq) + HO^-(aq) \rightarrow A^-(aq) + H_2O(\ell)$$
- Conductivité molaire ionique en mS·m^2·mol^{-1} à 25 °C :
$\lambda(Na^+) = 5{,}0$; $\lambda(HO^-) = 20{,}0$; $\lambda(A^-) = 4{,}1$.

Simulation numérique

Exploiter des information ANA-RAIS

1 Dans le programme principal A, justifier la valeur du volume équivalent V_E (ligne 18).

Passer d'une forme de langage scientifique à une autre ANA-RAIS

2 En s'inspirant du script C, écrire une fonction calcul_quantites_apres_equivalence afin de déterminer l'évolution des quantités après l'équivalence.

Utiliser un langage de programmation RÉA

3 Compléter la ligne 33 du programme A afin d'afficher l'évolution des quantités des espèces chimiques présentes dans le bécher en fonction du volume V versé de solution d'hydroxyde de sodium.

Observer, décrire des phénomènes APP

4 a. Télécharger le programme, le compléter et l'exécuter.
b. Relier l'allure de la courbe représentant les variations de la conductivité à celles des quantités de matière.

Faire preuve d'esprit critique VAL

5 Indiquer l'influence du volume d'eau introduit sur l'allure de la courbe obtenue.

Un pas vers le cours

Exploiter des observations ANA-RAIS

6 Comment déterminer l'équivalence d'un titrage suivi par conductimétrie ?

Activité 4 expérimentale

Titrage suivi par conductimétrie

Notion : Suivi conductimétrique

Une chaufferette chimique est un dispositif de chauffage. Même neuves, certaines chaufferettes sont défectueuses. Leur composition peut être mise en cause.

► **Objectif de l'activité : Comment exploiter un titrage suivi par conductimétrie pour déterminer une masse ?**

A Principe d'une chaufferette

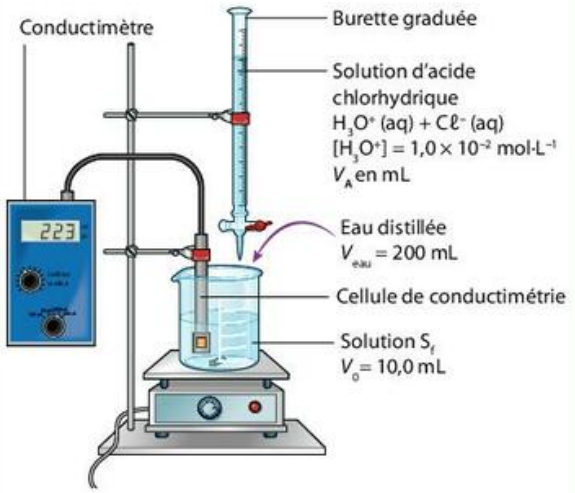


Une chaufferette chimique contient une solution d'éthanoate de sodium $CH_3CO_2^-(aq) + Na^+(aq)$ de pourcentage massique minimal en éthanoate de sodium égal à 20 %. La solution reste liquide à une température inférieure à sa température de fusion. La solidification s'amorce grâce à la déformation d'un disque craquelé contenu dans la chaufferette. Les craquelures microscopiques renferment des grains d'éthanoate de sodium qui sont éjectés lors d'une déformation du disque. Ces grains induisent une solidification rapide de la solution et un transfert d'énergie thermique.

D'après *La physique buisonnière*, J.-M. Courty, E. Kierlik, éditeur Belin/Pour la science.

B Dispositif de titrage

La solution contenue dans une chaufferette défectueuse a été diluée 25 fois afin d'obtenir 250 mL de solution diluée, notée S_f.



L'équation de la réaction, support du titrage, s'écrit :

$$CH_3CO_2^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow CH_3CO_2H(aq) + H_2O(\ell)$$

Compléments scientifiques

1. Le graphe de la conductivité σ de la solution contenue dans le bécher en fonction du volume V_A de solution titrante versé est modélisé par deux segments de droite. Le volume V_E versé à l'équivalence est lu à l'intersection des deux segments de droite.
2. L'incertitude type $u(A)$ d'une grandeur telle que $A = \frac{X \times Y \times Z}{W}$ s'exprime par :

$$u(A) = A \times \sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2 + \left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2 + \left(\frac{u(Z)}{Z}\right)^2 + \left(\frac{u(W)}{W}\right)^2}.$$

Données

- Masse molaire : $M(CH_3CO_2Na) = 82{,}0$ g·mol^{-1}.
- Masse volumique de la solution contenue dans la chaufferette : $\rho = (1{,}15 \pm 0{,}03)$ g·mL^{-1}.
- Incertitude type :
  - Appréciation du volume à l'équivalence : $u(V_E) \approx 0{,}03V_E$.
  - Solution titrante : $u([H_3O^+]) = 4 \times 10^{-4}$ mol·L^{-1}.
  - Prélèvement de V_0 : $u(V_0) = 0{,}05$ mL.

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 Réaliser le montage du schéma B. Relever la conductivité σ de la solution dans le bécher, après chaque ajout, millilitre par millilitre, de la solution titrante d'acide chlorhydrique.

Tracer un graphique RÉA

2 Tracer le graphe $\sigma = f(V_A)$ et déterminer graphiquement le volume V_E versé à l'équivalence (Complément scientifique 1).

Exploiter un résultat ANA · RAIS

3 En déduire la masse d'éthanoate de sodium dans le volume de solution S_f dosé.

Estimer une incertitude VAL

4 a. Déterminer le pourcentage massique d'éthanoate de sodium de la solution contenue dans la chaufferette.

b. Estimer l'incertitude type (Complément scientifique 2) et proposer un encadrement du pourcentage massique.

Confronter des résultats à des hypothèses VAL

5 Formuler une hypothèse expliquant la défaillance de la chaufferette.

Un pas vers le cours

Présenter sous une forme appropriée COM

6 Présenter sous forme d'un organigramme comment déterminer la masse d'une espèce à partir du volume versé à l'équivalence.

lycee.hachette-education.com/pc/tle



VIDÉO DE COURS

1 L'analyse par une méthode chimique

a. Principe d'un titrage (rappel de 1re)

- Lors d'un titrage, le **réactif titré A**, dont on cherche à **déterminer** la quantité de matière n_A, la masse m_A ou la concentration C_A réagit avec le **réactif titrant B** de concentration C_B **connue** (doc. A).
- La réaction support du **titrage** doit être **totale** et **rapide** et son équation s'écrit : $a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$

L'équivalence d'un titrage est atteinte lorsqu'on a réalisé un **mélange stœchiométrique** des réactifs titré et titrant. La relation à l'équivalence permet de déterminer la quantité du réactif titré :

Quantité de matière initiale de réactif titré A dans le bécher (mol) → $\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_E(B)}{b}$ ← Quantité de matière de réactif titrant B versé à l'équivalence (mol)

- Pour obtenir la masse m_A ou la concentration C_A de l'espèce titrée, il faut utiliser les expressions $n_A = C_A \times V_A$ ou $n_A = \frac{m_A}{M_A}$.

La relation s'écrit : $\frac{m_A}{M_A \times a} = \frac{C_B \times V_E}{b}$ ou $\frac{C_A \times V_A}{a} = \frac{C_B \times V_E}{b}$.

b. Préparation de la solution titrante

- La solution titrante, de concentration connue C_B en réactif **titrant**, peut être préparée par dilution d'une solution commerciale dont la densité d et le titre massique en pourcent P_m en réactif titrant sont connus.

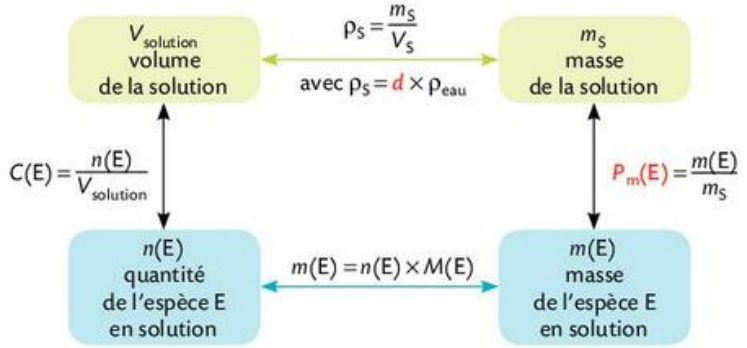
- La **densité** d d'un liquide, à une température donnée, est le rapport de la masse volumique du liquide ρ sur la masse volumique ρ_{eau} de l'eau :

Densité d sans unité → $d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$ ← Masses volumiques exprimées dans la même unité

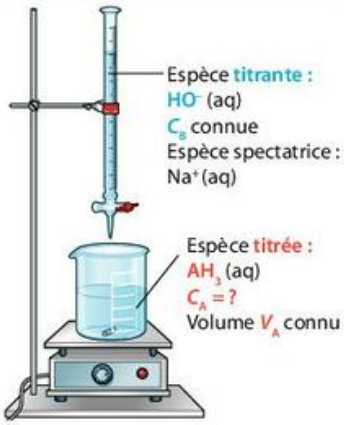
- Le **titre massique en pourcent** (ou pourcentage massique), noté $P_m(E)$ d'une espèce E dans un liquide est le quotient de la masse $m(E)$ de cette espèce par la masse totale m_{tot} du liquide :

Titre massique sans unité → $P_m(E) = \frac{m(E)}{m_{tot}}$ ← Masses exprimées dans la même unité

- La densité et le titre massique en pourcent permettent de déterminer la concentration en réactif titrant d'une solution commerciale.



A Dispositif de titrage de l'acide citrique AH_3



L'acide citrique AH_3 (aq) réagit avec les ions hydroxyde HO^- (aq) selon la réaction d'équation :

$AH_3(aq) + 3\,HO^-(aq) \rightarrow A^{3-}(aq) + 3\,H_2O(\ell)$

À l'équivalence : $\frac{n_0(AH_3)}{1} = \frac{n_E(HO^-)}{3}$.

INFO

La masse volumique de l'eau est égale à $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3\ g \cdot L^{-1}$.

ATTENTION !

Il ne faut pas confondre le **titre massique en pourcent** $P_m(E)$ sans unité et la **concentration en masse**, notée $t(E)$ (appelée aussi parfois *titre en masse*) :

$$t_E = \frac{m(E)}{V_{solution}}$$

Cours

2 Les méthodes de suivi d'un titrage

Un titrage peut être suivi par colorimétrie (photographies B), par pH-métrie ou par conductimétrie.

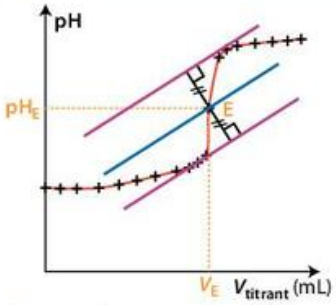
B Titrage suivi par colorimétrie



Avant l'équivalence — À l'équivalence et après

› Lors d'un titrage suivi par colorimétrie, l'équivalence est repérée par un changement de couleur.

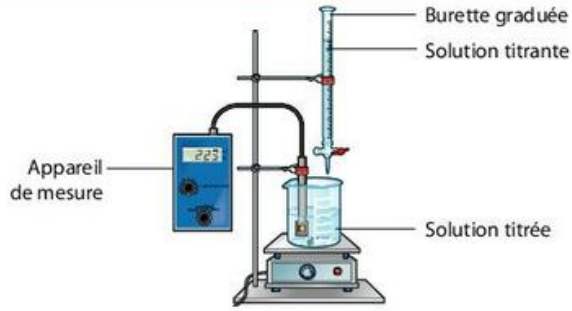
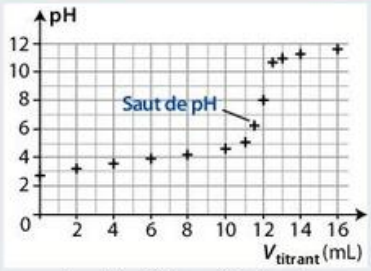
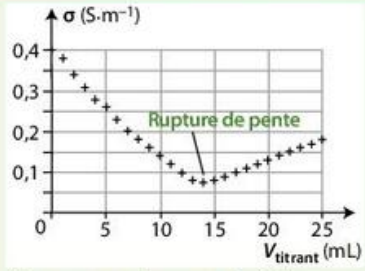
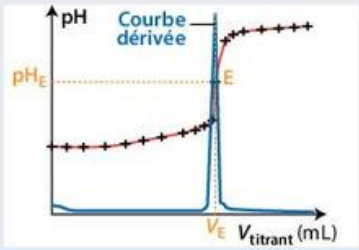
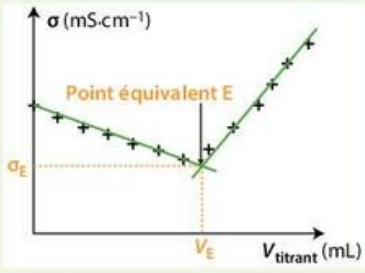
C Méthode des tangentes



❶ Tracer deux tangentes à la courbe pH = $f(V_{titrant})$ parallèles avant et après le saut de pH.
❷ Tracer une troisième parallèle équidistante des deux autres.
❸ L'intersection de la parallèle équidistante et de la courbe détermine le point équivalent E.

INFO

Le volume V_E versé à l'équivalence correspond à l'abscisse de l'extremum de la courbe dérivée $\frac{dpH}{dV_{titrant}}$.

Suivi par pH-métrie	Suivi par conductimétrie
Condition	
La réaction support du titrage est une **réaction acide-base.**	La réaction support du titrage **fait intervenir des ions.**
Montage	
	
Un **pH-mètre** associé à une sonde de pH affiche le pH.	Un **conductimètre** associé à une cellule de conductimétrie affiche la conductivité σ.
Courbe de titrage	
	
La courbe pH = $f(V_{titrant})$ doit présenter un **saut de pH.**	• Une **rupture de pente** doit être visible. • La courbe est constituée de deux segments de droite.
Détermination de V_E	
Les coordonnées (V_E ; pH_E) du **point équivalent E** sont déterminées par : – la **méthode des tangentes** (doc. C) ; – la **méthode de la courbe dérivée.** 	Le **point d'intersection** des segments permet de repérer l'équivalence du titrage. 
Mode opératoire	
• Pour déterminer précisément l'équivalence, il convient de resserrer les mesures à l'approche de l'équivalence.	• Le suivi peut se faire en versant la solution titrante mL par mL. • Un grand volume d'eau est versé initialement pour négliger les effets de la dilution.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Titrage conductimétrique

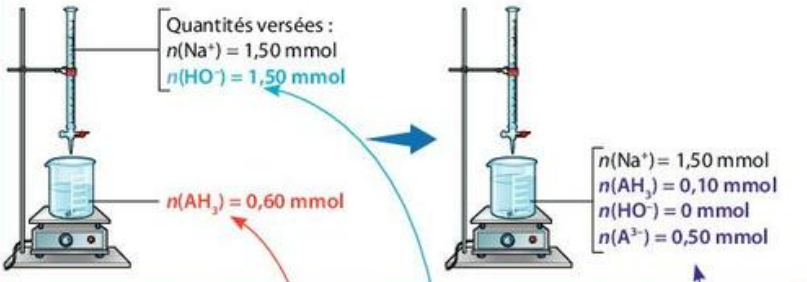
VIDÉO DE COURS

3 La composition d'un système

a. Composition d'un système lors d'un titrage

• Établir la composition du système, au cours du titrage, consiste à déterminer les quantités de matière des différentes espèces.

Exemple : Composition du système dans le bécher



Équation de la réaction		$AH_3(aq) + 3\,HO^-(aq) \rightarrow A^{3-}(aq) + 3\,H_2O(\ell)$			
État du système	Avancement (mmol)	Quantités de matière (mmol)			
		$n(AH_3)$	$n(HO^-)$	$n(A^{3-})$	$n(H_2O)$
État initial	$x = 0$	0,60	1,5	0	excès
État intermédiaire	$0 < x < x_f$	$0,60 - x$	$1,5 - 3x$	$0 + x$	excès
État final	$x = x_f = 0,50$	0,10	0	0,50	excès

INFO

Conductivités molaires ioniques λ de quelques ions à 25 °C :

Ion	λ (en mS·m²·mol⁻¹)
Na^+	5,0
HO^-	19,9
H_3O^+	35,0
$C\ell^-$	7,6

b. Courbe d'un titrage suivi par conductimétrie

• Lors d'un suivi par conductimétrie, l'ajout d'un grand volume d'eau permet de négliger la dilution qui a lieu au cours du dosage.

• Au cours d'un titrage, si la quantité de matière d'une espèce ionique :
– diminue, la contribution de l'espèce à la conductivité diminue ;
– augmente, la contribution de l'espèce à la conductivité augmente ;
– reste constante ou nulle, l'espèce n'intervient pas dans l'évolution de la conductivité.

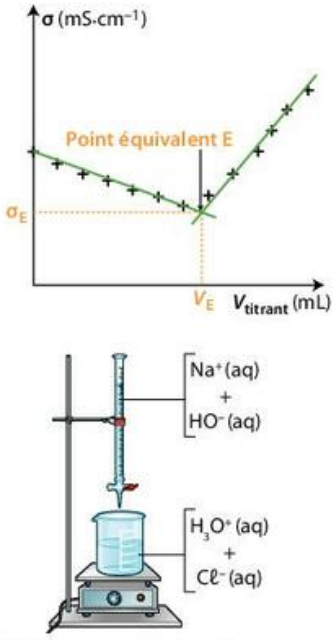
Exemple : On verse une solution d'hydroxyde de sodium dans une solution d'acide chlorhydrique (doc. D).

	Évolution des quantités de matière			
Ions	$V_{versé} < V_E$		$V_{versé} > V_E$	
Na^+	Ion spectateur versé : $n(Na^+)$ ↗ quand $V_{versé}$ ↗	↗	Ion spectateur versé : $n(Na^+)$ ↗ quand $V_{versé}$ ↗	↗
HO^-	Espèce réagissante versée : limitante $n(HO^-) = 0$	0	Espèce en excès : $n(HO^-)$ ↗ quand $V_{versé}$ ↗	↗
H_3O^+	Espèce réagissante contenue dans le bécher : $n(H_3O^+)$ ↘ quand $V_{versé}$ ↗	↘	Espèce entièrement consommée : $n(H_3O^+) = 0$	0
$C\ell^-$	Ion spectateur contenu dans le bécher : $n(C\ell^-)$ constante.	=	Ion spectateur contenu dans le bécher : $n(C\ell^-)$ constante.	=

• Avant l'équivalence, la courbe est une droite de pente négative car tout se passe comme si, dans le bécher, un ion H_3O^+ est remplacé par un ion Na^+ moins conducteur, la pente est proportionnelle à $+\lambda(Na^+) - \lambda(H_3O^+)$ (doc. D et INFO).

• Après l'équivalence, la courbe est une droite de pente positive car les ions Na^+ et HO^- s'accumulent dans le bécher, la pente est proportionnelle à : $+\lambda(Na^+) + \lambda(HO^-)$ (doc. D).

D Un titrage suivi par conductimétrie



› L'équation support du titrage est : $H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell)$

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉOS DE COURS
- Titrage
- Titrage conductimétrique

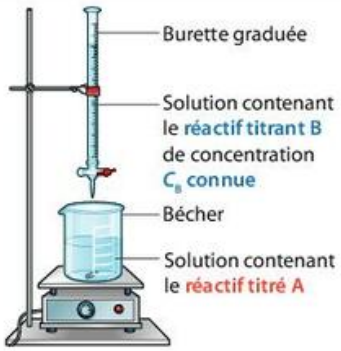
QCM
Version interactive

1 L'analyse par une méthode chimique

Dosage par titrage

Titrage de A par B
$a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$

Relation à l'équivalence :
$\frac{n_0(A)}{a} = \frac{n_E(B)}{b}$



Solution titrante préparée par dilution d'une solution commerciale :
- de densité d connue :

$d = \frac{\rho}{\rho_{eau}}$ (sans unité / même unité)

- de titre massique en pourcent en B $P_m(B)$ connu :

$P_m(B) = \frac{m(B)}{m_{tot}}$ (même unité)

2 Les méthodes de suivi d'un titrage

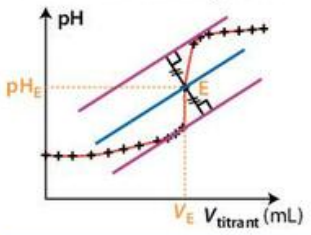
Suivi par pH-métrie

Si réaction acide-base

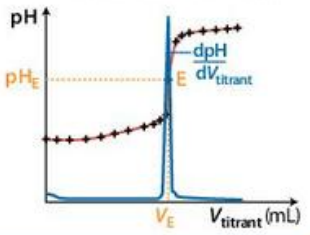
- pH-mètre
- sonde de pH-métrie

Repérage de l'équivalence

Méthode des tangentes



Méthode de la dérivée

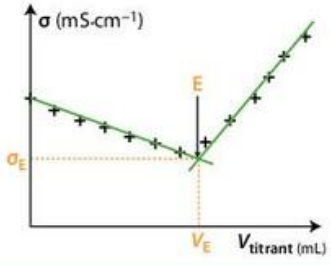


Suivi par conductimétrie

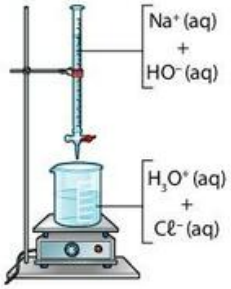
Si variation de quantités d'espèces ioniques

- conductimètre
- cellule de conductimétrie

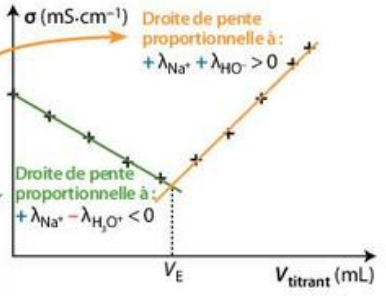
Repérage de l'équivalence



3 La composition d'un système



Ions	Évolution des quantités $V < V_E$	$V > V_E$
Na^+	↗	↗
HO^-	0	↗
H_3O^+	↘	0
$C\ell^-$	=	=



QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 L'analyse par une méthode chimique

Si erreur, revoir § 1 p. 55

	A	B	C
1. Un dosage par titrage nécessite :	une réaction chimique.	le tracé d'une courbe d'étalonnage.	des réactifs titrant et titré.
2. La réaction support d'un titrage doit toujours être :	rapide.	de type acide-base.	totale.
3. À l'équivalence d'un titrage :	le volume du réactif titré est égal à celui du réactif titrant.	les réactifs titré et titrant ont été introduits en proportions stœchiométriques.	le réactif titré a totalement réagi.
4. L'équation de la réaction support du titrage d'une solution d'acide fumarique $C_4H_4O_4(aq)$ par une solution d'hydroxyde de sodium s'écrit : $C_4H_4O_4(aq) + 2\ HO^-(aq) \rightarrow C_4H_2O_4^{2-}(aq) + 2\ H_2O(\ell)$ À l'équivalence du titrage :	$\frac{n_0(C_4H_4O_4)}{2} = \frac{n_E(HO^-)}{1}$	$\frac{n_0(C_4H_4O_4)}{1} = \frac{n_E(HO^-)}{2}$	$n_0(C_4H_4O_4) = n_E(HO^-)$

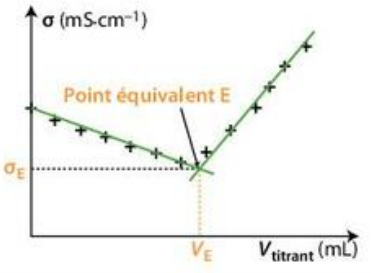
2 Les méthodes de suivi d'un titrage

Si erreur, revoir § 2 p. 56

5. Un titrage peut être suivi par :	conductimétrie.	colorimétrie.	pH-métrie.
6. L'équivalence d'un titrage suivi par conductimétrie est repérée grâce :	au saut de conductivité.	au changement de pente de la courbe $\sigma = f(V_{titrant})$.	à la méthode de la courbe dérivée.
7. L'équivalence d'un titrage suivi par pH-métrie est repérée grâce :	à la méthode des tangentes.	à la méthode de la courbe dérivée.	au changement de pente de la courbe $pH = f(V_{titrant})$.
8. Lors d'un titrage suivi par conductimétrie, il convient :	de verser la solution titrante mL par mL.	de resserrer les mesures à l'approche de l'équivalence.	d'ajouter un grand volume d'eau avant le titrage.

3 La composition d'un système

Si erreur, revoir § 3 p. 57

9. et **10.** Soit le titrage suivi par conductimétrie d'une solution d'acide chlorhydrique par une solution d'hydroxyde de sodium. L'équation de la réaction support du titrage s'écrit : $H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2\ H_2O(\ell)$ 	avant l'équivalence : la quantité d'ions oxonium $H_3O^+(aq)$ diminue.	avant l'équivalence : la quantité d'ions hydroxyde $HO^-(aq)$ diminue.	avant l'équivalence : la quantité d'ions chlorure $C\ell^-(aq)$ diminue.
	après l'équivalence : la quantité d'ions oxonium $H_3O^+(aq)$ est nulle.	après l'équivalence : la quantité d'ions hydroxyde $HO^-(aq)$ augmente.	après l'équivalence : la quantité d'ions chlorure $C\ell^-(aq)$ augmente.

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Réaliser une solution de volume V_f et de concentration C_f donnés en soluté apporté à partir d'une solution commerciale.	**Réflexe 1** Ex. 3 p. 62 • **Calculer** la concentration C_m de la solution commerciale en espèce en exploitant la densité et le titre massique en pourcent. • **Calculer** le volume V_m de la solution commerciale à prélever en utilisant la conservation de la quantité lors d'une dilution : $C_m \times V_m = C_f \times V_f$
Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une masse ou une concentration.	**Réflexe 2** Ex. 11 p. 63 • **Déterminer** graphiquement le volume versé à l'équivalence. • **Écrire** la relation à l'équivalence entre les réactifs titré et titrant. • Si nécessaire, **exprimer** les quantités de matière en utilisant les relations : $n = C \times V$ ou $n = \frac{m}{M}$ • **Isoler**, puis **calculer** la grandeur recherchée.
Dans le cas d'un titrage avec suivi conductimétrique, justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe.	**Réflexe 3** Ex. 15 p. 64 • **Identifier** les ions présents dans le milieu réactionnel au cours du titrage. • **Construire** un tableau donnant pour chaque ion l'évolution des quantités de matière avant et après l'équivalence. • **Conclure** sur le signe de la pente de la droite à l'aide du tableau et des conductivités molaires ioniques λ_i.

1 Exercice résolu

Préparer une solution d'acide nitrique

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Pour décaper les plaques de cuivre, les émailleurs ont longtemps préparé des solutions de concentration $C_f = 2{,}5\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en acide nitrique HNO_3.

• Déterminer le volume de solution commerciale à prélever pour préparer un volume $V_f = 500\ \text{mL}$ d'une solution d'acide nitrique utilisée par les émailleurs.

Données

• $M(HNO_3) = 63{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

• Densité d d'une solution commerciale d'acide nitrique de titre massique égal à $P_m(HNO_3) = 58\ \%$: $d = 1{,}36$.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 1.**

Calcul de la concentration de la solution commerciale

$V_S = 1\ \text{L}$; $\rho_S = 1{,}36 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$

$$m_S = \rho_S \times V_S = 1{,}36 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 1{,}0\ \text{L} = 1{,}36 \times 10^3\ \text{g}$$

$P_m(HNO_3) = 58\ \%$

$$m_{HNO_3} = m_S \times P_m(HNO_3) = 1{,}36 \times 10^3\ \text{g} \times 0{,}58 = 7{,}9 \times 10^2\ \text{g}$$

$M(HNO_3) = 63{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n_{HNO_3} = \frac{m_{HNO_3}}{M_{HNO_3}} = \frac{7{,}9 \times 10^2\ \text{g}}{63{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 13\ \text{mol}$$

$$C_S = \frac{n_{HNO_3}}{V_S} = 13\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La concentration de la solution commerciale est donc égale à $C_S = 13\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Calcul du volume à prélever

Lors de la dilution, la quantité de matière se conserve :

$C_S \times V_S = C_f \times V_f$ soit $V_S = \frac{C_f \times V_f}{C_S} = \frac{2{,}5\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 0{,}500\ \text{L}}{13\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}} = 0{,}096\ \text{L} = 96\ \text{mL}$.

L'émailleur doit prélever $\boldsymbol{V_S = 96\ \text{mL}}$ de solution commerciale.

2 Exercice résolu

Un lait propre à la la consommation ?

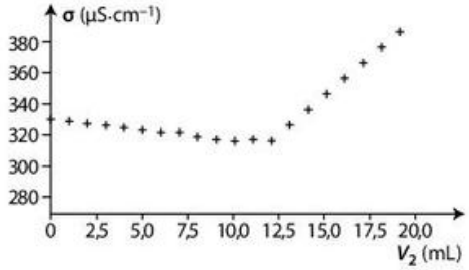
I Utiliser un modèle pour prévoir et expliquer ; comparer à une valeur de référence.



Une inflammation des mamelles des vaches rend le lait impropre à la consommation. Cette inflammation se traduit par une augmentation de la concentration en ions sodium $Na^+(aq)$ et chlorure $C\ell^-(aq)$.

Un lait frais est dilué 5 fois. Le titrage suivi par conductimétrie d'un volume $V_1 = 10{,}0$ mL de solution de lait dilué par une solution S_2 de nitrate d'argent $Ag^+(aq) + NO_3^-(aq)$ telle que $[Ag^+] = 5{,}00 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1} permet de tracer le graphe ci-contre.

Un volume de 250 mL d'eau est ajouté avant de réaliser le titrage.



1. Déterminer la concentration en masse des ions chlorure dans le lait frais.

2. Le lait frais analysé est-il consommable ?

3. Interpréter qualitativement le changement de pente observé.

Données

- Équation de la réaction support du titrage : $Ag^+(aq) + C\ell^-(aq) \rightarrow AgC\ell(s)$
- $M(C\ell) = 35{,}5$ g·mol^{-1}.
- Concentration en masse en ions chlorure d'un lait consommable : $0{,}8\ g \cdot L^{-1} \leqslant t(C\ell^-) \leqslant 1{,}2\ g \cdot L^{-1}$.
- Conductivités molaires ioniques λ (en mS·m^2·mol^{-1}) à 25 °C :

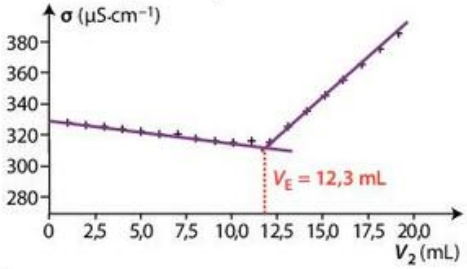
Ions	$C\ell^-$	NO_3^-	Ag^+
λ	7,6	7,1	6,2

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 2.**

Détermination du volume versé à l'équivalence

1. Pour déterminer le volume versé à l'équivalence, les segments modélisant les droites sont tracés. Leur intersection donne le point équivalent E.



Écriture de la relation à l'équivalence

À l'équivalence :

$$\frac{n_0(C\ell^-)}{1} = \frac{n_E(Ag^+)}{1}$$

soit $C_1 \times V_1 = [Ag^+] \times V_E$

Expression de la concentration

soit $C_1 = \dfrac{[Ag^+] \times V_E}{V_1}$

$$C_1 = \frac{5{,}00 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot L^{-1} \times 12{,}3\ \text{mL}}{10{,}0\ \text{mL}} = 6{,}15 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot L^{-1}.$$

La concentration en masse en ions chlorure de la solution diluée S_1 est :

$$t_{S_1}(C\ell^-) = C_1 \times M(C\ell) = 6{,}15 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot L^{-1} \times 35{,}5\ g \cdot \text{mol}^{-1} = 2{,}18 \times 10^{-1}\ g \cdot L^{-1}.$$

Le lait a été dilué 5 fois, donc la concentration en masse en ions chlorure du lait est égale à : $t_{lait}(C\ell^-) = 5 \times t_{S_1}(C\ell^-)$ soit $\mathbf{t_{lait}(C\ell^-) = 1{,}09\ g \cdot L^{-1}}$.

2. $t_{lait}(C\ell^-) = 1{,}09\ g \cdot L^{-1} \in [0{,}8\ g \cdot L^{-1} ; 1{,}2\ g \cdot L^{-1}]$ donc **le lait frais est consommable.**

- **On utilise le Réflexe 3.**

Identification des ions présents au cours du titrage

3. Les ions présents au cours du titrage sont : Ag^+, $C\ell^-$ et NO_3^- et les autres ions du lait.

Évolution des quantités de matière des espèces ioniques

	Évolution des quantités de matière	
Ions	$V < V_E$	$V > V_E$
Ag^+	0	↗
$C\ell^-$	↘	0
NO_3^-	↗	↗
Autres ions	=	=

Détermination du signe de chaque pente

- Avant l'équivalence, la courbe est une droite de pente négative car tout se passe comme si, dans le bécher, un ion chlorure $C\ell^-$ est remplacé par un ion nitrate NO_3^- moins conducteur.
- Après l'équivalence, la courbe est une droite de pente positive car les ions argent (I) Ag^+ et nitrate NO_3^- s'accumulent dans le bécher.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Réaliser une solution de concentration donnée en soluté apporté à partir d'une solution de titre massique et de densité fournis.	3		24
Établir la composition du système après ajout d'un volume de solution titrante.	13	20	24
Exploiter un titrage pour déterminer une quantité de matière, une concentration ou une masse.	5	21	25
Dans le cas d'un titrage avec suivi par conductimétrie, justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe à l'aide de données.	15	20	24
Mettre en œuvre le suivi pH-métrique d'un titrage ayant pour support une réaction acide-base.	11		25
Mettre en œuvre le suivi conductimétrique d'un titrage.	9	21	24

1 L'analyse par une méthode chimique

VIDÉO DE COURS **Titrage – QR Code p. 58**

3 Déterminer une concentration CORRIGÉ

Extraire et exploiter l'information ; effectuer des calculs.

Pour préparer une solution S, un volume de 15,0 mL d'une solution commerciale d'acide sulfurique $H_2SO_4(\ell)$, dont l'étiquette est ci-dessous, est versé dans une fiole jaugée de 1,0 L. La fiole est ensuite complétée jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée.

Acide sulfurique

$d = 1{,}815$; $M = 98\ g \cdot mol^{-1}$; pourcentage en masse 90 %

H290 : Peut être corrosif pour les métaux.

H314 : Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves.



• Déterminer la concentration en ions H_3O^+ de la solution S. Utiliser le réflexe 1

Donnée

L'équation de la réaction de l'acide sulfurique avec l'eau s'écrit : $H_2SO_4(\ell) + 2H_2O(\ell) \rightarrow SO_4^{2-}(aq) + 2\ H_3O^+(aq)$

4 Préparer une solution de concentration donnée en soluté

Exploiter des informations.

Pour détacher un tapis, on utilise une solution S de concentration $C = 1{,}1\ mol \cdot L^{-1}$ en ammoniac $NH_3(aq)$, préparée à partir d'une solution commerciale de densité $d = 0{,}95$ et de titre massique en ammoniac de 28 %.

1. Déterminer le volume de solution commerciale à prélever pour préparer 1,0 L de solution détachante S.

2. Lister la verrerie nécessaire.

Donnée

$M(NH_3) = 17{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

5 Identifier une relation à l'équivalence CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

Pour contrôler la composition en ions calcium $Ca^{2+}(aq)$ d'une solution, un titrage par une solution d'hydroxyde de sodium $Na^+(aq) + HO^-(aq)$ est réalisé. L'équation de la réaction support du titrage est :



Aliments riches en élément calcium

$$Ca^{2+}(aq) + 2\ HO^-(aq) \rightarrow Ca(OH)_2(s)$$

1. Identifier les réactifs titré et titrant.

2. Donner les caractéristiques d'une réaction support d'un titrage.

3. La masse des ions calcium Ca^{2+} à doser et la quantité des ions hydroxyde HO^- versés à l'équivalence sont notés respectivement $m_0(Ca^{2+})$ et $n_E(HO^-)$. Parmi les relations suivantes, identifier celle qui correspond à l'équivalence du titrage étudié :

a $\dfrac{m_0(Ca^{2+})}{M(Ca^{2+})} = \dfrac{n_E(HO^-)}{2}$ b $\dfrac{m_0(Ca^{2+})}{2 \times M(Ca^{2+})} = \dfrac{n_E(HO^-)}{1}$

6 Établir une relation à l'équivalence

Mobiliser ses connaissances.

Une solution S d'acide fumarique $C_4H_4O_4(aq)$ est titrée par une solution d'hydroxyde de sodium $Na^+(aq) + HO^-(aq)$, telle que $[HO^-] = C_B = 1{,}00 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$. Pour un volume de solution titrée $V_1 = 10{,}0$ mL, le volume versé à l'équivalence est $V_E = 15{,}7$ mL. L'équation de la réaction support du titrage est :

$$C_4H_4O_4(aq) + 2\ HO^-(aq) \rightarrow C_4H_2O_4^{2-}(aq) + 2\ H_2O(\ell)$$

1. Établir la relation entre les quantités $n_1(C_4H_4O_4)$ et $n_E(HO^-)$ à l'équivalence de ce titrage.

2. En déduire la concentration en acide fumarique de la solution S.

2 Les méthodes de suivi d'un titrage

7 Légender un schéma de montage de titrage

CORRIGÉ

Restituer ses connaissances.

Une solution contenant des ions ammonium $NH_4^+(aq)$ est titrée par une solution d'hydroxyde de sodium avec suivi pH-métrique.

1. Schématiser et légender le montage du titrage ci-contre.

2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.



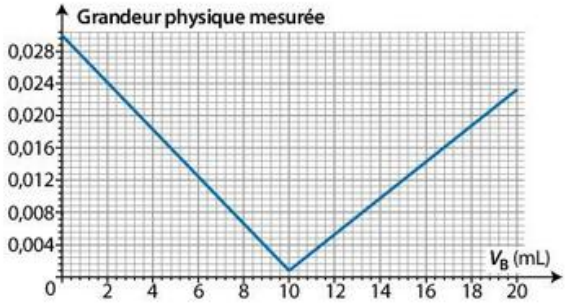
Données

Couples acide-base :
$NH_4^+(aq) / NH_3(aq)$; $H_2O(\ell) / HO^-(aq)$.

8 Dessiner un montage de titrage

Faire un schéma adapté.

Une solution contenant de l'acide sulfamique, noté AH(aq), est titrée par une solution d'hydroxyde de sodium $Na^+(aq) + HO^-(aq)$. À chaque volume V_B de solution d'hydroxyde de sodium versé, une grandeur est mesurée. La courbe obtenue est donnée ci-dessous.



1. Identifier si la grandeur mesurée est le pH ou la conductivité σ de la solution.

2. Indiquer la nature du suivi du titrage.

3. Faire un schéma légendé du dispositif expérimental de titrage.

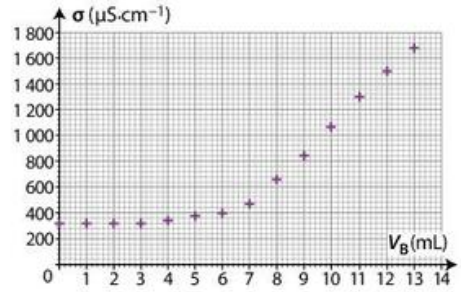
9 Repérer l'équivalence d'un titrage conductimétrique

CORRIGÉ

Exploiter un graphique.

Le titrage d'un volume $V_A = 10{,}0$ mL d'une solution S d'aspirine $C_9H_8O_4(aq)$ par une solution d'hydroxyde de sodium, telle que $[HO^-] = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} est suivi par conductimétrie et permet de reporter les points ci-après. L'équation de réaction support du titrage est :

$$C_9H_8O_4(aq) + HO^-(aq) \rightarrow C_9H_7O_4^-(aq) + H_2O(\ell)$$



1. Déterminer le volume versé à l'équivalence V_E en expliquant la méthode utilisée.

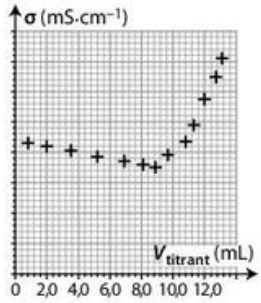
2. Calculer la concentration C_A en aspirine de la solution.

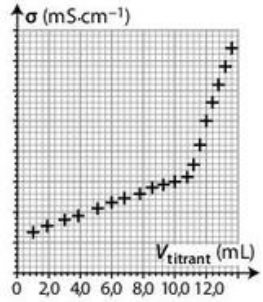
10 Identifier une courbe de titrage

Mobiliser et organiser ses connaissances.

Le titrage d'une solution d'un acide AH a été réalisé par suivi pH-métrique. Le volume à l'équivalence V_E obtenu est égal à 10,0 mL.

• Parmi les courbes ci-dessous, identifier celle qui pourrait être obtenue lors du titrage suivi par conductimétrie.



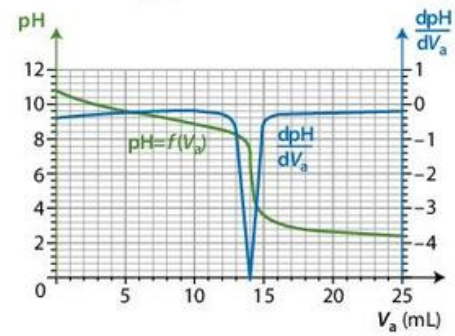


11 Utiliser la courbe dérivée

CORRIGÉ

Exploiter un graphique.

Le titrage d'un volume $V_B = 20{,}0$ mL d'une solution S d'ammoniac $NH_3(aq)$ par une solution de concentration $C_A = 1{,}50 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en acide chlorhydrique, $H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$ est suivi par pH-métrie et permet de tracer les deux graphes ci-dessous.



1. Écrire l'équation acide-base de la réaction support du titrage.

2. Déterminer le volume V_E versé à l'équivalence en expliquant la méthode.

3. Déterminer la concentration en ammoniac de la solution S.

Utiliser le réflexe 2

Exercices — Appliquer le cours

12 Utiliser la méthode des tangentes

Exploiter un graphique.



Une solution S_0 de vitamine C de volume $V_0 = 100{,}0$ mL est préparée en dissolvant un comprimé dans de l'eau distillée.
Le titrage d'un volume $V_A = 10{,}0$ mL de S_0 par une solution d'hydroxyde de sodium telle que $[HO^-] = 4{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} est suivi par pH-métrie.
Les résultats obtenus sont donnés ci-dessous.

V_B (mL)	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00
pH	2,7	3,1	3,4	3,6	3,7	3,9	4,0	4,1

V_B (mL)	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00
pH	4,2	4,4	4,5	4,7	4,9	5,2

V_B (mL)	13,25	13,50	13,75	14,00	14,25	14,50
pH	5,3	5,5	5,8	7,8	9,6	10,0

V_B (mL)	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00
pH	10,4	10,6	10,9	11,0	11,2	11,3

L'équation de la réaction support du titrage est :
$$C_6H_8O_6(aq) + HO^-(aq) \rightarrow C_6H_7O_6^-(aq) + H_2O(\ell)$$

1. Déterminer le volume V_E versé à l'équivalence.
2. Déterminer la concentration en quantité de matière en acide ascorbique de la solution S_0.
3. En déduire la quantité n_0 et la masse de vitamine C contenues dans un comprimé.

Données
- Masse molaire de la vitamine C : $M = 176$ g·mol^{-1}.
- Vitamine C : $C_6H_8O_6$.

3 La composition d'un système

VIDÉO DE COURS **Titrage conductimétrique – QR Code p. 58**

13 Établir la composition d'un système

CORRIGÉ

Utiliser un modèle.

Un volume $V_1 = 20{,}0$ mL d'une solution S de concentration $C_A = 2{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en acide maléique, noté AH_2 (aq), est titré par une solution d'hydroxyde de sodium telle que $[HO^-] = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1}.
L'équation de la réaction support de titrage s'écrit :
$$AH_2(aq) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\,H_2O(\ell)$$

1. Établir la composition de la solution contenue dans le bécher après ajout d'un volume de solution d'hydroxyde de sodium égal à :
a. $V_B = 5{,}0$ mL ; **b.** $V_B = 15{,}0$ mL.
2. Pour chaque cas, identifier le réactif limitant et préciser si le volume versé est inférieur, égal ou supérieur au volume V_E versé à l'équivalence.

14 Exploiter la composition d'un système

Extraire et organiser l'information.

À un volume $V_B = 10{,}0$ mL de solution S d'hydroxyde de sodium est ajouté un volume $V_A = 20{,}0$ mL d'une solution d'acide chlorhydrique telle que $[H_3O^+] = 2{,}00 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1} en ions oxonium H_3O^+.
À l'état final, les ions oxonium ont tous été consommés et il reste une quantité d'ions hydroxyde HO^- (aq) égale à $1{,}00 \times 10^{-4}$ mol.

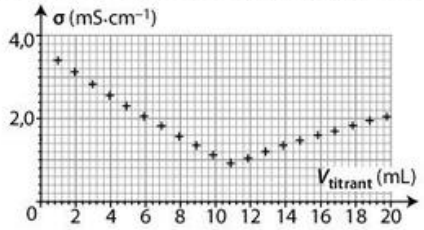
1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
2. Indiquer si le système se trouve avant, à ou après l'équivalence à l'état final.
3. Déterminer la concentration en ions hydroxyde de la solution S.

15 Justifier l'évolution de la conductivité

CORRIGÉ

Interpréter des mesures.

Une solution d'acide chlorhydrique est titrée par une solution d'hydroxyde de sodium. Le titrage suivi par conductimétrie permet de tracer le graphe ci-dessous.



L'équation de la réaction support du titrage est :
$$H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell)$$

- Interpréter qualitativement le changement de pente observé.

Utiliser le réflexe 3

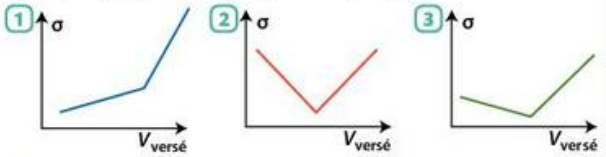
Données
Conductivités molaires ioniques λ (en mS·m^2·mol^{-1}) à 25 °C : $\lambda(Na^+) = 5{,}0$; $\lambda(HO^-) = 20{,}0$; $\lambda(H_3O^+) = 35{,}0$; $\lambda(C\ell^-) = 7{,}6$.

16 Identifier une courbe de conductimétrie

Confronter un modèle à des résultats expérimentaux.

Associer à chaque équation un graphe modélisant l'évolution de la conductivité lors de l'ajout d'une solution d'hydroxyde de sodium.

a. $NH_4^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow NH_3(aq) + H_2O(\ell)$
b. $CH_3CO_2H(aq) + HO^-(aq) \rightarrow CH_3CO_2^-(aq) + H_2O(\ell)$
c. $H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell)$



Données
Conductivités molaires ioniques λ (mS·m^2·mol^{-1}) à 25 °C : $\lambda(Na^+) = 5{,}0$; $\lambda(HO^-) = 20{,}0$; $\lambda(NH_4^+) = 7{,}0$; $\lambda(CH_3CO_2^-) = 4{,}0$; $\lambda(H_3O^+) = 35{,}0$.

17 Connaître les critères de réussite

Un traitement contre l'acné

Effectuer des calculs ; élaborer un protocole.

L'acide glycolique est utilisé en dermatologie car il permet d'améliorer la texture et l'apparence de la peau. Une solution aqueuse de concentration $C = 5{,}90 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en acide glycolique est utilisée pour traiter l'acné.

• Rédiger un protocole permettant à un pharmacien de préparer 250 mL du traitement contre l'acné à partir d'une solution d'acide glycolique de densité $d = 1{,}26$ et de titre massique en pourcent $P_m = 70$ %.

Donnée

M(acide glycolique) = 76,0 g·mol^{-1}.

Critères de réussite

Conduite du calcul	
J'ai introduit le calcul par une phrase.	☐ ☐
J'ai écrit l'expression littérale avant d'effectuer l'application numérique.	☐ ☐
J'ai donné le résultat des calculs avec un nombre de chiffres significatifs et une unité adaptés.	☐ ☐
Rédaction du protocole	
J'ai utilisé un vocabulaire spécifique.	☐ ☐
J'ai utilisé des verbes d'action en début de phrase.	☐ ☐

18 À chacun son rythme

Réaliser un contrôle qualité

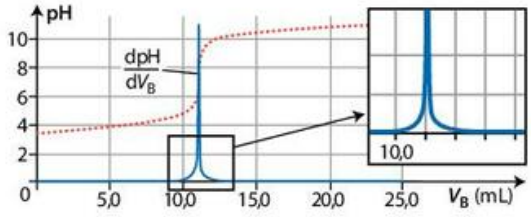
Effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

L'étiquette d'un sachet d'aspirine HA prescrit au titre de la prévention des accidents vasculaires cérébraux porte la mention « Teneur en aspirine : 100 mg ».
En pharmacie, un contrôle qualité est considéré comme satisfaisant si l'écart relatif entre la grandeur de référence indiquée par le fabricant et la même grandeur déterminée expérimentalement est strictement inférieure à 1 %.

A Titrage d'un cachet d'aspirine

Une solution S est obtenue en dissolvant un cachet d'aspirine dans une fiole jaugée de 500,0 mL. Le titrage d'un volume $V_A = 10{,}0$ mL de la solution S par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium telle que $[HO^-] = 1{,}00 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1} est suivi par pH-métrie et permet de tracer le graphe ci- dessous :



Énoncé compact

Le cachet d'aspirine satisfait-il au contrôle qualité ?

Énoncé détaillé

1. Déterminer le volume V_E versé à l'équivalence en expliquant la méthode utilisée.
2. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
3. Établir la relation à l'équivalence.
4. En déduire la quantité n_0 et la masse d'aspirine contenue dans un comprimé.
5. Le cachet d'aspirine satisfait-il au contrôle qualité ?

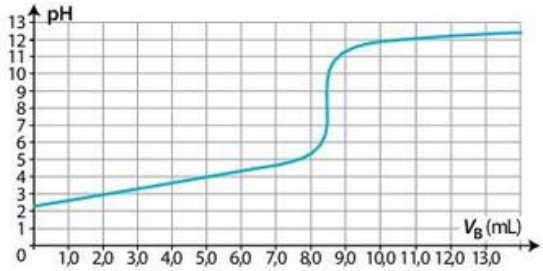
Données

- Masse molaire de l'aspirine AH : $M = 180$ g·mol^{-1}.
- Couples acide-base : AH(aq) / A$^-$(aq) ; $H_2O(\ell)$ / HO$^-$(aq).

19 Contrôle qualité d'un traitement nutritionnel

Exploiter un graphique, estimer une incertitude de mesure.

L'acide fumarique, noté AH_2, est une espèce chimique qui peut réduire les effets du psoriasis, maladie de peau. Pour vérifier l'indication portée sur l'étiquette d'un traitement, on réalise le protocole suivant :
• le contenu de la gélule est dissous dans l'eau : une solution aqueuse S de volume $V = 100{,}0$ mL est obtenue ;
• le titrage d'un volume $V_A = 10{,}0$ mL de solution S par une solution d'hydroxyde de sodium telle que $[HO^-] = (1{,}00 \times 10^{-1} \pm 0{,}003)$ mol·L^{-1} donne le graphe suivant.



L'équation de la réaction support du titrage est :

$$AH_2(aq) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\,H_2O(\ell)$$

1. Schématiser et légender le dispositif expérimental.
2. Déterminer la valeur expérimentale m_{exp} de la masse d'acide fumarique contenu dans une gélule.
3. Lister les trois principales sources d'erreurs commises lors de la réalisation du titrage.
4. Estimer l'incertitude type sur la masse d'acide fumarique et proposer un encadrement de la valeur de la masse. Conclure.

Données

- Masse molaire : $M(AH_2) = 116$ g·mol^{-1}.
- Incertitude type :

$u(V)$	Burette graduée	Pipette de 10 mL		Fiole jaugée de 100 mL
		jaugée	graduée	
	± 0,1 mL	± 0,05 mL	± 0,2 mL	± 0,1 mL

- Incertitude type $u(A)$ sur une grandeur A :

si $A = \dfrac{X \times Y}{Z}$, $u(A) = A \times \sqrt{\left(\dfrac{u(X)}{X}\right)^2 + \left(\dfrac{u(Y)}{Y}\right)^2 + \left(\dfrac{u(Z)}{Z}\right)^2}$.

20 Python

CORRIGÉ

Choix d'une méthode de titrage

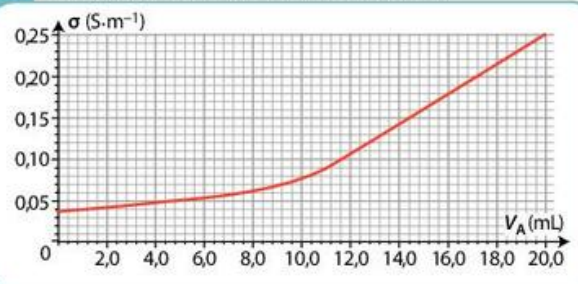
Utiliser un langage de programmation ; faire preuve d'esprit critique.

On note BNa le benzoate de sodium. On souhaite modéliser le titrage d'un volume $V_0 = 10{,}0$ mL d'une solution aqueuse de benzoate de sodium $B^-(aq) + Na^+(aq)$ telle que $[B^-] = CBi = 0{,}1$ mol·L^{-1} par une solution de concentration en acide chlorhydrique telle que $[H_3O^+] = CA = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1}. Une simulation permet de choisir, entre les suivis pH-métrique et conductimétrique, la méthode la plus adaptée.

A Simulation pH-métrique à compléter

```
from math import log10
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
'''concentration initiale en ions
benzoate Cbi et  [H3O+] de la solution
titrante, volume de la prise d'essai
et volume à l'équivalence'''
CBi, CA, V0, Ve = 0.1, 0.1, 10, 10
'''CB, CBH, CH : liste des concentrations
respectives des espèces B-, BH, H3O+ et
du pH et du volume'''
CB, CBH, CH, pH, V = [], [], [], [], []
for VA in np.arange(1,26,0.5) :
    if VA < Ve :
        V.append(VA)
        CB.append((CBi*V0-CA*VA)/(V0+VA))
        CBH.append((CA*VA/(V0+VA)))
        CH.append(0)
        pH.append(4.2 + log10((0.1*V0-CA*VA)\
        /(CA*VA)))
    elif VA> Ve :
        
plt.subplot(121)
plt.plot(V, CB, 'bx-', label="CB")
plt.plot(V, CBH, 'rx-', label="CBH")
plt.legend()
plt.subplot(122)
plt.ylim(0,14)
'''définition des valeurs max et min des
ordonnées'''
plt.plot(V, pH, 'rx-', label="pH")
plt.legend()
plt.show()
```

B Simulation d'un suivi conductimétrique



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Le pH d'une solution contenant des ions benzoate $B^-(aq)$ et de l'acide benzoïque $BH(aq)$ s'exprime par :

$$pH = 4{,}2 + \log\left(\frac{[B^-]}{[BH]}\right).$$

1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.
2. À l'aide de tableaux d'avancement, établir la composition du système après ajout d'un volume V_A de solution titrante pour :
   a. $V_A < V_E$ où V_E est le volume versé à l'équivalence ;
   b. $V_A > V_E$.
3. Expliquer les lignes 9, 10 et 12 du script **A**.
4. Compléter la ligne 15 en écrivant les instructions permettant d'obtenir l'évolution des concentrations des espèces B^-, BH, H_3O^+ et du pH après l'équivalence.
5. Recopier le programme et simuler le graphe d'un titrage suivi par pH-métrie. Expliquer l'évolution des concentrations des espèces B^- et BH.
6. Commenter la détermination du volume équivalent.
7. Interpréter qualitativement le changement de pente observé pour le suivi conductimétrique.
8. Choisir la méthode de titrage la plus adaptée au titrage des ions benzoate B^-.

Données

- Couples acide-base : $BH(aq) / B^-(aq)$; $H_3O^+(aq) / H_2O(\ell)$.
- Conductivités molaires ioniques λ (mS·m^2·mol^{-1}) à 25 °C : $\lambda(Na^+) = 5$; $\lambda(H_3O^+) = 35$; $\lambda(B^-) = 3$.

21 Résolution de problème

CORRIGÉ

Fiche 1 p. 452

Algues et alimentation

Construire les étapes d'une résolution de problème.

D'après Baccalauréat

Les algues brunes telles les algues Kombu breton sont une source d'iode, élément essentiel au fonctionnement du corps humain.

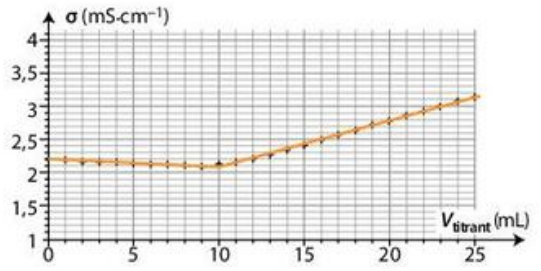
Après une série d'étapes en laboratoire, l'élément iode est extrait sous forme d'ions iodure I^- de 50,0 g d'algues sèches Kombu breton. L'extrait est dilué de façon à obtenir 100,0 mL d'une solution aqueuse S.

Le titrage suivi par conductimétrie de $V = 50{,}0$ mL de la solution S par une solution de concentration $5{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en ions plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$ est réalisé.

L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :

$$Pb^{2+}(aq) + 2\,I^-(aq) \rightarrow PbI_2(s)$$

La courbe de titrage est représentée ci-dessous.



- Déterminer la masse journalière d'algue Kombu breton séchée que peut consommer un adolescent pour satisfaire aux besoins nutritionnels en iode de son organisme.

Données

- $M(I) = 126{,}9$ g·mol^{-1}.
- Apport quotidien en iode d'un adolescent :
  – apport nutritionnel recommandé : 150 µg/jour ;
  – apport maximal : 900 µg/jour.

22 Dépollution par des végétaux

Exploiter un graphique ; interpréter des résultats.

La serpentine est une roche qui constitue une source naturelle de pollution du sol en métaux lourds tel que le nickel. La *Festuca Lemanii* est une plante qui se développe dans les landes à serpentine. Des chercheurs pensent qu'elle pourrait fixer l'élément nickel et jouer le rôle de plante dépolluante.

A Préparation de l'échantillon

20,0 g de *Festuca Lemanii* sont broyés, mélangés avec de l'acide nitrique puis chauffés. Après traitement basique et filtration, un volume $V_S = 50{,}0$ mL de solution S, contenant des ions oxonium et nickel (II), $Ni^{2+}(aq)$, est obtenu.

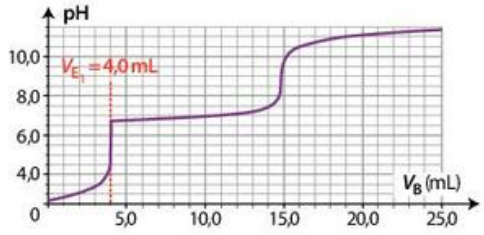
B Titrage des ions nickel

Le titrage d'un volume $V_A = 20{,}0$ mL de la solution S par une solution d'ions hydroxyde de concentration $C_B = 1{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} donne par suivi pH-métrique la courbe ci-dessous.

Au cours de ce titrage, deux réactions totales et successives se produisent, (R_1) puis (R_2) d'équation :

(R_1) : $H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell)$

(R_2) : $Ni^{2+}(aq) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow Ni(OH)_2(s)$



Dans la plupart des végétaux communs, la teneur en nickel est estimée à 50 µg par gramme de matière sèche.

1. Schématiser et légender le dispositif expérimental de titrage.

2. Déterminer le volume V_{E2} versé à la deuxième équivalence.

3. Justifier que la quantité d'ions Ni^{2+} titrés, $n(Ni^{2+})$ s'exprime par $n(Ni^{2+}) = \dfrac{C_B \times (V_{E2} - V_{E1})}{2}$.

4. Déterminer la masse d'élément nickel présent dans 1,0 g de *Festuca Lemanii* ($M(Ni) = 58{,}7$ g·mol^{-1}).

5. Est-il envisageable d'utiliser la *Festuca Lemanii* comme plante dépolluante ?

23 La gare de Limoges

Exploiter un graphique ; effectuer des calculs.



• Suite à un incendie, la gare de Limoges s'est parée en 2000 d'un dôme en cuivre. Avec le temps, une couche de vert-de-gris s'est formée. Tant que l'oxydation se poursuit, la coloration du dôme évolue.

• Le vert-de-gris de cuivre, $Cu_2(OH)_2CO_3$, est le produit de la corrosion superficielle du cuivre. Il est de couleur vert-bleu et évite la corrosion du métal. Sa formation s'explique par la réaction d'équation :

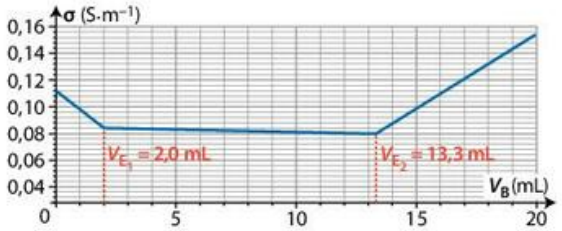
$2\,Cu(s) + O_2(g) + CO_2(g) + H_2O(g) \rightarrow Cu_2(OH)_2CO_3(s)$

• Un échantillon du dôme de la gare de Limoges est traité de sorte que l'élément cuivre se trouve entièrement sous forme d'ions $Cu^{2+}(aq)$. La solution S obtenue ($V = 1{,}00$ L) est composée d'ions cuivre (II) $Cu^{2+}(aq)$ et d'ions oxonium. Le titrage suivi par conductimétrie d'un volume $V_A = 100{,}0$ mL de la solution S par une solution d'hydroxyde de sodium telle que $[HO^-] = 2{,}00 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} permet de tracer le graphe ci-dessous.

Durant ce titrage, ont lieu deux réactions totales et successives (R_1) puis (R_2) d'équations :

(R_1) : $H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell)$

(R_2) : $Cu^{2+}(aq) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow Cu(OH)_2(s)$



1. Justifier qualitativement l'évolution des pentes de la courbe pour $V < V_{E1}$, $V_{E1} < V < V_{E2}$ et $V > V_{E2}$.

2. Justifier que la quantité $n(Cu^{2+})$ d'ions cuivre (II) Cu^{2+} titrés, s'exprime par :

$$n(Cu^{2+}) = \frac{C_B \times (V_{E2} - V_{E1})}{2}.$$

3. Déterminer la quantité de matière et la masse d'élément cuivre présent dans l'échantillon.

4. a. Calculer la masse qu'aurait l'échantillon s'il n'était constitué que de cuivre.

b. En déduire l'augmentation de masse Δm de l'échantillon lorsque le cuivre s'oxyde partiellement en vert-de-gris. Interpréter cette évolution.

5. Exprimer l'augmentation de masse Δm en fonction de la quantité n_{vdg} de vert-de-gris formé et des masses molaires des éléments oxygène, hydrogène et carbone.

Coup de pouce QR Code p. 58

6. En déduire la quantité n_{vdg}.

7. Calculer l'épaisseur e' de la couche de vert-de-gris.

8. On estime que la corrosion du cuivre en vert-de-gris s'achève si 5 % de l'épaisseur du cuivre s'est oxydée. Conclure quant à l'évolution de la coloration du dôme.

Données

• Caractéristiques échantillon : masse $m_0 = 7{,}22$ g ; surface $A = 1{,}00$ cm^2 ; épaisseur $e = 8{,}0 \times 10^{-1}$ cm.

• Masses molaires atomiques (en g·mol^{-1}) :
$M(Cu) = 63{,}5$; $M(C) = 12{,}0$; $M(O) = 16{,}0$; $M(H) = 1{,}0$.

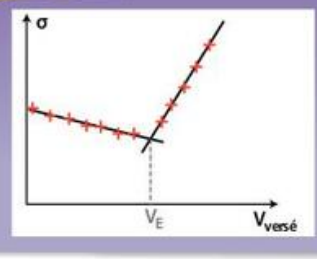
• Conductivité molaire ionique λ (mS·mol^{-1}·m^2) à 25 °C :
$\lambda(H_3O^+) = 35$; $\lambda(Na^+) = 5$; $\lambda(HO^-) = 20$; $\lambda(Cu^{2+}) = 11$.

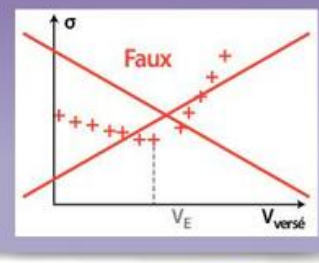
• Masse volumique du vert-de-gris estimée à 4,0 g·cm^{-3}.

Vers le BAC

Lire correctement le volume versé à l'équivalence

Lors d'un titrage suivi par conductimétrie, il ne faut pas surtout pas lire directement le volume versé à l'équivalence à partir des points mais repérer l'intersection des deux segments de droite.





Choisir correctement le volume du réactif titré

Lors d'un suivi par pH-métrie ou conductrimétrie, il ne faut pas tenir compte du volume d'eau versé dans le bécher avant le titrage pour écrire la relation à l'équivalence.

S'interroger sur la pertinence d'une conversion

Mettre les unités dans les calculs et s'interroger sur la pertinence d'une conversion.

Exemple :

$$C_A = C_B \times \frac{V_E}{V_A} = 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \times \frac{13{,}0\ \text{mL}}{20{,}0\ \text{mL}}$$

Inutile de convertir les deux volumes car le rapport est sans dimension.

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 60

24 COURRIEL — 35 min

Traitement d'un effluent

Tracer et exploiter un graphique ; comparer à une valeur de référence.

Dans les laiteries industrielles, les cuves sont nettoyées à l'aide de solutions d'hydroxyde de sodium concentrées. Les eaux de rinçage, qui forment les effluents, doivent être traitées avant rejet.

A Normes de rejet

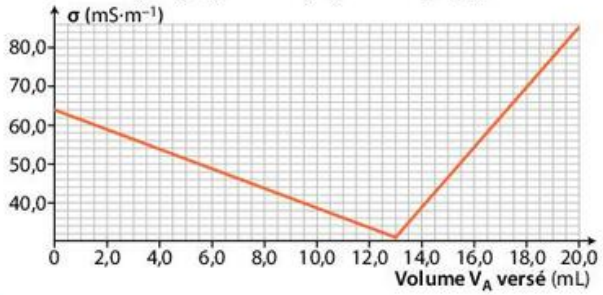
$$5 \leqslant \text{pH} \leqslant 8\ ;$$
$$10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \leqslant [\text{C}\ell^-] \leqslant 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$
$$10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \leqslant [\text{Na}^+] \leqslant 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

B Titrage suivi par conductimétrie

Le titrage suivi par conductimétrie d'un volume $V_0 = 1{,}0$ mL d'effluent par une solution S_A de concentration $C_A = 5{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en acide chlorhydrique permet d'obtenir la courbe ci-dessous. Un volume d'eau de 250 mL a été ajouté dans le bécher avant le titrage.

L'équation de la réaction support du titrage est :

$$H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow 2\ H_2O(\ell)$$



1. Proposer un protocole permettant de préparer 200,0 mL de solution S_A à partir d'une solution commerciale d'acide chlorhydrique. Utiliser le réflexe 1

2. Schématiser et légender le dispositif de titrage de l'effluent.

3. Interpréter qualitativement le changement de pente observé sur la courbe de titrage conductimétrique. Utiliser le réflexe 3

4. En exploitant les résultats expérimentaux du titrage, expliquer pourquoi le rejet des effluents est impossible.

5. Pour traiter un volume d'effluent $V_{eff} = 750$ L, un volume V d'acide chlorhydrique de concentration en ion oxonium $C = 10{,}0\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ est ajouté. Établir la composition du système après ajout du volume V de solution si les ions hydroxyde sont limitants.

6. Télécharger le programme Python. Expliquer l'instruction de la ligne 12.

PROGRAMME Python – QR Code p. 58

7. Préciser le réactif limitant pour les instructions correspondant aux lignes [23-27], [28-32], [33-37].

8. Exécuter le programme Python et estimer le volume V de solution de concentration $C = 10{,}0\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ à ajouter pour que le pH de la solution soit compatible avec les normes de rejet.

9. Après traitement avec la solution commerciale, l'entreprise peut-elle rejeter l'effluent ?

Données

- Conductivités molaires ioniques λ ($mS \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$) à 25 °C : $\lambda(Na^+) = 5{,}0$; $\lambda(HO^-) = 20{,}0$; $\lambda(H_3O^+) = 35{,}0$; $\lambda(C\ell^-) = 7{,}6$.
- Étiquette d'une solution commerciale d'acide chlorhydrique :

Acide chlorhydrique
$M = 36{,}5\ g \cdot mol^{-1}$, $d = 1{,}15$
32 %



25 CORRIGÉ — 15 min

Lutter contre le tartre

Exploiter des mesures, discuter un résultat, faire preuve d'esprit critique.

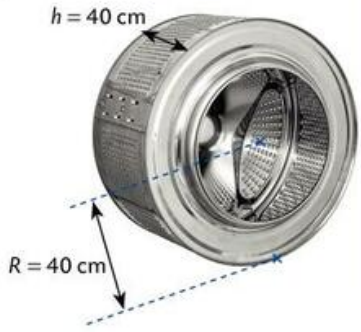
D'après Baccalauréat

Dans les lave-linge, les dépôts de tartre sont nombreux. Ils sont constitués essentiellement de carbonate de calcium, de formule $CaCO_3(s)$. Ils se dissolvent à l'aide de détartrants contenant des ions oxonium. L'équation de la réaction est :

$$2\,H_3O^+(aq) + CaCO_3(s) \rightarrow Ca^{2+}(aq) + CO_2(g) + 3\,H_2O(\ell)$$

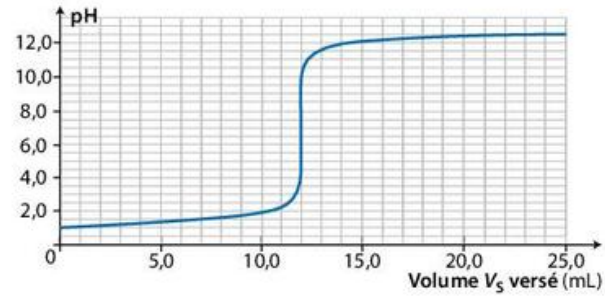
A Tambour à détartrer

La surface extérieure d'un tambour de lave-linge est recouverte de tartre sur une épaisseur e de 10 mm. On considère que le volume V de la couche de tartre est égal au produit de l'aire de la surface extérieure S du tambour par l'épaisseur e de la couche.



B Caractéristique d'un détartrant commercial

Le titrage suivi par pH-métrie d'un volume $V_S = 10{,}0$ mL d'une solution S, obtenue par dilution au $1/20^e$ du détartrant par une solution de concentration $C_B = 1{,}00 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1} en hydroxyde de sodium permet d'obtenir la courbe ci-après.



1. Déterminer la concentration en ions $H_3O^+(aq)$ de la solution diluée S. Utiliser le réflexe 2

2. Un flacon, contenant 750 mL de détartrant, suffit-il pour détartrer totalement le tambour du lave-linge ?

Données

- Masse volumique : $\rho(CaCO_3) = 2{,}65 \times 10^6\ g \cdot m^{-3}$.
- Masse molaire : $M(CaCO_3) = 100{,}1\ g \cdot mol^{-1}$.
- Aire de la surface extérieure totale d'un cylindre fermé de rayon R et de hauteur h : $2\pi R^2 + 2\pi R \times h$.
- Couples acide-base : $H_3O^+(aq)$ / $H_2O(\ell)$; $H_2O(\ell)$ / $HO^-(aq)$.

Préparation à l'ECE



Les pastilles du bassin de Vichy sont supposées avoir des propriétés digestives. Elles contiennent entre autres de l'hydrogénocarbonate de sodium, $NaHCO_3(s)$. Une pastille du bassin de Vichy pèse 2,9 g.

A Régime hyposodé

En raison de problèmes cardiaques ou d'hypertension, un régime hyposodé (pauvre en élément sodium Na) peut être prescrit. La masse m_{max} quotidienne maximale d'élément sodium ingérée dépend du régime :

- régime hypodosé strict : $m_{max} \leqslant 500$ mg ;
- régime hyposodé standard : $m_{max} \leqslant 1\,000$ mg ;
- régime hyposodé large : $m_{max} \leqslant 2\,000$ mg.

B Méthode de titrage

Une pastille du bassin de Vichy, réduite en poudre, est introduite dans un bécher de 100 mL. Un volume de 50 mL d'eau distillée est ajouté. Le titrage suivi par pH-métrie de cette solution est réalisé avec une solution de concentration $C_A = 5{,}00 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$ en acide chlorhydrique.

L'équation de la réaction support du titrage est :

$$HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow CO_2(aq) + 2\,H_2O(\ell)$$

C Résultats expérimentaux

V_A (mL)	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	12,0	13,0	14,0	16,0	20,0	25,0
pH	9,3	8,5	8,1	7,8	7,4	7,1	7,0	6,8	6,7	6,5	6,3	5,9	5,5	5,2	4,8	4,6	4,5	4,3	4,2	4,0	4,0	3,8	3,7	3,5

1. REA Exploiter les mesures du titrage pour déterminer la quantité d'ions hydrogénocarbonate HCO_3^- dans une pastille Vichy.

2. REA Lister les sources d'erreurs, pouvant être commises dans la détermination de la quantité d'ions hydrogénocarbonate contenu dans une pastille.

3. VAL La consommation d'une pastille après chaque repas d'une journée est-elle compatible avec un régime hyposodé ? Justifier.

Données

$M(NaHCO_3) = 84{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; $M(Na) = 23{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Structurer la présentation orale



1 min — L'INTRODUCTION
- Phrase d'accroche (fait d'actualité, données chiffrées, citation, etc.).
- Problématique.
- Plan du développement.
- Un silence la sépare du développement.

3 min — LE DÉVELOPPEMENT
- Phrases courtes.
- Explicitation des termes scientifiques.
- Utilisation de connecteurs logiques.

1 min — LA CONCLUSION
- Prise en compte de l'intégralité du propos de manière synthétique.
- Réponse à la problématique.

À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation fournie. Puis les élèves échangent leurs rôles et à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

Grille d'évaluation

Un volume $V_0 = 10{,}0$ mL d'eau minérale Hépar est analysé. Les ions sulfate SO_4^{2-} (aq) sont dosés par suivi conductimétrique à l'aide une solution de chlorure de baryum 2 $C\ell^-$ (aq) + Ba^{2+} (aq) telle que $[Ba^{2+}] = 1{,}50 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}. Les ions hydrogénocarbonate HCO_3^- (aq) sont dosés par suivi pH-métrique à l'aide de solution d'hydroxyde de sodium telle que $[HO^-] = 5{,}00 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}.

Minéralisation caractéristique de l'eau Hépar

	en mg/l
Magnésium	119
Sulfate SO_4^{2-}	1530
Hydrogénocarbonate HCO_3^-	383,7

Données

$M(SO_4^{2-}) = 96{,}1$ g·mol^{-1} ; $M(HCO_3^-) = 61{,}0$ g·mol^{-1}.

Évaluation orale n° 1

L'équation de la réaction de titrage s'écrit :

$$HCO_3^-\,(aq) + HO^-\,(aq) \rightarrow H_2O\,(\ell) + CO_3^{2-}\,(aq)$$

Le volume versé à l'équivalence V_E est égal à 12,2 mL.

Évaluation orale n° 2

L'équation de la réaction de titrage s'écrit :

$$Ba^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq) \rightarrow BaSO_4\,(s)$$

Le volume versé à l'équivalence V_E est égal à 10,6 mL.

- À l'aide du nuage de mots ci-contre, présenter en introduction l'objectif du titrage, puis dans le développement exploiter le volume versé à l'équivalence et enfin conclure.

Équivalence Titrant Eau Réactif **Titré** Concentration

Je m'exprime à l'oral sur

Les dosages

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Définir l'**équivalence**.

Indiquer les **variations des quantités** des réactifs titré et titrant dans le bécher au cours du dosage.

Nommer la **grandeur mesurée** lors d'un titrage suivi par conductimétrie. Préciser l'unité.

Comment **déterminer l'équivalence** d'un titrage suivi par pH-métrie ?

4 Modélisation macroscopique de l'évolution d'un système



Vincent VAN GOGH (1853-1890) a utilisé du jaune de cadmium pour peindre les *Meules de foin*. En quatre-vingts ans, de petites taches blanches sont apparues progressivement, signe d'une transformation chimique se produisant dans la peinture.

- Comment évaluer la durée d'une transformation chimique ?

> Rendez-vous : activité 1 p. 72

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Justifier le choix d'un capteur de suivi temporel de l'évolution d'un système. **Activité 5 p. 76**
- Identifier, à partir de données expérimentales, des facteurs cinétiques. **Activités 2 et 3 p. 73 et 74**
- Citer les propriétés d'un catalyseur et identifier un catalyseur à partir de données expérimentales. **Activité 3 p. 74**
- Mettre en évidence des facteurs cinétiques et l'effet d'un catalyseur. **Activités 1, 2 et 3 p. 72 à 74**
- À partir de données expérimentales, déterminer une vitesse volumique de disparition d'un réactif, une vitesse volumique d'apparition d'un produit ou un temps de demi-réaction. **Activité 4 p. 75**
- Mettre en œuvre une méthode physique pour suivre l'évolution d'une concentration **Activités 2, 3, 4 et 5 p. 73 à 76**
- Déterminer la vitesse volumique de formation d'un produit ou de disparition d'un réactif. **Activité 4 p. 75**
- Identifier, à partir de données expérimentales, si l'évolution d'une concentration suit ou non une loi de vitesse d'ordre 1. **Activités 4 et 5 p. 75 et 76**
- **Capacité numérique :** À l'aide d'un langage de programmation et à partir de données expérimentales, tracer l'évolution temporelle d'une concentration, d'une vitesse volumique d'apparition ou de disparition et tester une relation donnée entre la vitesse volumique de disparition et la concentration d'un réactif. **Exercice 20 p. 89**

Activité documentaire 1

À l'épreuve du temps

Notions
- Transformations lentes et rapides
- Facteurs cinétiques

Les œuvres d'art s'altèrent au cours du temps. Des facteurs cinétiques peuvent accélérer les dégradations qu'elles subissent.

► **Objectif de l'activité : Quels sont les facteurs cinétiques qui accélèrent ces dégradations ?**

A Des oxydations lentes et rapides

Le vieillissement d'une œuvre est un processus irrémédiable. Les réactions d'oxydation sont l'une des causes de cette altération. Par exemple, Vincent VAN GOGH (1853-1890) a utilisé du jaune de cadmium (ou sulfure de cadmium CdS), comme en témoignent les analyses effectuées sur les *Meules de foin*. Des prélèvements de ce pigment ont permis d'y observer de petites taches blanches. En quatre-vingts ans, ces taches sont apparues progressivement. Les analyses ont montré que le pigment jaune a été oxydé par le dioxygène de l'air en sulfate de cadmium blanc :

$$CdS\,(s) + 2\,O_2\,(g) \rightarrow CdSO_4\,(s)$$



› Meules de foin, Vincent VAN GOGH

Le feu peut être également à l'origine de la destruction d'œuvres. Deux peintures de Claude MONET (1840-1926), dont une étude pour les *Nymphéas* représentant le bassin de nénuphars à Giverny, ont été détruites lors d'un incendie au Museum of Modern Art, à New York, en 1958.

D'après la publication de Koen JANSSENS, *Matériaux du patrimoine et altération*, revue *Chimie & Art*, 2009.

B Des facteurs de dégradation

Les portraits du Fayoum sont des peintures sur bois remontant à l'Égypte romaine (Ier siècle). Ces œuvres funéraires, retrouvées enfouies dans le sable, ont été protégées de l'oxydation car elles ont été maintenues à l'abri de la lumière et à une température constante.

D'après *Sauvegarde des bibliothèques du désert*, A. GIACOMELLO et A. PESARO, 2009.



› Portrait d'Eutychès

C La conservation des peintures

Une peinture ne peut être exposée à proximité d'une source de chaleur : une température élevée accélère sa dégradation. Elle doit être maintenue à l'abri du soleil et des polluants atmosphériques. Les ultraviolets accélèrent les réactions de photo-oxydation comme la décoloration des pigments, le jaunissement des huiles, etc. Les infrarouges influent également sur la rapidité des réactions de dégradation. Les polluants comme les oxydes d'azote $NO_x\,(g)$ oxydent la cellulose et ce, d'autant plus vite que leur concentration dans l'atmosphère est élevée. Pour lutter contre ces réactions, il peut être nécessaire de vernir les tableaux.

Analyse des documents

Extraire et organiser l'information APP

1 Citer une transformation lente et une transformation rapide pouvant altérer les œuvres d'art (doc. A).

Mobiliser ses connaissances APP

2 Pourquoi une combustion, telle que celle ayant détruit les *Nymphéas* de MONET, peut-elle être qualifiée d'oxydation ?

Extraire et organiser l'information APP

3 Pourquoi la température peut-elle être considérée comme un facteur cinétique ?

Formuler une hypothèse ANA-RAIS

4 À quel facteur cinétique les rayonnements infrarouges peuvent-ils être associés ?

Proposer un modèle ANA-RAIS

5 On note $R–CH_2–OH\,(s)$ un fragment de cellulose. Établir l'équation de sa réaction d'oxydation en acide $R–CO_2H\,(s)$, par le dioxyde d'azote.
On donne : $NO_2\,(g)$ / $NO\,(g)$.

Interpréter des observations VAL

6 Citer la phrase du texte C qui montre que la concentration est un facteur cinétique.

Un pas vers le cours

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

7 Définir un facteur cinétique et en donner trois exemples.

Activité 2 expérimentale

Suivi cinétique par mesure de pression

Notions
- Choix de capteur
- Suivi temporel par mesure de pression
- Facteurs cinétiques (température, concentration)

Divers paramètres, appelés facteurs cinétiques, agissent sur la rapidité d'évolution d'un système chimique.

▶ **Objectif de l'activité : Quels sont les rôles de la température et de la concentration des réactifs sur la rapidité d'évolution d'un système ?**

A Un détartrant pour machines à café

Le calcaire est naturellement présent dans les eaux, en plus ou moins grande quantité selon les régions. Il s'accumule dans les machines à café, réduisant ainsi leurs performances et altérant le goût du café. L'usage d'un détartrant permet d'éliminer le calcaire et d'augmenter la durée de vie de la machine à café. Certaines marques préconisent l'utilisation de solutions d'acide lactique avec un titre massique variant de 30 à 50 %. Biodégradable, il est aussi une alternative efficace au vinaigre blanc, trop corrosif.

Le manuel d'utilisation indique de verser, dans le réservoir d'eau, une dose de 100 mL de détartrant et d'y ajouter un litre d'eau, de mélanger et de lancer un cycle de détartrage pendant 5 minutes.



Protocole expérimental

☑ Dans un erlenmeyer de 100 mL, INTRODUIRE 0,4 g de carbonate de calcium.
☑ AJOUTER 50 mL d'une solution diluée d'acide lactique à 0,4 mol·L^{-1}.
☑ ADAPTER rapidement un bouchon relié à un pressiomètre et DÉCLENCHER le chronomètre.
☑ Toutes les quinze secondes pendant cinq minutes, puis, toutes les soixante secondes au cours des cinq minutes suivantes, RELEVER l'évolution de la pression.

Complément scientifique

- Le tartre est essentiellement constitué d'un dépôt solide de carbonate de calcium de formule $CaCO_3(s)$ appelé aussi calcaire dans la vie courante.
- Lors du détartrage, l'acide lactique $C_3H_6O_3(aq)$ réagit avec le carbonate de calcium suivant la réaction d'équation :

$$CaCO_3(s) + 2\,C_3H_6O_3(aq) \rightarrow CO_2(g) + Ca^{2+}(aq) + 2\,C_3H_5O_3^-(aq) + H_2O(\ell)$$

Données

- Masse volumique du détartrant : $\rho = 1{,}13\ kg \cdot L^{-1}$.
- Le titre massique, en pourcent, d'une espèce E dans une solution est le quotient de la masse $m(E)$ de cette espèce par la masse totale m_{tot} de la solution (voir chapitre 3).

Pratique expérimentale

Une cafetière est entartrée avec une dizaine de grammes de calcaire. On cherche à déterminer si la durée de détartrage préconisée est suffisante.

Justifier un protocole ANA-RAIS

1 Justifier que les quantités utilisées dans le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL simulent, au laboratoire, le détartrage de la cafetière par une solution d'acide lactique à 35 %.

Justifier un protocole ANA-RAIS

2 Justifier l'utilisation d'un pressiomètre.

Mettre en œuvre un protocole RÉA

3 Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL en observant l'évolution du mélange au cours du temps.

Tracer un graphique RÉA

4 Tracer l'évolution temporelle de la surpression.

Interpréter des résultats VAL

5 Montrer que l'allure de la courbe est en accord avec les observations effectuées.

Formuler des hypothèses ANA-RAIS

6 a. Lors du cycle de détartrage, la solution est chauffée. Émettre une hypothèse sur l'effet du chauffage sur la durée de détartrage.
b. Émettre une hypothèse sur l'utilisation de solutions plus ou moins concentrées en acide lactique sur la durée de détartrage.

Élaborer et mettre un œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

7 Élaborer et mettre en œuvre un protocole expérimental pour tester les hypothèses formulées.

Un pas vers le cours

Confronter des résultats à des hypothèses VAL

8 Quels sont les rôles de la température et de la concentration des réactifs sur la rapidité d'évolution d'un système ?

Activité 3 expérimentale double démarche

La catalyse

Notion
- Facteur cinétique (catalyseur)

Certaines réactions chimiques biologiques ou industrielles se déroulent en présence d'un catalyseur.

► **Objectif de l'activité : Qu'est-ce qu'un catalyseur et quelles sont ses caractéristiques ?**

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1

☑ Dans quatre béchers marqués A, B, C et D, VERSER 20 mL d'eau oxygénée à 30 volumes. Le bécher A sert de témoin.
☑ INTRODUIRE :
– dans le bécher B, un fil de platine (ou un petit cylindre de platine utilisé pour la désinfection et le nettoyage des lentilles cornéennes) ;
– dans le bécher C, quelques gouttes d'une solution concentrée de sulfate de cuivre (II) ;
– dans le bécher D, un petit morceau de foie contenant une enzyme, la catalase.

A L'eau oxygénée



L'eau oxygénée est un antiseptique. C'est une solution aqueuse de peroxyde d'hydrogène H_2O_2. Instable, ce dernier se décompose lentement selon une réaction d'équation :

$$2\,H_2O_2\,(aq) \rightarrow O_2\,(g) + 2\,H_2O\,(\ell).$$

La décomposition du peroxyde d'hydrogène est accélérée au contact du sang. L'effervescence est due à une libération de dioxygène.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2

☑ Dans un erlenmeyer, VERSER 20 mL d'eau oxygénée 20 volumes et le PLACER dans un bain-marie à une température d'environ 50 °C.
☑ INTRODUIRE 1,00 g de sulfate de cuivre (II) dans l'erlenmeyer. AGITER.
☑ Lorsque le dégagement gazeux cesse, VERSER le mélange réactionnel dans une fiole jaugée de 100,0 mL et COMPLÉTER avec de l'eau distillée.
☑ PRÉLEVER 20,0 mL de la solution et les INTRODUIRE dans une fiole jaugée de 50,0 mL.
☑ AJOUTER environ 15 mL d'une solution aqueuse d'ammoniac, COMPLÉTER avec de l'eau distillée. On NOTE S_1 la solution obtenue. L'ammoniac $NH_3\,(aq)$ introduit en excès transforme tous les ions cuivre (II) présents en ions $Cu(NH_3)_4^{2+}\,(aq)$.
☑ RECOMMENCER les mêmes opérations en remplaçant l'eau oxygénée par de l'eau distillée. On NOTE S_0 la solution obtenue : elle sert de témoin.
☑ MESURER les absorbances A_0 et A_1 des solutions S_0 et S_1 à une longueur d'onde $\lambda = 620$ nm.

Donnée

Lors des mesures d'absorbance, la seule espèce colorée est l'ion $Cu(NH_3)_4^{2+}\,(aq)$. Le maximum d'absorption de cette espèce est observé à la longueur d'onde $\lambda = 620$ nm.

Parcours 1 Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1. Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1. Noter les observations.

Interpréter des observations VAL

2. Quel est le rôle du platine, des ions cuivre (II) et de la catalase lors des expériences réalisées dans les béchers B, C et D ?

Un pas vers le cours

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

3. Proposer une définition pour les termes suivants :
– catalyseur ;
– réaction catalysée ;
– catalyse hétérogène ;
– catalyse homogène ;
– catalyse enzymatique.

Parcours 2 Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1. Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2. Noter les observations.

Mobiliser ses connaissances APP

2. À partir de la loi de Beer-Lambert, montrer que :

$$\frac{\left[Cu(NH_3)_4^{2+}\right]_{S_0}}{\left[Cu(NH_3)_4^{2+}\right]_{S_1}} = \frac{A_0}{A_1}$$ puis calculer le rapport $\frac{A_0}{A_1}$.

Interpréter des mesures VAL

3. Les quantités initiale et finale d'ions cuivre (II) $Cu^{2+}\,(aq)$ sont-elles identiques lors de la réaction de décomposition du peroxyde d'hydrogène catalysée par les ions cuivre (II) ?

Un pas vers le cours

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

4. Citer deux caractéristiques d'un catalyseur.

Activité expérimentale 4

Loi de vitesse d'ordre 1

L'érythrosine est un colorant alimentaire de couleur rouge utilisé pour colorer, par exemple, les fruits confits tels que les cerises. L'eau de Javel peut venir plus ou moins vite à bout de tâches dues à ce colorant.

▶ **Objectif de l'activité : Peut-on modéliser l'évolution de la concentration du colorant au cours du temps ?**

Notions
- Suivi temporel spectrophotométrique de disparition d'un réactif
- Vitesse volumique
- Loi de vitesse d'ordre 1
- Facteur cinétique

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Soit une réaction d'équation :

$$a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$$

La vitesse de la réaction peut s'exprimer par :

$$v = k \times [A]^{\alpha} \times [B]^{\beta}$$

où α et β sont les ordres partiels de la réaction, $\alpha + \beta$ est l'ordre global et k est la constante de vitesse.

Cette loi est déduite de l'expérience.

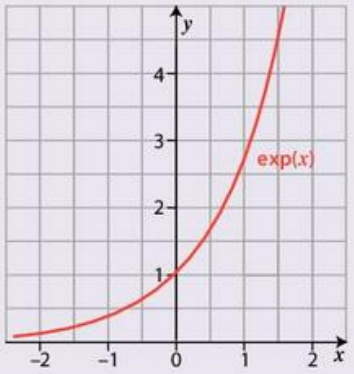
Elle fut proposée par le chimiste néerlandais VAN'T HOFF (1852-1911).

Si $\alpha = 1$, on dit que la réaction est d'ordre 1 par rapport à A.

COMPLÉMENT MATHÉMATIQUE

En mathématiques, la **fonction exponentielle** est la fonction $f(x)$, notée **exp(x)**, telle que $f(0) = 1$ et $f'(x) = f(x)$.

C'est la fonction réciproque de la fonction logarithme népérien, noté $\ln(x)$, ce qui se traduit par la relation : $\ln[\exp(x)] = x$.



A Vitesse de décoloration de l'érythrosine

- L'érythrosine, notée E (aq), peut être décolorée par les ions hypochlorite $C\ell O^-$ (aq) apportés par une solution commerciale d'eau de Javel, selon la réaction d'équation :

$$E\,(aq) + C\ell O^-\,(aq) \rightarrow F\,(aq)$$

où F (aq) est le produit incolore formé.

- Lorsque la concentration initiale en ions hypochlorite est très grande devant celle de l'érythrosine, la vitesse de disparition de l'érythrosine peut s'écrire :

$$v = k \times [E]_t^{\alpha}$$

où $[E]_t$ est la concentration en érythrosine au cours du temps et k est une constante.

- Dans ce cas, on peut démontrer que si la réaction est d'ordre 1 par rapport à l'érythrosine, alors :

$$[E]_t = [E]_0 \times \exp(-k \times t)$$

où $[E]_0$ est la concentration initiale en érythrosine.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

☑ RÉGLER la longueur d'onde du spectrophotomètre sur 530 nm.

☑ « FAIRE LE BLANC » avec une cuve remplie d'eau distillée (Fiche 6 p. 458).

☑ Dans des béchers de 50 mL, PRÉPARER les solutions suivantes à partir d'eau de Javel commerciale :

Solution n°	1	2
$V_{\text{eau de Javel}}$ (mL)	6,0	10,0
$V_{\text{eau distillée}}$ (mL)	14,0	10,0

☑ Tout en déclenchant le chronomètre, VERSER rapidement dans la solution n° 1, $V = 10{,}0$ mL d'une solution d'érythrosine de concentration $[E]_0 = 8{,}5 \times 10^{-6}$ mol · L^{-1}.

☑ REMPLIR rapidement une cuve et RELEVER l'absorbance A du mélange réactionnel au cours du temps.

☑ RECOMMENCER les mêmes opérations avec la solution n° 2.

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL.

Mobiliser ses connaissances APP

2 Donner la relation entre l'absorbance A du mélange et la concentration $[E]_t$ en érythrosine. On considère que seule l'érythrosine absorbe.

Proposer un modèle ANA-RAIS

3 Exploiter les résultats afin de montrer que, dans les conditions expérimentales, la réaction étudiée est d'ordre 1 par rapport à l'érythrosine (doc. A).

Interpréter des mesures VAL

4 Exploiter les résultats afin de montrer que la concentration en ions hypochlorite est un facteur cinétique.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit COM

5 Expliquer comment déterminer si une réaction chimique est d'ordre 1 par rapport à un réactif et commenter la phrase en gras du COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE.

Activité 5 expérimentale

Hydrolyse du chlorure de tertiobutyle

Notions
- Suivi temporel d'apparition d'un produit (conductimétrie, pH-métrie)
- Choix de capteur
- Temps de demi-réaction

Le chlorure de tertiobutyle est un intermédiaire de synthèse, notamment pour la fabrication des CD et DVD. Il peut être synthétisé à partir de tertiobutanol. Inversement, la réaction d'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle donne du tertiobutanol selon une réaction lente.

▶ **Objectif de l'activité : Comment étudier les caractéristiques cinétiques de cette réaction ?**

A La réaction d'hydrolyse

Mis en solution dans l'eau H_2O, le chlorure de tertiobutyle $(CH_3)_3C–C\ell$ réagit avec l'eau, il s'hydrolyse, selon la réaction d'équation :

$(CH_3)_3C–C\ell + 2\ H_2O \rightarrow (CH_3)_3C–OH + H_3O^+ + C\ell^-$

Dans ces conditions, on peut dire que la réaction est d'ordre 1 par rapport au chlorure de tertiobutyle.

Matériel et produits disponibles



Protocole expérimental

- ☑ Verser 100 mL d'un mélange 50/50 (en volume) eau distillée / éthanol dans un bécher.
- ☑ Plonger la cellule (ou la sonde) de l'appareil de mesure choisi et mettre en marche l'agitateur magnétique (il sera ensuite arrêté trente secondes après le déclenchement du chronomètre).
- ☑ Tout en déclenchant le chronomètre, ajouter 0,5 mL de chlorure de tertiobutyle.
- ☑ Toutes les trente secondes et pendant 10 minutes, puis toutes les minutes pendant les 10 minutes suivantes, mesurer la grandeur choisie.
- ☑ Reproduire la même expérience avec 1,0 mL de chlorure de tertiobutyle.

Complément scientifique

Le temps de demi-réaction, noté $t_{½}$, d'un système est la durée nécessaire pour que la moitié du réactif limitant soit consommé.

Données

Conductivités molaires ioniques à 25 °C :
- $\lambda(H_3O^+) = 35{,}0\ mS \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$;
- $\lambda(C\ell^-) = 7{,}63\ mS \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$.

Analyse des documents

Justifier un protocole ANA-RAIS

1 Justifier que la cinétique de la réaction d'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle peut être suivie par pH-métrie ou par conductimétrie (texte A).

Mobiliser ses connaissances APP

2 **a.** Établir un tableau d'avancement du système étudié.
b. Choisir l'une des deux méthodes de suivi puis exprimer la concentration en chlorure de tertiobutyle dans le mélange en fonction du pH ou de la conductivité σ de la solution.

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

3 Mettre en œuvre le Protocole expérimental.

Tracer un graphique RÉA

4 Pour chacune des deux expériences du protocole :
– à l'aide d'un tableur, calculer les valeurs de la concentration en chlorure de tertiobutyle correspondant aux différentes mesures ;
– tracer l'évolution de la concentration en chlorure de tertiobutyle en fonction du temps.

Identifier les sources d'erreur VAL

5 À partir des indications fournies par le constructeur, discuter l'influence de l'instrument de mesure dans la détermination de la concentration en chlorure de tertiobutyle de la solution.

Exploiter des mesures ANA-RAIS

6 Exploiter les résultats pour déterminer si la réaction étudiée est d'ordre 1 par rapport au chlorure de tertiobutyle.

Évaluer un ordre de grandeur ANA-RAIS

7 Pour chacune des deux expériences, déterminer le temps de demi-réaction et comparer ces deux valeurs.

Un pas vers le cours

Interpréter des résultats VAL

8 Exposer une méthode pour déterminer si une réaction est d'ordre 1 par rapport à un réactif.

A Changement de couleur



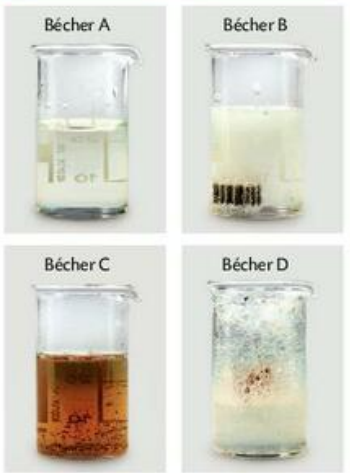
Le changement de couleur de la crevette lors de sa cuisson est dû à une réaction lente de décomposition d'une protéine laissant apparaître l'astaxanthine qui lui donne sa couleur rosée.

B Synthèse chlorophyllienne



La synthèse chlorophyllienne est un exemple de réaction photochimique : la lumière est un facteur cinétique.

C Décomposition de l'eau oxygénée



Eau oxygénée : (A) seule ; (B) en présence de platine ; (C) en présence d'ions fer (III) Fe^{3+} ; (D) en présence de foie, source de catalase.

1 Les facteurs cinétiques

- La durée d'évolution des systèmes chimiques est variable. La **cinétique chimique** est l'étude du déroulement temporel des réactions chimiques.
- Dans une première approche, on considère qu'une **réaction est rapide** lorsqu'elle semble achevée dès que les réactifs entrent en contact, et qu'une **réaction est lente** lorsqu'elle dure de quelques secondes à plusieurs dizaines de minutes.

Lorsqu'une évolution d'un système est possible, mais ne peut être appréciée même après plusieurs jours, la réaction qui s'y déroule est **infiniment lente**.

Exemple : Du point de vue du chimiste, les réactions biochimiques sont lentes (photographie A).

- En pratique, l'étude de l'évolution d'un système peut nécessiter l'utilisation d'un capteur (voir paragraphe 2.c.). Ce choix conditionne le classement, d'un point de vue cinétique, de la réaction qui s'y déroule.
- Divers paramètres agissent sur la rapidité d'évolution d'un système siège d'une réaction chimique : ces paramètres constituent **les facteurs cinétiques** de la réaction (photographie B).

a. Influence de la température

En général, l'évolution d'un système chimique est d'autant **plus rapide** que sa **température est élevée**.

Exemple : La cuisson des aliments s'accompagne de réactions chimiques qui sont d'autant plus rapides que la température de cuisson est élevée. Inversement, la congélation permet de ralentir les réactions de dégradation des aliments.

- La **trempe** désigne le refroidissement brutal que l'on fait subir à un système chimique. Si le refroidissement est assez rapide, le système n'évolue plus et conserve la composition qu'il avait juste avant le refroidissement.

b. Influence de la concentration des réactifs

L'évolution d'un système chimique, dont les réactifs sont en solution, est d'autant **plus rapide** que les **concentrations des réactifs sont élevées**.

Exemple : Un mélange réactionnel peut être dilué pour en ralentir l'évolution.

c. La catalyse

Un **catalyseur** est une espèce qui accélère une réaction chimique. Au cours de la transformation, il est consommé puis régénéré, sa formule n'apparaît donc pas dans l'équation de la réaction.

Exemple : Le peroxyde d'hydrogène $H_2O_2(aq)$ se décompose (photographies C) selon une réaction d'équation :

$$2\,H_2O_2(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell) + O_2(g).$$

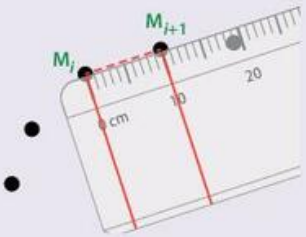
Cette réaction est très lente : il n'est pas possible d'observer un dégagement de dioxygène dans le bécher A. En revanche, un dégagement intense se produit en présence de catalyseurs.

- Lorsque le catalyseur et tous les réactifs sont dans la même phase, la catalyse est dite **homogène** ; elle est **hétérogène** dans le cas contraire. La catalyse est **enzymatique** si le catalyseur est une enzyme.

Info

Dans un référentiel donné, la valeur v_i de la vitesse du système dans la position M_i est assimilée à la valeur de la vitesse moyenne du système entre deux positions très proches M_i et M_{i+1} :

$$v_i = \frac{M_i M_{i+1}}{t_{i+1} - t_i}$$

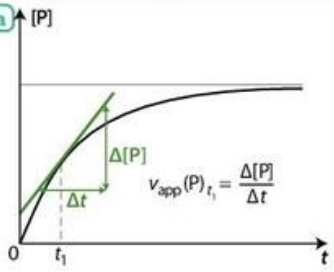


Point maths

Le taux de variation d'une fonction $f(x)$ s'écrit $\tau(h) = \frac{f(a+h) - f(a)}{h}$.
Lorsque h tend vers zéro, $\tau(h)$ tend vers le nombre dérivé de f en a, noté $f'(a)$.

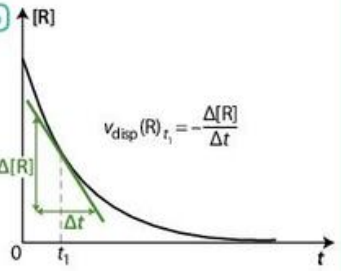
D **Vitesse et coefficient directeur de la tangente à la courbe**

a



> Le coefficient directeur de la tangente à la courbe $\frac{\Delta[P]}{\Delta t}$ à l'instant t_1 est égal à la vitesse d'apparition du produit P à cet instant.

b



> Le coefficient directeur de la tangente à la courbe $\frac{\Delta[R]}{\Delta t}$ à l'instant t_1 est égal à l'opposé de la vitesse de disparition du réactif R à cet instant.

2 La vitesse d'évolution d'un système

a. Vitesses volumiques

• La vitesse volumique d'apparition d'un produit P, dans un volume constant, se définit de façon analogue à la vitesse de déplacement d'un système en physique (Info).

La **vitesse volumique d'apparition** d'un produit P à l'instant t_i est assimilée au taux de variation de sa concentration [P] entre les instants proches t_i et t_{i+1} :

$$v_{app}(P)_{t_i} = \frac{[P]_{t_{i+1}} - [P]_{t_i}}{t_{i+1} - t_i} = \frac{[P]_{t_{i+1}} - [P]_{t_i}}{\Delta t}$$

• Lorsque l'intervalle de temps Δt tend vers zéro, le taux de variation de la concentration [P] tend vers le nombre dérivé de [P] à l'instant considéré (Point maths).

La **vitesse volumique d'apparition** d'un produit P est égale à la dérivée par rapport au temps (ou dérivée temporelle) de sa concentration :

$$v_{app}(P)_t = \frac{d[P]}{dt}$$

À l'instant t, la vitesse est aussi égale au coefficient directeur de la tangente à la courbe donnant l'évolution temporelle de [P].

• On définit également la vitesse de disparition d'un réactif R dans un volume constant. Afin que cette vitesse soit une grandeur positive, on la définit comme l'opposé du taux de variation de la concentration [R].

La **vitesse volumique de disparition** d'un réactif R à l'instant t_i est assimilée au taux de variation de sa concentration [R] entre les instants proches t_i et t_{i+1} :

$$v_{disp}(R)_{t_i} = -\frac{[R]_{t_{i+1}} - [R]_{t_i}}{t_{i+1} - t_i} = -\frac{[R]_{t_{i+1}} - [R]_{t_i}}{\Delta t}$$

Elle est aussi égale à l'opposé de la dérivée temporelle de [R] :

$$v_{disp}(R)_t = -\frac{d[R]}{dt}$$

À l'instant t, cette vitesse est aussi égale à l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe donnant l'évolution temporelle de [R].

• La vitesse d'apparition d'un produit (schéma D a) ou de disparition d'un réactif (schéma D b) peut être déterminée graphiquement.

• La vitesse d'apparition d'un produit ou de disparition d'un réactif possède une unité. Par exemple, si les concentrations sont exprimées en $mol \cdot L^{-1}$ et le temps en seconde, alors les vitesses s'expriment en $\mathbf{mol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}}$.

b. Temps de demi-réaction

• Le **temps de demi-réaction** $t_{1/2}$ d'un système est la durée nécessaire pour que la moitié du réactif limitant soit consommé.

• On admet qu'un système, siège d'une réaction chimique, cesse d'évoluer au bout d'une durée de l'ordre de quelques $t_{1/2}$. Sa connaissance permet donc d'évaluer la durée de la réaction.

• On peut aussi déterminer $t_{1/2}$ à partir de l'évolution de la concentration d'un produit P au cours du temps : lorsque $t = t_{1/2}$ alors $[P] = \frac{[P]_{max}}{2}$.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Loi de vitesse d'ordre 1

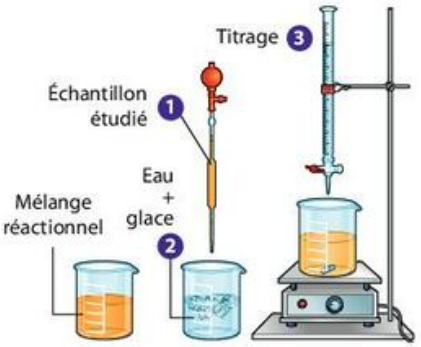
VIDÉO DE COURS

c. Méthode de suivi cinétique

Le **suivi cinétique** d'une réaction consiste à déterminer expérimentalement la relation existant entre la quantité (ou la concentration) d'un réactif ou d'un produit et le temps t.

Ce suivi peut se faire :
– à partir de la **mesure d'une grandeur physique** (absorbance, conductivité, pression, volume, etc.) grâce à un capteur ;
– par **titrages successifs** de l'une des espèces, à intervalles de temps réguliers :

1. Prélèvement d'un échantillon du mélange réactionnel.
2. Réalisation d'une trempe avec dilution pour stopper la réaction.
3. Détermination de la concentration d'une des espèces chimiques présentes par tirage.



3 La loi de vitesse d'ordre 1

a. Définition

Soit une réaction d'équation : $a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$.
On dit que cette réaction est **d'ordre 1** par rapport au réactif A si, lorsque le réactif B est en large excès, les vitesses volumiques de disparition des réactifs ou d'apparition des produits sont proportionnelles à la concentration $[A]_t$ de l'espèce A au cours du temps.

Exemple : La décomposition du peroxyde d'hydrogène contenu dans l'eau oxygénée selon la réaction d'équation : $2\,H_2O_2(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell) + O_2(g)$
est une réaction d'ordre 1 par rapport au peroxyde d'hydrogène.
Si k_1 et k_2 sont des constantes positives, on peut écrire (INFO) :

$$v_{disp}(H_2O_2)_t = -\frac{d[H_2O_2]}{dt} = k_1 \times [H_2O_2]_t \; ; \; v_{app}(O_2)_t = \frac{d[O_2]}{dt} = k_2 \times [H_2O_2]_t$$

b. Reconnaître une loi de vitesse d'ordre 1

On considère une réaction d'équation : $a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$.
Lorsque B est en large excès, il existe plusieurs méthodes pour vérifier que cette réaction est d'ordre 1 par rapport au réactif A :

- méthode 1 : vérifier que le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est indépendant de la concentration initiale $[A]_0$ de l'espèce A ;
- méthode 2 : vérifier que les vitesses volumiques de disparition des réactifs ou d'apparition des produits sont proportionnelles à la concentration $[A]_t$ de l'espèce A au cours du temps ;
- méthode 3 : vérifier que l'évolution de la concentration $[A]_t$ du réactif A au cours du temps obéit à une loi exponentielle du type :

$$[A]_t = [A]_0 \times \exp(-k \times t)$$

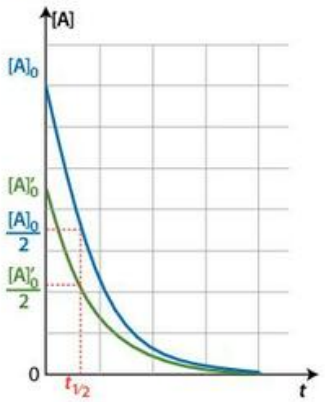
La détermination graphique du temps de demi-réaction $t_{1/2}$ peut être exploitée de deux manières différentes (graphiques E).

INFO

Il existe une relation de proportionnalité entre les coefficients k_1 et k_2. Ces deux coefficients peuvent parfois être égaux.

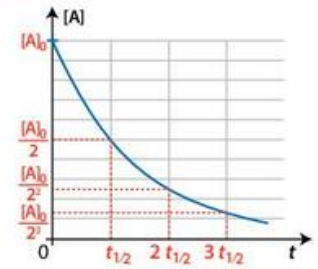
E Ordre 1 et temps de demi-réaction

a



> Si une réaction suit une loi de vitesse d'ordre 1 par rapport au réactif A, $t_{1/2}$ est indépendant de la concentration initiale $[A]_0$.

b



> Au cours d'une réaction qui suit une loi de vitesse d'ordre 1 par rapport au réactif A, la concentration [A] du réactif limitant est divisée par 2^n pour une durée écoulée égale à $n \times t_{1/2}$ car elle obéit à une loi exponentielle du type $[A]_0 \times \exp(-k \times t)$.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

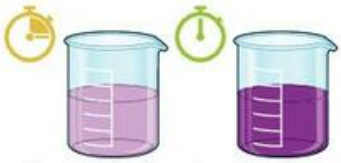
VIDÉO DE COURS
Loi de vitesse d'ordre 1
QCM
Version interactive

1 Les facteurs cinétiques



Les facteurs cinétiques agissent sur la rapidité d'une réaction chimique.


Température du système


Concentration des réactifs

Catalyseur

- **Accélère une réaction chimique** sans être consommé par celle-ci.
- Sa formule n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

Homogène



Hétérogène



Enzymatique



2 La vitesse d'évolution d'un système

Vitesse volumique d'apparition d'un produit P

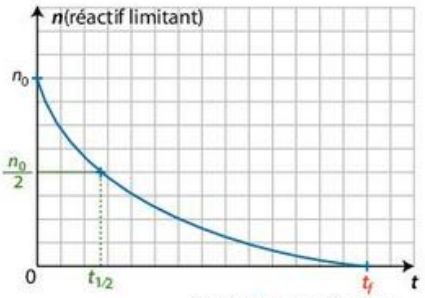
$$v_{app}(P)_t = \frac{d[P]}{dt}$$

Vitesse volumique de disparition d'un réactif R

$$v_{disp}(R)_t = -\frac{d[R]}{dt}$$

Temps de demi-réaction $t_{1/2}$

Durée nécessaire pour que la moitié du réactif limitant soit consommé.



Durée t_f d'une réaction

Suivi cinétique d'une réaction chimique

- Par mesure d'une grandeur physique (**absorbance, conductivité, pression, volume**, etc.).
- Par **titrages successifs** de l'une des espèces.

3 La loi de vitesse d'ordre 1

Lorsque le réactif B est en large excès, la réaction d'équation $a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$ est **d'ordre 1 par rapport à A** si :

Temps de demi-réaction $t_{1/2}$ indépendant de la concentration initiale $[A]_0$

Vitesses volumiques proportionnelles à $[A]_t$

$v_{disp}(A)_t = k_1 \times [A]_t$ et $v_{app}(C)_t = k_2 \times [A]_t$

Loi exponentielle :

$[A]_t = [A]_0 \times \exp(-k \times t)$

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

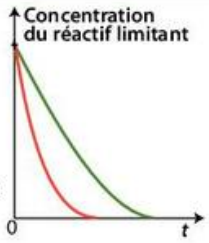
1 Les facteurs cinétiques

Si erreur, revoir § 1 p. 77

	A	B	C
1. Généralement, l'évolution d'un système est d'autant plus rapide que :	du solvant est ajouté.	le volume du système chimique augmente.	la concentration des réactifs augmente.
2. Généralement, une élévation de température :	augmente la vitesse de disparition d'un réactif.	diminue la vitesse de disparition d'un réactif.	n'a pas d'influence sur la vitesse de disparition d'un réactif.
3. La trempe :	est un rinçage du mélange réactionnel.	désigne un refroidissement brutal du système.	ralentit l'évolution d'un système.
4. Un catalyseur :	augmente la vitesse de disparition d'un réactif.	figure dans l'équation d'une réaction.	est présent en fin de réaction.
5. La catalyse est hétérogène quand les réactifs et le catalyseur sont :	dans la même phase.	dans des phases différentes.	solides.

2 La vitesse d'évolution d'un système

Si erreur, revoir § 2 p. 78

	A	B	C
6. On considère la réaction d'équation : $2\,I^-(aq) + H_2O_2(aq) + 2\,H^+(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell) + I_2(aq)$ La vitesse volumique d'apparition du diiode est donnée par :	$v_{app}(I_2)_t = \frac{d[I_2]}{dt}$	$v_{app}(I_2)_t = -\frac{d[I_2]}{dt}$	$v_{app}(I_2)_t = \frac{1}{V} \times \frac{d[I_2]}{dt}$
7. Le temps de demi-réaction est :	la durée nécessaire à la disparition de la moitié des réactifs.	la durée nécessaire à la disparition de la moitié du réactif limitant.	la moitié du temps nécessaire pour que la réaction soit terminée.
8. Sur le graphe ci-contre, on représente les évolutions au cours du temps de la concentration en réactif limitant lors d'une réaction catalysée et d'une réaction non catalysée. 	la courbe verte traduit l'évolution d'une réaction catalysée.	la vitesse initiale de disparition du réactif limitant, déterminée à partir de la courbe verte, est supérieure à celle déterminée à partir de la courbe rouge.	le temps de demi-réaction est plus faible pour le système dont l'évolution est représentée en rouge.
9. L'évolution d'un système chimique peut être considérée comme terminée au bout d'une durée égale :	au temps de demi-réaction.	à deux fois le temps de demi-réaction.	à plusieurs fois le temps de demi-réaction.

3 La loi de vitesse d'ordre 1

Si erreur, revoir § 3 p. 79

Soit la réaction d'équation : $S_2O_8^{2-}(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow 2\,SO_4^{2-}(aq) + \frac{1}{2}\,O_2(g) + 2\,H^+(aq)$

	A	B	C
10. En solution diluée, si la réaction est d'ordre 1 par rapport à $S_2O_8^{2-}(aq)$:	$[S_2O_8^{2-}]_t = [S_2O_8^{2-}]_0 \times \exp(-k \times t)$	$v_{disp}(S_2O_8^{2-})_t = k \times t$	$v_{disp}(S_2O_8^{2-})_t = k \times [S_2O_8^{2-}]_t$
11. En solution diluée, si la réaction est d'ordre 1 par rapport à $S_2O_8^{2-}(aq)$, le temps de demi-réaction $t_{1/2}$:	dépend de la concentration initiale $[S_2O_8^{2-}]_0$.	est indépendant de la concentration initiale $[S_2O_8^{2-}]_0$.	est tel que : $v_{disp}(S_2O_8^{2-})_{t_{1/2}} = \frac{v_{disp}(S_2O_8^{2-})_0}{2}$

QCM version interactive

Les bons réflexes

Pour une réaction d'équation $a\,A + b\,B \rightarrow c\,C + d\,D$:

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Déterminer un temps de demi-réaction.	**Réflexe 1** — Ex. 6 p. 85 • **Identifier** le réactif limitant A (ou le produit C) dont on suit l'évolution. • **Déterminer** la concentration initiale $[A]_0$ de A (ou la concentration maximale $[C]_{max}$ de C). • **Déterminer** la durée $t_{½}$ nécessaire pour que la concentration atteigne la moitié de l'une ou l'autre de ces valeurs.
À partir d'une courbe, déterminer une vitesse v_1 d'apparition ou de disparition à une date t_1 donnée.	**Réflexe 2** — Ex. 8 p. 85 Sur la courbe donnant, en fonction du temps t, la concentration C de l'espèce dont on suit l'évolution : • **Tracer** la tangente à la courbe au point $(t_1 ; C_1)$. • **Exprimer** le coefficient directeur m de cette tangente. • **En déduire** la valeur de v_1 : • $v_1 = -m$ s'il s'agit d'une vitesse de disparition d'un réactif ; • $v_1 = m$ s'il s'agit d'une vitesse d'apparition d'un produit.
Identifier si une réaction est ou non d'ordre 1 par rapport au réactif A (B étant en large excès).	**Réflexe 3** — Ex. 10 p. 86 Méthode 1 • **Déterminer** la durée $t_{½}$ (Réflexe 1) pour différentes valeurs de $[A]_0$. • **Vérifier** que $t_{½}$ est indépendant de la concentration initiale $[A]_0$ du réactif A. Méthode 2 • **Tracer**, en fonction de $[A]_t$, la vitesse volumique de disparition de A ou celle d'apparition de C (Réflexe 2). • **Vérifier** que ces vitesses volumiques sont proportionnelles à la concentration $[A]_t$ de l'espèce A au cours du temps. Méthode 3 • **Modéliser** l'évolution de la concentration $[A]_t$ au cours du temps pour vérifier que la concentration obéit à une loi exponentielle du type $[A]_t = [A]_0 \times \exp(-k \times t)$.

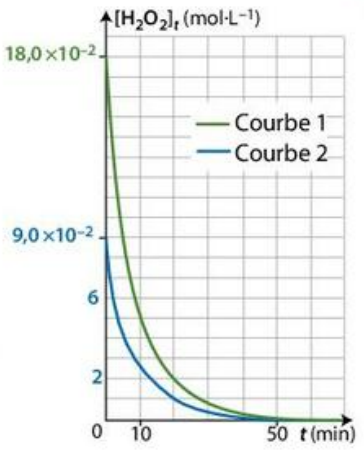
1 Exercice résolu

Décomposition de l'eau oxygénée

Mobiliser et organiser ses connaissances ; exploiter un graphique.

D'après Baccalauréat.

On étudie la décomposition au cours du temps, en présence d'un catalyseur, de deux solutions de concentrations initiales différentes en peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (aq) (courbes 1 et 2).



1. Déterminer si l'évolution de la concentration $[H_2O_2]_t$ suit ou non une loi de vitesse d'ordre 1.

2. Déterminer graphiquement la vitesse de disparition du peroxyde d'hydrogène à la date $t = 20$ min (courbe 2).

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 1.**

Identification du réactif limitant

Détermination de la concentration initiale du réactif limitant

Détermination graphique de $t_{½}$

1. Le réactif limitant est le peroxyde d'hydrogène puisque sa concentration est nulle à l'état final. On en déduit graphiquement :

Pour la courbe 1 : $[H_2O_2]_0 = 18{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1}.

Pour la courbe 2 : $[H_2O_2]_0 = 9{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1}.

Pour chaque évolution, on en déduit graphiquement (voir courbe page suivante), les mêmes temps de demi-réaction : $t_{½} = 6$ min.

• **On utilise le** Réflexe 3.
Méthode 1

Détermination des temps de demi-réaction

Comparaison des $t_{½}$

• **On utilise le** Réflexe 2.

Tracé de la tangente

Expression du coefficient directeur

Calcul de la vitesse de disparition

Les temps de demi-réaction étant les mêmes, **la réaction est donc d'ordre 1 par rapport à H_2O_2.**

2. On trace la tangente à la courbe 2 à $t = 20$ min. On choisit deux points A et B sur la tangente.

Le coefficient directeur s'exprime par :

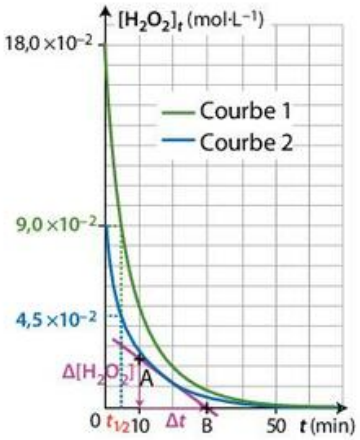
$$m = \frac{[H_2O_2]_A - [H_2O_2]_B}{t_A - t_B}$$

$$m = \frac{(2{,}4 \times 10^{-2} - 0)\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}{(10 - 30)\ \text{min}}$$

$$m = -1{,}2 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

La valeur de la vitesse de disparition s'en déduit :

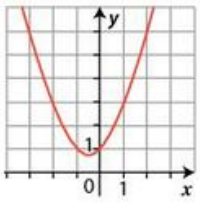
$$v_{30} = -m = 1{,}2 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$



Côté maths 2 : Déterminer la valeur d'une dérivée

Côté maths

On considère la fonction f définie sur $\mathbb{R}$ par $f(x) = x^2 + x + 1$. Sa représentation graphique est donnée ci-dessous :



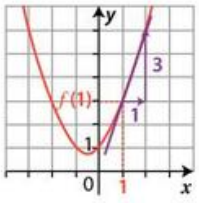
• Déterminer, par le calcul puis graphiquement, la valeur du coefficient directeur de la tangente à la courbe au point d'abscisse $x = 1$.

Méthode

• La valeur du coefficient directeur de la tangente à la courbe au point d'abscisse $x = 1$ est égale à $f'(1)$:
$f'(x) = 2x + 1$;
donc $f'(1) = 2 \times 1 + 1 = 3$.

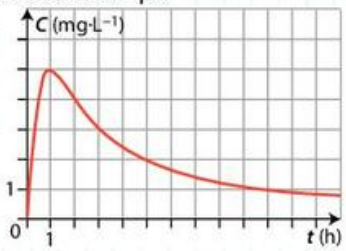
On peut retrouver graphiquement cette valeur sur le schéma ci-contre. Le coefficient directeur m de la tangente à la courbe au point d'abscisse $x = 1$ est :

$$m = \frac{3}{1} = 3.$$



Côté physique & chimie

Un médicament est administré à un patient. La courbe suivante indique la concentration C du médicament dans le sang au cours du temps.

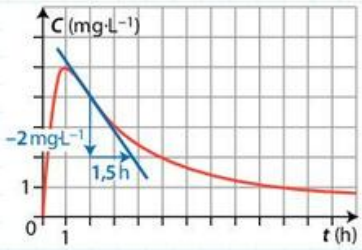


• Estimer graphiquement la valeur de la vitesse d'élimination (de disparition) $v(t) = -\frac{dC}{dt}$ du médicament, à la date $t = 2{,}0$ h.

Méthode

• À la date $t = 2{,}0$ h, $\frac{dC}{dt}$ est égal au coefficient directeur de la tangente à la courbe au point d'abscisse $t = 2{,}0$ h :

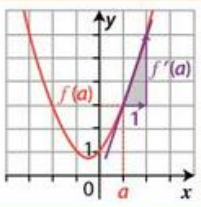
$$v_2 = -\frac{dC}{dt} = -\frac{-2{,}0\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}}{1{,}5\ \text{h}} = 1{,}3\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}.$$



À retenir !

• Soient une fonction f dérivable en un réel a et le point A de coordonnées $(a ; f(a))$. La tangente à la courbe représentative de f au point A d'abscisse a est la droite passant par A et de coefficient directeur $f'(a)$.

• En physique-chimie, le coefficient directeur de la tangente possède une unité qui doit être précisée.



Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Justifier le choix d'un capteur.	2	19	24
Identifier des facteurs cinétiques.	2	15	22
Citer les propriétés d'un catalyseur et identifier un catalyseur.	4	19	24
Déterminer une vitesse volumique ou un temps de demi-réaction.	6 8	19	22 24
Identifier si l'évolution d'une concentration suit ou non une loi de vitesse d'ordre 1.	10	19	23
Utiliser un langage de programmation.			23

1 Les facteurs cinétiques

2 Justifier une méthode expérimentale

CORRIGÉ

Exploiter un graphique.

On suit l'évolution de la concentration en diiode de quatre mélanges réactionnels (A, B, C et D) lors de la réaction entre le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (aq), les ions iodure I^- (aq) et les ions hydrogène H^+ (aq). L'équation s'écrit :

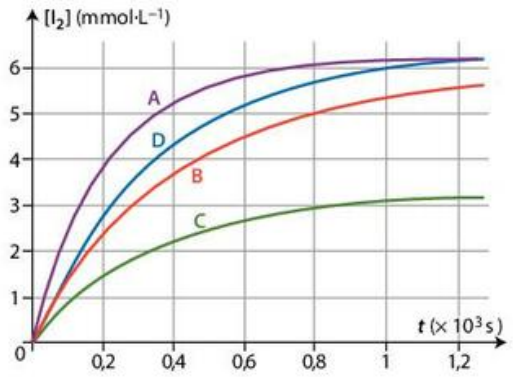
$$H_2O_2(aq) + 2\,I^-(aq) + 2\,H^+(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2\,H_2O(\ell)$$

Le diiode est la seule espèce colorée.

Les quantités initiales des réactifs dans les mélanges réactionnels de volumes égaux sont données ci-dessous :

Mélange	A	B	C	D
$n_0(I^-)$ (mmol)	2	1	1	2
$n_0(H_2O_2)$ (mmol)	0,20	0,20	0,10	0,20
$n_0(H^+)$ (mmol)	20	20	20	10

Pour chaque mélange, on trace l'évolution de la concentration en diiode au cours du temps :



1. Justifier l'utilisation d'un spectrophotomètre pour suivre l'évolution de la concentration en diiode dans les mélanges.

2. En comparant les courbes deux à deux, montrer l'influence de la concentration sur la rapidité d'évolution d'un système.

3 Déterminer des facteurs cinétiques

Exploiter des résultats.

La réaction des ions peroxodisulfate $S_2O_8^{2-}$ (aq) avec les ions iodure I^- (aq) a pour équation :

$$S_2O_8^{2-}(aq) + 2\,I^-(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2\,SO_4^{2-}(aq)$$

On réalise deux expériences A et B avec deux mélanges initiaux identiques. L'expérience A est réalisée à 20 °C alors que l'expérience B est réalisée à 35 °C. Au fur et à mesure que le système évolue, on détermine la quantité de diiode $n(I_2)$ formé pendant des durées égales Δt_i :

		Δt_1 de 0 à 60 s	Δt_2 de 60 à 120 s	Δt_3 de 120 à 180 s
A	$n(I_2)$ (mmol)	30	23	19
B	$n(I_2)$ (mmol)	45	30	20

1. Montrer le rôle de la concentration des réactifs sur la rapidité d'évolution d'un système.

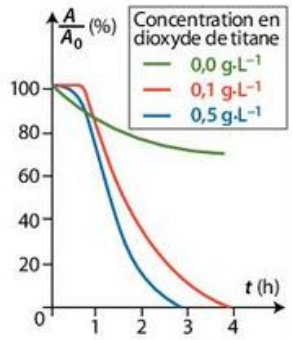
2. Montrer le rôle de la température sur la cinétique de cette réaction.

4 Étudier l'influence d'un catalyseur

CORRIGÉ

Exploiter des graphiques.

La rhodamine, utilisée comme colorant dans l'industrie du papier, doit être éliminée des effluents industriels. Pour étudier sa photo-dégradation en présence d'un catalyseur, le dioxyde de titane, on expose à la lumière une solution de rhodamine. On relève l'absorbance A de la solution au cours du temps. Sur le graphique ci-dessous, le rapport $\frac{A}{A_0}$ représente le rapport entre l'absorbance A mesurée et l'absorbance A_0 de la solution avant l'exposition à la lumière.



1. Justifier à l'aide du graphique que le dioxyde de titane est bien un catalyseur et non un réactif.

2. Déterminer l'influence de la concentration en catalyseur sur la cinétique de la réaction.

5 Exploiter des informations sur la catalyse

Extraire et exploiter l'information.

A La découverte de la catalyse

« Le mot « catalyse » fut créé par BERZELIUS. C'est pourquoi on lui fit l'honneur de cette découverte, alors qu'elle est due à deux Français, CLÉMENT et DESORMES, son beau-père. C'est en 1806, dans une note à l'Institut de France à propos de la formation de l'acide sulfurique dans les chambres à plomb, que se trouve expliqué pour la première fois le mécanisme catalytique. »



> Nicolas CLÉMENT (1779-1841)

D'après *La découverte de la catalyse*, P. LEMAY, dans *Courrier médical*, 29 mai 1938.

B La chambre à plomb

Le procédé des chambres à plomb est le procédé historique de production industrielle de l'acide sulfurique. Introduit par John ROEBUCK en 1746, il met en œuvre une réaction d'équation :

$$SO_2 + \frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

La réaction est plus rapide en présence d'oxydes d'azote. Ces derniers sont continuellement recyclés.

D'après *Société chimique de France*.

• Extraire deux informations montrant que les oxydes d'azote agissent comme catalyseurs.

2 La vitesse d'évolution d'un système

6 Déterminer un temps de demi-réaction

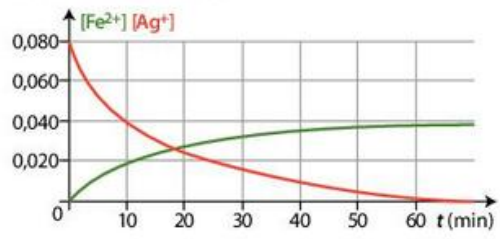
CORRIGÉ

Exploiter des graphiques.

On trace l'évolution, en fonction du temps, des concentrations d'un mélange réactionnel en ions fer (II) $Fe^{2+}(aq)$ et en ions argent (I) $Ag^+(aq)$ au cours de la réaction d'équation :

$$2\,Ag^+(aq) + Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2\,Ag(s)$$

Le métal fer est en excès.



1. Évaluer la durée t_f de la réaction.

2. a. Déterminer, par deux méthodes différentes, le temps de demi-réaction, $t_{1/2}$. Utiliser le réflexe 1

b. Le comparer à la durée de réaction, t_f.

7 Exploiter un temps de demi-réaction

Exploiter un tableau.

Le tableau suivant donne l'évolution au cours du temps de la concentration d'une solution en ions permanganate $MnO_4^-(aq)$ lors de leur réaction avec l'acide oxalique.

t (s)	0	20	40	60	70
$[MnO_4^-(aq)]$ (mmol·L^{-1})	2,00	1,92	1,68	1,40	0,95

t (s)	80	90	100	130	180
$[MnO_4^-(aq)]$ (mmol·L^{-1})	0,59	0,35	0,15	0,07	0

• Donner un encadrement du temps de demi-réaction, puis le comparer à la durée de réaction.

8 Déterminer une vitesse d'apparition

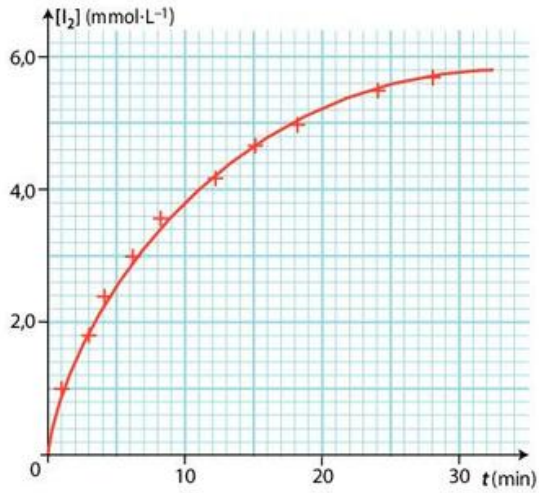
CORRIGÉ

Exploiter un graphique.

On trace l'évolution temporelle de la concentration en diode $I_2(aq)$, $[I_2] = f(t)$, lors de la réaction entre les ions iodure $I^-(aq)$ et le peroxyde d'hydrogène $H_2O_2(aq)$. L'équation s'écrit :

$$2\,I^-(aq) + H_2O_2(aq) + 2\,H^+(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2\,H_2O(\ell)$$

• Déterminer graphiquement les vitesses volumiques d'apparition du diiode à $t_1 = 0$ min et $t_2 = 10$ min, puis conclure. Utiliser le réflexe 2



9 Déterminer une vitesse de disparition

Faire preuve d'esprit critique et argumenter.

En solution dans le tétrachlorométhane, le pentaoxyde de diazote N_2O_5 se décompose lentement en dioxygène O_2 et en dioxyde d'azote NO_2. On suit l'évolution temporelle de la concentration en N_2O_5 de la solution :

t (min)	0	5	10	20	30	40	50	60
$[N_2O_5]_t$ (mmol·L^{-1})	250	210	176	125	89	62	43	31

1. Écrire l'équation de la réaction.

2. Déterminer, à partir du tableau puis graphiquement, les vitesses volumiques de disparition du pentaoxyde de diazote à $t_1 = 5$ min.

3. Expliquer les écarts éventuels constatés.

3 La loi de vitesse d'ordre 1

VIDÉO DE COURS **Loi de vitesse d'ordre 1 – QR Code p. 80**

10 Vérifier un ordre de réaction (1)

CORRIGÉ

Exploiter des mesures à l'aide d'un tableur.

On étudie la décomposition du pentaoxyde de diazote N_2O_5.

t (min)	0	5	10	20	30	40	50	60
$[N_2O_5]_t$ (mmol·L^{-1})	250	210	176	125	89	62	43	31

1. Recopier les données expérimentales dans un tableur, puis calculer la valeur de la vitesse de disparition du pentaoxyde de diazote aux différentes dates du tableau.

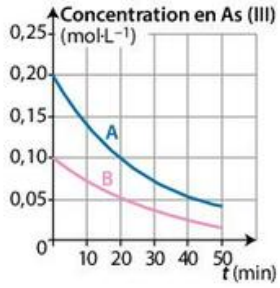
2. Tracer le graphe de l'évolution de la vitesse en fonction de la concentration $[N_2O_5]_t$.

3. Vérifier que la réaction est d'ordre 1 par rapport au pentaoxyde de diazote. Utiliser le réflexe 3

11 Vérifier un ordre de réaction (2)

Exploiter un graphique.

À 25 °C, on étudie la réaction de l'arsenic (III) avec le peroxyde d'hydrogène en large excès. On trace l'évolution temporelle de la concentration en arsenic (III) de deux solutions A et B de concentrations initiales différentes en arsenic (III).



1. Déterminer les temps de demi-réaction.

2. Vérifier que la réaction est d'ordre 1 par rapport à l'arsenic (III).

Côté maths Côté maths 2, p. 83

12 Déterminer la valeur d'une dérivée

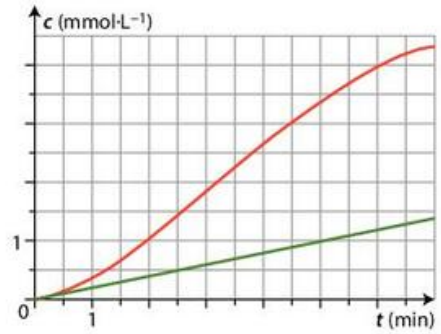
En milieu acide, le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (aq) réagit avec les ions iodure I^- (aq) selon la réaction d'équation :

$H_2O_2\,(aq) + 2\,I^-\,(aq) + 2\,H^+\,(aq) \rightarrow I_2\,(aq) + 2\,H_2O\,(\ell)$

On trace :

– l'évolution de la concentration c en diiode de la solution en fonction du temps (courbe en rouge) ;

– la tangente à cette courbe au point d'abscisse 0 (droite verte) :



1. Déterminer graphiquement la vitesse d'apparition du diiode à l'instant $t = 0$ min.

2. Pour $t \in [0\,;7]$, on modélise la concentration c par la fonction :

$$c(t) = \frac{1}{50}(-t^3 + 10t^2 + 10t).$$

Exprimer $c'(t)$, puis valider la réponse donnée à la question 1.

D'après Déclic Mathématiques, *1re, Hachette, 2019.*

Exercices S'entraîner

13 Connaître les critères de réussite

Hydrolyse du saccharose

Tracer et exploiter un graphique.

Le saccharose s'hydrolyse dans l'eau en glucose et fructose, selon la réaction d'équation :

$C_{12}H_{22}O_{11}\,(aq) + H_2O\,(\ell) \rightarrow C_6H_{12}O_6\,(aq) + C_6H_{12}O_6\,(aq)$

On suit l'évolution temporelle de la concentration C en saccharose d'une solution :

t_i (min)	0	200	400	600	800	1 000	2 000
C_i (mmol·L^{-1})	200	100	50	25	12,5	6,3	3,1

1. Tracer la courbe $C_i = f(t_i)$.

2. Déterminer graphiquement les vitesses volumiques v_i de disparition du saccharose aux instants $t_i = 0$; 300 ; 600 et 900 min.

3. Tracer $v_i = f(C_i)$ et conclure sur l'ordre de la réaction par rapport au saccharose.

Critères de réussite

Tracé des graphiques

- J'ai nommé les deux axes de la représentation graphique. ☐ ☐
- J'ai gradué les axes en indiquant les unités. ☐ ☐

Justification de la réponse

- J'ai fait apparaître les tangentes sur le graphique (question 2). ☐ ☐
- J'ai fait apparaître les traits de construction pour déterminer leurs pentes. ☐ ☐
- J'ai calculé les vitesses et indiqué leur unité. ☐ ☐
- J'ai justifié la réponse à la question 3. ☐ ☐

14 À chacun son rythme

Modélisation d'une courbe

Utiliser un modèle pour prévoir.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

On étudie la réaction entre les ions peroxodisulfate $S_2O_8^{2-}(aq)$ et les ions iodure $I^-(aq)$. L'équation s'écrit :

$$S_2O_8^{2-}(aq) + 2\,I^-(aq) \rightarrow 2\,SO_4^{2-}(aq) + I_2(aq)$$

La seule espèce colorée est le diiode $I_2(aq)$. Des mesures de l'absorbance du mélange réactionnel en fonction du temps ont permis d'obtenir les résultats suivants :

t (min)	0	4,0	8,0	12,0	16,0
A	0	0,349	0,670	0,940	1,178

Énoncé compact

En utilisant une modélisation mathématique, vérifier que la réaction est d'ordre 1 par rapport aux ions peroxodisulfate.

Énoncé détaillé

1. Déterminer les valeurs des concentrations $[I_2]_t$ du diiode $I_2(aq)$ aux différentes dates du tableau.
2. Établir la relation entre $[S_2O_8^{2-}]_t$, $[S_2O_8^{2-}]_0$ et $[I_2]_t$.
3. À l'aide d'un tableur, tracer l'évolution de la concentration $[S_2O_8^{2-}]_t$ en ions peroxodisulfate en fonction du temps.
4. Modéliser le graphe obtenu par une fonction :
$$f(t) = [S_2O_8^{2-}]_0 \times \exp(-k \times t).$$
5. En utilisant la modélisation mathématique, vérifier que la réaction est d'ordre 1 par rapport aux ions peroxodisulfate.

Données

- Concentration initiale en ions peroxodisulfate : $[S_2O_8^{2-}]_0 = 2{,}34 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$.
- Coefficient d'absorption molaire du diiode dans les conditions de l'expérience : $\varepsilon = 1\,190\ L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$.
- Longueur de la cuve : $\ell = 1{,}0$ cm.

15 L'eau de Javel

CORRIGÉ

Proposer des hypothèses.

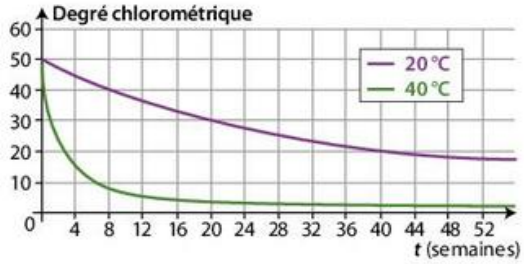
Une étiquette d'eau de Javel porte, entre autres, les recommandations suivantes :

À conserver au frais et à l'abri de la lumière.



Les propriétés désinfectantes de l'eau de Javel sont dues aux ions hypochlorite $C\ell O^-(aq)$. La concentration d'une eau de Javel est définie par le degré chlorométrique (°Chℓ) : plus le degré chlorométrique est élevé, plus la concentration en ions hypochlorite est grande. Au cours du temps, la quantité d'ions hypochlorite diminue.

Le graphique suivant représente l'évolution du degré chlorométrique en fonction du temps :



1. a. Pour chacune des courbes, déterminer graphiquement les vitesses de disparition des ions hypochlorite à $t = 4$ semaines.
b. Quel facteur cinétique est mis en évidence ?
c. La recommandation « à conserver au frais » est-elle justifiée ?
2. a. Pour chacune des courbes, déterminer graphiquement les vitesses de disparition des ions hypochlorite à $t = 12$ semaines.
b. Interpréter l'évolution de la vitesse au cours du temps.
3. Proposer une hypothèse permettant d'expliquer la recommandation « à conserver à l'abri de la lumière ».

16 Oxydation des ions iodure

Proposer des hypothèses.





Les ions iodure $I^-(aq)$ réagissent avec les ions fer (III) $Fe^{3+}(aq)$ selon la réaction d'équation :

$$2\,I^-(aq) + 2\,Fe^{3+}(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2\,Fe^{2+}(aq)$$

La vitesse initiale de disparition des ions iodure $v_{disp}(I^-)_0$ s'écrit :

$$v_{disp}(I^-)_0 = k \times [I^-]_0^{\alpha} \times [Fe^{3+}]_0^{\beta}$$

On réalise deux séries de mesures expérimentales. Pour chacune d'elles, on détermine les vitesses initiales de disparition des ions iodure.

Première série de mesures

$[I^-]_0$ (mmol·L^{-1})	4,0	4,0	4,0	4,0
$[Fe^{3+}]_0$ (mmol·L^{-1})	1,7	8,2	18,1	25,2
$v_{disp}(I^-)_0$ (µmol·L^{-1}·s^{-1})	0,50	2,32	5,12	7,10

Deuxième série de mesures

$[Fe^{3+}]_0$ (mmol·L^{-1})	1,7	1,7	1,7	1,7
$[I^-]_0$ (mmol·L^{-1})	4,0	9,6	13,0	13,3
$v_{disp}(I^-)_0$ (µmol·L^{-1}·s^{-1})	0,50	2,70	4,92	5,26

- Identifier le réactif par rapport auquel la réaction est d'ordre 1.

Coup de pouce QR Code p. 80

17 Fast and furious

Confronter un modèle à des résultats expérimentaux.



Le protoxyde d'azote $N_2O(g)$ est un gaz utilisé pour améliorer les performances des moteurs de voitures par un apport de dioxygène. Rendus populaires dans le film *Fast and Furious*, les systèmes NOS (Nitrous Oxide Systems) permettent d'injecter le protoxyde d'azote $N_2O(g)$ dans la chambre de combustion du moteur, en même temps que l'air et l'essence. Lors de la compression, le gaz se réchauffe, se décompose en produisant du dioxygène selon la réaction d'équation :

$$N_2O(g) \rightarrow N_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$$

Pour étudier la cinétique de cette décomposition, on introduit, dans un récipient de volume V constant, une quantité $n_0 = 41{,}3$ mmol de protoxyde d'azote et on relève, au cours du temps, la pression P des gaz dans l'enceinte. La température T est maintenue à 600 °C. Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

t (min)	0	12	25	45	90
P (bar)	1,000	1,062	1,120	1,195	1,314

1. Citer un capteur ayant permis de suivre l'évolution du système.

2. a. La réaction étudiée est-elle lente ou rapide ?

b. Dans le moteur, la combustion entraîne une forte élévation de la température qui peut atteindre 2 000 °C. Justifier l'utilisation du protoxyde d'azote pour obtenir rapidement un gain de puissance.

3. Établir un tableau d'avancement du système.

4. a. Exprimer la pression initiale P_0 en fonction de n_0, R, T et V où R est la constante du gaz parfait.

b. Montrer que la pression P régnant dans l'enceinte, à un instant t, est égale à $\left(n_0 + \frac{x}{2}\right) \times \frac{R \times T}{V}$, où x est l'avancement de la réaction.

c. Montrer que $n(O_2) = n_0 \times \left(\frac{P}{P_0} - 1\right)$.

d. Exprimer $n(N_2O)$ en fonction de n_0, P et P_0.

5. Tracer l'évolution de la quantité $n(N_2O)$ au cours du temps.

6. a. Déterminer graphiquement le temps de demi-réaction $t_{½}$.

b. Déterminer la quantité $n(N_2O)_{t_1}$ à $t_1 = 2 \times t_{½}$.

c. Comparer $n(N_2O)_{t_1}$ et $\frac{n_0}{2}$. Pourquoi peut-on conclure que la réaction est d'ordre 1 par rapport à N_2O ?

7. Quelle est l'influence d'une admission plus importante de protoxyde d'azote sur la vitesse du véhicule ?

18 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Antibiothérapie

Construire les étapes d'une résolution de problème.



Une céphalosporine, antibiotique « temps-dépendant », est administrée par voie intra-veineuse à un patient souffrant d'une pneumopathie.

• Au bout de combien de temps, une deuxième administration de l'antibiotique devrait-elle être effectuée ?

A **L'antibiothérapie**

Un antibiotique détruit les bactéries ou bloque leur croissance. Il peut être temps-dépendant s'il met un certain temps à agir et qu'une augmentation de sa concentration est sans effet, ou dose-dépendant s'il nécessite une forte concentration dans l'organisme pour être efficace.

Pour évaluer l'effet d'un antibiotique, divers paramètres sont étudiés, dont :

– la concentration minimale inhibitrice CMI : c'est la plus petite concentration d'antibiotique qui inhibe toute culture visible d'une souche bactérienne après 18 à 24 heures de culture à 37 °C ;

– la concentration sérique maximale C_{max} ou pic sérique ; pour que l'antibiotique soit efficace, cette concentration dans le sérum sanguin doit être supérieure à la CMI ;

– le temps de demi-vie d'élimination sérique $t_{½}$, c'est-à-dire le temps nécessaire pour que la concentration sanguine en antibiotique diminue de moitié.

B **Un modèle utilisé en pharmacologie**

Dans le modèle monocompartimental, l'absorption et la distribution sont quasi-instantanées et la concentration du médicament dans le sang au cours du temps suit une loi exponentielle :

$$C = C_{max} \times \exp(-k \times t)$$

où k est la constante d'élimination.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

• La fonction logarithme népérien est définie comme fonction réciproque de la fonction exponentielle $\exp(x)$ ou e^x. Elle se note $\ln(x)$ (prononcer « élène de x »). Ainsi : $\ln(e^x) = x$.

• Sur la calculatrice, on utilise la touche : ln.

Données

$C_{max} = 24\ \mu g \cdot mL^{-1}$; $t_{½} = 1$ h ; CMI = 0,5 $\mu g \cdot mL^{-1}$.

19 Analyse médicale

CORRIGÉ

Justifier un protocole ; exploiter des résultats.



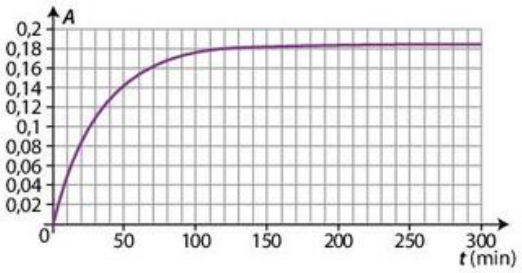
Les phosphatases alcalines (PAL) sont des enzymes présentes dans le sang et éliminées par la bile, liquide sécrété par le foie. En cas de maladie du foie, un bilan hépatique peut être prescrit par un médecin pour évaluer la concentration en PAL dans le sang.

Lors de cette analyse, on étudie l'hydrolyse basique du paranitrophénylphosphate (noté PNPP). En présence des enzymes PAL, la vitesse de disparition du PNPP est augmentée. Le paranitrophénolate (noté PNP) issu de cette hydrolyse basique est la seule espèce colorée. La réaction a pour équation :

$$PNPP + HO^- \rightarrow PNP + HPO_4^{2-}$$

On réalise une hydrolyse du PNPP avec une concentration initiale en PNPP égale à $[PNPP]_0 = 10^{-5}$ mol·L^{-1}.

On mesure l'évolution de l'absorbance au cours du temps. La courbe obtenue est donnée ci-dessous :



1. Justifier l'utilisation d'un spectrophotomètre pour suivre l'évolution de la concentration en PNP de la solution.

2. Pourquoi l'étude de l'absorbance du PNP au cours du temps permet-elle d'accéder à la concentration en PNPP dans le sang ?

On donne : $A = k \times [PNP]$ avec $k = 1{,}85 \times 10^4$ L·mol^{-1}.

3. a. Qu'est-ce qu'un catalyseur ?

b. Qu'est-ce qui permet d'affirmer que l'enzyme PAL est un catalyseur de la réaction ?

c. Comment nomme-t-on ce type de catalyse ?

4. a. Exploiter la courbe pour en déduire la vitesse d'apparition du PNP, à $t = 0$ et à $t = 50$ min.

b. Comment la vitesse évolue-t-elle au cours du temps ? Pour quelle raison ?

5. Définir le temps de demi-réaction et l'évaluer graphiquement.

6. Pourquoi les résultats de l'analyse ne peuvent-ils pas être obtenus immédiatement ?

7. Montrer de manière simple que cette réaction est d'ordre 1 par rapport au PNPP.

Coup de pouce QR Code p. 80

20 How to program a temporal evolution

Utiliser un langage de programmation ; pratiquer une langue vivante étrangère.

The start of a python program is given below (doc. A). The entire program can be downloaded.

PROGRAMME Python – QR Code p. 80

1. Download the program and test it on exercise 13.

2. Identify the line of the program that calculates, at any moment, the disappearance rate of sucrose.

3. Justify its expression.

A Extract from the Python program

```
1  import matplotlib.pyplot as plt
2  import numpy as np
3  '''compléter les listes suivantes et
   les décommenter'''
4  # t = [...]
5  # C = [...]
```

21 Administration d'un médicament

Utiliser un modèle pour prévoir.

L'acide valproïque est utilisé comme principe actif dans les médicaments anti-épileptiques. Après son administration par voie intraveineuse, sa concentration dans le plasma sanguin évolue au cours du temps. La circulation sanguine assure sa distribution dans l'organisme.

Dans le tableau ci-dessous, on étudie l'évolution de la concentration en masse d'acide valproïque, dans le plasma sanguin, au cours du temps.

t (h)	0,08	4,0	8,0	16,0	32,0
C (mg·L^{-1})	155	140	120	80	40

t (h)	48,0	64,0	80,0	96,0
C (mg·L^{-1})	20	10	5,0	2,5

1. Tracer le graphe représentant ln(C) en fonction de t. Conclure.

2. En déduire la concentration C_0 en acide valproïque à la date $t = 0$.

3. Le volume de distribution V_D permet d'estimer si un médicament reste plutôt dans le sang ou bien s'il est absorbé par les tissus. C'est un volume théorique calculé à partir de la relation :

$$V_D = \frac{\text{Masse de médicament administrée}}{\text{Concentration en masse dans le plasma}}.$$

Il peut varier de 3 L à plus de 4×10^4 L. Un volume faible signifie que le médicament est peu absorbé par les tissus. Son calcul permet d'estimer la dose adéquate de médicament à injecter au patient.

a. Calculer V_D pour l'acide valproïque sachant que l'on a injecté, à $t = 0$, une masse $m_0 = 2{,}0$ g d'acide valproïque.

b. Conclure sur la biodisponibilité du médicament.

Vers le BAC

Attention aux unités

Ne pas oublier l'unité lors du calcul d'une vitesse.
Exemple : $mol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}$, $mmol \cdot L^{-1} \cdot s^{-1}$, etc.

Justifier le choix d'une méthode de suivi cinétique

Si une espèce est :
– **gazeuse**, la **manométrie** est une technique pertinente ;
– **colorée**, la **spectrophotométrie** peut être proposée ;
– **ionique**, la **conductimétrie** est une méthode adaptée.

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 82

22 CORRIGÉ 30 min Le parfum de poire

Justifier un protocole ; tracer et exploiter un graphique.

D'après Baccalauréat



L'acétate d'amyle $C_7H_{14}O_2(\ell)$ est une espèce à odeur de poire qui peut être obtenue par réaction de l'acide acétique $CH_3CO_2H(\ell)$ avec l'alcool amylique $C_5H_{11}OH(\ell)$, catalysée par l'acide sulfurique, selon la réaction lente d'équation :
$CH_3CO_2H(\ell) + C_5H_{11}OH(\ell) \rightarrow C_7H_{14}O_2(\ell) + H_2O(\ell)$
Par une méthode appropriée, on détermine la quantité n_E d'acétate d'amyle formé en fonction du temps :

t (min)	0	5	10	15	20	25
n_E (mol)	0,000	0,140	0,210	0,250	0,275	0,295
t (min)	30	35	40	45	50	55
n_E (mol)	0,310	0,320	0,325	0,330	0,330	0,330

1. Tracer la courbe $n_E = f(t)$.

2. Décrire l'évolution de la vitesse d'apparition de l'acétate d'amyle au cours du temps.

3. Définir le temps de demi-réaction $t_{½}$. Le déterminer graphiquement. Utiliser le réflexe 1

4. a. Comment évoluerait le temps de demi-réaction dans le cas où la synthèse serait faite sans ajout d'acide sulfurique ? En augmentant la température ?
b. Sur le graphique, tracer l'allure de la courbe représentant l'évolution, au cours du temps, de la quantité n_E d'acétate d'amyle lorsqu'il n'y a pas d'ajout d'acide sulfurique dans le milieu réactionnel. On précisera l'état final du système.

23 CORRIGÉ 30 min Ordre d'une réaction

Utiliser un langage de programmation.

Le peroxyde d'hydrogène se dismute selon la réaction d'équation :

$$2\,H_2O_2(aq) \rightarrow 2\,H_2O\,(\ell) + O_2(g)$$

- On mesure expérimentalement l'évolution de la concentration $[H_2O_2]$ en peroxyde d'hydrogène au cours du temps :

t (h)	0	0,5	1	2	4	6
$[H_2O_2]$ (mol·L^{-1})	1,000	0,793	0,630	0,396	0,155	0,063

- La vitesse de disparition du peroxyde d'hydrogène est donnée par la relation :

$$v = k \times [H_2O_2] \text{ avec } k = 0{,}464\ h^{-1}.$$

- Le programme ci-dessous simule l'évolution de la concentration C en peroxyde d'hydrogène pour des intervalles $\Delta t = 0{,}01$ h et compare cette évolution à celle obtenue expérimentalement.

```
1  import matplotlib.pyplot as plt
2  Delta_t=0.01
3  # Delta_t est considéré comme petit
4  N=600
5  t=[i*Delta_t for i in range(N)]
6  C=[0]*N
7  # Données de l'énoncé :
8  C[0]=1.000
9  k=0.464
10 for i in range(N-1):
11     C[i+1]=C[i]-(t[i+1]-t[i])*k*C[i]
12 plt.plot(t,C)
13 t_mes=[0, 0.5, 1, 2, 4, 6]
14 C_mes=[1.000, 0.793, 0.630, 0.396, 0.155,\
   0.063]
15 plt.plot(t_mes,C_mes,'+',markersize=12)
```

1. Justifier que la réaction est d'ordre 1 par rapport au peroxyde d'hydrogène. Utiliser le réflexe 3

2. À la ligne 4 du programme, pourquoi a-t-on choisi $N = 600$?

3. Justifier la relation écrite à la ligne 11 du programme.

4. Quelles lignes du programme conduisent à tracer l'évolution de la concentration mesurée expérimentalement ?

24 — 30 min — Vitesse d'une réaction

CORRIGÉ

Énoncer une problématique ; interpréter des mesures.

D'après Baccalauréat



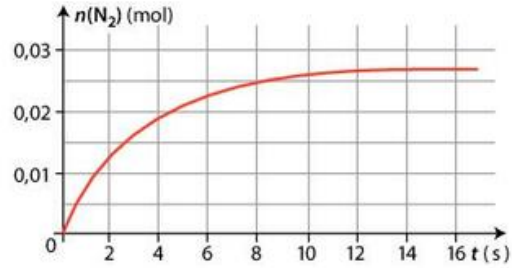
• Les moteurs à essence rejettent des gaz polluants comme le monoxyde d'azote. Sur une heure de fonctionnement, 5×10^4 L de gaz sortent en moyenne du pot d'échappement ; la moitié du volume est constituée de monoxyde d'azote.

• Le pot catalytique contribue à diminuer la pollution due aux gaz d'échappement. Sa structure est en nid d'abeille recouverte de métaux nobles, tels que le platine Pt, qui accélèrent notamment la réaction de réduction des oxydes d'azote en diazote. Le pot est cependant peu efficace en début de trajet lorsqu'il n'a pas eu le temps de chauffer suffisamment et les métaux nobles, bien que non consommés, sont difficilement récupérables sur un pot usagé.

• Le monoxyde d'azote NO (g) peut réagir avec le dihydrogène H_2(g) suivant la réaction d'équation :

$$2\,NO(g) + 2\,H_2(g) \rightarrow N_2(g) + 2H_2O(g)$$

On étudie la réaction d'un mélange équimolaire de monoxyde d'azote et de dihydrogène. À l'aide d'un capteur approprié, on suit l'évolution temporelle de la quantité de diazote N_2(g) formé.



1. a. Définir un catalyseur.

b. Recopier la phrase du texte montrant que le platine est bien un catalyseur.

2. Citer un capteur ayant permis de suivre l'évolution du milieu réactionnel au cours du temps.

3. On définit la vitesse instantanée d'apparition du diazote à l'instant t par $v_{app}(N_2) = \dfrac{dn(N_2)}{dt}$.

Par analogie avec la détermination d'une vitesse volumique d'apparition d'une espèce, indiquer comment cette vitesse peut être déterminée graphiquement. La calculer à l'instant $t = 0$.

Utiliser le réflexe 2

4. Peut-on envisager un dispositif de remplacement du pot catalytique qui utiliserait cette réaction pour la transformation du monoxyde d'azote en diazote ? Justifier.

Coup de pouce QR Code p. 80

Donnée

Volume molaire des gaz dans les conditions de l'expérience : $V_m = 30\ L \cdot mol^{-1}$.

Préparation à l'ECE

La version intégrale de cette ECE, réalisable en activité expérimentale, est disponible dans la version numérique. La version proposée ci-dessous permet à l'élève de travailler en autonomie la compétence ANA-RAIS.

L'éthanoate d'éthyle $C_4H_8O_2(\ell)$ est un solvant mais il est rarement utilisé en raison de sa réactivité avec les bases. Il peut réagir avec les ions hydroxyde HO^-(aq) selon la réaction, totale et lente, d'équation :

$$C_4H_8O_2(\ell) + HO^-(aq) \rightarrow C_2H_3O_2^-(aq) + C_2H_6O(aq)$$

Un étudiant en chimie souhaite tester la réactivité de l'éthanoate d'éthyle avec les ions hydroxyde afin de savoir si cette réaction est suffisamment lente pour pouvoir utiliser l'éthanoate d'éthyle en milieu basique.

MATÉRIEL ET PRODUITS DISPONIBLES

• Solution d'hydroxyde de sodium $Na^+(aq) + HO^-(aq)$ de concentration $C_0 = 2{,}5 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$; éthanoate d'éthyle pur.

• Bécher de 200 mL, conductimètre, agitateur magnétique, pipettes jaugées de 2,0 mL et 20,0 mL, poire à pipeter, chronomètre, éprouvettes graduées de 10 mL et 100 mL, pipette graduée de 5 mL, ordinateur avec tableur.

1. ANA-RAIS Justifier qu'il est possible de réaliser le suivi cinétique en utilisant la variation au cours du temps de la conductivité du mélange.

2. ANA-RAIS Proposer un protocole expérimental détaillé permettant d'effectuer le suivi cinétique dans le cas d'un mélange d'un volume $V_0 = 20{,}0$ mL d'hydroxyde de sodium de concentration C_0, de 80 mL d'eau distillée et de 2 mL d'éthanoate d'éthyle pur (en excès).

Données

• Conductivités molaires ioniques à 25 °C en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$: $\lambda_{C_2H_3O_2^-} = 4{,}09 \times 10^{-3}$; $\lambda_{HO^-} = 19{,}9 \times 10^{-3}$; $\lambda_{Na^+} = 5{,}01 \times 10^{-3}$.

• Dilution due à l'ajout de l'éthanoate d'éthyle : négligée.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Élaborer un mémo

Le mémo est une feuille en recto simple qui comporte des éléments de mémorisation. Il peut permettre de réactiver ses connaissances en cas de trou de mémoire. Ces éléments peuvent être des mots-clés, un schéma, une formule mathématique, un graphique, une formule chimique, etc.
Il peut être pratique de construire le mémo comme une carte mentale.



COMMENT RÉALISER UNE CARTE MENTALE ?

- **Visionner la vidéo ci-contre.**
  Quels sont les éléments principaux d'une carte mentale et en quoi peut-elle simplifier la réalisation du mémo ?

À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation à télécharger. Puis les élèves échangent leurs rôles.

Catalyseur Température Accélérer Cinétique Enzyme Facteur

Grille d'évaluation

En solution aqueuse, l'urée est susceptible de se décomposer en carbonate d'ammonium selon la réaction d'équation :

$$(NH_2)_2CO\,(aq) + 2\,H_2O(\ell) \rightarrow CO_3^{2-}\,(aq) + 2\,NH_4^+(aq)$$

L'uréase est une enzyme qui peut être ajoutée au milieu réactionnel.

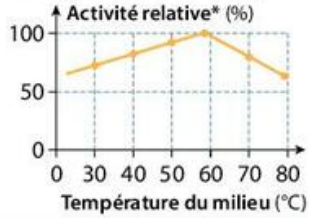
Évaluation orale n° 1

- À l'aide du nuage de mots, construire une carte mentale permettant de répondre à la consigne suivante :
  Commenter le tableau ci-dessous.

Présence d'uréase	Température de la solution	Temps de demi-réaction
Non	27 °C	≈ 7 ans
Non	77 °C	≈ 5 h
Oui	77 °C	≈ 2 s

Évaluation orale n° 2

- À l'aide du nuage de mots, construire une carte mentale permettant de répondre à la question suivante :
  « Quelle est la conséquence d'une augmentation de température du milieu réactionnel sur la décomposition de l'urée par l'uréase ? »



* L'activité relative est le rapport de l'activité de l'enzyme par son activité maximale.

Je m'exprime à l'oral sur L'évolution temporelle d'un système

Définir le **temps de demi-réaction**.

Citer deux **facteurs cinétiques**.

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Comment vérifier que **l'évolution d'une concentration** suit une loi de vitesse d'ordre 1 ?

Comment suivre l'évolution de la concentration d'un **ion en solution** ?

5 Modélisation microscopique de l'évolution d'un système



En 1909, le chimiste allemand, Fritz HABER, chercheur à l'Université de Karlsruhe, réussit à synthétiser l'ammoniac par réaction chimique entre le diazote de l'air et le dihydrogène. À la veille de la Première Guerre mondiale, cette découverte majeure va procurer une autonomie à l'Allemagne pour la fabrication d'engrais et d'explosifs.

- Comment expliquer les modifications de structure qui se produisent à l'échelle microscopique lors d'une réaction chimique ?

> Rendez-vous : exercice 18 p. 107

Ce que je dois savoir et savoir faire

- À partir d'un mécanisme réactionnel fourni, identifier un intermédiaire réactionnel, un catalyseur et établir l'équation de la réaction qu'il modélise au niveau microscopique. **Activités 2 et 3 p. 95-96**
- Représenter les flèches courbes d'un acte élémentaire, en justifiant leur sens. **Activité 3 p. 96**
- Interpréter l'influence des concentrations et de la température sur la vitesse d'un acte élémentaire, en termes de fréquence et d'efficacité des chocs entre entités. **Activité 1 p. 94**

Activité numérique 1

Des entités en interaction

La température et les concentrations des réactifs influent sur leurs vitesses de disparition.

▶ **Objectif de l'activité : Comment expliquer l'influence de la température et des concentrations des réactifs sur leurs vitesses de disparition ?**

Notions
- Fréquence et efficacité des chocs entre entités
- Influence sur la vitesse d'un acte élémentaire

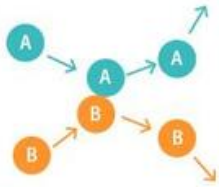
A Le mouvement brownien

En 1827, le botaniste R. BROWN (1773-1858) observe des grains de pollen dispersés dans de l'eau. Ces grains de pollen sont soumis à un mouvement continuel et irrégulier, appelé aujourd'hui mouvement brownien.

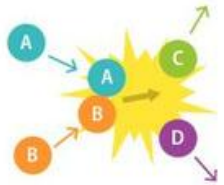
Il résulte des chocs des molécules d'eau sur les grains. Plus la température est élevée, plus la vitesse des molécules d'eau est grande et plus les chocs sont nombreux.

B Notion de choc efficace

• Considérons deux entités A et B entrant en collision. Ce choc peut conduire à la rupture et à la création de liaisons ou à des transferts d'électrons permettant la formation de nouvelles entités C et D.



> Choc élastique entre les entités A et B.



> Choc efficace et obtention des entités C et D.

• Les collisions qui ont lieu ne conduisent pas toutes aux entités C et D : les entités A et B peuvent rebondir l'une sur l'autre sans qu'il y ait réaction (on dit que le choc est élastique). Par ailleurs, des collisions entre entités réactives ou entre entités produites ont également lieu. On appelle chocs efficaces, les chocs qui aboutissent effectivement à la formation des entités C et D.

• L'efficacité du choc est liée à son énergie qui dépend des vitesses des entités A et B, de leurs tailles, de leurs orientations, etc.

• Plus la fréquence des chocs entre les entités A et B est élevée, et plus la probabilité pour qu'un choc efficace ait lieu est grande.

C Extrait d'un programme en langage Python

PROGRAMME Python – QR Code p. 100

```
# programme principal
NA = 1000 # nombre d'entités A pouvant être modifié à l'état initial
NB = 800 # nombre d'entités B pouvant être modifié à l'état initial
NC = 0 # nombre d'entités C pouvant être modifié à l'état initial
ND = 100 # nombre d'entités D pouvant être modifié à l'état initial
collisionAB = 0.05 """ facteur de collision entre A et B compris entre 0 et 1 pouvant être modifié, plus il est grand, moins les chocs sont efficaces
temps = 10000 # variable symbolisant le temps
NbA, NbB, NbC, NbD = [], [], [], [] # création de liste du nombre d'entités A, B, C et D
```

Analyse des documents

Extraire l'information APP

1 **a.** Donner l'origine du mouvement brownien des grains de pollen (texte A).
b. Définir un choc efficace (doc. B).
c. Décrire l'effet d'une augmentation de température sur le mouvement brownien.

Formuler des hypothèses ANA-RAIS

2 Émettre une hypothèse sur l'évolution :
a. de la fréquence et de l'efficacité des chocs lors d'une élévation de température ;
b. de la fréquence des chocs efficaces entre entités réactives lors d'une augmentation des concentrations des réactifs.

Simulation numérique

Mettre un œuvre un protocole RÉA

3 L'extrait du programme Python C permet de simuler les chocs entre les entités A et B. Après avoir téléchargé et exécuté le programme complet, modifier l'efficacité des collisions et en évaluer l'effet sur la vitesse de disparition de A et B ou d'apparition de C et D.

Un pas vers le cours

Confronter un modèle à des résultats VAL

4 Proposer une interprétation de l'influence de la température et des concentrations des réactifs sur leurs vitesses de disparition.

Activité 2 expérimentale

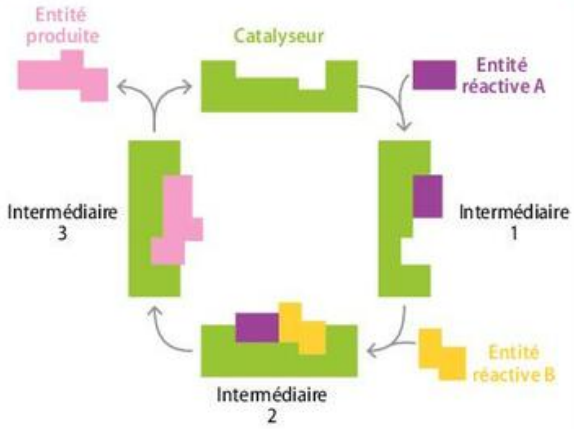
Catalyse et mécanisme réactionnel

Notions
- Identification d'un catalyseur
- Identification d'un intermédiaire réactionnel
- Établissement d'une équation de réaction

Dans le chapitre précédent, l'effet d'un catalyseur sur l'évolution d'un système chimique a été étudié.

▶ **Objectif de l'activité : Comment un catalyseur agit-il à l'échelle microscopique ?**

A Le catalyseur : une définition



- Un catalyseur transforme des réactifs en produits, grâce à un cycle ininterrompu et répété d'étapes.
- À l'échelle microscopique, des intermédiaires réactionnels successifs se forment, jusqu'à la dernière étape du cycle, qui permet l'obtention des entités constituant le produit et qui régénère le catalyseur sous sa forme originelle. L'ensemble de ces étapes qui ont lieu à l'échelle microscopique est appelé mécanisme réactionnel.

D'après *Une approche « réactivité » de la cinétique des réactions en catalyse*, Gérald DJÉGA-MARIADASSOU, L'actualité chimique, mai-juin 2002.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Réaction en catalyse homogène

- ☑ Dans un bécher, INTRODUIRE 10 mL d'une solution de sel de Seignette de concentration $C_1 = 0{,}2\ mol \cdot L^{-1}$ en ions tartrate $C_4H_4O_6^{2-}(aq)$, 4 mL d'eau distillée et 2,0 mL d'une solution de chlorure de cobalt (II) de concentration $C_3 = 0{,}15\ mol \cdot L^{-1}$ en ions cobalt (II) $Co^{2+}(aq)$.
- ☑ RÉGLER la longueur d'onde du spectrophotomètre sur 472 nm.
- ☑ « FAIRE LE BLANC » avec une cuve remplie d'eau distillée (Fiche 6 p. 458).
- ☑ MESURER l'absorbance de la solution préparée.
- ☑ Dans un bain thermostaté à 50 °C, INTRODUIRE dans un bécher 10 mL de la solution de sel de Seignette et 4 mL d'une solution d'eau oxygénée de concentration $C_2 = 2\ mol \cdot L^{-1}$ en peroxyde d'hydrogène $H_2O_2(aq)$. NOTER les observations.
- ☑ Tout en déclenchant le chronomètre, INTRODUIRE dans le bécher 2,0 mL de la solution de chlorure de cobalt (II). HOMOGÉNÉISER le mélange.
- ☑ REPLACER le bécher dans le bain thermostaté. NOTER les observations.
- ☑ Lorsque la réaction semble achevée, MESURER l'absorbance du mélange réactionnel.

Données
- Couples redox : $H_2O_2(aq)$ / $H_2O(\ell)$; $CO_2(aq)$ / $C_4H_4O_6^{2-}(aq)$; $Co^{3+}(aq)$ / $Co^{2+}(aq)$.
- Couleur des solutions aqueuses contenant les ions cobalt et tartrate : $Co^{2+}(aq)$: rose ; $Co^{3+}(aq)$: vert.
- Longueur d'onde du maximum d'absorption : $\lambda_{max}(Co^{2+}) = 472$ nm.

Analyse des documents

Extraire et organiser l'information APP

1 **a.** Rappeler la définition d'un catalyseur vue au chapitre 4.
b. Préciser le rôle d'un catalyseur dans un mécanisme réactionnel (doc. A).

Pratique expérimentale

Mettre un œuvre un protocole RÉA

2 Mettre en œuvre le protocole expérimental.

Formuler des hypothèses ANA-RAIS

3 **a.** Écrire l'équation de la réaction entre les ions tartrate $C_4H_4O_6^{2-}(aq)$ et le peroxyde d'hydrogène $H_2O_2(aq)$.
b. Cette réaction est-elle lente ou rapide ? Justifier.
c. À partir des observations réalisées, émettre une hypothèse quant au rôle des ions cobalt (II) $Co^{2+}(aq)$ et préciser sous quelle forme se trouve l'élément cobalt au début, en cours et en fin de réaction.
d. Les ions cobalt (II) $Co^{2+}(aq)$ réagissent avec le peroxyde d'hydrogène $H_2O_2(aq)$, puis les ions cobalt (III) $Co^{3+}(aq)$ formés réagissent avec les ions tartrate $C_4H_4O_6^{2-}(aq)$. Écrire les équations des réactions successives qui se déroulent dans le mélange réactionnel.

Confronter des résultats à des hypothèses VAL

4 En quoi les mesures d'absorbance effectuées valident-elles l'hypothèse formulée à la question 3 c. ?

Un pas vers le cours

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

5 Décrire le rôle d'un catalyseur dans un mécanisme réactionnel.

Activité documentaire 3

Formalisme des flèches courbes

Un mécanisme réactionnel rend compte, à l'échelle microscopique, de la formation, à l'échelle macroscopique, des produits à partir des réactifs. Y figurent des intermédiaires réactionnels et des catalyseurs éventuels.

▶ Objectif de l'activité : Comment identifier les intermédiaires réactionnels et les catalyseurs éventuels à partir du mécanisme réactionnel ?

Notions
- Flèches courbes d'un acte élémentaire
- Établissement d'une équation de réaction
- Identification d'un catalyseur

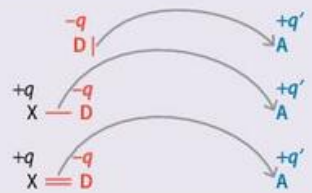
A Le benzoate d'éthyle

Le benzoate d'éthyle est l'un des principaux esters responsables du parfum de la cerise. L'équation de sa synthèse, à partir d'acide benzoïque et d'éthanol s'écrit :

$$C_6H_5CO_2H\,(\ell) + C_2H_5OH\,(\ell) \rightleftharpoons C_6H_5CO_2C_2H_5\,(\ell) + H_2O\,(\ell)$$

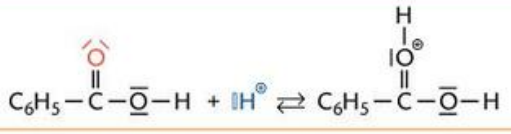
COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- Un **site donneur** de doublet d'électrons peut être un doublet non-liant, une liaison polarisée ou une double liaison.
- Un **site accepteur** de doublet d'électrons peut être un atome porteur d'une charge électrique positive, partielle ou non, et/ou d'une lacune électronique.
- Chaque **étape d'un mécanisme réactionnel** résulte de l'interaction entre un site donneur et un site accepteur de doublet d'électrons. Il se produit alors un transfert de doublet d'électrons ; ce transfert est modélisé par une flèche courbe orientée vers le site accepteur.

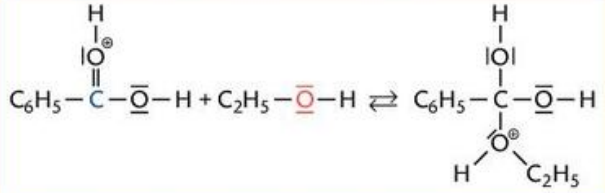


B Mécanisme de synthèse du benzoate d'éthyle

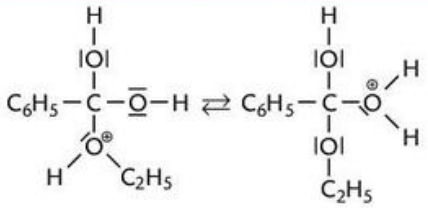
Étape 1



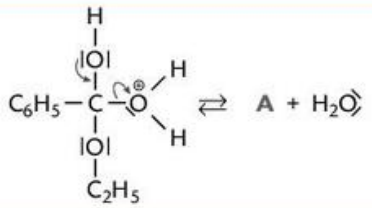
Étape 2



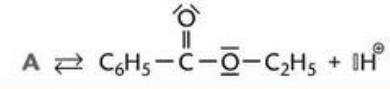
Étape 3



Étape 4



Étape 5



Données

Électronégativités : $\chi(H) = 2{,}2$; $\chi(C) = 2{,}5$; $\chi(O) = 3{,}4$; liaison C–H non polarisée.

Analyse des documents

Utiliser un modèle RÉA

1 **a.** Dans les entités de chacune des deux premières étapes du tableau **B**, justifier :
– que les atomes repérés en rouge sont des sites donneurs de doublet d'électrons ;
– que l'atome et l'ion repérés en bleu sont des sites accepteurs de doublet d'électrons.
b. Recopier les deux premières étapes du mécanisme et représenter, par des flèches courbes, le transfert des doublets d'électrons permettant d'expliquer la formation des entités produites.
c. Compléter l'équation de l'étape 4 en écrivant le schéma de Lewis de l'entité **A**.
d. Recopier l'équation de l'étape 5, puis la compléter en intégrant le schéma de Lewis de l'entité **A** et en représentant la flèche courbe permettant de justifier l'obtention des entités produites.

Interpréter des observations VAL

2 Citer deux raisons qui laissent à penser que les ions hydrogène H^+ catalysent la réaction et identifier deux intermédiaires réactionnels.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication ANA-RAIS

3 Expliquer comment établir, à partir du mécanisme réactionnel, l'équation d'une réaction et comment identifier un catalyseur.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

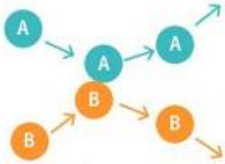


1 L'interprétation microscopique des réactions

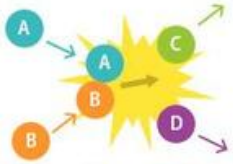
a. Chocs efficaces entre entités chimiques

• Les entités d'un système sont en mouvement incessant, aléatoire et désordonné, appelé mouvement brownien (simulation A). Elles peuvent entrer en collision entre elles. Dans la théorie des collisions, ces chocs peuvent être à l'origine de réactions chimiques.

• Pour qu'une réaction ait lieu :
– les entités constituant les réactifs doivent entrer en **collision** ;
– les **chocs doivent être efficaces**, c'est-à-dire permettre la formation, à l'échelle macroscopique, des produits à partir des réactifs.



› **Choc élastique** entre les entités A et B.



› **Choc efficace** et obtention des entités C et D.

• Au moment du choc, les entités doivent posséder une énergie suffisante et la bonne orientation (schémas B) pour rompre les liaisons existantes et/ou en former de nouvelles.

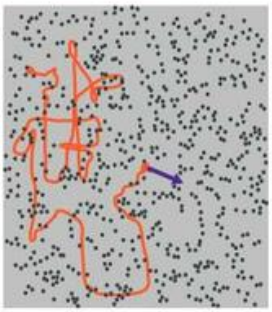
b. Facteurs cinétiques

Plus les chocs sont nombreux, plus la fréquence (la probabilité) de chocs efficaces est élevée et plus la vitesse de disparition des réactifs (et donc, celle d'apparition des produits) est grande (schémas C). Ainsi :

• Plus la **température d'un système chimique** est élevée, plus l'agitation thermique des entités est importante et plus la fréquence des chocs, et donc des chocs efficaces, est grande à l'échelle microscopique.

• Plus les **concentrations des réactifs** sont élevées, plus la fréquence des chocs, et donc des chocs efficaces entre les entités constituant les réactifs, est grande à l'échelle microscopique.

A Mouvement brownien



› Simulation du mouvement brownien d'une particule (modélisée en rouge) entrant en collision avec d'autres particules (en noir). Le chemin rouge représente le chemin aléatoire qu'elle parcourt.

B Orientation des entités réactives



› Orientation défavorable des entités lors du choc.



› Orientation favorable des entités lors du choc.

C Influence des concentrations des réactifs



› Faible concentration des réactifs : peu de chocs efficaces entre les entités.



› Forte concentration des réactifs : augmentation du nombre de chocs efficaces entre les entités.

2 Les mécanismes réactionnels

a. Acte élémentaire

• Considérons la réaction entre le monoxyde d'azote NO (g) et le dihydrogène H_2 (g). Son équation en donne une description macroscopique :

$$2\,NO\,(g) + 2\,H_2\,(g) \rightarrow N_2\,(g) + 2\,H_2O\,(g)$$

Transposée à l'échelle microscopique, cette équation supposerait la rencontre de 2 + 2 = 4 molécules, ce qui est statistiquement peu probable. En fait, cette réaction peut être décrite, à l'échelle microscopique, par la succession de **trois actes élémentaires**, selon le **mécanisme réactionnel** :

(1)	$NO + NO \rightleftarrows N_2O_2$	Très rapide
(2)	$N_2O_2 + H_2 \rightarrow N_2 + H_2O_2$	Lente
(3)	$H_2O_2 + H_2 \rightarrow 2\,H_2O$	Rapide

La dioxohydrazine N_2O_2 et le peroxyde d'hydrogène H_2O_2 sont des **intermédiaires réactionnels** qui interviennent dans le mécanisme réactionnel mais qui n'apparaissent pas dans l'équation de la réaction.

Cours

Infos

- Un acte élémentaire fait intervenir généralement une ou deux entités réactives, très rarement trois.
- Il ne faut pas confondre intermédiaire réactionnel et catalyseur : un intermédiaire réactionnel est formé lors d'une des étapes du mécanisme puis totalement consommé dans une autre alors qu'un catalyseur est consommé puis totalement régénéré.

D **Mode d'action d'un catalyseur**

(a)



(b)



> Le chemin le plus court pour atteindre le sommet est la voie d'escalade (a). Le sentier en lacets est plus long, mais le sommet est atteint plus rapidement (b). Le mode d'action d'un catalyseur est analogue : le chemin de la réaction est plus long, mais il se fait plus rapidement.

- L'équation d'une réaction chimique ne rend pas compte du mécanisme réactionnel à l'échelle microscopique, mais modélise la transformation chimique à l'échelle macroscopique.

- Un **acte élémentaire** est un processus qui se déroule à l'échelle microscopique, en une seule étape, sans formation d'entités intermédiaires.
- Un **mécanisme réactionnel** est l'ensemble des actes élémentaires permettant de rendre compte, à l'échelle microscopique, de la formation, à l'échelle macroscopique, des produits à partir des réactifs.
- Un **intermédiaire réactionnel** est une entité produite au cours d'un acte élémentaire puis totalement consommée dans un autre.

- L'équation d'une réaction peut s'établir à partir du mécanisme réactionnel.

Exemple

$$NO + NO \rightleftarrows N_2O_2$$
$$N_2O_2 + H_2 \rightarrow N_2 + H_2O_2$$
$$H_2O_2 + H_2 \rightarrow 2\,H_2O$$
$$NO + NO + H_2 + H_2 \rightarrow N_2 + 2\,H_2O$$

À l'échelle macroscopique, la réaction associée à la transformation chimique est modélisée par une équation qui précise les états physiques des espèces :

$$2\,NO\,(g) + 2\,H_2\,(g) \rightarrow N_2\,(g) + 2\,H_2O\,(g)$$

b. Interprétation microscopique de l'action d'un catalyseur

- Un **catalyseur** accélère une réaction chimique en modifiant le mécanisme réactionnel.

- La présence d'un catalyseur augmente généralement le nombre d'étapes d'un mécanisme réactionnel. Un catalyseur a ainsi pour effet de remplacer une étape du mécanisme par une succession d'étapes plus rapides (doc. D).

- Le catalyseur disparaît au cours du mécanisme réactionnel, puis il est **totalement régénéré** : on dit qu'il n'est pas consommé. Il n'apparaît donc pas dans l'équation de la réaction.

Exemple

On considère la réaction lente entre les ions tartrate $C_4H_4O_6^{2-}\,(aq)$ et le peroxyde d'hydrogène $H_2O_2\,(aq)$ d'équation :

$$C_4H_4O_6^{2-}\,(aq) + 5\,H_2O_2\,(aq) \rightarrow 4\,CO_2\,(g) + 6\,H_2O\,(\ell) + 2\,HO^-\,(aq)$$

L'ajout d'ions cobalt (II) $Co^{2+}\,(aq)$ catalyse la réaction en modifiant le mécanisme réactionnel (doc. E).

La réaction peut être modélisée par deux étapes d'équations :

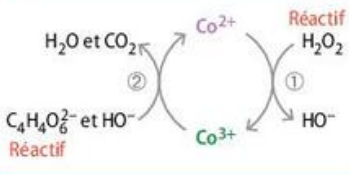
① $5\,H_2O_2\,(aq) + 10\,Co^{2+}\,(aq) \rightarrow 10\,Co^{3+}\,(aq) + 10\,HO^-\,(aq)$

② $C_4H_4O_6^{2-}\,(aq) + 10\,Co^{3+}\,(aq) + 8\,HO^-\,(aq) \rightarrow 4\,CO_2\,(g) + 10\,Co^{2+}\,(aq) + 6\,H_2O\,(\ell)$

Les ions cobalt (III) sont un intermédiaire réactionnel : ils donnent une couleur verte au mélange réactionnel en cours de réaction. Les ions cobalt (II), présents dans les états initial et final, donnent une couleur rose au mélange :



E **Modification du mécanisme réactionnel**



lycee.hachette-education.com/pc/tle

Mécanismes réactionnels

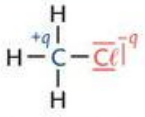
VIDÉO DE COURS

F **Échelle de Pauling des électronégativités**

H 2,2						
Li 1,0	Be 1,6	B 2,0	C 2,6	N 3,0	O 3,4	F 4,0
Na 0,9	Mg 1,3	Aℓ 1,6	Si 1,9	P 2,2	S 2,6	Cℓ 3,2

> Électronégativités de quelques atomes.

G **Liaison polarisée**

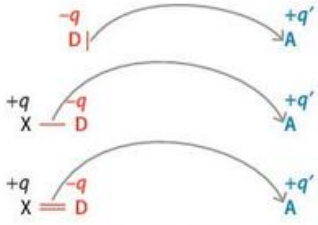


> Schéma de Lewis de la molécule de chlorométhane.

INFO

On considère que les électronégativités des atomes d'hydrogène et de carbone sont suffisamment proches pour considérer que les liaisons C-H sont non polarisées.

H **Sites donneur et accepteur de doublet d'électrons**



> La flèche annonce la formation d'une liaison entre un site donneur D de doublet d'électrons et un site A accepteur de doublet d'électrons.

3 La modélisation des interactions entre entités

a. Sites donneur et accepteur de doublet d'électrons

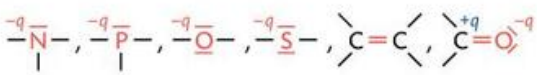
• Une liaison covalente entre deux atomes est polarisée si ces deux atomes ont des électronégativités différentes.

Exemple

L'atome de chlore est plus électronégatif que l'atome de carbone (doc. F). Lorsqu'il est lié à un atome de carbone, il porte une charge partielle négative $-q$ et l'atome de carbone une charge partielle positive $+q$: la liaison C–Cℓ est **polarisée**. Ainsi, dans la molécule de chlorométhane $CH_3C\ell$ (doc. G), l'atome de **chlore** est un site riche en électrons : c'est un site **donneur de doublet d'électrons**, et l'atome de **carbone** est un **site accepteur de doublet d'électrons.**

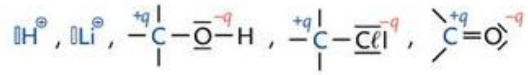
• Un site **donneur de doublet d'électrons** peut être un doublet non liant, une liaison polarisée ou une double liaison.

Exemples



• Un site **accepteur de doublet d'électrons** peut être un atome porteur d'une charge électrique positive, partielle ou non, et/ou d'une lacune électronique.

Exemples



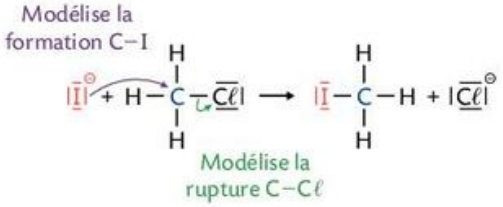
b. Formalisme des flèches courbes

Lors d'un acte élémentaire d'un mécanisme réactionnel, la formation et la rupture de liaisons peuvent s'expliquer par les **interactions entre les sites donneur et accepteur** de doublet d'électrons des entités qui réagissent.

Exemple

Considérons la réaction entre les ions iodure I^- et le chlorométhane $CH_3C\ell$, d'équation : $CH_3C\ell + I^- \rightarrow CH_3I + C\ell^-$

Dans cette réaction à une seule étape, la rupture de la liaison C–Cℓ est simultanée avec la formation de la liaison C–I :



Le mouvement d'un doublet d'électrons peut être représenté par une flèche courbe **orientée du doublet d'électrons du site donneur vers le site accepteur de doublet d'électrons**. Ces flèches courbes permettent d'expliquer la formation ou la rupture des liaisons au cours des actes élémentaires d'un mécanisme réactionnel (doc. H).

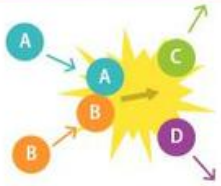
L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Mécanismes réactionnels
QCM
Version interactive

1 L'interprétation microscopique des réactions

Chocs efficaces

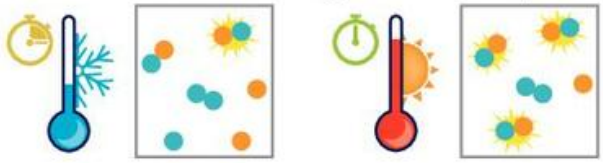


Les entités constituant les réactifs doivent **entrer en collision** :
– avec une **énergie suffisante** ;
– avec une **orientation favorable**.

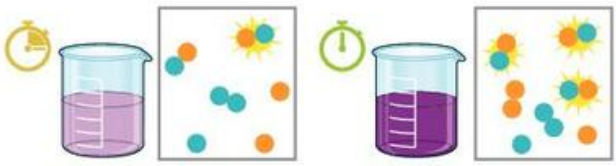


Facteurs cinétiques

• Le nombre de chocs efficaces augmente avec la température.



• Le nombre de chocs efficaces augmente avec la concentration des réactifs.



2 Les mécanismes réactionnels

Mécanisme réactionnel : Ensemble d'actes élémentaires

Acte élémentaire

Processus qui se déroule à l'**échelle microscopique**, en une seule étape, sans formation d'entités intermédiaires.

Exemple :

• Équation de la réaction :

$$2\,NO(g) + 2\,H_2(g) \rightarrow N_2(g) + 2\,H_2O(g)$$

• Mécanisme réactionnel :

(1) $NO + NO \rightleftarrows N_2O_2$
(2) $N_2O_2 + H_2 \rightarrow N_2 + H_2O_2$
(3) $H_2O_2 + H_2 \rightarrow 2\,H_2O$

} Trois actes élémentaires

Catalyseur

• Modifie le mécanisme réactionnel.
• Augmente généralement le nombre d'actes élémentaires d'un mécanisme réactionnel.
• Il est consommé puis totalement régénéré.

Intermédiaire réactionnel

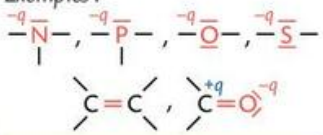
Entité formée au cours d'un acte élémentaire puis totalement consommée dans un autre.
Exemples : N_2O_2 et H_2O_2.

3 La modélisation des interactions entre entités

Sites donneurs de doublet d'électrons

• Atome porteur de doublet(s) non liant(s).
• Liaison polarisée.
• Liaison multiple.

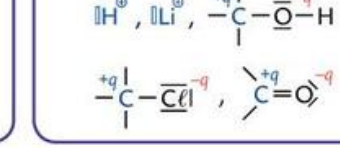
Exemples :



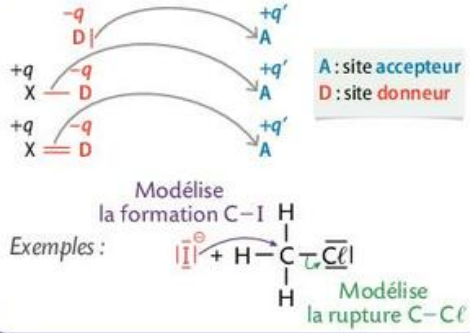
Sites accepteurs de doublet d'électrons

Atome porteur d'une lacune et/ou d'une charge électrique positive, partielle ou non.

Exemples :



Modélisation par une flèche courbe



QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 L'interprétation microscopique des réactions

Si erreur, revoir § 1 p. 97

	A	B	C
1. Les chocs entre entités réactives :	sont aléatoires.	sont tous efficaces.	peuvent ne pas conduire aux produits de la réaction.
2. Pour que les entités réactives conduisent à un produit, il faut que :	les entités entrent en collision.	les chocs soient suffisamment énergétiques.	les orientations des entités soient favorables.
3. Les chocs efficaces entre entités réactives : 	augmentent avec la température du mélange réactionnel.	augmentent avec les concentrations des réactifs.	diminuent avec les concentrations des réactifs.

2 Les mécanismes réactionnels

Si erreur, revoir § 2 p. 97

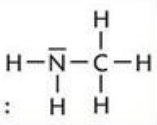
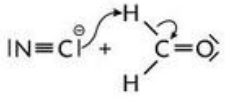
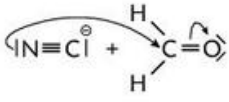
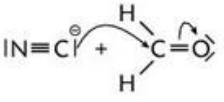
	A	B	C
4. L'équation d'une réaction chimique modélise :	microscopiquement la transformation.	macroscopiquement la transformation.	un acte élémentaire.
5. Un acte élémentaire :	est un processus décrit au niveau microscopique.	est une étape d'un mécanisme réactionnel.	est décomposable.
6. Un intermédiaire réactionnel :	figure dans l'équation de la réaction.	est présent dans le milieu réactionnel à l'état initial.	figure dans le mécanisme réactionnel.
7. Un catalyseur :	modifie le mécanisme réactionnel.	remplace une étape lente par une succession d'étapes plus rapides.	diminue en général le nombre d'actes élémentaires.
8. La réaction entre les ions iodure $I^-(aq)$ et peroxodisulfate $S_2O_8^{2-}(aq)$ a pour équation : $2\,I^-(aq) + S_2O_8^{2-}(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2\,SO_4^{2-}(aq)$ Lorsqu'elle est catalysée, elle peut être décomposée en deux étapes : • $4\,I^-(aq) + 2\,Cu^{2+}(aq) \rightarrow I_2(aq) + 2\,CuI(s)$ • $S_2O_8^{2-}(aq) + 2\,CuI(s) \rightarrow 2\,Cu^{2+}(aq) + 2\,I^-(aq) + 2\,SO_4^{2-}(aq)$ On peut affirmer que :	les ions cuivre (II) $Cu^{2+}(aq)$ catalysent la réaction.	l'iodure de cuivre CuI (s) catalyse la réaction.	les ions iodure $I^-(aq)$ catalysent la réaction.

3 La modélisation des interactions entre entités

Si erreur, revoir § 3 p. 99

Données

Électronégativités : $\chi(H) = 2{,}2$; $\chi(C) = 2{,}6$; $\chi(N) = 3{,}0$; $\chi(O) = 3{,}4$; $\chi(C\ell) = 3{,}2$.

	A	B	C
9. Dans la molécule de méthylamine dont le schéma de Lewis est modélisé ci-contre : 	l'atome d'azote est un site donneur de doublet d'électrons.	l'atome de carbone est un site donneur de doublet d'électrons.	l'atome de carbone est un site accepteur de doublet d'électrons.
10. Les flèches courbes tracées dans l'équation d'une étape d'un mécanisme réactionnel :	modélisent le mouvement d'un doublet d'électrons.	sont orientées du doublet d'électrons du site donneur vers le site accepteur de doublet d'électrons.	sont orientées du site accepteur vers le site donneur de doublet d'électrons.
11. L'ion cyanure CN^- réagit en une seule étape avec le méthanal CH_2O pour donner l'espèce $N{\equiv}C{-}CH_2{-}O^-$. Cette étape peut être modélisée par :			

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
À partir d'un mécanisme réactionnel fourni, identifier un intermédiaire réactionnel, un catalyseur.	Réflexe 1 — Ex. 5 et 7 p. 104 • **Repérer** les entités qui se situent à la fois du côté des réactifs et des produits. • **Identifier** les entités qui sont d'abord produites puis totalement consommées : ce sont les intermédiaires réactionnels. • **Identifier** l'entité qui est d'abord consommée puis totalement régénérée, en général dans le dernier acte élémentaire : c'est le catalyseur.
À partir d'un mécanisme réactionnel fourni, établir l'équation de la réaction qu'il modélise au niveau microscopique.	Réflexe 2 — Ex. 7 p. 104 • **Identifier** les intermédiaires réactionnels et le catalyseur éventuel (réflexe 1) : ils ne figurent pas dans l'équation de la réaction. • **Placer** les autres entités : – à gauche de la flèche pour celles qui réagissent ; – à droite de la flèche pour celles produites. • **Établir** l'équation de la réaction en précisant les états physiques des espèces. • **Vérifier** la conservation des éléments et de la charge électrique.
Identifier un site donneur ou accepteur de doublet d'électrons	Réflexe 3 — Ex. 9 p. 105 • **Rechercher**, pour les sites donneurs : – les atomes porteurs de doublet(s) non liant(s) ; – les liaisons polarisées ; – les liaisons multiples. • **Rechercher**, pour les sites accepteurs, les atomes porteurs d'une charge électrique positive, partielle ou non, et/ou d'une lacune.
Représenter les flèches courbes d'un acte élémentaire, en justifiant leur sens.	Réflexe 4 — Ex. 11 p. 105 • **Identifier** les liaisons formées et rompues. • **Identifier** les sites donneur et accepteur de doublet d'électrons (réflexe 3). • **Tracer** les flèches courbes qui expliquent la formation ou la rupture des liaisons. • **Vérifier** que chaque flèche a pour origine un doublet d'électrons d'un site donneur de doublet d'électrons et que la pointe est dirigée vers le site accepteur de doublet d'électrons.

1 Exercice résolu

Synthèse d'un arôme d'ananas

Utiliser un modèle pour expliquer.

Le butanoate d'éthyle est une espèce de synthèse à la forte odeur d'ananas utilisée dans l'industrie agroalimentaire ou en parfumerie. Le mécanisme réactionnel simplifié de sa synthèse est donnée ci-contre.

$C_4H_8O_2 + H^+ \rightleftarrows C_4H_9O_2^+$

$C_2H_6O + C_4H_9O_2^+ \rightleftarrows C_6H_{15}O_3^+$

$C_6H_{15}O_3^+ \rightleftarrows C_6H_{13}O_2^+ + H_2O$

$C_6H_{13}O_2^+ \rightleftarrows C_6H_{12}O_2 + H^+$



1. À partir du mécanisme réactionnel, identifier le catalyseur de la réaction et les intermédiaires réactionnels.
2. Établir l'équation de la réaction de la synthèse sachant que toutes les espèces sont liquides, et préciser la formule brute du butanoate d'éthyle.

Solution rédigée

• **On utilise le** Réflexe 1.

Comparaison des actes élémentaires

1. Les entités surlignées se situent à la fois du côté des réactifs et des produits :

$C_4H_8O_2 + H^+ \rightleftarrows C_4H_9O_2^+$

$C_2H_6O + C_4H_9O_2^+ \rightleftarrows C_6H_{15}O_3^+$

$C_6H_{15}O_3^+ \rightleftarrows C_6H_{13}O_2^+ + H_2O$

$C_6H_{13}O_2^+ \rightleftarrows C_6H_{12}O_2 + H^+$

Identification du catalyseur

La seule entité qui est d'abord consommée, puis totalement régénérée ($1\ H^+ \rightarrow 1\ H^+$), est l'ion hydrogène H^+ : il s'agit donc du **catalyseur** de la réaction.

Identification des intermédiaires réactionnels

Les autres entités sont d'abord produites puis totalement consommées : $C_4H_9O_2^+$, $C_6H_{15}O_3^+$ et $C_6H_{13}O_2^+$ sont des **intermédiaires réactionnels**.

• **On utilise le Réflexe 2.**

Identification des entités qui ne sont ni intermédiaires réactionnels, ni catalyseur

2. Les entités qui ne sont ni des intermédiaires, ni le catalyseur, sont celles qui ne sont pas surlignées :

– les entités réactives sont situées à gauche des flèches : $C_4H_8O_2$, C_2H_6O ;

– les entités produites sont situées à droite des flèches : H_2O et $C_6H_{12}O_2$.

Établissement de l'équation de la réaction ajustée

L'équation de la réaction s'écrit :

$$C_4H_8O_2(\ell) + C_2H_6O(\ell) \rightleftharpoons H_2O(\ell) + C_6H_{12}O_2(\ell)$$

La formule H_2O est celle de l'eau. Le butanoate d'éthyle a donc pour formule brute : $\mathbf{C_6H_{12}O_2}$.

2 Exercice résolu

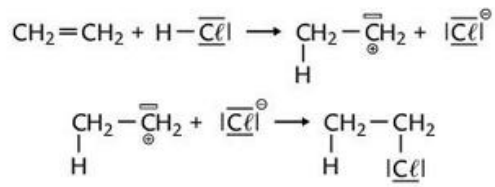
Synthèse d'un additif alimentaire

Utiliser un modèle pour prévoir ; proposer un modèle.

L'éthylcellulose est un additif alimentaire utilisé comme agent d'enrobage des bonbons. Il est obtenu à partir de cellulose et de choroéthane. Le chloroéthane peut être obtenu par réaction entre le chlorure d'hydrogène HCℓ et l'éthène C_2H_4. Le mécanisme réactionnel de cette synthèse est donné ci-contre.

1. Identifier, dans les entités réactives, les sites donneur et accepteur de doublet d'électrons.

2. Représenter, par des flèches courbes, les mouvements des doublets d'électrons.



Données

Électronégativités : $\chi(H) = 2{,}2$; $\chi(C) = 2{,}6$; $\chi(C\ell) = 3{,}2$.

Solution rédigée

1. Acte élémentaire 1

• L'examen des produits montre que la double liaison C=C de l'éthène interagit avec l'atome d'hydrogène du chlorure d'hydrogène.

• **On utilise le Réflexe 3.**

Recherche du site donneur de doublet d'électrons

• La **double liaison C=C** de l'éthène, site riche en électrons, constitue un site **donneur** de doublet d'électrons.

• **On utilise le Réflexe 3.**

Recherche du site accepteur de doublet d'électrons

• $\chi(H) < \chi(C\ell)$; donc la liaison H–Cℓ est polarisée : $\overset{+q}{H}-\overset{-q}{C\ell}$

L'**atome d'hydrogène** constitue donc un site **accepteur** de doublet d'électrons.

Acte élémentaire 2

• L'examen des produits montre qu'une liaison C–Cℓ s'est formée.

• **On utilise le Réflexe 3.**

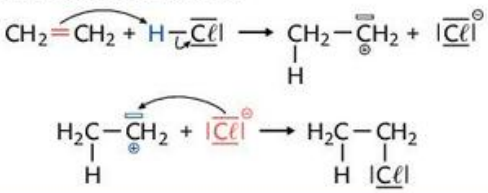
Recherche du site donneur de doublet d'électrons

• L'**ion chlorure $C\ell^-$** porte une charge négative et des doublets non liants, il s'agit donc du **site donneur de doublet d'électrons**. L'atome de carbone portant la charge positive et une lacune est le site accepteur de doublet d'électrons.

• **On utilise le Réflexe 4.**

Tracé de la flèche courbe du site donneur vers le site accepteur

2. Le mécanisme réactionnel s'écrit :



Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire

	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
▪ À partir d'un mécanisme réactionnel fourni, identifier un intermédiaire réactionnel, un catalyseur, et établir l'équation de la réaction qu'il modélise au niveau microscopique.	5 7	19	20 21
▪ Représenter les flèches courbes d'un acte élémentaire, en justifiant leur sens.	11	19	21
▪ Interpréter l'influence des concentrations et de la température sur la vitesse d'un acte élémentaire.	3	19	20

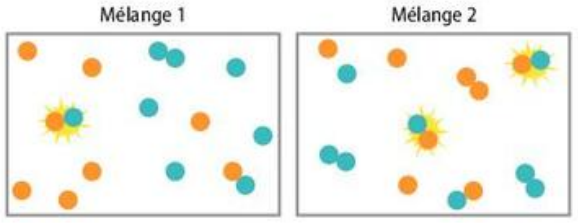
1 L'interprétation microscopique des réactions

3 Identifier des mélanges réactionnels CORRIGÉ

Utiliser un modèle pour prévoir.

On modélise, par des boules colorées, les entités des réactifs dans deux mélanges réactionnels. Les chocs efficaces entre entités qui réagissent sont modélisés par un « flash ».

• Lequel des mélanges a la température la plus élevée ? Justifier.



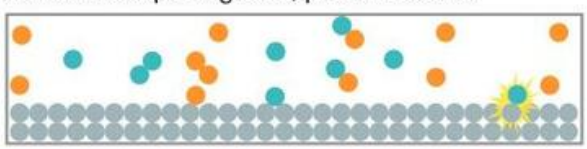
4 Modéliser un mélange réactionnel

Proposer un modèle.

Le zinc Zn(s) réagit avec les ions cuivre (II) $Cu^{2+}(aq)$ selon la réaction d'équation :

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

On modélise, par des boules colorées respectivement grises et bleues, les atomes de zinc et les ions cuivre (II) dans un mélange réactionnel. Les molécules d'eau sont modélisées par des boules orange et les chocs efficaces entre entités qui réagissent, par un « flash ».



1. Modéliser le mélange réactionnel à une température plus élevée.

2. Modéliser un mélange réactionnel dans lequel la concentration en ion cuivre (II) est plus élevée que celle du premier modèle.

3. Justifier que dans les deux cas, la réaction est plus rapide.

2 Les mécanismes réactionnels

5 Écrire une équation de réaction CORRIGÉ

Utiliser un modèle pour expliquer.

Le mécanisme associé à la réaction entre l'acide iodhydrique et le peroxyde d'hydrogène est le suivant :

$$HI + H_2O_2 \rightleftarrows HIO + H_2O$$
$$HIO + HI \rightarrow I_2 + H_2O$$

1. Identifier l'intermédiaire réactionnel.

Utiliser le réflexe 1

2. Établir l'équation de la réaction de la synthèse sachant que toutes les espèces sont en solution aqueuse.

6 Compléter un mécanisme réactionnel

Proposer un modèle.

Le 2-bromo-2-méthylpropane réagit lentement avec les ions hydroxyde suivant la réaction d'équation :

$(CH_3)_3CBr(\ell) + HO^-(aq) \rightarrow (CH_3)_3COH(\ell) + Br^-(aq)$

• Recopier et compléter le mécanisme réactionnel associé à cette réaction :

(1) $(CH_3)_3CBr \rightleftarrows (CH_3)_3C^+ + \ldots$

(2) $\ldots + HO^- \rightarrow (CH_3)_3COH$

7 Identifier un catalyseur CORRIGÉ

Utiliser un modèle pour prévoir.

Le chlorure de tertiobutyle s'hydrolyse à température ambiante selon le mécanisme réactionnel suivant :

(1) $(CH_3)_3CC\ell \rightleftarrows (CH_3)_3C^+ + C\ell^-$

(2) $(CH_3)_3C^+ + H_2O \rightarrow (CH_3)_3COH_2^+$

(3) $(CH_3)_3COH_2^+ \rightarrow (CH_3)_3COH + H^+$

Le peroxyde d'hydrogène peut se décomposer selon le mécanisme réactionnel suivant :

(1) $H_2O_2 + H^+ \rightarrow H_3O_2^+$

(2) $H_3O_2^+ + Br^- \rightarrow HOBr + H_2O$

(3) $HOBr + H_2O_2 \rightarrow O_2 + Br^- + H^+ + H_2O$

1. Dans quel mécanisme réactionnel les ions hydrogène H^+ catalysent-ils la réaction ? Justifier.

Utiliser le réflexe 1

2. Écrire l'équation de chacune des réactions sans préciser l'état physique des espèces.

Utiliser le réflexe 2

8 Comprendre le mode d'action d'un catalyseur

| Proposer un modèle.

La décomposition du peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (aq) est très lente. Cependant, le peroxyde d'hydrogène peut se décomposer très rapidement en eau liquide et en dioxygène gazeux, en présence d'ions fer (III) Fe^{3+} (aq). Le mécanisme réactionnel, en deux étapes, fait apparaître un intermédiaire réactionnel : l'ion fer (II).

1. Écrire les deux étapes du mécanisme réactionnel sachant que dans la première étape, le peroxyde d'hydrogène réagit avec les ions fer (III).

2. À quelle condition ce mécanisme en deux étapes permet-il de rendre la réaction plus rapide ?

3. Écrire l'équation de la réaction de décomposition du peroxyde d'hydrogène.

Données

H_2O_2(aq) / $H_2O(\ell)$; O_2(g) / H_2O_2(aq) ; Fe^{3+}(aq) / Fe^{2+}(aq).

3 La modélisation des interactions entre entités

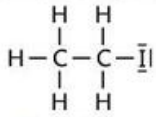
VIDÉO DE COURS **Mécanismes réactionnels – QR Code p. 100**

9 Repérer des sites donneurs ou accepteurs

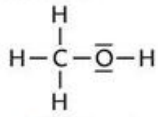
CORRIGÉ

| Utiliser un modèle pour prévoir.

On donne les schémas de Lewis suivants :



> Iodoéthane



> Méthanol

1. Identifier les liaisons polarisées de chacune des molécules.

2. Identifier le(s) site(s) donneur(s) ou accepteur(s) de doublet d'électrons. Utiliser le réflexe 3

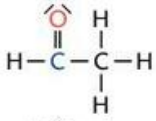
Données

Électronégativités : liaison C–H non polarisée ; $\chi(H) = 2{,}2$; $\chi(C) = 2{,}6$; $\chi(O) = 3{,}4$; $\chi(I) = 2{,}7$.

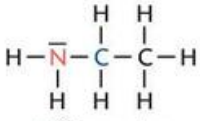
10 Justifier la présence de sites donneurs ou accepteurs

| Utiliser un modèle pour expliquer.

Dans chaque schéma de Lewis, un atome donneur de doublet d'électrons est repéré en rouge et un atome accepteur de doublet d'électrons est repéré en bleu :



> Éthanal



> Éthanamine

• Justifier le caractère donneur ou accepteur des sites.

Données

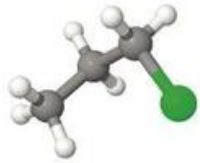
Électronégativités : liaison C–H non polarisée ; $\chi(H) = 2{,}2$; $\chi(C) = 2{,}6$; $\chi(N) = 3{,}0$; $\chi(O) = 3{,}4$.

11 Modéliser un déplacement de doublet

CORRIGÉ

| Proposer un modèle.

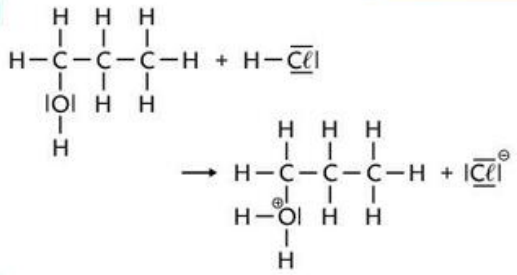
Le mécanisme de la réaction entre le propan-1-ol et l'acide chlorhydrique conduisant au 1-chloropropane, est donné ci-après.



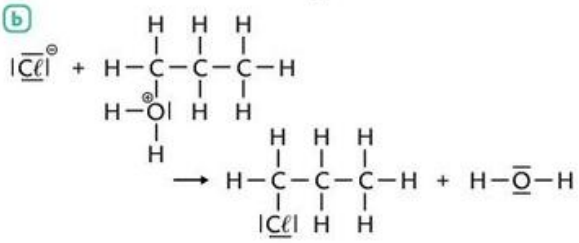
> Modèle du 1-chloropropane

• Recopier les équations (a) et (b) des étapes de ce mécanisme puis représenter, par des flèches courbes, le mouvement des doublets d'électrons expliquant la formation et la rupture des liaisons. Utiliser le réflexe 4

(a)



(b)

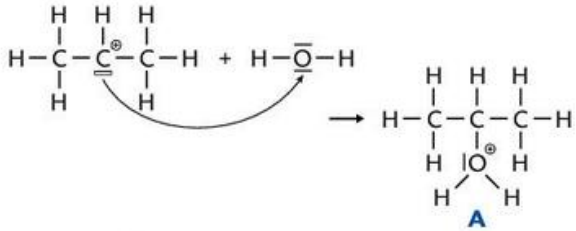


12 Justifier le sens d'une flèche courbe

| Proposer un modèle.

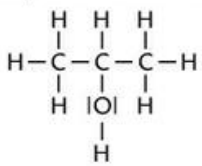
On s'intéresse à l'une des étapes du mécanisme réactionnel de l'hydratation du propène.

1. a. Repérer l'erreur commise dans la modélisation ci-dessous. Justifier.



b. Recopier l'étape en corrigeant.

2. Le propan-2-ol a pour schéma de Lewis :



Modéliser l'acte élémentaire conduisant au propan-2-ol à partir de l'intermédiaire réactionnel **A**.

13 Nitration du benzène

Utiliser un modèle pour expliquer.



(a) La nitration est un procédé chimique qui permet d'introduire un ou plusieurs groupements nitro $-NO_2$ dans une molécule. Elle est, entre autres, utilisée pour la synthèse de colorants alimentaires. Le mécanisme réactionnel de la nitration du benzène $C_6H_6(\ell)$ par l'acide nitrique pur s'écrit :

(1) $2\ HNO_3 \rightleftarrows H_2NO_3^+ + NO_3^-$

(2) $H_2NO_3^+ \rightleftarrows NO_2^+ + H_2O$

(3) $C_6H_6 + NO_2^+ \rightarrow C_6H_6NO_2^+$

(4) $C_6H_6NO_2^+ \rightarrow C_6H_5NO_2 + H^+$

L'étape (1) est la plus lente.

(b) La nitration du benzène peut également être réalisée dans des conditions plus « douces » à l'aide d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique concentrés suivant le mécanisme réactionnel ci-dessous.

(1) $H_2SO_4 + HNO_3 \rightleftarrows HSO_4^- + H_2NO_3^+$

(2) $H_2NO_3^+ \rightleftarrows NO_2^+ + H_2O$

(3) $C_6H_6 + NO_2^+ \rightarrow C_6H_6NO_2^+$

(4) $C_6H_6NO_2^+ + HSO_4^- \rightarrow C_6H_5NO_2 + H_2SO_4$

L'étape (3) est la plus lente.

1. Pour chaque mécanisme réactionnel, identifier les intermédiaires réactionnels.

2. À partir du mécanisme (a), établir l'équation de la réaction de la synthèse sachant que toutes les espèces sont liquides.

3. a. Montrer que l'acide sulfurique peut être considéré comme un catalyseur dans le mécanisme (b).

b. Comparer les étapes (2) et (3) des deux mécanismes, puis justifier qu'une modification du mécanisme réactionnel change la cinétique de la réaction.

14 Step by step

Utiliser un modèle ; pratiquer une langue vivante étrangère.

A reaction mechanism is the step by step sequence of elementary reactions by which overall chemical reaction occurs. It describes each reactive intermediate (often unstable and short-lived) and may include the catalyst used. For example:

$$N_2O_5 \rightleftarrows NO_3 + NO_2$$
$$NO_3 + NO_2 \rightarrow NO_2 + O_2 + NO$$
$$NO + N_2O_5 \rightarrow 3\ NO_2$$

1. Determine the reactive intermediates.

2. Is there a catalyst in this mechanism?

3. Deduce the chemical equation. Reagents and products are gases.

15 À chacun son rythme

Décomposition thermique

Utiliser un modèle pour prévoir.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Le mécanisme d'oxydation du dioxyde de soufre est le suivant :

$$NO_2 + SO_2 \rightarrow NO + SO_3$$
$$2\ NO + O_2 \rightarrow 2\ NO_2$$



> Le dioxyde d'azote est un gaz de couleur brun-rougeâtre.

Énoncé compact

Écrire l'équation de la réaction. Les réactifs et les produits sont gazeux.

Énoncé détaillé

1. Repérer l'intermédiaire réactionnel, c'est-à-dire l'entité d'abord produite puis totalement consommée.

2. Repérer le catalyseur, c'est-à-dire l'entité d'abord consommée puis totalement régénérée.

3. En déduire les réactifs et les produits de la réaction.

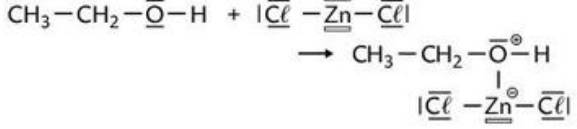
4. Écrire l'équation de la réaction. Les réactifs et les produits sont gazeux.

16 Connaître les critères de réussite

Synthèse du chloroéthane

Mobiliser ses connaissances.

La réaction entre l'éthanol C_2H_5OH et le chlorure de zinc $ZnC\ell_2$, en présence d'acide chlorhydrique, se fait en plusieurs étapes et permet de préparer le chloroéthane. La première étape a pour équation :



• À l'aide d'une flèche courbe, justifier les modifications de liaisons qui ont lieu.

Données

Électronégativités :
Liaison C–H non polarisée.
$\chi(H) = 2{,}2$; $\chi(C) = 2{,}6$; $\chi(O) = 3{,}4$; $\chi(C\ell) = 3{,}2$; $\chi(Zn) = 1{,}7$.

Critères de réussite

Justification des réponses	
J'ai justifié à partir des données d'électronégativité.	☐ ☐
J'ai repéré les atomes qui interagissent en indiquant les charges partielles.	☐ ☐
Présentation	
J'ai tracé la flèche courbe en l'orientant du site donneur vers le site accepteur de doublet d'électrons.	☐ ☐

17 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

La fraîcheur d'un lait

Construire les étapes d'une résolution de problème.

Le lactose du lait se dégrade en acide lactique sous l'action de bactéries : on dit qu'il « tourne ».

• À 28 °C, un lait cru tourne en 4 heures. En combien de temps tourne-t-il au réfrigérateur ?

Données

- Température d'un réfrigérateur : 5 °C.
- L'énergie d'activation E_a d'une réaction représente l'énergie minimale que l'on doit fournir aux réactifs pour que la réaction chimique s'effectue. Elle s'exprime en $J \cdot mol^{-1}$.
- Pour la réaction de dégradation du lactose : $E_a = 75{,}1\ kJ \cdot mol^{-1}$.
- La concentration en lactose du lait au cours du temps suit une loi exponentielle : $C = C_0 \times \exp(-k \times t)$ où k est une constante proportionnelle à $\exp\left(-\frac{E_a}{R \times T}\right)$ avec R, constante du gaz parfait (R = 8,314 S.I.) et T, température du système, en kelvin (K).
- $T(K) = T(°C) + 273{,}15$
- La fonction logarithme népérien est définie comme fonction réciproque de la fonction exponentielle $\exp(x)$ ou e^x. Elle se note $\ln(x)$ (prononcer « élène de x »). Ainsi $\ln(e^x) = x$.

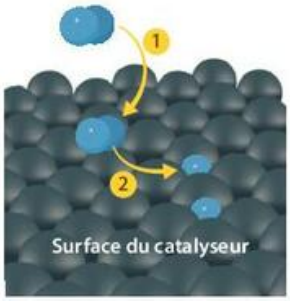
18 Synthèse de l'ammoniac

Formuler une hypothèse ; mobiliser ses connaissances.



Le procédé HABER, mis au point en 1909 par le chimiste allemand Fritz HABER, est un procédé de synthèse de l'ammoniac $NH_3(g)$ par réaction entre le diazote $N_2(g)$ atmosphérique et le dihydrogène $H_2(g)$. La réaction se fait au niveau de sites privilégiés (ou sites actifs) d'un catalyseur à base de fer. Le mécanisme réactionnel est le suivant (l'acte élémentaire (2) est le plus lent) :

(1) $N_2 \rightarrow N_{2,ads}$
(2) $N_{2,ads} \rightarrow 2\ N_{ads}$
(3) $H_2 \rightarrow H_{2,ads}$
(4) $H_{2,ads} \rightarrow 2\ H_{ads}$
(5) $N_{ads} + H_{ads} \rightarrow NH_{ads}$
(6) $NH_{ads} + H_{ads} \rightarrow NH_{2,ads}$
(7) $NH_{2,ads} + H_{ads} \rightarrow NH_{3,ads}$
(8) $NH_{3,ads} \rightarrow NH_3$



> Modélisation des étapes (1) et (2).

L'indice « ads » signifie « adsorbé », c'est-à-dire « fixé » à la surface du catalyseur solide.

1. Identifier les intermédiaires réactionnels.

2. Sur quel acte élémentaire faudrait-il agir pour accélérer significativement la réaction ?

3. a. En quoi la modélisation proposée illustre-t-elle le fait que le solide utilisé est un catalyseur ?

b. Industriellement, on utilise souvent des catalyseurs finement divisés, offrant ainsi plus de surface de contact. Proposer une hypothèse qui pourrait expliquer ce choix.

4. Sur le même principe que la modélisation proposée, schématiser les étapes (7) et (8).

5. Le procédé se déroule à une température voisine de 450 °C et une pression de 300 bars. Proposer une hypothèse justifiant la mise en œuvre dans de telles conditions.

6. On considère, à 700 °C, la réaction inverse qui décompose l'ammoniac en diazote et dihydrogène.
Sans catalyseur, l'énergie d'activation de la réaction est égale à $350\ kJ \cdot mol^{-1}$. En présence d'un catalyseur au tungstène, elle est abaissée à $162\ kJ \cdot mol^{-1}$.
Par quel facteur est multipliée la vitesse de disparition de l'ammoniac en présence du catalyseur ?

Coup de pouce QR Code p. 100

Données

- L'énergie d'activation E_a d'une réaction représente l'énergie minimale que l'on doit fournir aux réactifs pour que la réaction chimique s'effectue. Elle s'exprime en $J \cdot mol^{-1}$.
- La vitesse de disparition de l'ammoniac est proportionnelle à $\exp\left(-\frac{E_a}{R \times T}\right)$ avec R, constante du gaz parfait (R = 8,314 S.I.) et T, température du système, en kelvin (K).
- $T(K) = T(°C) + 273{,}15$

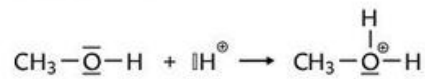
19 Un biocarburant

CORRIGÉ

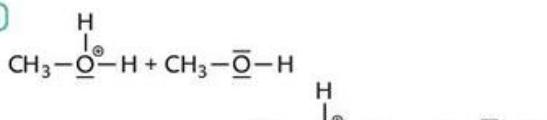
Rédiger une explication.

Le diméthyléther est qualifié de biocarburant. Au laboratoire, il peut être synthétisé par chauffage du méthanol en présence d'acide sulfurique. Le mécanisme de la réaction est donné ci-dessous :

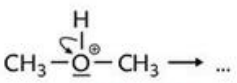
(a)



(b)



(c)



1. a. Recopier les équations (a) et (b) puis modéliser, par des flèches courbes, le mouvement des doublets d'électrons
b. Rédiger un court texte expliquant comment les liaisons sont formées ou rompues.

2. Écrire les formules des produits formés en (c).

3. Justifier que les ions hydrogène catalysent la réaction.

4. Écrire l'équation de la réaction sans préciser l'état physique des espèces.

5. Justifier le rôle d'une élévation de la température sur la cinétique de la réaction.

Données

Électronégativités : liaison C–H non polarisée ;
$\chi(H) = 2{,}2$; $\chi(C) = 2{,}6$; $\chi(O) = 3{,}4$.

Vers le BAC

Ne pas confondre un intermédiaire réactionnel et un catalyseur

Un **intermédiaire réactionnel** est produit lors d'une des étapes du mécanisme, **puis totalement consommé** dans une autre alors qu'un **catalyseur** est consommé puis totalement régénéré.

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2, 3 et 4 sont présentés p. 102

20 CORRIGÉ 20 min Synthèse d'un explosif

Proposer un modèle.

Le chlorobenzène $C_6H_5C\ell$ (ℓ) a été synthétisé pour la première fois en 1851. Durant le début du XXe siècle, il a servi à fabriquer l'acide picrique (ou mélinite), un explosif très puissant.
Sa synthèse peut se faire à partir de benzène C_6H_6 (ℓ) et de dichlore $C\ell_2$ (g) en présence d'un catalyseur. Le mécanisme réactionnel comporte quatre étapes.



1. Remettre dans l'ordre les actes élémentaires :

$$A\ell C\ell_4^- + H^+ \rightarrow A\ell C\ell_3 + HC\ell$$
$$C_6H_6 + C\ell^+ \rightarrow C_6H_6C\ell^+$$
$$C_6H_6C\ell^+ \rightarrow C_6H_5C\ell + H^+$$
$$C\ell_2 + A\ell C\ell_3 \rightarrow C\ell^+ + A\ell C\ell_4^-$$

2. Identifier et nommer le catalyseur. Utiliser le réflexe 1

3. a. Nommer le deuxième produit de la réaction.
b. Écrire l'équation de la réaction sachant que le deuxième produit est gazeux. Utiliser le réflexe 2

4. a. D'abord injecté à 25 °C, le milieu réactionnel est ensuite porté puis maintenu à 55 °C. Quelle est la conséquence de cette augmentation de température ? Justifier.
b. Proposer une modélisation des interactions se produisant à l'échelle microscopique pour justifier la réponse à la question 4.a.

Données

$\theta_{éb}$(benzène) = 80 °C ; $\theta_{éb}$(chlorobenzène) = 155 °C.

21 CORRIGÉ 20 min Origine de la vie dans l'espace

Utiliser un modèle pour expliquer.

Des molécules qui seraient à l'origine de la vie sur Terre ont été identifiées dans l'environnement d'une comète que la sonde Rosetta a exploré. C'est le cas de la glycine, le plus simple des acides aminés, qui se trouve couramment dans les protéines.

On donne, ci-dessous, la succession des étapes a et b pour synthétiser la glycine en laboratoire.

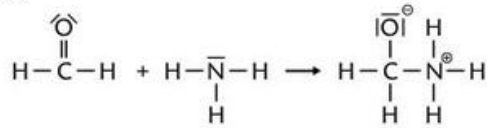
a $\quad O{=}CH_2 \xrightarrow[HCN]{NH_3} NH_2{-}CH_2{-}C{\equiv}N$

Méthanal — Aminoacétonitrile

b $\quad NH_2{-}CH_2{-}C{\equiv}N \xrightarrow[H_2O]{H^+} NH_2{-}CH_2{-}C(=O){-}OH$

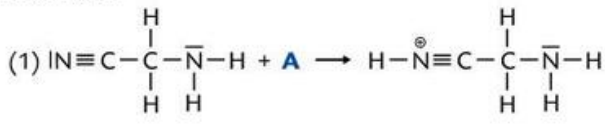
Aminoacétonitrile — Glycine

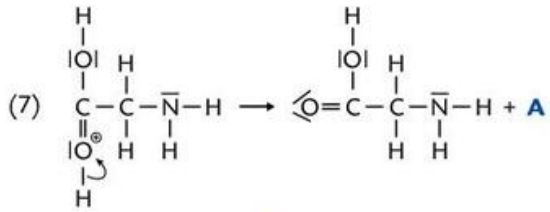
1. Le mécanisme réactionnel de la réaction modélisée en a est constitué de six actes élémentaires dont le premier s'écrit :



a. Identifier les sites donneur et accepteur de doublet d'électrons qui interagissent. Utiliser le réflexe 3
b. Représenter les flèches courbes de l'acte élémentaire, en justifiant leur sens. Utiliser le réflexe 4

2. La réaction b a un mécanisme réactionnel constitué de sept actes élémentaires dont le premier et le dernier s'écrivent :





a. Justifier que l'espèce **A** est un catalyseur puis écrire sa formule. Utiliser le réflexe 1
b. Justifier le sens de la flèche courbe modélisée à la dernière étape. Utiliser les réflexes 3 et 4

Données

Électronégativités : liaison C–H non polarisée ;
χ(H) = 2,2 ; χ(C) = 2,6 ; χ(N) = 3,0 ; χ(O) = 3,4.

Préparation à l'ECE

La version intégrale de cette ECE, réalisable en activité expérimentale, est disponible dans la version numérique. La version proposée ci-dessous, permet à l'élève de travailler en autonomie les compétences ANA-RAIS et VAL.

On étudie la réaction entre les ions iodure I^- (aq) et peroxodisulfate $S_2O_8^{2-}$ (aq), d'équation :

$$S_2O_8^{2-}(aq) + 2\,I^-(aq) \rightarrow 2\,SO_4^{2-}(aq) + I_2(aq)$$

On souhaite montrer que le mécanisme d'une réaction peut être modifié lorsqu'elle est catalysée.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1

- Dans deux béchers (a) et (b), VERSER 20,0 mL de la solution de peroxodisulfate de potassium $2\,K^+(aq) + S_2O_8^{2-}(aq)$.
- Au contenu du bécher (a), AJOUTER 0,5 mL de la solution de sulfate de fer (II) $Fe^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$.
- MÉLANGER.
- Dans les deux béchers, VERSER en même temps 20,0 mL de la solution d'iodure de potassium $K^+(aq) + I^-(aq)$.

Observations (protocole 1)



Bécher (a) Bécher (b)

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2

- Dans un tube à essai (a) contenant 2 mL de la solution de peroxodisulfate de potassium, AJOUTER quelques gouttes de la solution de sulfate de fer (II).
- AJOUTER quelques gouttes de la solution d'hydroxyde de sodium $Na^+(aq) + HO^-(aq)$.
- Dans un tube à essai (b) contenant 2 mL de la solution d'iodure de potassium, AJOUTER quelques gouttes de la solution de chlorure de fer (III).
- AJOUTER quelques millilitres de cyclohexane. AGITER : une phase aqueuse et une phase organique se séparent.

Observations (protocole 2)



Tube (a) Tube (b)

PRODUITS ET MATÉRIEL MIS À DISPOSITION

- Solution de peroxodisulfate de potassium de concentration 0,20 mol·L^{-1} en ions peroxodisulfate $S_2O_8^{2-}$ (aq).
- Solution d'iodure de potassium de concentration 0,20 mol·L^{-1} en ions iodure I^- (aq).
- Solution de sulfate de fer (II) de concentration 0,10 mol·L^{-1} en ions fer (II) Fe^{2+} (aq).
- Solution de chlorure de fer (III) de concentration 0,10 mol·L^{-1} en ions fer (III) Fe^{3+} (aq).
- Solution d'hydroxyde de sodium $Na^+(aq) + HO^-(aq)$.
- Deux béchers de 50 mL.
- Deux agitateurs en verre.
- Deux tubes à essai.
- Des pipettes pasteur.

Données

- $S_2O_8^{2-}$ (aq) / SO_4^{2-} (aq) ; I_2 (aq) / I^- (aq) ; Fe^{3+} (aq) / Fe^{2+} (aq)
- Une solution contenant des ions iodure ou des ions peroxodisulfate est incolore.
- Le diiode colore en jaune une solution aqueuse qui le contient et en rose le cyclohexane.
- Tests d'identification des ions :

Ion testé	Fer (II) Fe^{2+} (aq)	Fer (III) Fe^{3+} (aq)
Réactif utilisé	Solution d'hydroxyde de sodium $Na^+(aq) + HO^-(aq)$	
Résultat du test		

1. ANA-RAIS À partir des observations effectuées lors de la mise en œuvre du PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1, déterminer le rôle des ions fer (II) Fe^{2+} (aq). Justifier.

2. ANA-RAIS À partir des observations effectuées lors de la mise en œuvre du PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2, écrire l'équation de la réaction ayant eu lieu :
– dans le tube (a) lors du mélange des solutions de peroxodisulfate de potassium et de sulfate de fer (II) ;
– dans le tube (b) lors du mélange des solutions d'iodure de potassium et de chlorure de fer (III) sachant qu'il se forme également des ions fer (II).

3. VAL Justifier que l'introduction des ions fer (II) dans le bécher (a) revient à remplacer une réaction lente par deux réactions successives plus rapides.

4. VAL La catalyse a-t-elle modifié le mécanisme réactionnel ?

Vers l'oral

Fiche Méthode

Mémoriser sa présentation

Différentes techniques de mémorisation peuvent être utilisées.

SE PRÉPARER EFFICACEMENT

- Supprimer les sources de distraction (téléphone portable, télévision, jeux vidéo, musique, etc.).
- Travailler dans un endroit calme et confortable.
- Bien dormir.

Lire plusieurs fois le texte à **voix haute**.



Créer un **lapbook**.

Réaliser une **carte mentale**.

Associer des mots ou des phrases à **une image mentale**.

SE METTRE EN SITUATION

- Répéter devant un auditeur et renouveler l'expérience devant d'autres personnes.
- Accompagner le propos, si nécessaire, par des gestes adaptés.
- Chronométrer les répétitions : environ 5 minutes.

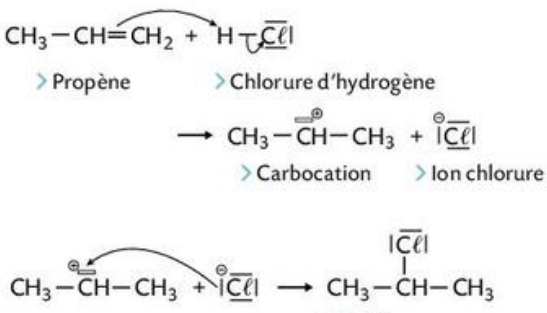
- **Rechercher sur internet d'autres techniques de mémorisation.**

À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation fournie. Puis les élèves échangent leurs rôles et à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

Le mécanisme de l'hydrochloration du propène est donné ci-dessous.

Grille d'évaluation





Évaluation orale n° 1

- À l'aide du nuage de mots, décrire à l'oral le mécanisme réactionnel et l'enregistrer. Faire écouter l'enregistrement.

Évaluation orale n° 2

- À l'aide du nuage de mots, décrire à l'écrit le mécanisme réactionnel. Lire le texte d'explication.

Je m'exprime à l'oral sur La modélisation microscopique

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Qu'est-ce qu'un **acte élémentaire** ?

Comment identifier un **catalyseur** dans un mécanisme réactionnel ?

Définir un **intermédiaire réactionnel**.

Que modélise une **flèche courbe** ?

6 Évolution d'un système, siège d'une transformation nucléaire



Lors de fouilles archéologiques, différents objets sont retrouvés.

- Quelle technique permet de réaliser une datation de ces objets anciens ?

> Rendez-vous : activité 2 p. 114

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Déterminer, à partir d'un diagramme (N, Z), les isotopes radioactifs d'un élément. **Activité 1 p. 113**
- Utiliser des données et les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire et identifier le type de radioactivité. **Activité 1 p. 113**
- Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater l'évènement. **Activité 2 p. 114**
- Exploiter la loi et une courbe de décroissance radioactive. **Exercice 13 p. 123**
- Établir l'expression de l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs. **Exercice 28 p. 126**
- Citer quelques applications de la radioactivité dans le domaine médical. **Exercice 26 p. 125**
- Citer des méthodes de protection contre les rayonnements ionisants et des facteurs d'influence de ces protections. **Exercice 21 p. 124**
- **Capacité mathématique :** Résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants. **Exercice 28 p. 126**

Vu en 1re

La transformation nucléaire

Écriture conventionnelle d'un noyau

Nombre de masse = nombre de nucléons

$^{A}_{Z}X$ ← Symbole de l'élément chimique

Numéro atomique = nombre de protons

Noyaux isotopes

Nombres de nucléons différents donc nombres de neutrons différents

$^{2}_{1}H$ $^{1}_{1}H$

Nombres de protons identiques donc même élément chimique

TRANSFORMATION NUCLÉAIRE

Formation de nouveaux éléments chimiques

Équation d'une réaction nucléaire

Exemple :

Conservation du nombre de masse A

$$^{40}_{19}K \longrightarrow {}^{40}_{20}Ca + {}^{0}_{-1}e$$

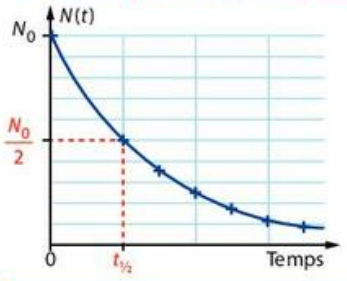
40 = 40 + 0

19 = 20 + (−1)

Conservation du nombre de charge Z

Désintégration

Demi-vie $t_{1/2}$ d'un noyau radioactif



Si $t = n \times t_{1/2}$:

$N = \frac{N_0}{2^n}$

Datation au carbone 14

Réactiver ses connaissances

Regarder la vidéo, puis compléter les équations des réactions nucléaires suivantes, en déterminant A et Z :

a. $^{212}_{83}Bi \rightarrow {}^{A}_{Z}T\ell + {}^{4}_{2}He$

b. $^{209}_{82}Pb \rightarrow {}^{209}_{83}Bi + {}^{A}_{Z}e$

c. $^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{A}_{Z}e$

d. $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{A}_{Z}He + {}^{1}_{0}n$

lycee.hachette-education.com/pc/tle



Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Le noyau d'écriture conventionnelle $^{13}_{7}N$:	possède 13 neutrons et 7 protons.	possède 13 nucléons dont 7 protons.	possède 6 neutrons et 7 protons.
2. L'écriture conventionnelle d'un isotope de l'oxygène 16 (Z = 8) est :	$^{18}_{8}O$	$^{16}_{7}O$	$^{16}_{9}O$
3. Une équation de réaction nucléaire traduit la conservation :	des éléments chimiques.	des neutrons.	du nombre de nucléons.
4. Le nombre de noyaux radioactifs restant au bout d'une durée égale à $2 \times t_{1/2}$ est égal à :	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{8}$	$\frac{N_0}{4}$

Activité documentaire 1

Instabilité et désintégration d'un noyau

Notions
- Diagramme (N, Z)
- Équation de réaction nucléaire
- Radioactivité

Les noyaux isotopes d'un même élément chimique peuvent être stables ou instables dans le temps. Les noyaux instables sont dits radioactifs.

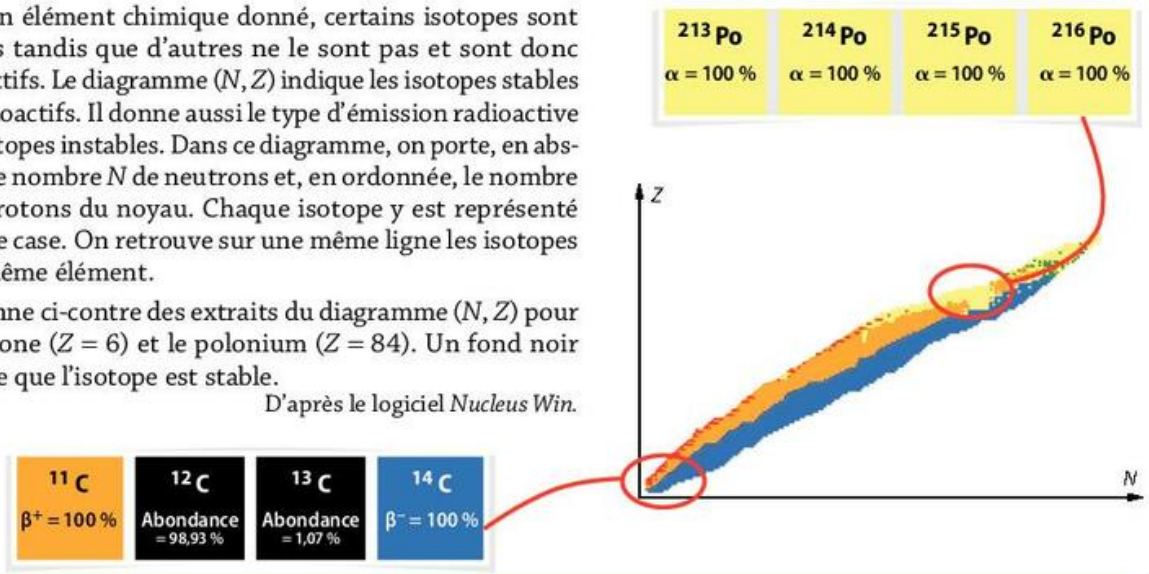
► **Objectif de l'activité : Comment identifier un isotope radioactif et le type de radioactivité associée ?**

A Le diagramme (N, Z)

Pour un élément chimique donné, certains isotopes sont stables tandis que d'autres ne le sont pas et sont donc radioactifs. Le diagramme (N, Z) indique les isotopes stables ou radioactifs. Il donne aussi le type d'émission radioactive des isotopes instables. Dans ce diagramme, on porte, en abscisse, le nombre N de neutrons et, en ordonnée, le nombre Z de protons du noyau. Chaque isotope y est représenté par une case. On retrouve sur une même ligne les isotopes d'un même élément.

On donne ci-contre des extraits du diagramme (N, Z) pour le carbone ($Z = 6$) et le polonium ($Z = 84$). Un fond noir indique que l'isotope est stable.

D'après le logiciel *Nucleus Win*.



B Les différents types de radioactivité

Les noyaux instables se désintègrent spontanément en se transformant en un nouveau noyau, accompagné de l'émission d'une particule. La nature de la particule détermine le type de radioactivité.

Particule émise	Électron	Positon	Noyau d'hélium 4
Symbole	${}^{0}_{-1}e$	${}^{0}_{1}e$	${}^{4}_{2}He$
Type de radioactivité	β^- (Béta moins)	β^+ (Béta plus)	α (Alpha)

Les noyaux ayant un excès de protons se désintègrent selon la radioactivité β^+ et les noyaux ayant un excès de neutrons se désintègrent selon la radioactivité β^-. Les noyaux lourds avec un excès de nucléons se désintègrent selon la radioactivité α.

Analyse des documents

Extraire et exploiter des informations APP · ANA · RAIS

1 **a.** Identifier les isotopes du carbone qui sont stables et ceux qui sont instables (doc. A).
b. Identifier les types de radioactivité mis en jeu pour les isotopes instables du carbone (doc. B).
c. Pourquoi les isotopes instables du polonium se désintègrent-ils selon la radioactivité α (doc. B) ?

Proposer un modèle ANA · RAIS

2 **a.** Écrire les équations de désintégration nucléaire des isotopes instables du carbone et du polonium à l'aide du tableau périodique (rabat VI).
b. Dans chaque cas, nommer le noyau formé.

Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique et rigoureux COM

3 Pour chaque type de radioactivité, écrire l'équation de désintégration nucléaire d'un noyau d'un élément chimique X, de numéro atomique Z et de nombre de masse A, conduisant à la formation d'un noyau d'un autre élément chimique Y.

Activité documentaire 2

Datation d'un objet

Notions
- Demi-vie
- Activité
- Datation

L'archéologie est une discipline scientifique dont l'objet est l'étude des civilisations anciennes à partir de leurs vestiges. Il est important de pouvoir évaluer l'âge de ces vestiges.

Tâche complexe

▶ Objectif de l'activité : Comment dater un échantillon de matière ?

A Découverte d'un drakkar dans le port de Roskilde

En septembre 1997, des archéologues danois ont découvert un bateau viking dans la vase du port de Roskilde, au Danemark. Le bateau a sans doute été coulé par une tempête, puis a été recouvert par la vase. En analysant ses planches de bois, les archéologues ont pu dater le bateau.



B Datation du drakkar par le carbone 14

Le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone dont la demi-vie est environ égale à 5 734 ans. À partir du moment où l'arbre qui a servi à fabriquer le drakkar a été coupé, la quantité de carbone 14 qu'il contient, ainsi que son activité, diminuent au cours du temps selon une loi exponentielle. On peut estimer la date de la coupe de l'arbre en mesurant son activité.

Pour un échantillon de 1 g de carbone issu du drakkar de Roskilde, on a mesuré une activité égale à 725,4 Bq. L'activité d'un échantillon d'un gramme de carbone dans un arbre non coupé est égale à 816,0 Bq. On considère que cette valeur n'a pas varié depuis plusieurs d'années.

Compléments scientifiques

- **L'activité d'un échantillon radioactif** correspond au nombre de désintégrations radioactives par seconde ayant lieu dans l'échantillon. Son unité est le becquerel (Bq).
Un becquerel est égal à une désintégration par seconde.

L'évolution au cours du temps de l'activité $A(t)$ peut être modélisée par une loi exponentielle, appelée loi de décroissance radioactive :

$$A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$

A_0 est l'activité à l'instant initial, et λ est la constante radioactive, exprimée en s^{-1} si t est en seconde.

La constante radioactive est caractéristique du noyau radioactif et correspond à la probabilité de désintégration par seconde du noyau.

- **La demi-vie d'un échantillon radioactif** est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs d'un échantillon se sont désintégrés. Elle est aussi égale à la durée au bout de laquelle l'activité de l'échantillon a été divisée par deux. Elle est notée $t_{½}$.

La relation entre la demi-vie et la constante de désintégration radioactive est :

$$t_{½} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

- **Les fonctions exponentielle exp(x) et logarithme népérien ln(x)** sont liées par la relation :

$$\exp(\ln(x)) = \ln(\exp(x)) = x \text{ pour } x > 0.$$

Étapes de la démarche de résolution

1. LIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. EXPLOITER les informations, effectuer les calculs et conclure.

Résolution de problème

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1 Estimer la date de construction du drakkar.

Un pas vers le cours

Présenter sous une forme appropriée COM

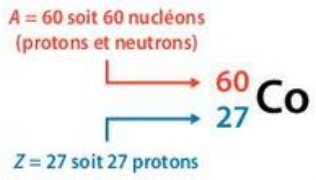
2 Rédiger une méthode expliquant comment dater un objet ancien.

A La découverte de la radioactivité



> Henri BECQUEREL (1852-1908) est le découvreur de la radioactivité en 1896. Il a reçu le prix Nobel en 1903.

B Le noyau de cobalt 60



lycee.hachette-education.com/pc/tle



C Symbole des particules

Proton	$^{1}_{1}p$
Neutron	$^{1}_{0}n$
Électron	$^{0}_{-1}e$
Positon	$^{0}_{1}e$

> Le proton et le positon portent une charge élémentaire positive (1). Le neutron ne porte pas de charge (0). L'électron porte une charge élémentaire négative (−1).

1 La désintégration radioactive

a. Radioactivités α, β^+, β^-

• La radioactivité est un phénomène physique naturel, aléatoire et spontané, qui concerne certains noyaux (doc. A).

Au cours d'une **désintégration radioactive**, un noyau instable se transforme spontanément en un noyau d'un autre élément chimique. Cette désintégration s'accompagne de l'émission d'une particule et d'un rayonnement gamma.

Le noyau qui se désintègre est appelé **noyau père** et le noyau formé est appelé **noyau fils**. Le noyau fils peut lui-même être radioactif.

Exemple : Un noyau de cobalt 60, $^{60}_{27}Co$ (doc. B), se désintègre spontanément en un noyau de nickel 60, $^{60}_{28}Ni$, avec l'émission d'un électron et d'un rayonnement gamma.

• Il existe **trois types de radioactivité**, caractérisés par la particule émise lors de la désintégration du noyau radioactif :

Particule émise	Symbole	Radioactivité
Électron	$^{0}_{-1}e$	β^- (bêta moins)
Positon	$^{0}_{1}e$	β^+ (bêta plus)
Noyau d'hélium 4	$^{4}_{2}He$	α (alpha)

Le nombre en bas à gauche du symbole de la particule émise est appelé **nombre de charge** car il correspond au nombre de charges électriques élémentaires portées par la particule (tableau C).

b. Équation de réaction de désintégration nucléaire

• Une réaction de désintégration radioactive est modélisée par une équation qui respecte la **conservation du nombre de charge Z** et du **nombre de masse A**.

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e \leftarrow \text{Radioactivité } \beta^-$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e \leftarrow \text{Radioactivité } \beta^+$$

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He \leftarrow \text{Radioactivité } \alpha$$

X est le symbole de l'élément chimique du noyau père et Y celui du noyau fils.

Exemple : Désintégration β^- du cobalt 60 :

$$^{60}_{27}Co \rightarrow {}^{60}_{28}Ni + {}^{0}_{-1}e$$

• Le **rayonnement γ (gamma)** généralement émis lors des désintégrations radioactives n'est pas écrit dans les équations. Il s'agit d'un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde, donc de très grande énergie.

Exemple :
La longueur d'onde d'un photon gamma est de l'ordre de $\lambda = 1 \times 10^{-13}$ m. L'énergie E associée est de l'ordre de 2×10^{12} J :

$$E = h \times \frac{c}{\lambda} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s} \times 3{,}00 \times 10^{8}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}{1 \times 10^{-13}\ \text{m}} = 2 \times 10^{-12}\ \text{J}.$$

Cette énergie est environ 3 millions de fois supérieure à celle d'un photon de lumière visible.

D Isotopes du chlore dans le diagramme (*N*, *Z*)

$^{35}_{17}Cl$	$^{36}_{17}Cl$
Abondance = 75,76 %	$\beta^- = 98,1\ \%$ $\beta^+ = 1,9\ \%$

› Le chlore 35 est un isotope stable. Le chlore 36 est instable : 98,1 % des noyaux sont radioactif β^- et 1,9 % sont radioactif β^+.

E Modes de désintégration β^- et β^+

Radioactivité β^- :

$$^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$$

› Dans un noyau radioactif β^-, un neutron se transforme en un proton et un électron est expulsé du noyau.

Radioactivité β^+ :

$$^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_1e$$

› Dans un noyau radioactif β^+, un proton se transforme en un neutron et un positon est expulsé du noyau.

Point maths

Notation différentielle et dérivée

• En mathématiques, la dérivée se note avec un prime tandis qu'en physique-chimie, on utilise la notation différentielle :

$$f'(t) = \frac{df(t)}{dt}.$$

Donc $\frac{dN(t)}{dt}$ correspond à la dérivée de $N(t)$ par rapport au temps.

• La solution de l'équation différentielle du premier ordre :

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \times N(t) = 0$$

est de la forme :

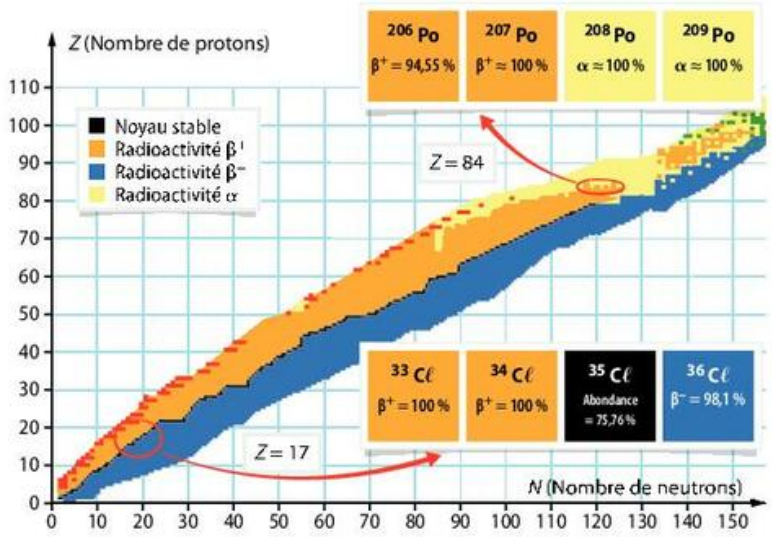
$$N(t) = A \times \exp(-\lambda \times t)$$

La constante A est déterminé à l'aide de la condition initiale.

Côté maths 3, p. 121

c. Le diagramme (*N*, *Z*)

• Le diagramme (*N*, *Z*) indique pour chaque élément chimique les isotopes stables et ceux qui sont radioactifs. Le nombre de neutrons *N* (égal à *A* – *Z*) est porté en abscisse et le nombre de protons (égal à *Z*) est porté en ordonnée. Pour les isotopes radioactifs, le type de radioactivité associée (β^-, β^+ ou α) est indiqué dans chaque case (doc. D). Tous les isotopes d'un élément se trouvent sur une même ligne.



• Les noyaux avec un excès de neutrons sont radioactifs β^- et ceux avec un excès de protons sont radioactifs β^+ (doc. E). Les noyaux lourds avec un excès de nucléons sont radioactifs α.

2 La loi de décroissance radioactive

• **Le nombre *N*(*t*) de noyaux radioactifs d'un échantillon** diminue au cours du temps. Pendant une durée Δt, la variation $\Delta N(t)$ est à la fois proportionnelle à la durée et au nombre de noyaux encore présents $N(t)$:

$$|\Delta N(t)| = \lambda \times N(t) \times |\Delta t|$$

Le coefficient de proportionnalité λ est appelé **constante radioactive**. Elle est caractéristique du noyau radioactif, et s'exprime en s^{-1}.

• $\Delta t > 0$, mais $\Delta N(t) < 0$ car le nombre *N* de noyaux diminue, donc $|\Delta N(t)| = -\Delta N(t)$ et $\Delta N(t) = -\lambda \times N(t) \times \Delta t$.

Ainsi $\frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = -\lambda \times N(t)$. Pour Δt petit, on a $\lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = -\lambda \times N(t)$.

Or $\lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta N(t)}{\Delta t} = \frac{dN(t)}{dt}$, donc $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \times N(t)$.

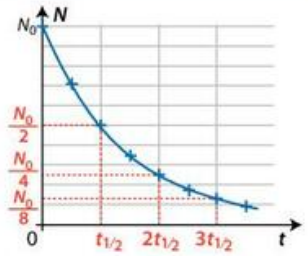
L'équation établie est une équation différentielle du premier ordre. Sa résolution nous fournit l'évolution temporelle de la population de noyaux radioactifs (**Point maths**).

L'évolution au cours du temps du nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs d'un échantillon peut être modélisée par la **loi de décroissance radioactive** :

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$

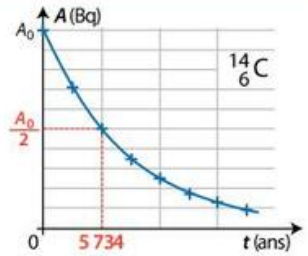
Nombre initial de noyaux radioactifs, sans unité — Constante radioactive en s^{-1} — t en s

F **Courbe de décroissance radioactive et demi-vie**



› À chaque demi-vie écoulée, le nombre de noyaux radioactifs encore présents est divisé par deux.

G **Activité du carbone 14**



› Le carbone 14 est radioactif de type β^-. Sa demi-vie est égale à 5 734 ans et permet de dater des objets jusqu'à 50 000 ans.

lycee.hachette-education.com/pc/tle



VIDÉO DE COURS

COMPLÉMENT

Les fonctions **logarithme népérien ln(x)** et **exponentielle exp(x)** sont des fonctions réciproques l'une de l'autre pour $x > 0$:

$$\ln(\exp(x)) = \exp(\ln(x))$$

H **La scintigraphie**



› L'appareil à scintigraphie dispose d'une gamma-caméra qui détecte le rayonnement γ issus de la désintégration de noyaux radioactifs.

• On peut déterminer la demi-vie d'un noyau radioactif à partir de **la courbe de décroissance radioactive** (graphique. F).

La **demi-vie**, notée $t_{1/2}$, est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents se sont désintégrés.

• On peut relier la demi-vie à la constante radioactive :

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \Leftrightarrow N_0 \times \exp(-\lambda \times t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \Leftrightarrow \exp(-\lambda \times t_{1/2}) = \frac{1}{2}$$
$$\Leftrightarrow -\lambda \times t_{1/2} = \ln\left(\frac{1}{2}\right), \text{ d'où } t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}.$$

3 Applications et radioprotection

a. Activité d'un échantillon

L'activité d'un échantillon radioactif correspond au nombre de désintégrations radioactives par seconde ayant lieu dans l'échantillon. Elle se note A. Son unité est le becquerel (Bq) ; un becquerel est égal à une désintégration radioactive par seconde.

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \Leftrightarrow A(t) = \lambda \times N(t) \Leftrightarrow A(t) = \lambda \times N_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$
$$\Leftrightarrow A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t) \quad \text{avec } A_0 = \lambda \times N_0.$$

L'évolution au cours du temps de l'activité $A(t)$ peut être modélisée par la **loi de décroissance radioactive** :

A_0, activité à l'instant initial, en Bq ; λ en s^{-1} ; t en s

$$A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$

b. Datation d'un objet

La mesure de l'activité du carbone 14 (doc. G) d'un échantillon est utilisée en archéologie pour évaluer l'âge d'objets fabriqués à partir de matière organique. Connaissant l'activité d'un gramme de carbone issu de matière organique vivante A_0 et celle d'un gramme de carbone issu de l'objet à dater $A(t)$, on calcule le temps écoulé t depuis la fabrication de l'objet :

$$A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t) \Leftrightarrow -\lambda \times t = \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) \Leftrightarrow t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$$

Soit, en utilisant la demi-vie du noyau :

$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right) = \frac{t_{1/2}}{\ln(2)} \times \ln\left(\frac{A_0}{A(t)}\right)$$

c. Médecine et radioprotection

• Des noyaux radioactifs de courte durée de vie sont utilisés en médecine pour l'investigation ou le traitement. Par exemple, l'iode 131 est utilisé pour réaliser des images de la thyroïde (doc. H).

• Les personnes susceptibles d'être exposées aux radiations, appelées aussi **rayonnement ionisant**, portent des tenues adaptées au risque encouru : combinaisons, gants, surchaussures, masque, tablier plombé.

• Risques encourus dépendant des particules émises et du rayonnement :

Particule α	Pénétration faible (< 10 µm)	Aucun danger
Particule β	Peu pénétrante	Lésions cutanées
Rayonnement γ	Très pénétrante	Tissus ou organes atteints

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉOS DE COURS
- Équation de réaction nucléaire
- Datation

QCM
Version interactive

1 La désintégration radioactive

Radioactivité

Un **noyau instable (noyau père)** se désintègre spontanément en se transformant en un **noyau d'un autre élément chimique (noyau fils)**, en émettant une particule et un rayonnement gamma.

Équation de désintégration radioactive

Exemple :

Conservation de A : $60 = 60 + 0$

$$^{60}_{27}\text{Co} \rightarrow {}^{60}_{28}\text{Ni} + {}^{0}_{-1}\text{e}$$

Conservation de Z : $27 = 28 - 1$

Particules

- Noyau d'hélium 4 $^{4}_{2}\text{He}$: radioactivité α
- Électron $^{0}_{-1}\text{e}$: radioactivité β^-
- Positon $^{0}_{1}\text{e}$: radioactivité β^+

Diagramme (N, Z)

pour identifier le type de radioactivité et le noyau fils.

2 La loi de décroissance radioactive

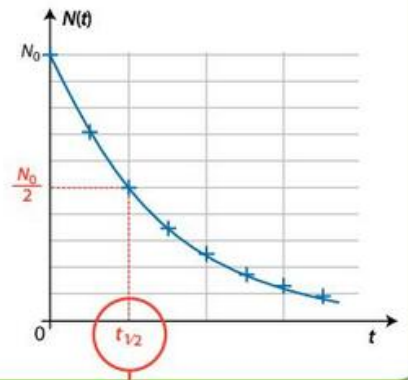
Loi de décroissance radioactive

Nombre de noyaux radioactifs encore présents — Nombre initial de noyaux radioactifs — Constante radioactive (s^{-1}) si t en s

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda \times t)$$

ou $$t = \frac{-1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

Courbe de décroissance radioactive



Demi-vie

La demi-vie d'un noyau radioactif est égale à la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés :

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$

3 Applications et radioprotection

Activité d'un échantillon

L'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs est égale au nombre de désintégrations radioactives par unité de temps dans l'échantillon :

$$A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda \times t) \text{ avec } A_0 = \lambda \times N_0$$

(1 Bq = 1 désintégration par seconde)

Se protéger de la radioactivité

Du matériel dit de radioprotection permet de se protéger des **rayonnements ionisants**.



Applications de la radioactivité

- **Pour la datation** d'objets très anciens (par exemple à l'aide du carbone 14).
- **En médecine :** imagerie médicale et traitement des cancers.

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

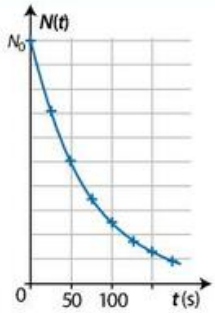
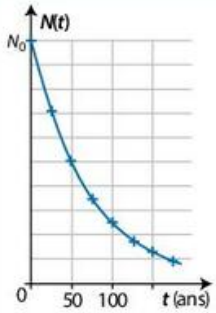
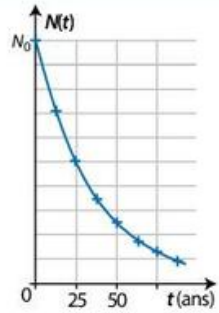
1 La désintégration radioactive

Si erreur, revoir § 1 p. 115

	A	B	C
1. La désintégration radioactive d'un noyau s'accompagne toujours :	de la formation d'un noyau appartenant à un autre élément chimique.	de l'émission d'une particule.	de l'émission d'un électron.
2. Extrait du diagramme (N, Z) : 	Le soufre 34 ne se désintègre pas spontanément.	Le soufre 35 se désintègre en émettant un électron.	Le soufre 35 se transforme en émettant un positon.
3. La radioactivité β^+ correspond à l'émission :	d'un électron.	d'un positon.	d'un noyau d'hélium 4.
4. L'équation de désintégration radioactive de l'hydrogène 3 s'écrit : $^{3}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + {}^{0}_{-1}e$ Il s'agit d'une radioactivité :	β^+	β^-	α
5. L'équation de désintégration radioactive de l'uranium 238 s'écrit :	$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{0}_{-1}e$	$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{0}_{1}e$	$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$

2 La loi de décroissance radioactive

Si erreur, revoir § 2 p. 116

	A	B	C
6. La loi de décroissance radioactive s'écrit :	$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$	$N(t) = \dfrac{\exp(-\lambda t)}{N_0}$	$N(t) = N_0 \times \exp(\lambda t)$
7. Le nombre de noyaux radioactifs restant au bout d'une durée égale à la demi-vie du noyau est égal à :	$N_0 \times \exp(-\lambda t_{1/2})$	$2 \times N_0$	$\dfrac{N_0}{2}$
8. La courbe de décroissance radioactive de N_0 noyaux dont la demi-vie est égale à 50 ans est :			

3 Applications et radioprotection

Si erreur, revoir § 3 p. 117

	A	B	C
9. L'activité d'un échantillon radioactif a pour expression :	$A(t) = \dfrac{dN}{dt}$	$A(t) = -\dfrac{dN}{dt}$	$A(t) = \lambda \times N(t)$
10. Un échantillon dans lequel s'effectuent 600 désintégrations radioactives par minute a une activité égale à :	600 Bq	10 Bq	$3{,}60 \times 10^4$ Bq

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Trouver le type de désintégration radioactive, et le noyau fils à partir de la donnée du noyau père et du diagramme (N, Z).	**Réflexe 1** Ex. 11 p. 123 **Lire** dans la case associée au noyau père, le type de radioactivité. **Déduire** la case du noyau fils à partir de la radioactivité du noyau père. Depuis la case du noyau père : – si radioactivité α : décaler de deux cases vers la gauche (perte de deux neutrons) puis deux cases vers le bas (perte de deux protons) ; – si radioactivité β^- : décaler d'une case vers la gauche (perte d'un neutron) puis d'une case vers le haut (gain d'un proton) ; – si radioactivité β^+ : décaler d'une case vers la droite (gain d'un neutron) puis d'une case vers le bas (perte d'un proton).
Écrire une équation de désintégration radioactive, puis identifier un type de radioactivité.	**Réflexe 2** Ex. 7 et 9 p. 122 **Placer** les écritures conventionnelles du noyau père à gauche de la flèche, du noyau fils et de la particule à droite de la flèche. **Assurer** la conservation du nombre de masse A et du nombre de charge Z. **Identifier** si nécessaire les noyaux (avec le tableau périodique des éléments) ou la particule ($^{0}_{-1}e$; $^{0}_{1}e$; $^{4}_{2}He$). **Identifier** le type de radioactivité : β^-, β^+, α.
Exploiter une loi de décroissance radioactive pour trouver une durée ou un nombre de noyaux radioactifs encore présents.	**Réflexe 3** Ex. 15 p. 123 **Écrire** la loi de décroissance radioactive. **Isoler** la grandeur que l'on doit trouver : – le nombre de noyaux radioactifs encore présents $N(t)$; – le temps écoulé t en utilisant la fonction réciproque de l'exponentielle : le logarithme népérien. **Calculer** la valeur de $N(t)$ ou de t.

1 Exercice résolu

Un isotope radioactif de l'oxygène

Mobiliser et organiser ses connaissances.

L'oxygène 13 est un isotope radioactif de l'oxygène.

1. Déterminer le nombre de protons et de neutrons d'un atome d'oxygène 13.

2. Trouver le type de radioactivité associé à la désintégration de l'oxygène 13, et déterminer le noyau fils formé.

3. Établir l'équation de désintégration radioactive de l'oxygène 13.

^{13}O $\beta^+ = 100\,\%$	^{14}O $\beta^+ = 100\,\%$
^{12}N $\beta^+ = 100\,\%$	^{13}N $\beta^+ = 100\,\%$

Données

$Z(N) = 7$; $Z(O) = 8$.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 1.**

Identification, dans la case associée au noyau père, du type de radioactivité

Identification du noyau fils

1. Le nombre de protons est égal au nombre de charges Z, soit **8 protons**. Le nombre de neutrons est égal à $A - Z$, soit **5 neutrons**.

2. Dans la case associée à l'oxygène 13, on lit que la radioactivité est de type β^+.

Un positon est émis, donc le noyau père perd un proton et gagne un neutron. Pour identifier le noyau fils, on se décale d'une case vers la droite (gain d'un neutron) puis d'une case vers le bas (perte d'un proton) : il s'agit de l'**azote 13**.

• **On utilise le Réflexe 2.**

Écriture du noyau père à gauche, du noyau fils et de la particule à droite de la flèche

Application de la conservation du nombre de masse A et du nombre de charge Z

3. $^{13}_{8}O \rightarrow {}^{13}_{7}N + {}^{A}_{Z}X$

On applique la conservation :

– du nombre de masse : $13 = 13 + A$ soit $A = 13 - 13 = 0$

– du nombre de charge : $8 = 7 + Z$ soit $Z = 8 - 7 = 1$

L'équation de désintégration radioactive s'écrit :

$$^{13}_{8}O \rightarrow {}^{13}_{7}N + {}^{0}_{1}e$$

2 Exercice résolu

Un radioisotope pour étudier le cœur

| Effectuer des calculs.

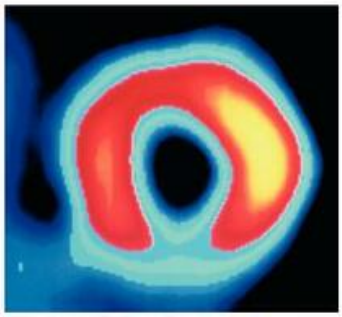
L'injection de thallium 201 permet de réaliser des images du cœur par scintigraphie.
On considère un échantillon constitué de $N_0 = 1\,000$ noyaux de thallium 201 à $t = 0$ s.

1. Déterminer le nombre de noyaux présents au bout de 10,0 jours.

2. Déterminer à quelle date, il n'y a plus que 10 noyaux radioactifs.

Donnée

Constante radioactive du thalium 201 : $\lambda = 2{,}4 \times 10^{-6}\ s^{-1}$.



> Image réalisée grâce au thallium 201

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 3.**
  - Écriture de la loi de décroissance radioactive
  - Calcul de la valeur de $N(t)$

1. La loi de décroissance radioactive s'écrit :

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$$

On convertit t en seconde : $t = 10{,}0 \times 24 \times 3\,600 = 8{,}64 \times 10^5$ s.

$N(t) = 1\,000 \times \exp(-2{,}4 \times 10^{-6}\ s^{-1} \times 8{,}64 \times 10^5\ s)$ soit $\boldsymbol{N = 125}$ **noyaux**.

- **On utilise le Réflexe 3.**
  - Écriture de la loi de décroissance radioactive
  - Isolement du temps écoulé t
  - Calcul de la valeur de t

2. La loi de décroissance radioactive s'écrit :

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$$

On isole le temps t :

$$N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t) \Leftrightarrow \frac{N(t)}{N_0} = \exp(-\lambda t) \Leftrightarrow \ln(\exp(-\lambda t)) = \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)$$

$$\Leftrightarrow -\lambda \times t = \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) \Leftrightarrow t = \frac{-1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right)$$

$$t = \frac{-1}{2{,}4 \times 10^{-6}\ s^{-1}} \times \ln\left(\frac{10}{1\,000}\right) = 1{,}9 \times 10^6\ s \text{ soit } \boldsymbol{t = 22\ j}.$$

Côté maths 3 : Résoudre une équation différentielle du premier ordre

Côté maths

La fonction f vérifie l'équation différentielle suivante :

$$f'(x) + a \times f(x) = 0$$

La condition initiale est $f(0) = 3$.

1. Donner l'expression de la solution de l'équation différentielle.

2. Déterminer la solution de cette équation, compte tenu de la condition initiale et de la condition aux limites.

Méthode

1. $f'(x) + a \times f(x) = 0 \Leftrightarrow f'(x) = -a \times f(x)$

Donc la fonction dérivée f' est proportionnelle à la fonction f.

La solution est donc de la forme $f(x) = K \times \exp(-ax)$.

2. On utilise la condition initiale :

$$f(0) = 3 \Leftrightarrow K \times \exp(0) = 3 \Leftrightarrow K = 3$$

La solution s'écrit $f(x) = 3 \times \exp(-ax)$.

Côté physique & chimie

Un échantillon contient initialement $N_0 = 3 \times 10^9$ noyaux radioactifs dont la constante radioactive est λ.

Le nombre de noyaux radioactifs encore présents à l'instant t est noté $N(t)$.

1. Donner l'expression de l'équation différentielle vérifiée par $N(t)$.

2. Exprimer $N(t)$ en fonction de λ et t.

Méthode

1. L'équation différentielle vérifiée par $N(t)$ s'écrit :

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \times N(t)$$

La fonction dérivée $\frac{dN(t)}{dt}$ est proportionnelle à la fonction N. La solution est donc de la forme $N(t) = K \times \exp(-\lambda t)$.

2. On utilise la condition initiale :

$$N(0) = N_0 \Leftrightarrow K = N_0 = 3 \times 10^9$$

La solution s'écrit $N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$
soit $N(t) = 3 \times 10^9 \times \exp(-\lambda t)$.

À retenir !

La solution d'une équation différentielle de la forme $f'(x) + a \times f(x) = 0$, avec pour condition initiale $f(0) = K$, a pour unique solution $f(x) = K \times \exp(-ax)$.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Déterminer à partir d'un diagramme (N, Z), les isotopes radioactifs d'un élément.	11	29	32
Utiliser des données et les lois de conservation pour écrire l'équation d'une réaction nucléaire et identifier le type de radioactivité.	9	29	32
Exploiter la loi ou une courbe de décroissance radioactive.	13 15	29	32 33
Expliquer le principe de la datation à l'aide de noyaux radioactifs et dater l'évènement.	19	25	33

1 La désintégration radioactive

VIDÉO DE COURS **Équation de réaction nucléaire – QR Code p. 118**

3 Reconnaître des particules
CORRIGÉ

| Mobiliser ses connaissances.

• Associer chacune des particules à son symbole.

Électron — Positon — $^{0}_{-1}e$

Noyau d'hélium 4 — $^{0}_{1}e$ — $^{4}_{2}He$

4 Identifier une particule

| Mobiliser ses connaissances.

Un noyau de plutonium 239 se désintègre en un noyau d'uranium 235 en émettant une particule portant une charge électrique égale à +2e, e étant la charge électrique élémentaire.

• Identifier cette particule.

5 Utiliser les lois de conservation (1)
CORRIGÉ

| Restituer et mobiliser ses connaissances.

1. Énoncer les lois de conservation à appliquer pour établir l'équation d'une réaction nucléaire.

2. Recopier et compléter les équations de désintégration radioactives suivantes en déterminant A et Z. Nommer la particule émise.

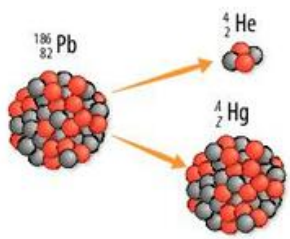
a. $^{189}_{82}Pb \rightarrow {}^{189}_{81}T\ell + {}^{A}_{Z}e$ **b.** $^{210}_{90}Th \rightarrow {}^{A}_{Z}Ra + {}^{4}_{2}He$

c. $^{13}_{5}B \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{A}_{Z}e$ **d.** $^{A}_{Z}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{0}_{1}e$

6 Utiliser les lois de conservation (2)

| Exploiter un schéma.

Le plomb 186 est un noyau radioactif dont la désintégration radioactive peut être décrite par le schéma ci-dessous :



• Établir l'équation de désintégration.

7 Écrire une équation de réaction nucléaire
CORRIGÉ

| Utiliser un modèle.

Le polonium 211 est un noyau radioactif qui se désintègre en émettant un noyau d'hélium 4.

• Écrire l'équation associée à cette désintégration radioactive. Utiliser le réflexe 2

Données

Plomb Pb ($Z = 82$) ; bismuth Bi ($Z = 83$) ; polonium Po ($Z = 84$) ; astate At ($Z = 85$).

8 Écrire une équation de réaction nucléaire

| Rédiger une explication.

• Écrire des équations de réaction de désintégration radioactive du plomb 200, du plutonium 239 et de l'azote 17 en associant des étiquettes ci-dessous. Justifier.

$^{239}_{94}Pu$ — $^{200}_{82}Pb$ — $^{4}_{2}He$ — $^{17}_{8}O$

$^{17}_{7}N$ — $^{0}_{1}e$ — $^{235}_{92}U$ — $^{0}_{-1}e$ — $^{200}_{81}T\ell$

9 Déterminer un type de radioactivité
CORRIGÉ

| Utiliser un modèle.

Le phosphore 32 est radioactif et sa désintégration produit un noyau de soufre 32.

1. Établir l'équation de la réaction de désintégration radioactive du phosphore 32.

2. Identifier le type de radioactivité. Utiliser le réflexe 2

Données

Phosphore P ($Z = 15$) ; soufre S ($Z = 16$).

10 Identifier un type de radioactivité

| Rédiger une explication.

• Préciser pour chacune des désintégrations radioactives évoquées dans les étiquettes suivantes, le type de radioactivité correspondant. Expliquer la démarche.

$^{218}Po \rightarrow {}^{214}Pb$ — $^{123}I \rightarrow {}^{123}Te$ — $^{40}K \rightarrow {}^{40}Ca$

Données

Potassium K ($Z = 19$) ; calcium Ca ($Z = 20$) ; tellure Te ($Z = 52$) ; iode I ($Z = 53$) ; plomb Pb ($Z = 82$) ; polonium Po ($Z = 84$).

11 Utiliser le diagramme (N, Z) (1)

CORRIGÉ

Exploiter des informations.

• Préciser à partir de l'extrait du diagramme (N, Z) la stabilité ou l'instabilité des isotopes de l'aluminium, en précisant le type de radioactivité le cas échéant.

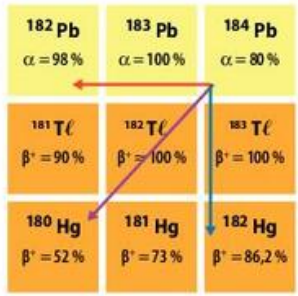
Utiliser le réflexe 1



12 Utiliser le diagramme (N, Z) (2)

Rédiger une explication.

On donne un extrait du diagramme (N, Z). On représente par des flèches des transitions d'un noyau vers un autre.



1. Pour chaque élément chimique (plomb, thallium, mercure), préciser le type de radioactivité associée.

2. Parmi les transitions symbolisées par les flèches de couleur, une seule correspond à la désintégration du plomb 184. Identifier le noyau fils formé. Justifier.

Données

Mercure Hg ($Z = 80$) ; thallium Tℓ ($Z = 81$) ; plomb Pb ($Z = 82$).

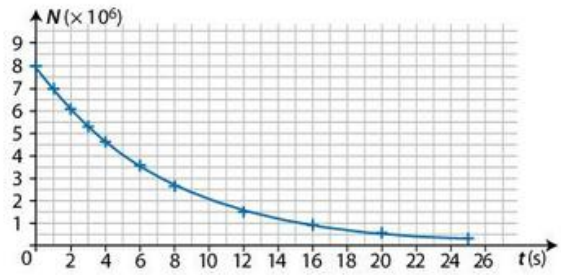
2 La loi de décroissance radioactive

13 Déterminer un nombre de noyaux radioactifs

CORRIGÉ

Exploiter un graphique.

La courbe de décroissance radioactive d'un échantillon contenant des noyaux radioactifs est fournie ci-dessous :



1. Déterminer le nombre initial de noyaux radioactifs dans l'échantillon.

2. Déterminer le nombre de noyaux radioactifs encore présents aux dates $t = 5$ s, 10 s, 15 s.

3. Justifier que la demi-vie des noyaux radioactifs est égale à 5 s.

14 Calculer un nombre de noyaux radioactifs

Restituer ses connaissances ; effectuer des calculs.

Un échantillon contient initialement :
$N_0 = 1{,}0 \times 10^8$ noyaux radioactifs de constante radioactive $\lambda = 2{,}0 \times 10^{-6}\ s^{-1}$.

1. Écrire la loi de décroissance radioactive.

2. Calculer le nombre de noyaux radioactifs encore présents aux dates $t = 5{,}0 \times 10^4$ s et $5{,}0 \times 10^6$ s.

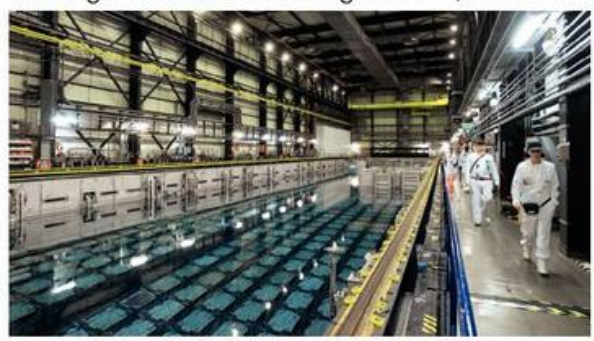
3. Situer ces deux dates par rapport à la demi-vie.

15 Calculer une durée

CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

Le tritium est contenu dans les résidus radioactifs issus de l'exploitation des centrales nucléaires. Sa constante de désintégration radioactive est égale à $\lambda = 1{,}8 \times 10^{-9}\ s^{-1}$.



> Piscine de refroidissement des déchets à la Hague

1. Exprimer la durée t en fonction du nombre de noyaux radioactifs encore présents, de la constante de désintégration radioactive et du nombre de noyaux initialement présents.

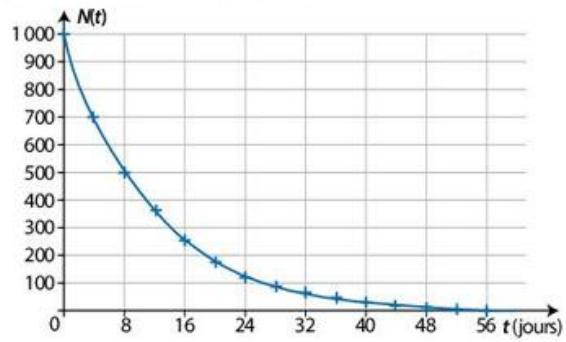
Utiliser le réflexe 3

2. Calculer cette durée en seconde puis en années pour que le nombre de noyaux radioactifs encore présents soit égal à 1 % du nombre initial de noyaux.

16 Déterminer une durée

Exploiter un graphique.

La courbe de décroissance radioactive d'un échantillon radioactif est fournie ci-dessous :



1. Déterminer la durée au bout de laquelle 60 % des noyaux radioactifs se sont désintégrés.

2. Estimer la durée au bout de laquelle il n'y a plus de noyau radioactif dans l'échantillon.

3. À combien de demi-vie cette durée correspond-elle ?

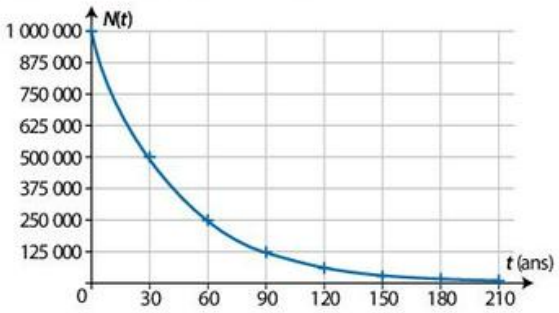
Exercices Appliquer le cours

17 Déterminer une demi-vie

CORRIGÉ

Restituer ses connaissances ; exploiter un graphique.

La courbe de décroissance radioactive d'un échantillon de césium 137 est la suivante :



1. Rappeler la définition de la demi-vie d'un noyau radioactif.

2. Déterminer graphiquement la demi-vie du césium 137.

3. En déduire la constante radioactive du césium 137 en s^{-1}.

18 Utiliser une demi-vie

Effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Un échantillon est composé de bore 17 dont la constante radioactive est égale à $1{,}4 \times 10^{2}\ s^{-1}$. Le tableau ci-dessous indique le nombre de noyaux radioactifs encore présents à une date donnée.

Durée (ms)	0,0	5,0	10,0	
$N(t)$	$2{,}00 \times 10^{8}$			$1{,}25 \times 10^{7}$

- Recopier et compléter le tableau en justifiant.

3 Applications et radioprotection

VIDÉO DE COURS Datation – QR Code p. 118

19 Utiliser une activité

CORRIGÉ

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

L'activité d'un échantillon d'un gramme de carbone d'une momie égyptienne d'un pharaon a été évaluée en 2019 à 600,0 Bq.



1. Écrire la loi vérifiée par l'activité d'un échantillon en fonction du temps t.

2. En déduire l'expression du temps t en fonction de l'activité mesurée en 2019 et de la demi-vie du carbone 14.

3. Estimer l'année de la mort du pharaon.

Données

- Activité d'un gramme de carbone d'une matière vivante : $A_0 = 816{,}0$ Bq.
- Demi-vie du carbone 14 : $t_{½} = 5\,734$ ans.

20 Déterminer une activité

Restituer et mobiliser ses connaissances.

Une statuette en bois vieille de 2 000 ans a été découverte lors de fouilles archéologiques.

- Calculer l'activité d'un gramme de carbone de cette statuette.

Données

- Activité d'un gramme de carbone d'une matière vivante : $A_0 = 816{,}0$ Bq.
- Demi-vie du carbone 14 : $t_{½} = 5\,734$ ans.

21 Mesures de radioprotection pour une scintigraphie

CORRIGÉ

Exploiter des informations.



Le texte ci-dessous indique les mesures à prendre lors d'une scintigraphie :

Les mesures de protection du personnel comportent l'utilisation de containers et de protège-seringues plombés, ainsi que de gants lors de la préparation et de l'injection du radiopharmaceutique. L'utilisation d'écrans ou de tabliers plombés lors de la réalisation de l'examen sont préconisés.

D'après « *La scintigraphie* », Société Française de Médecine Nucléaire.

1. Citer les méthodes utilisées pour se protéger des rayonnements ionisants lors d'une scintigraphie.

2. Citer une raison expliquant que le plomb est un métal utilisé en radioprotection.

Données

La CDA (couche de demi-atténuation) est l'épaisseur d'une cible divisant par deux le flux de rayons gamma.

Métal	Aluminium	Cuivre	Étain	Plomb
CDA (cm)	5,1	4,8	1,6	1,0

22 Manipulation de l'iode 131 en sécurité

Rédiger une explication.

Caractéristiques des écrans diminuant l'exposition à l'iode 131 :

Matériau de l'écran	Verre Pyrex®	Plexiglass	Verre plombé
Épaisseur pour l'arrêt de la particule β	1,6 mm	2,6 mm	0,5 mm
Épaisseur pour l'atténuation d'un facteur 10 du débit γ	244 mm	497 mm	11 mm

1. Déterminer s'il est plus facile d'arrêter la particule β ou le rayonnement γ émis par l'iode 131.

2. Proposer deux raisons expliquant pourquoi le verre plombé est utilisé dans les salles d'imagerie médicale.

23 À chacun son rythme

La découverte d'un élément radioactif

Exploiter des informations ; utiliser un modèle.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Le polonium Po ($Z = 84$) a été isolé pour la première fois par Marie Curie en 1898. Le polonium 210 se désintègre en émettant une particule.

^{208}At $\beta^+ = 99{,}45\,\%$	^{209}At $\beta^+ = 95{,}9\,\%$	^{210}At $\beta^+ \approx 100\,\%$	^{211}At EC = 58,20 %	^{212}At $\alpha \approx 100\,\%$	^{213}At $\alpha \approx 100\,\%$
^{207}Po $\beta^+ \approx 100\,\%$	^{208}Po $\alpha \approx 100\,\%$	^{209}Po $\alpha \approx 100\,\%$	^{210}Po $\alpha \approx 100\,\%$	^{211}Po $\alpha \approx 100\,\%$	^{212}Po $\alpha \approx 100\,\%$
^{206}Bi $\beta^+ = 100\,\%$	^{207}Bi $\beta^+ = 100\,\%$	^{208}Bi $\beta^+ = 100\,\%$	^{209}Bi Abondance = 100 %	^{210}Bi $\beta^- = 100\,\%$	^{211}Bi $\alpha \approx 100\,\%$
^{205}Pb EC = 100 %	^{206}Pb Abondance = 24,1 %	^{207}Pb Abondance = 22,1 %	^{208}Pb Abondance = 52,4 %	^{209}Pb $\beta^- = 100\,\%$	^{210}Pb $\beta^- = 100\,\%$

> Extrait du diagramme (N, Z)

Énoncé compact

Établir l'équation de la réaction de désintégration radioactive du polonium 210.

Énoncé détaillé

1. Déterminer l'écriture conventionnelle du polonium 210.
2. Identifier la particule émise lors de la désintégration du polonium 210, à l'aide du diagramme (N, Z).
3. Déterminer, à l'aide du diagramme (N, Z) l'écriture conventionnelle du noyau fils.
4. Écrire l'équation de désintégration radioactive.

24 Connaître les critères de réussite

La famille radioactive de l'uranium 238

Mobiliser et organiser ses connaissances ; exploiter des informations ; utiliser un modèle.

L'uranium 238 est un noyau radioactif. Par une succession de désintégrations radioactives, il se transforme en plomb 206 qui est un noyau stable. La première étape consiste en la désintégration de l'uranium 238 en thorium 234. Dans la seconde étape, le thorium 234 se transforme en protactinium 234, etc. L'équation globale de la transformation par étapes successives de l'uranium 238 en plomb 206 s'écrit :

$$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{206}_{82}\text{Pb} + 6\,{}^{0}_{-1}\text{e} + 8\,{}^{4}_{2}\text{He}$$

1. Écrire l'équation de la réaction de désintégration radioactive de l'uranium 238 en thorium 234, puis identifier le type de radioactivité.
2. Écrire l'équation de la réaction de désintégration radioactive du thorium 234, puis identifier le type de radioactivité.
3. Établir le nombre et le type de désintégrations radioactives aboutissant au plomb 206.

Données

Uranium U ($Z = 92$) ; thorium Th ($Z = 90$) ; protactinium Pa ($Z = 91$) ; plomb Pb ($Z = 82$).

Critères de réussite

Justification de la réponse	
J'ai justifié la nature de particule émise en appliquant les lois de conservation.	☐ ☐
J'ai justifié le type de radioactivité grâce à la nature de la particule émise.	☐ ☐
Présentation	
J'ai soigné la présentation.	☐ ☐

25 Des galères grecques à Marseille

CORRIGÉ

Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.



La ville de Marseille a été fondée en 600 avant J.-C. par des colons grecs venus de la cité de Phocée. Lors de fouilles dans la ville en 1993, deux navires d'époque grecque archaïque ont été retrouvés. Ils auraient coulé vers –545.

L'analyse d'un échantillon d'un gramme de carbone d'un de ces navires a une activité liée à la présence du carbone 14 égale à 9,94 Bq.

1. Écrire l'équation de désintégration du ^{14}C.
2. Écrire la loi vérifiée par l'activité de l'échantillon.
3. Établir l'expression du temps t en fonction de l'activité $A(t)$ et de la constante radioactive λ.
4. À partir de la réponse à la question 2, retrouver l'expression de la constante radioactive en fonction de la demi-vie $t_{½}$.
5. Exprimer le temps t en fonction de l'activité $A(t)$ et de la demi-vie $t_{½}$.
6. L'activité mesurée corrobore-t-elle les affirmations historiques sur ces navires ?

Données

- Demi-vie du carbone 14 : $t_{½} = 5\,734$ ans.
- Activité d'un échantillon d'un gramme de carbone issu de la matière vivante : $A_0 = 13{,}60$ Bq.
- Le carbone 14 est radioactif β^-.

26 Radioactive decay of cesium-137

Pratiquer une langue vivante étrangère ; extraire et exploiter des informations ; mobiliser ses connaissances.

Radioactive devices[1] containing cesium-137 are proven technologies used globally for cancer therapy, sterilization of medical devices and blood irradiation for treatment of patients. Cesium-137 decays by beta emission to baryum-137. Cesium-137 and baryum-137 having an atomic number of 55 and 56.

Vocabulary: 1. *device*: dispositif.

1. Who are three modes of ionising radiation emitted from a radioactive nucleus during radioactive decay?
2. Write out the equation of radioactive decay.

27 L'iode 131 sur les forums

Mobiliser ses connaissances ; exploiter des informations ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Règles du forum

Répondre | Rechercher...

Iode craignos ?
Par Juju-Massilia, 01h35
Bonsoir !
Je fais appel à tous pour m'aider à répondre à une question posée par un de mes copains.
Il doit réaliser un examen de la thyroïde et on lui a dit qu'on allait lui injecter de l'iode radioactif dans le corps. Il a vachement peur d'être irradié et je ne sais pas quoi lui répondre. J'ai la spécialité physique chimie en terminale mais là, je bugue.

Re : Iode craignos ?
Par Mimidu13, 01h58
Rassure ton copain. La dose injectée est suffisamment faible pour qu'au bout de quelques jours, il n'y ait pas plus que la radioactivité ambiante. La désintégration radioactive de l'iode 131 et l'évacuation par les urines et les selles permet cela.

Re : Iode craignos ?
Par Juju-Massilia, 02h15
OK et merci
Par contre, tu n'aurais pas d'explication plus scientifique ? Mon copain tient absolument à ce que je lui fasse une explication avec calculs à l'appui.

Re : Iode craignos ?
Par Mimidu13, 02h26
Non mais il y a le site « Hachette ressources » et ton livre de physique chimie

• Rédiger une explication afin de montrer au copain de Juju-Massilia que l'injection d'iode radioactif ne présentera que très peu de risques pour lui, en vous aidant de calculs et en expliquant la méthode médicale employée.

Données

- L'iode 131 est un isotope radioactif de l'iode qui émet un électron et un rayonnement gamma lors de sa désintégration.
- La demi-vie de l'iode 131 est égale à 8,0 jours.
- L'activité initiale de l'iode radioactif injecté est égale à 1,8 kBq.
- L'activité naturelle d'un humain de 80 kg est égale à 1,0 kBq.

Côté maths

Côté maths 3, p. 121

28 Résoudre une équation différentielle du premier ordre

Un échantillon radioactif de plutonium 239 contient, à la date $t = 0$, $N_0 = 3{,}0 \times 10^7$ noyaux.
La constante radioactive du plutonium 239 est $\lambda = 9{,}1 \times 10^{-13}\ s^{-1}$.
On note $N(t)$ le nombre de noyaux de plutonium 239 encore présents à l'instant t.

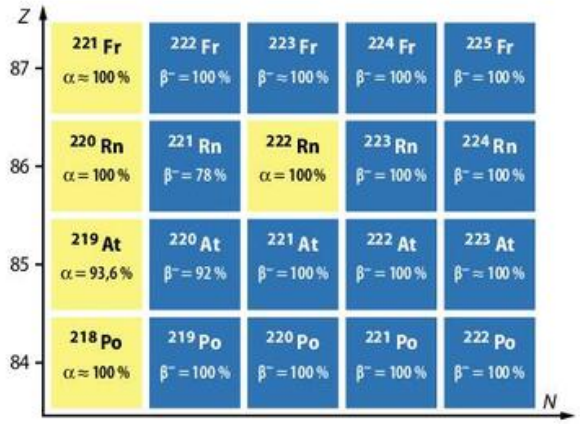
1. Écrire l'équation différentielle vérifiée par $N(t)$.
2. Résoudre cette équation différentielle.

29 Les dangers du radon

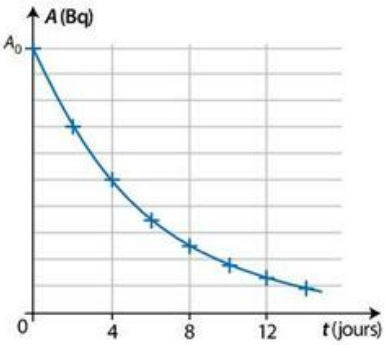
CORRIGÉ

Exploiter des informations, des graphiques ; utiliser un modèle ; rédiger une explication.

Le radon 222 est un noyau radioactif de type alpha qui représente plus de 30 % de la radioactivité ambiante à laquelle nous sommes exposés en France. C'est un gaz qui se forme en permanence dans les roches suite à la désintégration par étapes de l'uranium 238.
Il est préconisé pour limiter cette exposition d'avoir une bonne ventilation dans les constructions. La norme dans l'Union Européenne prévoit de ne pas dépasser une activité volumique moyenne égale à 400 becquerels par mètre cube.
Un extrait du diagramme (N, Z) concernant le radon 222 est donné ci-dessous :



1. Écrire les équations de réaction de désintégration radioactive correspondant à la désintégration du radon 222 et à celle du radon 223.
2. À partir de la courbe de l'activité d'un échantillon de radon 222 donnée ci-contre, déterminer la demi-vie du radon 222.



3. Recopier le tableau ci-dessous et le compléter en justifiant.

t (jour)	0	4,0	8,0	16,0
A (Bq)	$8{,}0 \times 10^6$			

4. Proposer un raisonnement expliquant pourquoi l'activité du radon reste constante au cours du temps.
5. Afin de contrôler la qualité de l'air dans une cave, un technicien prélève dans une fiole un échantillon de cet air. La fiole est introduite dans un dispositif qui compte un nombre d'événements par seconde n qui est proportionnel au nombre de noyaux radioactifs désintégrés. Avec ce dispositif, l'activité du radon (en becquerels par mètre cube) est proportionnelle à ce nombre : $A = 60{,}0 \times n$. Lors de ce contrôle on trouve $n = 10{,}5$.
Expliquer s'il faut prendre des mesures afin d'améliorer la qualité de l'air de cette cave et préciser lesquelles.

30 Protection contre les rayonnements ionisants

Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.



Un rayonnement ionisant est un rayonnement capable de transformer, lors de son passage, un atome en un ion. Si ce rayonnement traverse des cellules vivantes, cela peut induire des mutations qui comportent des risques pour la santé. Les particules émises lors des désintégrations radioactives, ainsi que le rayonnement γ sont classés parmi ces rayonnements ionisants.
Des règles sont à respecter lorsque l'on est au contact de substances radioactives :

A. Se tenir éloigné d'une source, car l'exposition au rayonnement γ est inversement proportionnelle au carré de la distance.
B. Placer les sources intenses de rayons gamma derrière un écran approprié, comme un écran de plomb.
C. Utiliser des gants pour manipuler des « matériaux radioactifs alpha et bêta ».
D. Utiliser des écrans absorbant les rayons tels que les écrans de verre au plomb.
E. Pour des travailleurs exposés régulièrement, on évite le contact avec les poussières radioactives et leur inhalation à l'aide de combinaisons étanches.

1. Indiquer les précautions à prendre pour manipuler des « échantillons radioactifs alpha et bêta ».

2. Citer le métal utilisé en radioprotection et formuler une hypothèse quant à ce choix.

3. Montrer que le tableau ci-dessous, est en accord avec la loi donnée dans la règle **A**.

Indicateur de rayonnement γ	1 000	500	125	62,5
Distance parcourue (m)	0	90	180	254,5

Coup de pouce QR Code p. 118

4. Proposer deux raisons expliquant l'intérêt de l'utilisation de l'écran de verre au plomb en radiologie.

5. Lors d'une intervention dans l'enceinte de confinement où se trouve la cuve du réacteur nucléaire, quelles sont les protections à prendre contre les rayonnements ionisants ?

Données

- Matériaux arrêtant les rayons ou particules :

Rayon ou particule	Alpha	Béta
Matériau	Feuille de papier	Feuille d'aluminium

- Épaisseur d'un écran de métal pour diviser par 8 le flux de rayonnement gamma d'énergie donnée :

Métal	Cuivre	Aluminium	Plomb
Épaisseur de l'écran	14 cm	15 cm	3 cm

31 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

La gestion des déchets nucléaires

Construire les étapes d'une résolution de problème.

L'industrie nucléaire et la médecine nucléaire produisent chaque année des déchets radioactifs divers et variés. En fonction des caractéristiques de ces déchets, une gestion appropriée du stockage est nécessaire.



A **Stockage des déchets nucléaires**

Le tableau ci-dessous permet d'associer à chaque catégorie de déchet, une gestion adaptée.

	Déchets à vie très courte ($t_{½} < 100$ jours)	Déchets à vie courte ($t_{½} \leqslant 31$ ans)	Déchets à vie longue ($t_{½} > 31$ ans)
Très faible activité	Stockage sur le site de production	Stockage en surface dans un site industriel dédié	Stockage à faible profondeur
Faible activité			
Moyenne activité			Stockage en couche géologique profonde
Haute activité			

B **Classement des déchets nucléaires**

Un classement est effectué en fonction de l'activité d'un gramme d'échantillon radioactif :

Activité	Très faible	Faible	Moyenne	Haute
Activité ($Bq \cdot g^{-1}$)	$A \leqslant 10^3$	$10^3 < A \leqslant 10^6$	$10^6 < A \leqslant 10^9$	$A > 10^9$

C **Radioélements présents dans les déchets d'une centrale nucléaire**

Noyau	Américium 242	Curium 243	Plutonium 239
$t_{½}$ (ans)	152	28,6	$2{,}41 \times 10^4$
Activité initiale ($Bq \cdot g^{-1}$)	$6{,}0 \times 10^9$	$6{,}0 \times 10^9$	$6{,}0 \times 10^9$

- Pour chaque radioélément du tableau **C**, peut-on envisager de modifier le type de stockage à l'échelle d'une vie humaine ?

Vers le BAC

Faire attention aux unités de λ et de t

Lors de l'utilisation des relations $N(t) = N_0 \times \exp(-\lambda t)$ et $A(t) = A_0 \times \exp(-\lambda t)$ les unités de λ et t doivent être **inverses l'une de l'autre :**

Unité de t	s	min	h	j	an
Unité de λ	s^{-1}	min^{-1}	h^{-1}	j^{-1}	an^{-1}

Déterminer $N(t)$ ou $A(t)$ à des dates $t = n \times t_{½}$

Il suffit de diviser la valeur initiale (N_0 ou A_0) par 2^n, n entier positif.

t	$1 \times t_{½}$	$2 \times t_{½}$	$3 \times t_{½}$	$4 \times t_{½}$	$n \times t_{½}$
$N(t)$	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{4}$	$\frac{N_0}{8}$	$\frac{N_0}{16}$	$\frac{N_0}{(2^n)}$
$A(t)$	$\frac{A_0}{2}$	$\frac{A_0}{4}$	$\frac{A_0}{8}$	$\frac{A_0}{16}$	$\frac{A_0}{(2^n)}$

Bien distinguer $N(t)$ et $N_0 - N(t)$

Lors de l'exploitation de la loi de la décroissance radioactive ou de sa courbe :

$N(t)$: Nombre de noyaux radioactifs restants

$N_0 - N(t)$: Nombre de noyaux désintégrés à l'instant t

Utiliser la bonne touche

Pour calculer un temps à partir de la loi de décroissance radioactive $t = -\frac{1}{\lambda} \times \ln\left(\frac{A(t)}{A_0}\right)$ sur la calculatrice :

oui → ln log ← non

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 120

32 CORRIGÉ — 60 min

La découverte de la radioactivité artificielle et ses applications

Mobiliser et organiser ses connaissances ; utiliser un modèle ; rédiger une explication.

D'après Baccalauréat

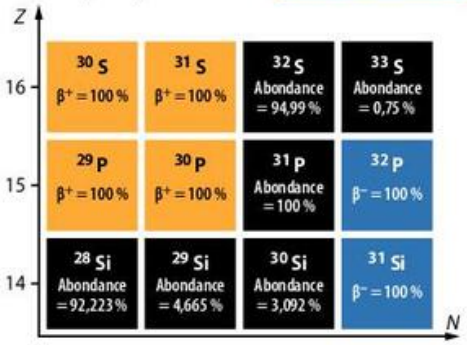
En 1934, Irène et Frédéric JOLIOT-CURIE découvrirent la radioactivité artificielle. Ils produisirent du phosphore 30 radioactif par bombardement d'une cible contenant de l'aluminium 27 stable avec des particules α. Ces particules provenaient d'une source de radium contenant majoritairement l'isotope 226.

1. La découverte de la radioactivité artificielle

a. Définir une particule α et donner son symbole.

b. Établir l'équation de la réaction de désintégration radioactive du radium 226. Utiliser le réflexe 2

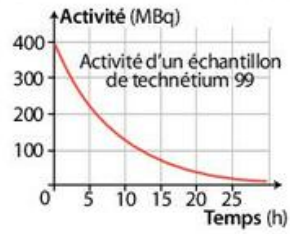
c. En utilisant le diagramme (N, Z) ci-dessous, déterminer le type de désintégration radioactive associée au phosphore 30 puis établir l'équation de la réaction de désintégration radioactive du phosphore 30. Utiliser les réflexes 1 et 2



d. Calculer le nombre $N(t)$ de noyaux radioactifs restants dans un échantillon de phosphore 30 contenant initialement N_0 = 1 000 noyaux radioactifs, au bout d'une durée égale à 13 minutes. Utiliser le réflexe 3

2. Utilisation du technétium 99 en médecine nucléaire

Le technétium 99 est utile en médecine nucléaire car il s'associe à de nombreuses molécules. Sa demi-vie courte permet de réduire l'irradiation du patient. On injecte à un patient une dose dont l'activité en technétium 99 est $A_0 = 400$ MBq. La courbe représentant l'activité de cet échantillon en fonction du temps est donnée ci-contre.



a. Donner la définition de la demi-vie et déterminer celle du technétium 99.

b L'activité est considérée négligeable au bout de $t = 20 \times t_{½}$. Calculer sa valeur.

c. Un patient reçoit une injection un lundi à 15 h 00. L'examen se finit à 18 h 30. Calculer l'activité due au technétium 99 encore présent dans le corps du patient à la fin de l'examen, puis déterminer à quelle date (jour et heure) l'activité sera négligeable dans son organisme.

Données

- Radon Rn ($Z = 86$) ; francium Fr ($Z = 87$) ; radium Ra ($Z = 88$) ; actinium Ac ($Z = 89$) ; thorium Th ($Z = 90$) ; aluminium Aℓ ($Z = 13$) ; silicium Si ($Z = 14$) ; phosphore P ($Z = 15$).
- Le phosphore 30 se désintègre en donnant un noyau de silicium 30 et sa demi-vie est égale à 3 minutes 15 secondes.

33 La datation à l'uranium 238

40 min — CORRIGÉ

Utiliser un modèle ; exploiter des graphiques ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

D'après Baccalauréat



L'uranium 238 est un noyau radioactif que l'on trouve dans les roches et qui, après des désintégrations successives, se transforme en plomb 206 stable. La quantité de plomb présent dans la roche augmente proportionnellement avec l'âge de celle-ci. La mesure de la quantité de plomb 206 dans un échantillon de roche ancienne permet de déterminer l'âge de la roche.

1. À partir de la courbe de décroissance de l'uranium 238 (graphique **A**), déterminer la demi-vie de ce noyau radioactif, puis calculer sa constante radioactive λ.

2. Déterminer graphiquement le nombre N_0 de noyaux d'uranium 238 présents initialement dans l'échantillon de roche puis exprimer le nombre de noyaux $N(t)$ d'uranium 238, encore présents en résolvant l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dN(t)}{dt} + \lambda \times N(t) = 0$$

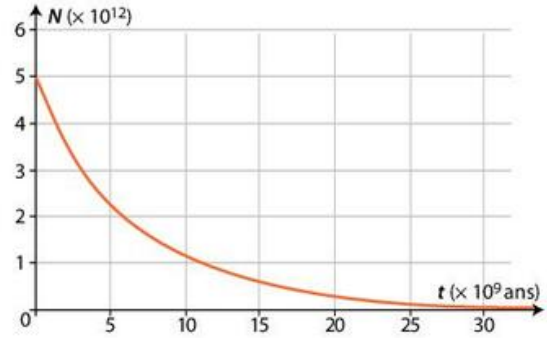
3. Sachant qu'un noyau d'uranium 238 se désintègre en formant un noyau de plomb 206, déterminer la relation entre le nombre N_0 de noyaux d'uranium 238 présents initialement dans la roche, celui $N(t)$ des noyaux encore présents au bout d'une durée t et le nombre N_{Pb} de noyaux de plomb formés.

Une modélisation de la courbe de température depuis les débuts de la Terre a permis de mettre en évidence cinq ères glaciaires (graphique **B**).

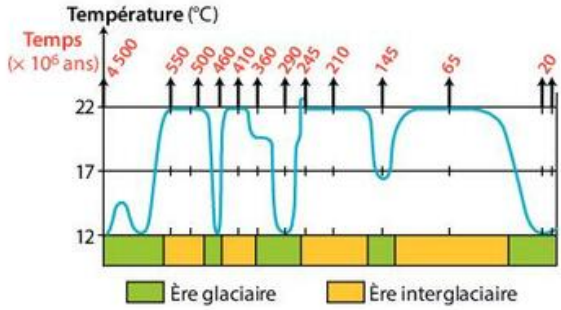
4. L'analyse de l'échantillon de roche datant de la fin de la première ère interglaciaire révèle qu'il y a $0{,}5 \times 10^{12}$ noyaux de plomb 206 présents. Cette mesure est-elle compatible avec la fin de la première ère interglaciaire sur Terre ?

Coup de pouce QR Code p. 118

A Courbe de décroissance de l'uranium 238



B Évolution de la température sur la planète Terre



Préparation à l'ECE

La version intégrale de cette ECE, réalisable en activité expérimentale, est disponible dans la version numérique. La version proposée ci-dessous permet à l'élève de travailler en autonomie les compétences RÉA, ANA-RAIS et COM.

Dans le tableau périodique des éléments chimiques, la place correspondant au numéro atomique égal à 43 est très longtemps restée vacante, alors que les éléments jusqu'à $Z = 92$ étaient déjà en place. Ce n'est qu'en 1937 que cet élément a été détecté dans une des parties d'un cyclotron, grâce aux scientifiques E. Segrè et C. Perrier. Ils en identifièrent les isotopes 95 et 97 et donnèrent à ce nouvel élément le nom de technétium, de symbole Tc. Parmi les isotopes du technétium, seuls neuf d'entre eux aboutissent par désintégration radioactive à un noyau fils stable.



› Emilio Segrè (1905-1989)

1. RÉA À l'aide du logiciel *Nucleus-Win*, visualiser la ligne correspondant au technétium et celles qui se trouvent juste au-dessus et en dessous, en centrant sur le technétium 99.

2. ANA-RAIS Identifier les neufs isotopes du technétium qui donnent un isotope stable. Expliquer la démarche.

3. COM Expliquer pourquoi le technétium parmi les 92 premiers éléments chimiques du tableau périodique, a été identifié le dernier.

Données

Demi-vie de quelques isotopes du technétium :

Isotope	^{93}Tc	^{94}Tc	^{95}Tc	^{96}Tc
Demi-vie	2,8 h	4,9 h	20 h	4,3 j

Vers l'oral

Fiche Méthode

Réussir son oral

1 La répétition
- S'entraîner (seul face à un miroir, avec des amis, avec la famille) pour maîtriser le sujet, lutter contre le stress, gérer le temps.

2 La gestion du temps
- Arriver en avance le jour de l'oral.
- Se donner des repères de temps.
- Surveiller régulièrement l'heure pendant l'oral.

3 La posture
- Être dynamique, bouger, occuper l'espace.
- Sortir les mains des poches.
- Être souriant, le plus naturel possible.
- Porter une tenue correcte.

4 Le discours
- Prononcer des phrases courtes et simples.
- Surveiller l'élocution (prononciation, connaissance des mots difficiles pour éviter de bafouiller, etc.).
- Adapter le ton et moduler sa voix.

- **Visionner la vidéo ci-contre.**
- **Faire vingt respirations abdominales consécutives.**
- **Utiliser ses mains pour mimer le geste du diaphragme.**
- **Réaliser une bonne posture en utilisant la méthode « du pantin ».**
- **Faire l'exercice du « petit moteur » 20 fois consécutives.**



TECHNIQUE DE RESPIRATION

À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation fournie. Puis les élèves échangent leurs rôles et à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

Grille d'évaluation

Évaluation orale n° 1

- À l'aide du nuage de mots ci-dessous, indiquer quelles sont les différences entre la désintégration radioactive d'un noyau présentant un excès de protons et celle d'un noyau présentant un excès de neutron. S'aider des conseils donnés dans la partie précédente.

Béta plus Positon Proton Noyau Électron Neutron Béta moins

Évaluation orale n° 2

- À l'aide du nuage de mots ci-dessous, indiquer si on peut dater avec la méthode de datation au carbone 14 ($t_{1/2}$ = 5 734 ans), le squelette d'un dinosaure. S'aider des conseils donnés dans la partie précédente.

Assimilation du carbone 14 Activité Demi-vie Décroissance radioactive

Je m'exprime à l'oral sur La transformation nucléaire

Nommer les **trois types** de radioactivité.

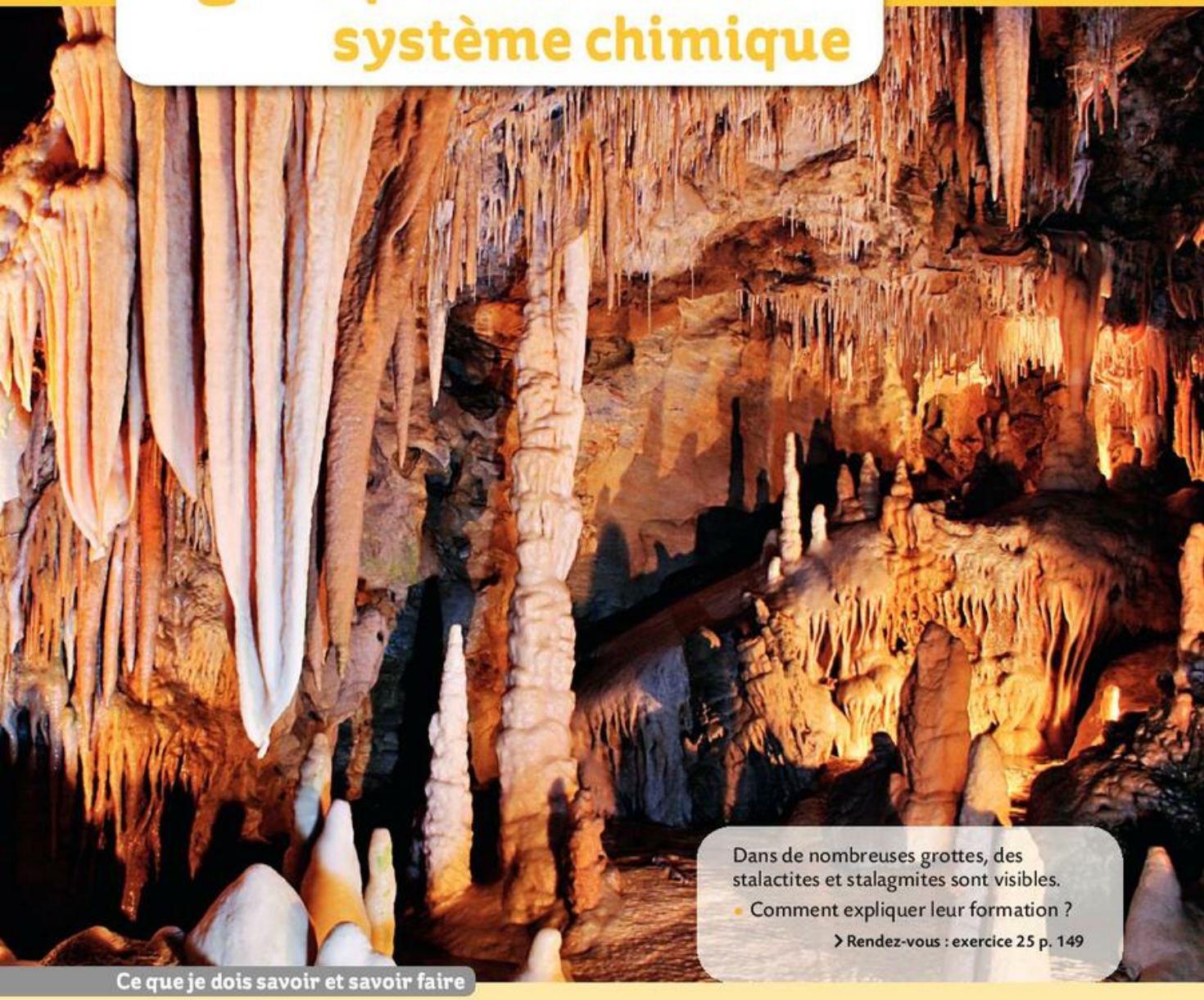
Définir **la demi-vie** d'un noyau radioactif.

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Quelle est l'expression du **nombre de noyaux radioactifs** encore présents dans un échantillon à un instant t ?

Citer **des applications** de la radioactivité.

7 Sens d'évolution spontanée d'un système chimique



Dans de nombreuses grottes, des stalactites et stalagmites sont visibles.

- Comment expliquer leur formation ?

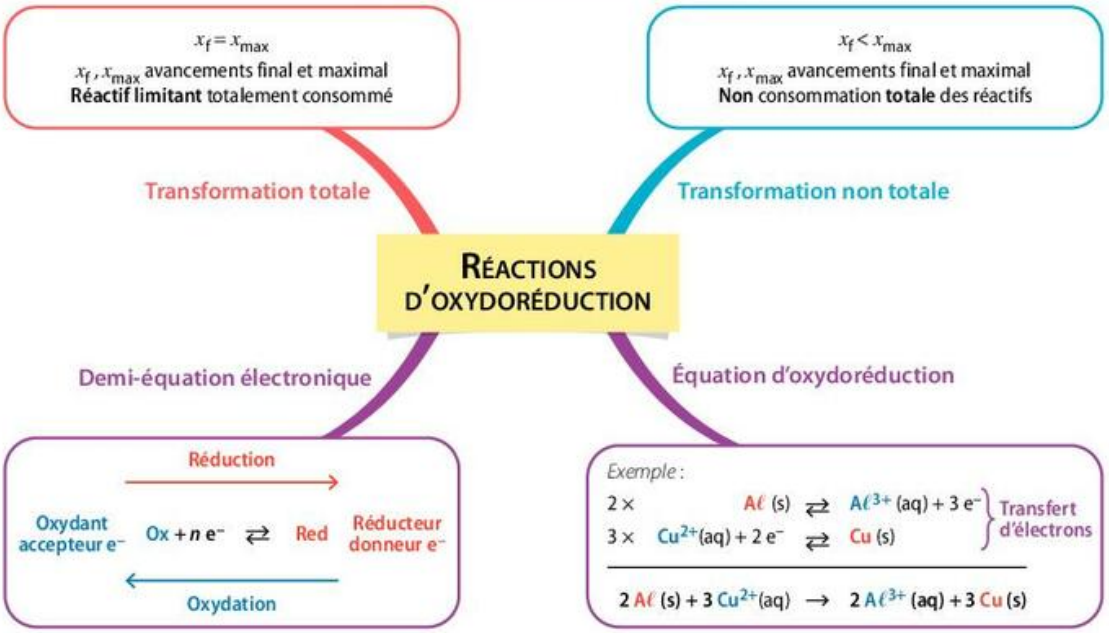
> Rendez-vous : exercice 25 p. 149

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Relier le caractère non total d'une transformation à la présence, à l'état final du système, de tous les réactifs et de tous les produits. **Activité 1 p. 133**
- Mettre en évidence la présence de tous les réactifs dans l'état final d'un système siège d'une transformation non totale, par un nouvel ajout de réactifs. **Activité 1 p. 133**
- Déterminer le sens d'évolution spontanée d'un système. **Activité 2 p. 134**
- Déterminer un taux d'avancement final à partir de données sur la composition de l'état final et le relier au caractère total ou non total de la transformation. **Activité 2 p. 134**
- Déterminer la valeur du quotient de réaction à l'état final d'un système, siège d'une transformation non totale, et montrer son indépendance vis-à-vis de la composition initiale du système à une température donnée. **Activité 2 p. 134**
- Illustrer un transfert spontané d'électrons par contact entre réactifs et par l'intermédiaire d'un circuit extérieur. **Activité 3 p. 135**
- Justifier la stratégie de séparation des réactifs dans deux demi-piles et l'utilisation d'un pont salin. **Activité 3 p. 135**
- Modéliser et schématiser, à partir de résultats expérimentaux, le fonctionnement d'une pile. **Activité 3 p. 135**
- Déterminer la capacité électrique d'une pile à partir de sa constitution initiale. **Activité 3 p. 135**
- Réaliser une pile, déterminer sa tension à vide et la polarité des électrodes, identifier la transformation mise en jeu, illustrer le rôle du pont salin. **Activité 3 p. 135**
- Citer des oxydants et des réducteurs usuels : eau de Javel, dioxygène, dichlore, acide ascorbique, dihydrogène, métaux. **Exercice 18 p. 146**
- Justifier le caractère réducteur des métaux du bloc s. **Exercice 18 p. 146**

Vu en 1re

Réactions d'oxydoréduction



Réactiver ses connaissances

La réaction de l'acide chlorhydrique $H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$ avec du nickel Ni (s) conduit à un dégagement gazeux. Le gaz formé produit une petite détonation à l'approche d'une allumette enflammée. La photographie de la solution obtenue est donnée ci-contre.

- Établir l'équation de la réaction chimique qui a lieu.





Donnée

Les ions nickel (II) $Ni^{2+}(aq)$ donnent une coloration verte à la solution qui les contient.

Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Au cours de la réaction d'équation : $Cu(s) + 2\,H^+(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + H_2(g)$	Cu (s) a été oxydé.	Cu (s) a été réduit.	deux électrons sont échangés.
2. Lors d'une transformation totale, le réactif limitant est :	totalement consommé.	partiellement consommé.	présent à l'état final.
3. 10^{-3} mol d'acide méthanoïque sont dissous dans un excès d'eau. La transformation est modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit : $HCO_2H(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$ À l'état final, l'avancement x_f est égal à $1{,}2 \times 10^{-5}$ mol :	la réaction n'est pas totale.	l'acide méthanoïque a été totalement consommé.	$x_f < x_{max}$.

Activité expérimentale 1

Notion d'équilibre dynamique

Notions
- Équilibre chimique
- Équilibre dynamique

Il existe des réactions pour lesquelles, à l'état final, le réactif limitant n'est pas entièrement consommé.

► Objectif de l'activité : Comment décrire une transformation non totale ?

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1

- ☑ VERSER dans un bécher de 100 mL, 25 mL d'une solution S_1 de nitrate d'argent telle que $[Ag^+] = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1}.
- ☑ AJOUTER 25 mL d'une solution S_2 de nitrate de fer (II) telle que $[Fe^{2+}] = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1}.
- ☑ PLACER le bécher au bain-marie à 70 °C pendant 5 minutes.
- ☑ REFROIDIR à température ambiante.
- ☑ FILTRER la solution.
- ☑ MESURER l'absorbance du filtrat à la longueur d'onde $\lambda = 480$ nm.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2

- ☑ VERSER dans un bécher de 50 mL, contenant un fil d'argent, 25 mL d'une solution S_3 de nitrate de fer (III) de concentration telle que $[Fe^{3+}] = 5{,}0 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1}.
- ☑ MESURER l'absorbance de la solution à la longueur d'onde $\lambda = 480$ nm.

MATÉRIEL À DISPOSITION



Données

- Coefficient d'absorption molaire des ions fer (III) Fe^{3+} à $\lambda = 480$ nm : $\varepsilon = 1{,}27$ L·mol^{-1}·cm^{-1}.
- Les ions fer (III) Fe^{3+}(aq) donnent une coloration jaune à la solution qui les contient.
- À $\lambda = 480$ nm, les ions argent Ag^+(aq) et les ions fer (II) Fe^{2+}(aq) n'absorbent pas.
- Couples oxydant / réducteur : Fe^{3+}(aq) / Fe^{2+}(aq) et Ag^+(aq) / Ag(s).
- Cercle chromatique : voir Rabat III.

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1. Noter les observations.

Utiliser un modèle pour décrire RÉA

2 a. Écrire l'équation de la réaction entre les ions argent Ag^+(aq) et les ions fer (II) Fe^{2+}(aq).
b. Établir la composition du système en supposant la transformation totale.

Exploiter des résultats ANA-RAIS

3 Exploiter la valeur de l'absorbance mesurée pour déterminer la composition du système dans l'état final réel.

Élaborer un protocole ANA-RAIS

4 a. À l'aide du matériel et des solutions disponibles, proposer un protocole permettant de caractériser la présence des deux réactifs dans le filtrat.
b. Mettre en œuvre le protocole. Noter les observations et conclure.
c. Le système est dit avoir atteint un état d'équilibre chimique. Donner une propriété de cet état.

Discuter un résultat VAL

5 a. Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2.
b. Écrire l'équation de la réaction.
c. Justifier le caractère non total de la transformation.
d. Donner une condition pour qu'un système atteigne un état d'équilibre chimique.

Un pas vers le cours

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

6 Formuler une hypothèse sur les vitesses de formation et de disparition des réactifs à l'état d'équilibre.

Activité expérimentale 2

Constante d'équilibre

Notions
- Quotient de réaction
- Système à l'équilibre
- Constante d'équilibre

À l'état d'équilibre chimique, la composition du milieu réactionnel n'évolue plus, les réactifs et les produits coexistent.

▶ Objectif de l'activité : Existe-t-il une grandeur permettant de caractériser un état d'équilibre chimique ?

Protocole expérimental 1

☑ Dans le but d'étudier la réaction entre les ions fer (III) $Fe^{3+}(aq)$ et les ions thiocyanate $SCN^-(aq)$, quatre solutions S_1, S_2, S_3 et S_4 sont préparées.

☑ Dans une fiole jaugée de 50,0 mL, INTRODUIRE un volume V_{Fe} de solution de nitrate de fer (III) telle que $[Fe^{3+}] = 2{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}, puis un volume V_{SCN} de solution de thiocynanate de potassium telle que $[SCN^-] = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}.

☑ COMPLÉTER la fiole jusqu'au trait de jauge avec une solution d'acide nitrique de concentration $C = 0{,}1$ mol·L^{-1} en ion oxonium $H_3O^+(aq)$.

☑ MESURER, l'absorbance de chaque solution préparée à la longueur d'onde $\lambda = 580$ nm.

Solution	S_1	S_2	S_3	S_4
V_{Fe} (mL)	5,0	5,0	10,0	10,0
V_{SCN} (mL)	5,0	10,0	5,0	10,0

Protocole expérimental 2

☑ Dans un bécher de 50 mL, INTRODUIRE 10,0 mL de la solution S_3.

☑ AJOUTER 20 mg de nitrate de fer (III) $Fe(NO_3)_3(s)$. Agiter pour dissoudre.

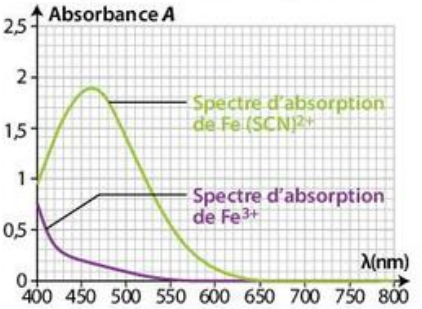
☑ MESURER l'absorbance à $\lambda = 580$ nm.

Données

- Les ions fer (III) $Fe^{3+}(aq)$ forment instantanément avec les ions thiocyanate $SCN^-(aq)$ une espèce : $Fe(SCN)^{2+}(aq)$ qui donne une coloration rouge sang à la solution qui la contient.
- Coefficient d'absorption molaire de l'espèce $Fe(SCN)^{2+}$, à $\lambda = 580$ nm : $\varepsilon = 5{,}1 \times 10^{-1}$ L·mol^{-1}·cm^{-1}.
- Masse molaire du nitrate de fer (III) : $M = 242$ g·mol^{-1}.

A Spectres d'absorption

- Une solution contenant les ions fer (II) $Fe^{2+}(aq)$, ou les ions thiocyanate $SCN^-(aq)$ est incolore.
- Les ions fer (III) $Fe^{3+}(aq)$, donnent une coloration jaune à la solution qui les contient.



Complément scientifique

Pour une transformation modélisée par deux réactions opposées, l'équation s'écrit :

$$a\,A(aq) + b\,B(aq) \rightleftharpoons c\,C(aq)$$

La grandeur appelée quotient de réaction, notée Q_r, sans dimension, peut être définie par :

$$Q_r = \frac{\left(\frac{[C]}{c^\circ}\right)^c}{\left(\frac{[A]}{c^\circ}\right)^a \times \left(\frac{[B]}{c^\circ}\right)^b}$$

avec $c^\circ = 1$ mol·L^{-1}.

La grandeur Q_r peut être calculée à chaque état d'avancement de la réaction.

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 Réaliser les solutions en mettant en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1. Recopier le tableau du PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1, en ajoutant pour chaque solution la valeur d'absorbance mesurée.

Justifier un protocole ANA-RAIS

2 Justifier le choix de la longueur d'onde pour réaliser les mesures d'absorbance (doc. A).

Interpréter des résultats VAL

3 a. Écrire l'équation modélisant la réaction chimique.
b. À l'aide de la mesure d'absorbance, déterminer l'avancement final.
c. En déduire la composition de la solution à l'état final.
d. Justifier que pour chaque solution, le système a atteint un état d'équilibre chimique.

Effectuer des calculs RÉA

4 Pour chacune des solutions, calculer le quotient de réaction dans l'état d'équilibre, noté $Q_{r,éq}$. Exprimer le résultat avec deux chiffres significatifs. Conclure.

Formuler des hypothèses ANA-RAIS

5 a. Réaliser le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2.
b. À partir du résultat de la mesure, déterminer le sens d'évolution de la transformation.
c. Calculer le quotient de réaction dans l'état initial, noté $Q_{r,i}$. Puis le comparer au quotient de réaction à l'état d'équilibre $Q_{r,éq}$. Formuler une hypothèse permettant de prévoir le sens d'évolution d'une transformation.

Un pas vers le cours

Discuter un résultat VAL

6 Proposer une explication au fait que le quotient de réaction $Q_{r,éq}$ dans l'état d'équilibre est appelé constante d'équilibre notée K ?

Activité expérimentale 3

Réaliser une pile

Notions
- Transfert spontané d'électrons
- Fonctionnement d'une pile

De nombreux objets du quotidien utilisent de l'énergie électrique. Une pile est une source d'énergie autonome.

► **Objectif de l'activité : Quel est le principe de fonctionnement d'une pile ?**

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1

Transfert spontané d'électrons par contact direct de réactifs

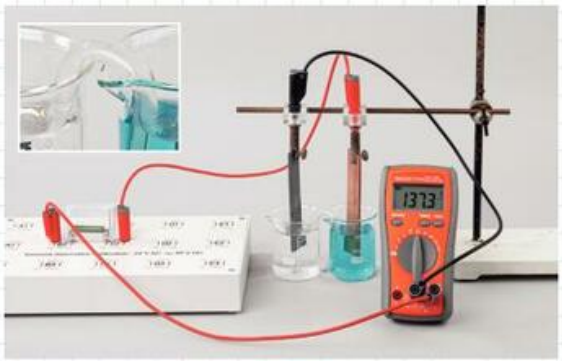
☑ Dans un bécher, VERSER 10,0 mL d'une solution S_1 de sulfate de cuivre (II) telle que $[Cu^{2+}] = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1} et 10,0 mL d'une solution S_2 de sulfate de zinc (II) telle que $[Zn^{2+}] = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1}.

☑ PLONGER une lame de zinc Zn (s) décapée et une lame de cuivre Cu(s).

☑ AGITER puis filtrer la solution.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2

Transfert spontané d'électrons par l'intermédiaire d'un circuit extérieur (pile)



COMPLÉMENTS SCIENTIFIQUES

1. **Sens d'évolution spontanée**

$$a\,A(aq) + b\,B(aq) \underset{\text{sens inverse}}{\overset{\text{sens direct}}{\rightleftharpoons}} c\,C(aq) + d\,D(aq)$$

$Q_{r,i} < K$: évolution dans le sens direct de l'équation

$Q_{r,i} > K$: évolution dans le sens inverse de l'équation

2. **Capacité d'une pile**

La capacité électrique Q_{max} d'une pile est la charge électrique maximale (en coulomb C) que la pile peut débiter durant toute sa durée de vie :

$$Q_{max} \text{ en C} \rightarrow Q_{max} = n(e^-)_{max} \times N_A \times e$$

- $n(e^-)_{max}$: quantité maximale d'électrons échangés en mol
- N_A : constante d'Avogadro : $6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}
- e : charge élémentaire : $1{,}6 \times 10^{-19}$ C

Données

- Les ions cuivre (II) $Cu^{2+}(aq)$ donnent une coloration bleue à la solution qui les contient.
- Couples oxydant / réducteur : $Cu^{2+}(aq)$ / Cu(s) et $Zn^{2+}(aq)$ / Zn(s).
- Masses molaires : $M(Cu) = 63{,}5$ g·mol^{-1} et $M(Zn) = 65{,}4$ g·mol^{-1}.

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 a. Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1. Observer.
b. En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique.

Interpréter des observations RÉA

2 Justifier l'expression « transfert spontané d'électrons par contact direct entre réactifs ».

Confronter un modèle à des résultats expérimentaux VAL

3 La constante d'équilibre associée à l'équation est 10^{37}. Montrer que le sens d'évolution spontanée prévu est compatible avec les observations expérimentales.

Mettre en œuvre le protocole RÉA

4 a. Réaliser le montage décrit dans le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2 et noter le sens conventionnel du courant.
b. Retirer le pont salin. Noter les observations.
c. Formuler une hypothèse sur le rôle du pont salin.

Interpréter des résultats VAL

5 a. À l'aide du sens du courant observé, déterminer la nature de la réaction ayant lieu à chaque électrode.
b. Écrire l'équation de la réaction associée à la transformation ayant lieu lors du fonctionnement de la pile.
c. Justifier l'expression « transfert spontané d'électrons par l'intermédiaire d'un circuit extérieur ».

Élaborer un protocole ANA-RAIS

6 a. À l'aide du matériel, proposer une modification du montage pour mesurer la tension aux bornes de la pile, appelée tension à vide.
b. Mettre en œuvre ce protocole.
c. Déterminer la polarité des électrodes. Ce résultat est-il en accord avec le sens du courant ?

Utiliser le matériel de manière adaptée RÉA

7 Faire les mesures permettant de déterminer la capacité de la pile, puis la calculer.

Un pas vers le cours

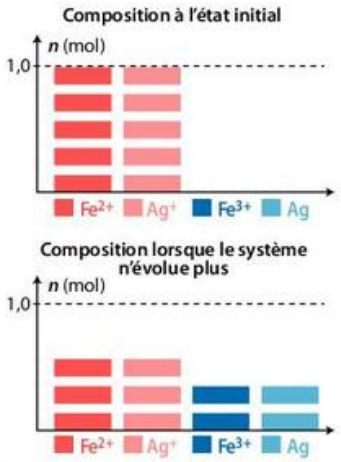
Présenter sous une forme appropriée COM

8 Faire un schéma de la pile qui illustre son fonctionnement (déplacement des porteurs de charge, équations aux électrodes).

Cours

A Transformation non totale

$Fe^{2+}(aq) + Ag^{+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$



La transformation est non totale : les réactifs et les produits coexistent. L'état final correspond à un état d'équilibre.

NOTATION

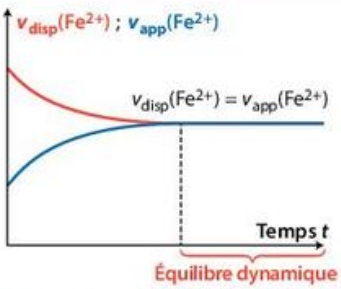
« Bon usage » de la flèche :

Transformation	Symbole
totale ou quasi-totale $x_f \approx x_{max}$	simple flèche à double pointe $\rightarrow$
non totale $x_f < x_{max}$	double flèche à simple pointe $\rightleftharpoons$

Équation d'oxydoréduction

VIDÉO DE COURS

B Équilibre dynamique



La transformation est modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit : $Fe^{2+}(aq) + Ag^{+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$

À l'état d'équilibre dynamique, la vitesse de disparition de Fe^{2+}, est égale à la vitesse d'apparition de Fe^{2+}.

1 La transformation non totale

a. Définition

• Comparer l'avancement final x_f et l'avancement maximal x_{max} permet de distinguer les transformations totales et non totales.

Dans le cas d'une transformation **non totale**, à l'état final :
- les quantités des espèces ne varient plus ;
- tous les réactifs et tous les produits coexistent.

L'état final est appelé **état d'équilibre chimique**.

• Lors d'une transformation non totale, les réactifs réagissent entre eux pour former les produits, et simultanément les produits réagissent pour former les réactifs.

Une transformation non totale est modélisée par deux réactions opposées l'une de l'autre. L'équation s'écrit alors : $a\,A + b\,B \rightleftharpoons c\,C + d\,D$

Exemple : La transformation décrite dans le doc. A est non totale.

$Fe^{2+}(aq) + Ag^{+}(aq) \rightarrow Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$

$Fe^{2+}(aq) + Ag^{+}(aq)$ — $Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$

$Fe^{3+}(aq) + Ag(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + Ag^{+}(aq)$

Elle est modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit : $Fe^{2+}(aq) + Ag^{+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$.

b. Notion d'équilibre dynamique

• À l'échelle microscopique, lorsque l'état d'équilibre est atteint, les nombres moyens de chocs efficaces, par unité de temps, entre entités réactives d'une part et entre entités produites d'autre part sont égaux.

• À l'échelle macroscopique, l'état du système à l'équilibre semble ne plus évoluer car la vitesse d'apparition de toute espèce chimique intervenant dans l'équation de la réaction est égale à sa vitesse de disparition (doc. B).

Un état d'équilibre chimique est qualifié d'**équilibre dynamique**.

c. Taux d'avancement final

Le **taux d'avancement final** d'une réaction, noté τ (tau), est le quotient de l'avancement final par l'avancement maximal :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$$

(τ : sans unité ; x_f et x_{max} : en mol)

Le taux d'avancement peut s'exprimer en pourcent.

Le taux d'avancement final τ d'une réaction a pour valeur :
- $\tau = 1$, si la transformation est totale ($x_f = x_{max}$) ;
- $0 < \tau < 1$, si la transformation est non totale ($x_f < x_{max}$).

Exemple

Dans la transformation décrite dans le doc. A : $n_i(Fe^{2+}) = n_i(Ag^{+}) = 1{,}0$ mol, donc $x_{max} = 1{,}0$ mol.

À l'état d'équilibre : $n(Fe^{3+}) = n(Ag) = 0{,}6$ mol, donc $x_f = 0{,}60$ mol.

Le taux d'avancement final de la réaction est égal à : $\tau = \frac{0{,}60}{1{,}0} = 0{,}60 = 60\ \%$.

2 L'évolution spontanée d'un système

a. Quotient de réaction Q_r

INFO

Pour simplifier l'expression du quotient de réaction Q_r, il arrive d'omettre la concentration standard c° et d'écrire :

$$Q_r = \frac{[C]^c \times [D]^d}{[A]^a \times [B]^b}.$$

Q_r est cependant sans dimension.

- Le quotient de réaction Q_r est une grandeur sans unité qui caractérise le système chimique dans un état donné.

Pour une réaction chimique en solution aqueuse d'équation :

$$a\,A(aq) + b\,B(aq) \rightleftharpoons c\,C(aq) + d\,D(aq)$$

Le **quotient de réaction Q_r** s'écrit dans un état donné du système :

$$Q_r = \frac{\left(\frac{[C]}{c^\circ}\right)^c \times \left(\frac{[D]}{c^\circ}\right)^d}{\left(\frac{[A]}{c^\circ}\right)^a \times \left(\frac{[B]}{c^\circ}\right)^b}$$

[C] et [D] : concentrations des produits en $mol \cdot L^{-1}$
c et d : nombres stœchiométriques associés aux produits
[A] et [B] : concentrations des réactifs en $mol \cdot L^{-1}$
a et b : nombres stœchiométriques associés aux réactifs
avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$

INFO

L'eau n'est pas toujours le solvant. Lors de synthèse en chimie organique, elle peut, en effet, jouer le rôle de réactif ou de produit, elle figure alors dans l'expression du Q_r.

- Par convention, l'eau, solvant, n'intervient pas dans l'écriture du quotient de réaction même si elle figure dans l'équation de la réaction. Il en est de même pour une espèce solide non miscible.

Exemple : Le quotient de réaction Q_r associé à l'équation est :

$$S_2O_3^{2-}(aq) + 2\,H_3O^+(aq) \rightleftharpoons S(s) + SO_2(aq) + 3\,H_2O(\ell)$$

$$Q_r = \frac{[SO_2]^1}{[S_2O_3^{2-}]^1 \times [H_3O^+]^2}$$

Le soufre solide, S(s), et l'eau $H_2O(\ell)$ solvant n'interviennent pas dans l'expression du Q_r.

INFO

- Si la constante d'équilibre est très grande, $K > 10^4$, la transformation est considérée comme totale.
- Si la disparition d'un réactif intervient alors que la valeur du quotient de réaction Q_r n'a pas atteint K, la réaction est totale.

b. Constante d'équilibre K

À l'état d'équilibre, le **quotient de réaction $Q_{r,éq}$** associé à une équation de réaction est indépendant de la composition initiale du système. Cette grandeur ne dépend que de la température ; elle est appelée **constante d'équilibre** et elle est notée K :

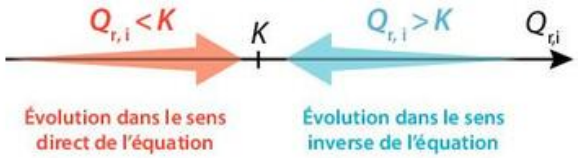
$$K = Q_{r,éq}$$



c. Prévision du sens de l'évolution spontanée

- Tout système chimique, hors équilibre, évolue spontanément vers un état d'équilibre.
- À une température donnée, la comparaison du quotient de réaction dans l'état initial $Q_{r,i}$ à la constante d'équilibre K permet de prévoir le sens d'évolution spontanée du système.

$$a\,A(aq) + b\,B(aq) \underset{\text{sens inverse}}{\overset{\text{sens direct}}{\rightleftharpoons}} c\,C(aq) + d\,D(aq)$$



C Sens d'évolution

$[Ag^+]_i = 5{,}0 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$
$[Fe^{2+}]_i = 1{,}0 \times 10^{-1}\ mol \cdot L^{-1}$
$[Fe^{3+}]_i = 5{,}0 \times 10^{-4}\ mol \cdot L^{-1}$



$Q_{r,i} < K = 3{,}2$: le système évolue dans le sens direct : des particules d'argent Ag(s) se forment, la solution est trouble.

Exemple : Pour la réaction d'équation : $Fe^{2+}(aq) + Ag^+(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$, la constante d'équilibre à 25 °C vaut $K = 3{,}2$.
Le quotient de réaction dans l'état initial $Q_{r,i}$ du système décrit dans le doc. C est :

$$Q_{r,i} = \frac{[Fe^{3+}]_i \times c^\circ}{[Fe^{2+}]_i \times [Ag^+]_i} = \frac{5{,}0 \times 10^{-4}}{1{,}0 \times 10^{-2} \times 5{,}0 \times 10^{-1}} = 0{,}10 < K$$

Évolution dans le sens direct de l'équation (→)

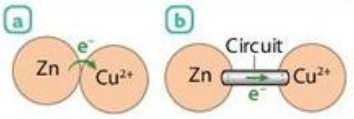
Cours

3 Le transfert spontané d'électrons

Pile électrochimique

VIDÉO DE COURS

D Transfert spontané d'électrons

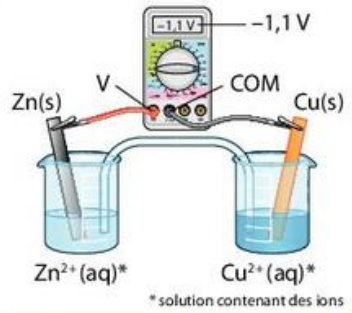


Transfert direct a.
Transfert par un circuit extérieur b.

INFO

Si dans un couple, le réducteur n'est pas métallique, pour assurer la conduction électrique et former une demi-pile, une électrode inerte (en platine ou en carbone), doit être ajoutée.

E Mesure de tension



* solution contenant des ions

Tension affichée sur le voltmètre	Électrode reliée à la borne V du voltmètre
positive	positive
négative	négative

La mesure de la tension à vide permet de déterminer la polarité de la pile. Ici l'électrode de zinc est la borne ⊖.

INFO

Les porteurs de charge sont :
– des électrons dans les parties métalliques ;
– des ions dans les solutions.

a. Réaction d'oxydo-réduction

• Une transformation spontanée modélisée par une réaction d'oxydo-réduction s'accompagne d'un transfert d'électrons :
– direct si l'oxydant et le réducteur sont en contact (schéma D a) ;
– par un circuit extérieur si les réactifs ne sont pas en contact. Le système se comporte alors comme un générateur ou une pile (schéma D b).

b. Constitution d'une pile

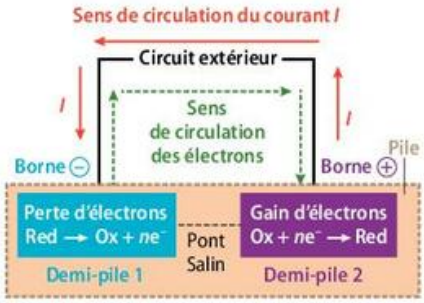
• Une **pile** est constituée de **deux compartiments** distincts, appelés **demi-piles**, contenant chacun un couple oxydant-réducteur, généralement du type $M^{n+}(aq) / M(s)$. Les deux compartiments sont reliés par un **pont salin**. La plaque métallique M (s) est appelée **électrode** (INFO).

• Une **pile** convertit **l'énergie chimique** en **énergie électrique**.

c. Fonctionnement d'une pile

• La mesure de la tension aux bornes de la pile permet d'en déterminer la polarité (doc. E). Cette tension est appelée **tension à vide**.

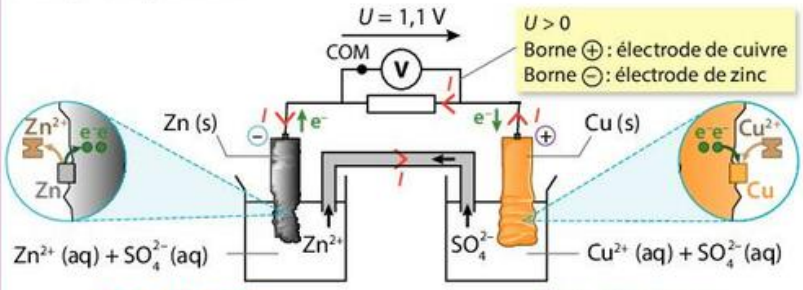
• À l'extérieur de la pile, le courant électrique est un déplacement d'ensemble des électrons qui circulent de la borne négative vers la borne positive. Dans les solutions, la conduction électrique est assurée par les ions. Le sens conventionnel du courant est inverse de celui des électrons.



À la **borne négative**, des électrons sont cédés par le réducteur métallique : la réaction électrochimique est une **oxydation**.
À la **borne positive**, des électrons sont captés par l'oxydant : la réaction électrochimique est une **réduction**.

• L'équation de la **réaction de fonctionnement de la pile** est établie en combinant les deux **réactions électrochimiques** aux électrodes.

Exemple : La pile Daniell



Perte d'électrons
$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ (oxydation)

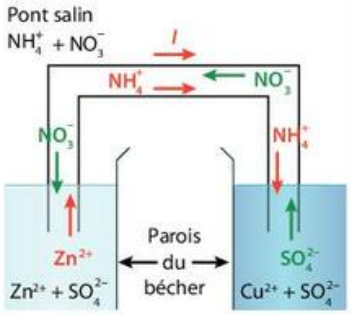
Gain d'électrons
$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$ (réduction)

L'équation de la réaction de fonctionnement de la pile s'écrit :

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

À 25 °C, la constante d'équilibre associée à l'équation est $K = 10^{37}$. La transformation est considérée comme totale.

F **Déplacement des porteurs de charge dans le pont salin**



> Les ions ammonium NH_4^+ se déplacent dans le sens conventionnel du courant et les ions nitrate NO_3^- dans le sens inverse.

d. Rôle du pont salin

Le pont salin contient généralement une solution aqueuse ionique gélifiée. Il relie les deux demi-piles et a pour fonction :
– de fermer le circuit pour assurer la circulation du courant ;
– d'assurer la neutralité électrique des solutions (doc. F).

e. Caractéristique d'une pile

- Une pile qui débite est un système **hors état d'équilibre : $Q_r \neq K$.**
- Une pile « usée », qui ne débite pas de courant est un système **à l'état d'équilibre : $Q_r = K$.**

- Pour adapter la pile à l'usage souhaité, il convient d'évaluer sa capacité électrique Q_{max}.

La **capacité** électrique d'une pile est la charge électrique maximale que la pile peut débiter durant toute sa durée de vie :

Capacité de la pile en coulomb C : $Q_{max} = n(e^-)_{max} \times N_A \times e$
- $n(e^-)_{max}$: Quantité maximale d'électrons échangés en mol
- $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$: Constante d'Avogadro en mol^{-1}
- $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C : Charge élémentaire en C

- La quantité maximale $n(e^-)_{max}$ d'électrons échangés se détermine à partir de la quantité du réactif limitant.

Exemple : D'après l'équation de la réaction électrochimique du réactif limitant (doc. G) : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$,

$$\frac{n(e^-)_{max}}{2} = n(Cu^{2+}) \text{ donc } Q_{max} = n(e^-)_{max} \times N_A \times e = 2 \times n_i(Cu^{2+}) \times N_A \times e$$

$$Q_{max} = 2 \times 0{,}050\ mol \times 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1} \times 1{,}6 \times 10^{-19}\ C = \mathbf{9{,}6 \times 10^3\ C}$$

f. Les oxydants et les réducteurs usuels

- Pour optimiser les piles, il convient de choisir comme électrode des métaux très réducteurs cédant facilement des électrons.
- Les **métaux** dont les éléments appartiennent aux **colonnes 1 et 2 (bloc s)** du tableau périodique sont **très réducteurs**, car ils perdent très facilement 1 ou 2 électrons pour atteindre la configuration électronique de valence d'un gaz noble.

Exemple : Les piles au lithium Li(s) ont des propriétés remarquables : grande capacité électrique, tension à vide élevée.

- Le dihydrogène $H_2(g)$ ou les autres métaux (zinc, etc.) sont aussi de bons réducteurs.
- Un bon oxydant est une espèce chimique capable de capter facilement des électrons.

Quelques oxydants à connaître :

Espèce oxydante	Nom de l'espèce	Milieu
$O_2(g)$	Dioxygène	Air
$C\ell O^-(aq)$	Ion hypochlorite	Eau de Javel
$C\ell_2(g)$	Dichlore	
Acide ascorbique	Vitamine C	Agrumes

ATTENTION !

Il ne faut pas confondre le quotient de réaction, noté Q_r et sans dimension, avec la capacité électrique d'une pile, notée Q_{max} et exprimée en coulomb C.

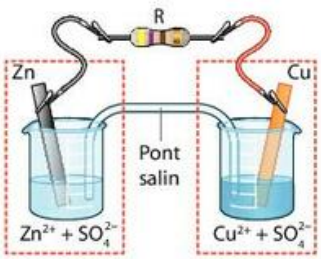
INFO



La capacité des piles ou accumulateurs trouvés dans le commerce s'exprime en mAh car Q_{max} est fonction de la durée Δt et de l'intensité du courant I délivré :

$Q_{max} = I \times \Delta t$
- Q en mAh
- Δt en h
- I en mA

G **Capacité électrique d'une pile**



$n_i(Zn) = 0{,}39$ mol $\quad n_i(Cu) = 0{,}39$ mol
$n_i(Zn^{2+}) = 0{,}050$ mol $\quad n_i(Cu^{2+}) = 0{,}050$ mol

Équation de fonctionnement :
$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$
$K = 10^{37} \Rightarrow$ Transformation totale
La capacité électrique Q_{max} est égale à $\mathbf{9{,}6 \times 10^3\ C}$.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

- VIDÉOS DE COURS
  - Équations d'oxydoréduction
  - Tableau d'avancement
  - Pile électrochimique
- QCM
  Version interactive

1 La transformation non totale

Taux d'avancement

$\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}}$ (sans unité / mol)

Transformation totale

$x_f \approx x_{max}$ ou $\tau = 1$

$a\,A(aq) + b\,B(aq) \rightarrow c\,C(aq) + d\,D(aq)$

Transformation non totale

$x_f < x_{max}$ ou $0 < \tau < 1$

$a\,A(aq) + b\,B(aq) \underset{\text{sens inverse}}{\overset{\text{sens direct}}{\rightleftharpoons}} c\,C(aq) + d\,D(aq)$

2 L'évolution spontanée d'un système

Système chimique

$a\,A(aq) + b\,B(aq) \rightleftharpoons c\,C(aq) + d\,D(aq)$

- Quotient de réaction Q_r (sans unité) :

$$Q_r = \frac{\left(\frac{[C]}{c^\circ}\right)^c \times \left(\frac{[D]}{c^\circ}\right)^d}{\left(\frac{[A]}{c^\circ}\right)^a \times \left(\frac{[B]}{c^\circ}\right)^b}$$

- Constante d'équilibre K (sans unité) : $K = Q_{r,éq}$

Hors état d'équilibre

$Q_r \neq K$

Évolution vers un état d'équilibre :

$a\,A(aq) + b\,B(aq) \underset{\text{sens inverse}}{\overset{\text{sens direct}}{\rightleftharpoons}} c\,C(aq) + d\,D(aq)$

$Q_{r,i} < K$: évolution dans le sens direct de l'équation

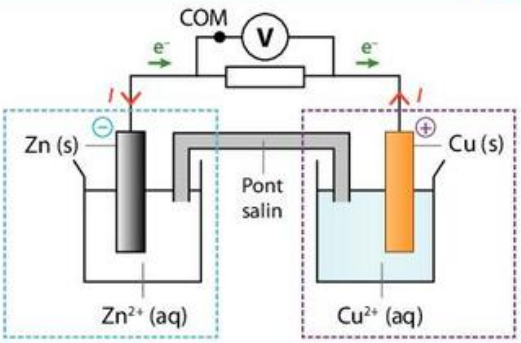
$Q_{r,i} > K$: évolution dans le sens inverse de l'équation

État d'équilibre

$Q_{r,éq} = K$

3 Le transfert spontané d'électrons

Fonctionnement d'une pile



1. Le signe de la tension lue indique la polarité de la pile.
2. Dans le circuit extérieur à la pile, les électrons circulent de la borne ⊖ à la borne ⊕. Le sens conventionnel du courant est inverse.
3. Borne ⊕ : gain d'électrons, donc réduction.
   Borne ⊖ : perte d'électrons, donc oxydation.
4. Capacité électrique Q_{max} :

$$Q_{max} = n(e^-)_{max} \times N_A \times e$$

(C ; mol ; mol^{-1} ; C)

5. Le pont salin assure la neutralité des solutions et ferme le circuit.

Réducteurs usuels

- Métaux

Exemples : métaux du bloc s, tel que le lithium Li(s).

- Dihydrogène H_2 (g).

Oxydants usuels

Dioxygène O_2 (g) ; dichlore $C\ell_2$ (g) ; acide ascorbique ; ion hypochlorite $C\ell O^-$ (aq).

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 La transformation non totale

Si erreur, revoir § 1, p. 136.

	A	B	C
1. On mélange 1 mol d'ions fer (II) $Fe^{2+}(aq)$ et 2 mol d'ions argent $Ag^{+}(aq)$. On obtient 0,80 mol d'ions fer (III) $Fe^{3+}(aq)$. Donnée : $Fe^{2+}(aq) + Ag^{+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$	La transformation est non totale.	La transformation est modélisée par deux réactions opposées l'une de l'autre.	La transformation est totale.
2. Le taux d'avancement final de la réaction décrite en **1.** vaut :	$\tau = \frac{0,80}{1,0} = 0,80$.	$\tau = \frac{1,0}{0,80} = 1,2$.	$\tau = 80\ \%$.
3. À l'état d'équilibre de la transformation décrite en **1.** :	$v_{app}(Fe^{3+}) = v_{disp}(Fe^{3+})$	microscopiquement, il n'y a plus de réaction.	le système chimique n'évolue plus.

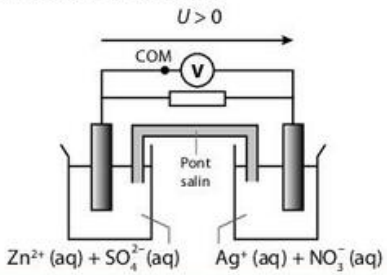
2 L'évolution spontanée d'un système

Si erreur, revoir § 2, p. 137.

	A	B	C
4. Le quotient de la réaction Q_r :	s'exprime en $mol \cdot L^{-1}$.	dépend de l'écriture de l'équation de la réaction.	varie au cours de la transformation.
5. Soit l'équation : $Cu^{2+}(aq) + 2\,Ag(s) \rightleftharpoons Cu(s) + 2\,Ag^{+}(aq)$ Le quotient de réaction associé s'écrit :	$Q_r = \frac{[Cu^{2+}] \times c^\circ}{[Ag^{+}]^2}$.	$Q_r = \frac{[Ag^{+}]^2}{[Cu^{2+}] \times c^\circ}$.	$Q_r = \frac{[Ag^{+}]^2 \times [Cu]}{[Cu^{2+}] \times [Ag]^2}$.
6. Soit l'équation : $CH_3CO_2H(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CH_3CO_2^{-}(aq) + H_3O^{+}(aq)$ À 25 °C, la constante d'équilibre associée est $K = 6,3 \times 10^4$. Le quotient de réaction à l'état initial $Q_{r,i}$ d'un système est égal à $3,0 \times 10^5$.	La transformation évolue dans le sens direct de l'équation.	La transformation évolue dans le sens inverse de l'équation.	La transformation n'évolue pas car l'état d'équilibre est atteint.

3 Le transfert spontané d'électrons

Si erreur, revoir § 3, p. 138.

	A	B	C
7. Lors de son fonctionnement, la pile décrite ci-dessous : 	évolue par transfert direct d'électrons entre ses réactifs.	évolue vers un état d'équilibre.	évolue par transfert indirect d'électrons.
8. Dans la pile décrite en **7.**, les électrons circulent :	de l'électrode de zinc vers l'électrode d'argent.	de l'électrode d'argent vers l'électrode de zinc.	dans les solutions.
9. Pour la pile décrite en **7.**, l'équation de la réaction électrochimique s'écrit :	$Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Zn(s)$ sur l'électrode de zinc.	$Zn(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$ sur l'électrode de zinc.	$Ag^{+}(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$ sur l'électrode d'argent.
10. L'équation de la réaction de fonctionnement de la pile décrite en **7.** est :	$Zn^{2+}(aq) + 2\,Ag(s) \rightarrow Zn(s) + 2\,Ag^{+}(aq)$	$Zn(s) + 2\,Ag^{+}(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,Ag(s)$	$2\,Zn(s) + Ag^{+}(aq) \rightarrow 2\,Zn^{2+}(aq) + Ag(s)$
11. Un réducteur usuel peut être du :	dioxygène $O_2(g)$.	dihydrogène $H_2(g)$.	dichlore $C\ell_2(g)$.

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Déterminer le caractère total ou non total d'une transformation.	**Réflexe 1** Ex. 5 p. 144 **Déterminer** l'avancement maximal x_{max} et l'avancement final x_f en s'aidant éventuellement d'un tableau d'avancement. **Calculer** le taux d'avancement final τ et conclure : – si $\tau = 1$, la transformation est totale ; – si $\tau < 1$, la transformation est non totale.
Déterminer le sens d'évolution spontanée d'un système.	**Réflexe 2** Ex. 9 p. 145 **Exprimer**, puis calculer le quotient de réaction à l'état initial $Q_{r,i}$. **Comparer** $Q_{r,i}$ à la constante d'équilibre K : $Q_{r,i} < K$: Évolution dans le sens direct de l'équation $Q_{r,i} > K$: Évolution dans le sens inverse de l'équation
Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement d'une pile à partir de la mesure de la tension à vide.	**Réflexe 3** Ex. 13 p. 146 **Déterminer**, à partir du signe de la tension à vide la polarité de la pile. **En déduire** le sens de circulation des électrons dans le circuit extérieur. **Écrire** les équations des réactions électrochimiques aux électrodes : – à l'électrode positive, les électrons sont consommés, une réduction se produit ; – à l'électrode négative, les électrons sont formés, une oxydation se produit. **Écrire** l'équation de réaction de fonctionnement de la pile en combinant les deux équations des réactions électrochimiques de sorte que le bilan des électrons soit nul.
Déterminer la capacité électrique maximale Q_{max} d'une pile à partir de sa constitution initiale.	**Réflexe 4** Ex. 15 p. 146 **Identifier** le réactif limitant. Pour une pile, la transformation est totale. **Écrire** la relation entre la quantité maximale d'électrons échangés $n(e^-)_{max}$ et la quantité du réactif limitant à partir de l'équation de la réaction électrochimique liée au réactif limitant. **Calculer** la capacité électrique maximale Q_{max} de la pile.

1 Exercice résolu

Préparer une suspension de sulfate de baryum

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.

Le sulfate de baryum $BaSO_4$, opaque aux rayons X, est utilisé en radiologie. À 25 °C, on prépare une solution de volume $V = 2{,}0$ L en introduisant une masse $m = 5{,}0$ g de $BaSO_4(s)$ dans de l'eau. La dissolution du sulfate de baryum dans l'eau a pour équation : $BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$

1. Montrer, qu'à 25 °C, du sulfate de baryum $BaSO_4(s)$ se dissout.

2. À l'état final, $[Ba^{2+}]_f = 1{,}1 \times 10^{-5}$ mol·L^{-1}. En déduire que la transformation n'est pas totale.

Données

Constante d'équilibre à 25 °C : $K = 10^{-9{,}9}$; $M(BaSO_4) = 233{,}4$ g·mol^{-1}.



> Radiographie d'un intestin grâce à l'utilisation du sulfate de baryum.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 2.**

Expression et calcul de $Q_{r,i}$

1. Sachant que $[Ba^{2+}]_i = [SO_4^{2-}]_i = 0$, le quotient de réaction à l'état initial est égal à :

$$Q_{r,i} = \frac{[Ba^{2+}]_i \times [SO_4^{2-}]_i}{(c^\circ)^2} = 0$$

Comparaison de Q_r avec K

À 25 °C, le système évolue dans le sens direct de l'équation de la réaction car $Q_{r,i} < K$. **Du sulfate de baryum se dissout.**

• **On utilise le Réflexe 1.**

Détermination de x_f et x_{max}

2. L'avancement final est égal à :

$x_f = [Ba^{2+}]_f \times V = 1{,}1 \times 10^{-5}$ mol·L^{-1} × 2,0 L = $2{,}2 \times 10^{-5}$ mol

L'avancement maximal est : $x_{max} = \dfrac{m}{M(BaSO_4)} = \dfrac{5{,}0\ \text{g}}{233{,}4\ \text{g·mol}^{-1}} = 2{,}1 \times 10^{-2}$ mol

Calcul de τ

Le taux d'avancement est : $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}} = \dfrac{2{,}2 \times 10^{-5}\ \text{mol}}{2{,}1 \times 10^{-2}\ \text{mol}} = 1{,}0 \times 10^{-3}$

$\tau < 1$: **la transformation n'est pas totale.**

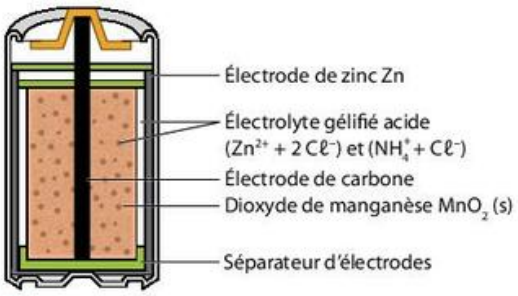
2 Exercice résolu

Une pile saline utilisable pour observer les étoiles ?

Utiliser un modèle pour expliquer ; comparer à une valeur de référence.

Afin d'éviter la buée sur les optiques des télescopes, les astronomes amateurs utilisent des résistances chauffantes. Pour fonctionner, l'une d'elles nécessite une quantité d'électricité $Q = 6$ Ah.
Des astronomes veulent alimenter cette résistance à l'aide d'une pile saline décrite ci-contre. Cette pile saline contient entre autres, 3,5 g de zinc Zn(s) et 4,9 g de dioxyde de manganèse MnO_2(s) en poudre. En branchant la borne COM sur l'électrode de carbone C(s), la tension mesurée est égale à −1,5 V.

1. Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile saline.
2. Déterminer la capacité électrique Q_{max} de cette pile.
3. La pile saline permet-elle aux astronomes amateurs d'alimenter la résistance chauffante ?



La pile saline fait intervenir les couples oxydant /réducteur Zn^{2+}(aq) / Zn(s) et MnO_2(s) / MnO_2H(s).

Données

- L'électrode de carbone C(s) inerte est ajoutée pour assurer la conduction électrique du dioxyde de manganèse.
- Charge élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.
- 1 Ah = 3 600 C.
- Masses molaires :
$M(Zn) = 65{,}4$ g·mol^{-1} ; $M(MnO_2) = 86{,}9$ g·mol^{-1}.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 3.**

Détermination de la polarité de la pile

1. L'électrode de carbone graphite est la borne positive de la pile car elle a été branchée à la borne COM du voltmètre et la tension mesurée est négative.

Détermination du sens de circulation des électrons

Les électrons circulent donc de l'électrode de zinc vers l'électrode de carbone.

Écriture des équations des réactions électrochimiques

L'électrode de zinc fournit les électrons au circuit extérieur, le zinc s'oxyde. L'équation de la réaction électrochimique s'écrit :

$$Zn\,(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$$

À l'électrode de carbone graphite, les électrons arrivent et sont captés par le dioxyde de manganèse MnO_2(s) qui est réduit. L'équation de la réaction électrochimique s'écrit : $MnO_2\,(s) + H^+(aq) + 1\,e^- \rightarrow MnO_2H\,(s)$

Écriture de l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile

En combinant les deux équations des réactions électrochimiques, l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile s'écrit :

$$Zn\,(s) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,e^-$$

$$\frac{MnO_2\,(s) + H^+(aq) + 1\,e^- \rightarrow MnO_2H\,(s) \quad (\times 2)}{}$$

$$\mathbf{Zn\,(s) + 2\,MnO_2\,(s) + 2\,H^+(aq) \rightarrow Zn^{2+}(aq) + 2\,MnO_2H\,(s)}$$

• **On utilise le Réflexe 4.**

Détermination du réactif limitant

2. Les quantités initiales de réactifs sont :

$$n_i(Zn) = \frac{m(Zn)}{M(Zn)} = \frac{3{,}5\ g}{65{,}4\ g\cdot mol^{-1}} = 5{,}4 \times 10^{-2}\ mol$$

et $n_i(MnO_2) = \dfrac{m(MnO_2)}{M(MnO_2)} = \dfrac{4{,}9\ g}{86{,}9\ g\cdot mol^{-1}} = 5{,}6 \times 10^{-2}$ mol

Le dioxyde de manganèse MnO_2(s) est le réactif limitant car $\dfrac{n_i(Zn)}{1} > \dfrac{n_i(MnO_2)}{2}$.

Écriture de la relation entre $n(e^-)_{max}$ et n(réactif limitant)

D'après l'équation de la réaction électrochimique :
$MnO_2\,(s) + H^+(aq) + e^- \rightarrow MnO_2H\,(s)$, on a $n(e^-)_{max} = n_i(MnO_2)$.

Calcul de la capacité électrique maximale Q_{max}

Donc $Q_{max} = n(e^-)_{max} \times N_A \times e = n_i(MnO_2) \times N_A \times e$

$Q_{max} = 5{,}6 \times 10^{-2}\ mol \times 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1} \times 1{,}6 \times 10^{-19}\ C = 5{,}4 \times 10^3\ C$

soit $Q_{max} = \dfrac{5{,}4 \times 10^3\ C \times 1\ Ah}{3\,600\ C}$ donc $\mathbf{Q_{max} = 1{,}5\ Ah}$.

3. $Q_{max} < Q$, donc les astronomes amateurs ne peuvent pas alimenter la résistance chauffante avec une unique pile saline.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Relier le caractère non total d'une transformation à la présence, à l'état final du système, de tous les réactifs et de tous les produits.	3	21	27
Mettre en évidence la présence de tous les réactifs dans l'état final d'un système siège d'une transformation non totale.	3	21	27
Déterminer le sens d'évolution spontanée d'un système.	9	21	27
Déterminer un taux d'avancement final et le relier au caractère total ou non total de la transformation.	5	21	27
Déterminer la valeur du quotient de réaction à l'état final d'un système	9	21	27
Illustrer un transfert spontané d'électrons. Justifier l'utilisation d'un pont salin.		26	28
Modéliser et schématiser le fonctionnement d'une pile.	13	26	28
Déterminer la capacité électrique d'une pile.	15	26	28
Citer des oxydants et des réducteurs usuels.	17	26	28

1 La transformation non totale

VIDÉO DE COURS **Équation d'oxydoréduction – QR Code p. 140**

3 Identifier la présence de réactifs CORRIGÉ

Exploiter des observations.

Dans un tube à essai, verser une solution de nitrate de calcium et ajouter une solution d'hydroxyde de sodium. Un précipité blanc d'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2(s)$ se forme (a).



La solution est filtrée (b) puis versée dans deux tubes à essai. Sont ajoutés respectivement, dans le premier tube, 1 mL de solution d'hydroxyde de sodium (test (c)) et dans le second tube, 1 mL de solution de nitrate de calcium (test (d)).

1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation correspondant au tube (a).
2. Interpréter les résultats des tests (c) et (d).
3. Conclure quant au caractère total ou non de la transformation correspondant au tube (a).

4 Caractériser une transformation

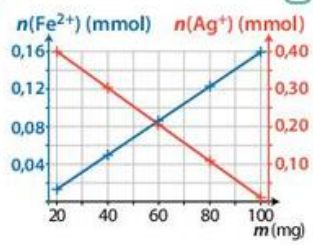
Exploiter des graphiques.

À 50,0 mL d'une solution de nitrate d'argent telle que $[Ag^+] = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}, sont ajoutés, plusieurs fois, une masse $m_0 = 20$ mg de sulfate de fer (II) $FeSO_4(s)$. Ces ajouts se font sans variation de volume. De l'argent $Ag(s)$ et des ions fer (III) Fe^{3+} se forment.

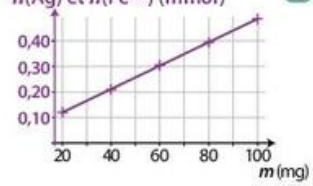
Les graphes (a) et (b) indiquent l'évolution des quantités des différentes espèces en fonction de la masse m introduite.

1. Écrire l'équation de la réaction.
2. Conclure quant au caractère total ou non de la transformation.

(a)



(b)



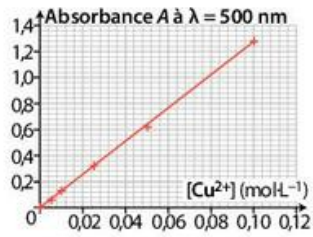
Données

- $M(FeSO_4) = 151{,}9$ g·mol^{-1}.
- $Ag^+(aq)/Ag(s)$ et $Fe^{3+}(aq)/Fe^{2+}(aq)$.

5 Déterminer un taux d'avancement final CORRIGÉ

Exploiter des graphiques ; mobiliser ses connaissances.

Un fil de cuivre $Cu(s)$ de masse $m_{Cu} = 5{,}0$ g est plongé dans une solution de volume $V = 100$ mL contenant des ions argent $Ag^+(aq)$ telle que $[Ag^+] = 0{,}075$ mol·L^{-1}. La solution se colore en bleu et un dépôt d'argent se forme sur le cuivre. L'absorbance, à $\lambda = 800$ nm, de la solution obtenue est égale à 0,47.



1. Écrire l'équation de la réaction.
2. À l'aide du taux d'avancement, conclure au caractère total ou non de la transformation. Utiliser le réflexe 1

Données

$Ag^+(aq) / Ag(s)$; $Cu^{2+}(aq) / Cu(s)$; $M(Cu) = 63{,}5$ g·mol^{-1}.

6 Calculer un taux d'avancement final

Exploiter des mesures ; faire des calculs.

Un volume $V_A = 1{,}00$ mL d'acide éthanoïque pur est versé dans une fiole jaugée de volume $V = 500{,}0$ mL. On ajuste au trait de jauge avec de l'eau distillée. Le pH de la solution est égal à 3,1.

Acide éthanoïque

CH_3COOH

$M = 60{,}0\ g \cdot mol^{-1}$

$d = 1{,}05$



L'acide éthanoïque réagit avec l'eau suivant la réaction d'équation :

$$CH_3CO_2H\,(aq) + H_2O\,(\ell) \rightleftharpoons CH_3CO_2^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

1. Calculer l'avancement maximal de la réaction.
2. Calculer le taux d'avancement final.
3. Conclure quant au caractère total ou non de la transformation.

2 L'évolution spontanée d'un système

VIDÉO DE COURS **Tableau d'avancement – QR Code p. 140**

7 Exprimer un quotient de réaction

CORRIGÉ

Organiser ses connaissances.

Soient les équations des réactions suivantes :

$$PbO\,(s) + H_2O\,(\ell) \rightleftharpoons Pb^{2+}\,(aq) + 2\,HO^-\,(aq) \quad (1)$$

$$2\,PbO\,(s) + 2\,H_2O\,(\ell) \rightleftharpoons 2\,Pb^{2+}\,(aq) + 4\,HO^-\,(aq) \quad (2)$$

1. Exprimer les quotients de réaction Q_{r1} et Q_{r2} associés aux équations (1) et (2).
2. L'expression du quotient de réaction dépend-elle de l'écriture de l'équation de réaction ?

8 Lier équation et quotient de réaction

Mobiliser ses connaissances.

Parmi les expressions données ci-dessous, associer un quotient de réaction à une équation de réaction.

1. $Cu^{2+}\,(aq) + 2\,Ag\,(s) \rightleftharpoons Cu\,(s) + 2\,Ag^+\,(aq)$
2. $Cu(OH)_2\,(s) \rightleftharpoons Cu^{2+}\,(aq) + 2\,HO^-\,(aq)$

$$\frac{[Cu^{2+}] \times c^\circ}{[Ag^+]^2} \; ; \; \frac{[Ag^+]^2}{[Cu^{2+}] \times c^\circ} \; ; \; \frac{[Cu^{2+}] \times [HO^-]^2}{(c^\circ)^3}$$

9 Prévoir le sens d'évolution spontanée

CORRIGÉ

Effectuer des calculs ; utiliser un modèle pour prévoir.

À un volume $V = 20$ mL d'une solution de nitrate de plomb (II) telle que $[Pb^{2+}] = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} est ajouté, sans variation de volume, à 25 °C, 200 mg de poudre d'étain Sn (s).

À l'état final, $[Sn^{2+}]_f = 2{,}5 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1}. À 25 °C, la constante d'équilibre K associée à l'équation de la réaction est égale à 0,33.

1. Écrire l'équation de la réaction modélisant la transformation.
2. Calculer la valeur du quotient de réaction à l'état initial du système considéré.
3. En déduire le sens d'évolution spontanée du système.

Utiliser le réflexe 2

4. Calculer la valeur du quotient de réaction à l'état final du système. Conclure.

Données

- Couples : $Pb^{2+}\,(aq) / Pb\,(s)$; $Sn^{2+}\,(aq) / Sn\,(s)$.
- $M(Sn) = 118{,}7\ g \cdot mol^{-1}$.

10 Évaluer une constante d'équilibre

Effectuer des calculs ; utiliser un modèle pour prévoir.

À 25 °C, dans une fiole jaugée de 250,0 mL, sont dissous totalement une masse $m_1 = 1{,}21$ g de nitrate de fer (III) nonahydraté $Fe(NO_3)_3, 9\,H_2O\,(s)$, une masse $m_2 = 0{,}87$ g de sulfate de fer (II) heptahydraté $FeSO_4, 7\,H_2O\,(s)$, une masse $m_3 = 0{,}64$ g de nitrate d'argent $AgNO_3\,(s)$ et de la poudre d'argent $Ag\,(s)$ est ajoutée. On complète au trait de jauge avec de l'eau distillée. La transformation est modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit :

$$Fe^{3+}\,(aq) + Ag\,(s) \rightleftharpoons Fe^{2+}\,(aq) + Ag^+\,(aq)$$

1. Calculer le quotient de réaction à l'état initial $Q_{r,i}$.
2. Sachant que la masse d'argent diminue, comparer la constante d'équilibre K, à 25 °C, au quotient de réaction à l'état initial.
3. À 25 °C, dans un erlenmeyer, sont ajoutées les solutions suivantes :

Solutions	$Fe^{3+}\,(aq) + 3\,NO_3^-\,(aq)$	$Fe^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$	$Ag^+\,(aq) + NO_3^-\,(aq)$
C (mol·L^{-1})	$1{,}0 \times 10^{-4}$	$5{,}0 \times 10^{-2}$	$1{,}0 \times 10^{-2}$
V (mL)	30,0	50,0	20,0

De l'argent $Ag\,(s)$ se forme. Déterminer un encadrement de la constante d'équilibre K.

Données

$M(Fe(NO_3)_3) = 241{,}9\ g \cdot mol^{-1}$; $M(FeSO_4) = 151{,}9\ g \cdot mol^{-1}$; $M(AgNO_3) = 169{,}9\ g \cdot mol^{-1}$; $M(H_2O) = 18{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

3 Le transfert spontané d'électrons

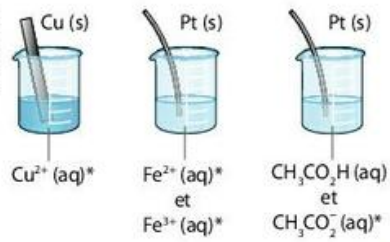
VIDÉO DE COURS **Pile électrochimique – QR Code p. 140**

11 Reconnaître des demi-piles

CORRIGÉ

Mobiliser ses connaissances.

- Les systèmes suivants peuvent-il correspondre à des demi-piles ? Justifier.



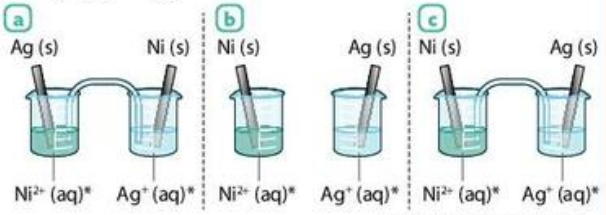
* solution contenant des ions…

Exercices — Appliquer le cours

12 Identifier une pile

Mobiliser ses connaissances.

• Parmi les schémas ci-dessous, indiquer celui (ou ceux) qui correspond(ent) à une pile argent-nickel constituée des couples oxydant/réducteur $Ag^+(aq)$ / $Ag(s)$ et $Ni^{2+}(aq)$ / $Ni(s)$.



* solution contenant des ions…

13 Identifier la polarité

CORRIGÉ

Exploiter des informations.

Une pile mettant en jeu les couples $Cd^{2+}(aq)$ / $Cd(s)$ et $Ag^+(aq)$ / $Ag(s)$ permet d'actionner une petite hélice. La tension mesurée est négative si la borne COM du voltmètre est reliée à l'électrode d'argent.

1. Schématiser le montage et préciser les bornes de la pile.

2. En déduire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile. Utiliser le réflexe 3

3. Déterminer si le transfert d'électrons est direct ou indirect.

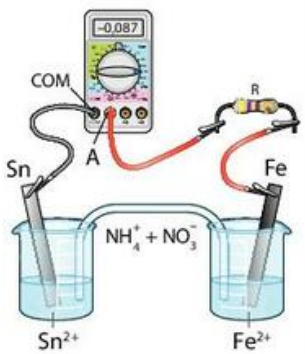
14 Utiliser un ampèremètre

Interpréter des mesures.

1. Déterminer le sens du courant dans le circuit extérieur de la pile ci-contre.

2. En déduire l'équation de la réaction de fonctionnement.

3. Justifier la stratégie de séparation des réactifs dans deux demi-piles.



Données

$Sn^{2+}(aq)$ / $Sn(s)$ et $Fe^{2+}(aq)$ / $Fe(s)$.

15 Déterminer la capacité électrique d'une pile

CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

Une pile est réalisée en associant :

– une plaque de nickel Ni(s) de masse $m = 25$ g plongeant dans 50,0 mL d'une solution sulfate de nickel telle que $[Ni^{2+}] = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol·L^{-1} ;

– une plaque d'argent Ag(s) plongeant dans 50,0 mL d'une solution de nitrate d'argent telle que $[Ag^+] = [Ni^{2+}]$.

Lors du fonctionnement de la pile, les ions argent Ag^+ sont réduits.

1. Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.

2. Déterminer la capacité électrique de la pile.

Utiliser le réflexe 4

Données

- $Ni^{2+}(aq)$ / $Ni(s)$ et $Ag^+(aq)$ / $Ag(s)$.
- $M(Ni) = 58{,}7$ g·mol^{-1}.
- $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} et $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.

16 Évaluer des variations de quantités

Effectuer des calculs.

La pile décrite dans l'exercice 15 est réalisée et fonctionne pendant 3,0 heures en débitant un courant d'intensité constante $I = 10$ mA.

1. Déterminer la quantité d'électricité débitée par la pile pendant 3,0 heures.

2. En déduire la variation de la masse de l'électrode de nickel et celle de la concentration en ion argent $Ag^+(aq)$ pour cette durée.

Données

- Relation entre l'intensité I (en A), la quantité d'électricité débitée Q (en C) et la durée de fonctionnement Δt (en s) : $Q = I \times \Delta t$.
- $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} et $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.
- $M(Ni) = 58{,}7$ g·mol^{-1}.

17 Identifier des oxydants et des réducteurs

CORRIGÉ

Restituer ses connaissances.

1. Les ions hypochlorite $C\ell O^-(aq)$ contenus dans l'eau de Javel sont-ils oxydants ou réducteurs ?

2. Citer un oxydant usuel ne contenant pas l'élément chlore.

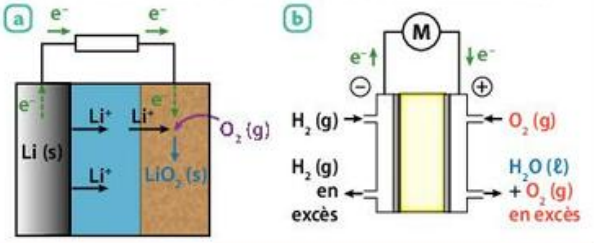
18 Identifier des oxydants et des réducteurs

Restituer ses connaissances.

1. Dans les piles schématisées ci-après, identifier les oxydants et les réducteurs usuels.

2. La configuration électronique d'un atome de lithium Li est $1s^2 2s^1$. Préciser le bloc du tableau périodique auquel appartient l'élément lithium.

3. Justifier le caractère réducteur du métal lithium.



19 Connaître les critères d'évaluation

Un écran alimenté avec un citron !

Effectuer des calculs ; mobiliser et organiser ses connaissances.

D'après Baccalauréat



Il est possible d'alimenter un écran à cristaux liquides avec des piles « citron ». Pour chaque pile, une pièce de monnaie en cuivre Cu(s) et un trombone recouvert de zinc Zn(s), sont piqués dans un citron dont le jus acide contient des ions hydrogène $H^+(aq)$. Chaque trombone est déplié et seule une longueur $L = 2$ cm est plantée dans le citron.

• La masse de zinc déposée sur chaque trombone permet-elle à la pile d'alimenter l'écran pendant une durée $\Delta t = 5$ min si l'intensité I du courant est égale à 10 mA ?

Données

- Le trombone peut être assimilé à un cylindre de rayon $R = 0{,}50$ mm, l'épaisseur de la couche de zinc est $e = 100$ µm.
- Surface de la couche de zinc en contact avec le citron : $S = 2 \times \pi \times R \times L + \pi \times R^2$.
- $M(Zn) = 65{,}4\ g \cdot mol^{-1}$; $\rho(Zn) = 7{,}14\ g \cdot cm^{-3}$.
- Relation entre l'intensité I (en A), la quantité d'électricité débitée Q (en C) et la durée de fonctionnement Δt (en s) : $Q = I \times \Delta t$.
- $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$ et $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.
- $Zn^{2+}(aq)$ / $Zn(s)$; $H^+(aq)$ / $H_2(g)$.

Critères de réussite

Conduite du calcul	
J'ai introduit les calculs par une phrase.	☐ ☐
J'ai écrit les expressions littérales avant d'effectuer l'application numérique.	☐ ☐
J'ai donné le résultat des calculs avec un nombre de chiffres significatifs et une unité adaptés.	☐ ☐

20 À chacun son rythme

Contamination au plomb

Exploiter des informations ; comparer à une valeur de référence.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Lorsqu'il est ingéré, l'élément plomb Pb a des effets graves sur le système nerveux central et sur le système digestif. Aussi l'eau potable ne doit-elle pas contenir plus de 50 mg d'ion plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$ par litre d'eau. Les ions plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$ peuvent réagir avec les ions sulfate $SO_4^{2-}(aq)$ présents également dans les eaux. La transformation est modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit :

$$Pb^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \rightleftharpoons PbSO_4(s)$$

Énoncé compact

Est-il envisageable d'éliminer les ions plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$ d'une eau potable par précipitation du sulfate de plomb $PbSO_4(s)$?

Énoncé détaillé

1. Calculer les concentrations maximales en quantité de matière en ions plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$ et sulfate $SO_4^{2-}(aq)$ qu'une eau peut contenir pour être qualifiée de potable.

2. Calculer, le quotient de réaction associé à l'équation.

3. À 25 °C, comparer la valeur du quotient de réaction à l'état initial à la constante d'équilibre K.

4. Est-il envisageable d'éliminer les ions plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$ par précipitation du sulfate de plomb $PbSO_4(s)$?

Données

- $M(Pb) = 207\ g \cdot mol^{-1}$; $M(SO_4^{2-}) = 96{,}1\ g \cdot mol^{-1}$.
- Constante d'équilibre, à 25 °C, de la réaction de précipitation : $K = 1{,}6 \times 10^{-3}$.
- La concentration maximale autorisée en ion sulfate $SO_4^{2-}(aq)$ dans une eau potable est égale à $250\ mg \cdot L^{-1}$.

21 La pluie d'or

CORRIGÉ

Exploiter et interpréter des observations.

Les ions iodure $I^-(aq)$ et plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$ réagissent pour former de l'iodure de plomb $PbI_2(s)$. La transformation est modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit :

$$Pb^{2+}(aq) + 2\,I^-(aq) \rightleftharpoons PbI_2(s).$$

À 25 °C, la constante d'équilibre est $K\ (25\ °C) = 7{,}4 \times 10^7$. On dissout totalement dans de l'eau distillée une masse $m_1 = 5{,}0$ g d'iodure de potassium KI(s) et une masse $m_2 = 5{,}0$ g de nitrate de plomb $Pb(NO_3)_2(s)$. Le volume de la solution est $V = 50{,}0$ mL.

1. Déterminer s'il se forme des cristaux d'iodure de plomb.

2. Lorsque le système n'évolue plus : $[Pb^{2+}]_{final} = 1{,}5 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$ et $[I^-]_{final} = 3{,}0 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$ Calculer le taux d'avancement final et le quotient de réaction $Q_{r,A}$ à l'état final A. Conclure.

3.a. Le mélange réactionnel (décrit en **2.**) est alors plongé dans un bain-marie thermostaté à 70 °C (état B). Indiquer la valeur du quotient de réaction $Q_{r,B}$ à 70 °C avant toute nouvelle transformation.

b. La solution devient alors limpide. D'après cette observation, à 70 °C, comparer $Q_{r,B}$ à la constante d'équilibre $K(70\ °C)$.

c. En déduire l'influence de la température sur la constante d'équilibre K de cette réaction.

4. La solution limpide est refroidie dans un bain de glace. Quand la solution change d'aspect, après agitation, une « pluie d'or » apparaît. Proposer une explication à la formation des cristaux d'iodure de plomb $PbI_2(s)$.



5. La solution est ensuite filtrée. Une pointe de spatule de nitrate de plomb est ajoutée au filtrat. À l'aide du quotient de réaction, discuter du sens d'évolution du système.

Données

$M(Pb(NO_3)_2) = 331\ g \cdot mol^{-1}$; $M(KI) = 166\ g \cdot mol^{-1}$.

22 Les avions hybrides

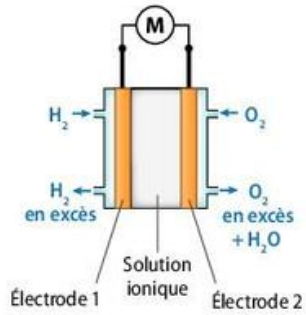
Utiliser un modèle pour décrire ; effectuer des calculs.

Des avionneurs s'intéressent à un concept d'avion hybride dont les trajets au sol seraient alimentés par une pile à combustible. Lors du freinage, une partie de l'énergie cinétique est convertie en énergie chimique, stockée sous forme de dihydrogène grâce à un dispositif situé dans la soute. Lors du roulage, le *processus inverse utilise le dihydrogène pour produire de l'électricité.*

D'après https://www.industrie-techno.com

1. Nommer le type de dispositif évoqué dans la dernière phrase en italique.

2. Ce dispositif est présenté ci-contre. Établir les équations des réactions électrochimiques se produisant aux électrodes 1 et 2.



3. Recopier le schéma du dispositif et indiquer le sens de circulation des électrons et le sens conventionnel du courant.

4. a. Le dispositif débite un courant d'intensité de valeur $I = 100$ A pendant $\Delta t = 8{,}0$ h. Calculer la charge électrique Q débitée.

b. Calculer la masse de dihydrogène gazeux consommé.

c. En déduire le volume de dihydrogène consommé.

6. Commenter la valeur et proposer une forme de stockage du dihydrogène H_2.

Données

- Relation entre l'intensité I (en A), la quantité d'électricité débitée Q (en C) et la durée de fonctionnement Δt (en s) : $Q = I \times \Delta t$.
- $H^+(aq)$ / $H_2(g)$; $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$.
- $\rho(H_2(g)) = 9{,}0 \times 10^{-2}$ kg.m^{-3} ; $M(H) = 1{,}0$ g·mol^{-1}.
- Volume moyen de kérosène dans un airbus 380 : 320 m^3.
- $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} et $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.

23 Le diiode en solution aqueuse

Interpréter des résultats ; rédiger une explication.

Le Lugol® est un antiseptique et un désinfectant. La concentration en masse apportée t_m de l'espèce active, le diiode I_2, dans le Lugol® est égale à 10 g·L^{-1}. La concentration maximale du diiode dans l'eau, appelée solubilité et notée s, est égale à $1{,}34 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}. Si la concentration en diiode I_2 apportée est supérieure à la solubilité s, une partie du diiode est solide. La transformation est modélisée par deux réactions opposées. L'équation (1) s'écrit $I_2(s) \rightleftharpoons I_2(aq)$.

1. Calculer la concentration C en quantité de matière apportée en diiode dans le Lugol®. Commenter.

2. Le Lugol® se prépare en dissolvant 1,0 g de diiode $I_2(s)$ et 2,0 g d'iodure de potassium KI (s) dans 100 mL d'eau. En solution aqueuse, le diiode $I_2(aq)$ et les ions iodure $I^-(aq)$ forment les ions triiodure $I_3^-(aq)$. La constante d'équilibre K, à 25 °C, associée à l'équation (2) : $I_2(aq) + I^-(aq) \rightleftharpoons I_3^-(aq)$, est égale à 750.

En utilisant le critère d'évolution spontanée, expliquer qualitativement la raison pour laquelle le diiode $I_2(s)$ se solubilise plus facilement dans une solution d'iodure de potassium que dans l'eau.

3. Sachant qu'à l'état final, $[I_3^-]_f = 6{,}02 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} et que $[I_2]_f = s$, en déduire la quantité d'ions iodure $I^-(aq)$ ayant réagi.

Données

$M(I) = 126{,}9$ g·mol^{-1} ; $M(K) = 39{,}1$ g·mol^{-1}.

24 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Mission Apollo

Construire les étapes d'une résolution de problème.

D'après Baccalauréat

Le programme Apollo est le programme spatial qui a permis d'envoyer des hommes sur la Lune.

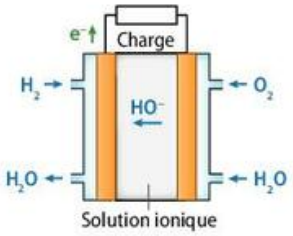
- Vérifier que le système de production électrique et les réservoirs attenants sont correctement proportionnés pour permettre le bon déroulement d'une mission de 14 jours.

A **Les différents modules**

- Le module de commande, de volume habitable $V = 6{,}5$ m^3, est la partie du vaisseau dans laquelle les trois astronautes séjournent durant la mission. Le vaisseau Apollo nécessite une puissance électrique moyenne de 1,70 kW pour alimenter l'ensemble des systèmes électriques. Les besoins de l'équipage sont les suivants :
– 0,82 kg de dioxygène par jour et par personne ;
– 4,0 kg d'eau par jour et par personne.
- Le module de service contient trois piles à combustible indépendantes. Chaque pile fournit une puissance électrique de 1,4 kW.
Pour produire 1,0 kW pendant une heure, 21 moles de dihydrogène sont nécessaires.
- Le système de stockage cryogénique fournit les réactifs des piles à combustible et le dioxygène nécessaire pour la respiration de l'équipage. Les réservoirs contiennent 294 kg de dioxygène et 25,6 kg de dihydrogène.

B **Les piles à combustible**

Les piles à combustible consomment du dihydrogène et du dioxygène en produisant de l'eau potable. Elles convertissent partiellement l'énergie chimique en énergie électrique. Les équations des réactions électrochimiques ayant lieu aux électrodes sont :



$$H_2(g) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow 2\,H_2O(\ell) + 2\,e^-$$
$$O_2(g) + 2\,H_2O(\ell) + 4\,e^- \rightarrow 4\,HO^-(aq)$$

Données

$M(O) = 16{,}0$ g·mol^{-1} ; $M(H) = 1{,}0$ g·mol^{-1}.

25 La formation des stalactites et stalagmites

Utiliser un modèle pour expliquer.



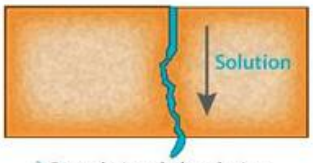
Les stalactites et les stalagmites sont des concrétions de calcaire constitué de carbonate de calcium $CaCO_3(s)$. Les stalactites se forment sur les voûtes des grottes contrairement aux stalagmites qui croissent depuis le sol. Elles sont dues aux ruissellements des eaux de pluie.

A Dissolution du dioxyde de carbone atmosphérique

Initialement, les eaux de pluie se chargent en dioxyde de carbone aqueux $CO_2(aq)$, issu du dioxyde de carbone atmosphérique, qui réagit avec l'eau pour former l'acide carbonique $CO_2, H_2O(aq)$.

B Percolation de l'eau de pluie à travers la roche

L'eau de pluie percole à travers la roche calcaire. Le carbonate de calcium $CaCO_3(s)$, contenu dans le calcaire, réagit avec l'acide carbonique $CO_2, H_2O(aq)$ selon la réaction d'équation (1) :



> Percolation de la solution

$$CaCO_3(s) + CO_2, H_2O(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2\,HCO_3^-(aq)$$

L'équation (1) est la combinaison des trois équations (2), (3) et (4) de constantes d'équilibre K_2, K_3, K_4 à 25 °C :

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \qquad K_2 = 10^{-8,2}$$

$$CO_3^{2-}(aq) + H^+(aq) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) \qquad K_3 = 10^{10,3}$$

$$CO_2, H_2O(aq) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H^+(aq) \qquad K_4 = 10^{-6,4}$$

C Dégazage du dioxyde de carbone

Les eaux percolent à travers la roche jusqu'à ce qu'elles rencontrent un relief qui leur permettent de tomber goutte à goutte (une fissure, etc.). En s'étirant, la solution entre en contact avec l'air ; une partie du dioxyde de carbone dissous devient gazeux et la concentration en $CO_2, H_2O(aq)$ dans la solution diminue.

1. Écrire l'équation de la réaction de formation de l'acide carbonique $CO_2, H_2O(aq)$ (texte A).

2. Exprimer le quotient de réaction Q_{r1} (doc. B)

3. a. Exprimer toutes les constantes d'équilibre K_2, K_3, K_4 et le produit $K_2 \times K_3 \times K_4$ (doc. B).

b. En déduire la valeur de la constante d'équilibre K_1 à 25 °C de la réaction d'équation (1) (doc. B).

4. Donner la relation entre K_1 et Q_{r1} lorsque le système est à l'état d'équilibre (doc. B).

5. La transformation n'est pas totale. En déduire les espèces présentes dans la solution.

6. Déterminer le sens d'évolution spontanée du système lorsque la solution « s'étire » (texte C).

7. Expliquer la formation des stalactites (texte C).

8. Les gouttes d'eau chutent à faible vitesse sur le sol de la grotte. Formuler une hypothèse sur la formation des stalagmites.

26 Des piles « rechargeables »

CORRIGÉ

Faire un schéma adapté ; effectuer des calculs.

D'après Baccalauréat



Le recyclage des piles est difficile. L'utilisation de piles « rechargeables » semble une alternative plus écologique.
La pile nickel–cadmium, « rechargeable », est constituée de deux demi-piles reliées par un pont salin et mettant en jeu les couples oxydant / réducteur $Ni^{2+}(aq)$ / $Ni(s)$ et $Cd^{2+}(aq)$ / $Cd(s)$.
La première demi-pile contient 20,0 mL de solution gélifiée de sulfate de nickel telle que $[Ni^{2+}]_i = 1,0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1}.
L'autre demi-pile contient une solution gélifiée de sulfate de cadmium telle que $[Cd^{2+}]_i = [Ni^{2+}]_i$. Chacune des deux électrodes a une masse initiale m de 2,0 g.
En branchant la borne COM d'un voltmètre à l'électrode de cadmium Cd, la tension mesurée est $U = +0,15$ V.

1. Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.

2. Donner l'expression du quotient de réaction $Q_{r,i}$ à l'état initial, puis le calculer numériquement.

3. Sachant qu'à 25 °C, la constante d'équilibre associée à l'équation de la réaction est $K = 4,5 \times 10^6$, prévoir le sens d'évolution spontanée du système chimique constituant la pile.

4. Faire un schéma de la pile et indiquer le sens de circulation des électrons. Le transfert spontané d'électrons est-il direct ou indirect ?

5. Indiquer le rôle du pont salin et justifier la nécessité de séparer les réactifs dans deux demi-piles.

6. Calculer la capacité électrique Q_{max} de la pile Ni-Cd.

7. La plupart des équipements électroniques nomades actuels sont équipés de batteries rechargeables lithium-ion.

a. Le dioxygène gazeux intervient dans la pile. Cette espèce est-elle réductrice ou oxydante ?

b. La configuration électronique d'un atome de lithium est $1s^2 2s^1$. Justifier le caractère réducteur du métal lithium.

8. La capacité d'une pile de téléphone portable est de 4 320 C. Sachant que le lithium est le réactif limitant, déterminer la masse de lithium contenu dans une pile lithium-ion.

Données

- Couple oxydant/réducteur : Li^+/Li.
- $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol^{-1} et $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C.
- $M(Ni) = 58,7$ g · mol^{-1} ; $M(Cd) = 112,4$ g · mol^{-1}

Vers le BAC

Bien écrire l'expression de Q_r

• Il faut :
– exprimer Q_r avec les concentrations et non pas avec les quantités de matière des espèces en solution ;
– se rappeler que les concentrations des produits interviennent au numérateur et les concentrations des réactifs au dénominateur ;
– se rappeler que le solvant eau et les solides non miscibles n'interviennent pas dans le quotient de réaction ;
– s'assurer que les nombres stœchiométriques se trouvent en exposant des concentrations.

Exemples :

• $C_6H_8O_7(aq) + 3\,HO^-(aq) \rightleftharpoons C_6H_5O_7^{3-}(aq) + 3\,H_2O(\ell)$

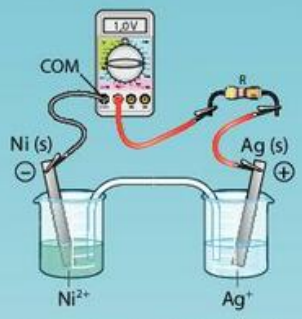
$$Q_r = \frac{\left(\frac{[C_6H_5O_7^{3-}]}{c^\circ}\right)}{\left(\frac{[C_6H_8O_7]}{c^\circ}\right) \times \left(\frac{[HO^-]}{c^\circ}\right)^3}$$

• $Ca(OH)_2(s) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2\,HO^-(aq)$

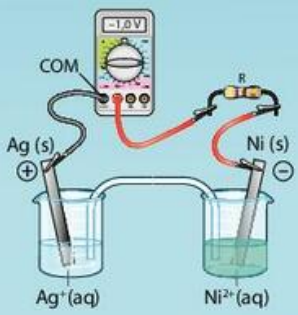
$$Q_r = \left(\frac{[Ca^{2+}]}{c^\circ}\right) \times \left(\frac{[HO^-]}{c^\circ}\right)^2$$

Connaître la polarité d'une pile à l'aide d'un voltmètre

Il suffit de brancher le voltmètre aux bornes de la pile.
• Si la tension mesurée est positive, l'électrode ⊖ est la borne branchée sur la borne COM du voltmètre.



• Si la tension mesurée est négative, l'électrode ⊕ est la borne branchée sur la borne COM du voltmètre.



Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2, 3 et 4 sont présentés p. 142

27 CORRIGÉ — 35 min

Solubiliser l'aspirine

Utiliser un modèle pour prévoir ; interpréter une observation ; rédiger une explication.



L'acide acétylsalicylique, $C_9H_8O_4$, noté plus simplement HA est plus connu sous le nom d'aspirine. À 25 °C, un comprimé d'aspirine 500 mg est versé dans 25 mL d'eau contenue dans un erlenmeyer.
À l'état final, $4{,}58 \times 10^{-4}$ mol d'aspirine sont en solution.
L'équation de la réaction (1) de dissolution de l'aspirine s'écrit :

$$HA(s) \rightleftharpoons HA(aq) \qquad (1)$$

1. Déterminer le taux d'avancement final τ et conclure quant au caractère total ou non de la transformation.

Utiliser le réflexe 1

2. a. Exprimer puis calculer le quotient de réaction Q_{r1} à l'état final.
b. En déduire la valeur de la constante d'équilibre K_1 à 25 °C.
c. Lister les espèces présentes dans le système.
Une solution d'hydroxyde de sodium est ajoutée à l'erlenmeyer. L'acide acétylsalicylique réagit avec les ions hydroxyde $HO^-(aq)$.
3. Écrire l'équation, notée (2), de la réaction acide-base.
4. a. Discuter de l'évolution du quotient de réaction $Q_{r,1}$ lors de l'ajout de la solution d'hydroxyde de sodium.
b. En déduire le sens d'évolution du système (1).

Utiliser le réflexe 2

5. Suite à l'ajout de la solution d'hydroxyde de sodium, tout l'acide acétylsalicylique s'est dissous. Conclure quant au caractère total ou non de la dissolution de l'aspirine en milieu basique.
6. À la solution d'aspirine précédente sont ajoutées quelques gouttes d'acide chlorhydrique concentré. Un solide blanc apparaît. Proposer une interprétation à cette observation.

Données
• Couples acide/base : $HA(aq) / A^-(aq)$; $H_2O(\ell) / HO^-(aq)$
• Masse molaire : $M(HA) = 180{,}1\ g \cdot mol^{-1}$.

28 Choisir une pile bouton

15 min — CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer un calcul ; faire preuve d'esprit critique.

Le tableau **A** donne les caractéristiques de trois piles boutons.

Dans la pile alcaline, les électrodes sont en zinc Zn (s) et en carbone C (s). L'électrode de carbone n'intervient pas dans le couple de la demi-pile mais permet la conduction électrique.

En branchant la borne COM d'un voltmètre sur l'électrode de carbone, la tension mesurée U est égale à −1,5 V.

A Des piles boutons

Type	Tension à vide U (V)	Capacité électrique Q_{max} (C)	Masse (g)
Alcaline	1,5		1,5
Oxyde d'argent	1,5	470	1,3
Lithium	3,0	650	1,8

COMPLÉMENTS SCIENTIFIQUES

- Relation entre l'intensité I (en A), la quantité d'électricité débitée Q (en C) et la durée de fonctionnement Δt (en s) : $Q = I \times \Delta t$.
- Relation entre l'énergie électrique E d'une pile (en J), la tension U (en V) et Q_{max}, la capacité électrique maximale (en C) : $E = U \times Q_{max}$.

1. Identifier les deux couples oxydant / réducteur intervenant dans la pile alcaline.

2. Les constituants de la pile alcaline bouton, sont-ils tous en contact ? Justifier.

3. Écrire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile. Utiliser le réflexe 3

4. Déterminer la capacité électrique de la pile alcaline sachant que la masse de zinc Zn (s) est égale à $m_1 = 100$ mg et que la masse d'oxyde de manganèse MnO_2 (s) est égale à $m_2 = 300$ mg. Utiliser le réflexe 4

5. Calculer l'énergie électrique stockée pour « 1 g de pile alcaline ».

6.a Indiquer le rôle du lithium dans la pile au lithium.

b. En utilisant le tableau périodique (Rabat VI), proposer un élément pouvant remplacer le lithium. Justifier.

7. Les piles lithium sont les piles boutons les plus utilisées. Justifier en argumentant.

Coup de pouce QR Code p. 140

Données

- $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} et $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.
- $M(Zn) = 65{,}4$ g·mol^{-1} ; $M(Mn) = 54{,}9$ g·mol^{-1} ; $M(O) = 16$ g·mol^{-1} ; $M(H) = 1{,}0$ g·mol^{-1} ;
- Équations des réactions électrochimiques aux électrodes de la pile alcaline :

$ZnO(s) + H_2O(\ell) + 2\,e^- \rightarrow Zn(s) + 2\,HO^-(aq)$

$MnO_2(s) + H_2O(\ell) + 1\,e^- \rightarrow MnO_2H(s) + HO^-(aq)$

- Configuration électronique d'un atome de lithium : $1s^2\,2s^1$.

Préparation à l'ECE

La version intégrale de cette ECE, réalisable en activité expérimentale, est disponible dans la version numérique. La version proposée ci-dessous, permet à l'élève de travailler en autonomie les compétences RÉA et VAL.

L'éclat des objets recouverts d'argent Ag (s) (bijoux, orfèvrerie, etc.) s'altèrent au fil du temps du fait de l'apparition d'un film noir de sulfure d'argent Ag_2S (s). La formation de ce solide résulte de l'action conjuguée du dioxygène atmosphérique et du sulfure d'hydrogène H_2S (présent dans l'atmosphère).



En réalisant le montage ci-dessous, l'intensité I du courant mesurée est positive.

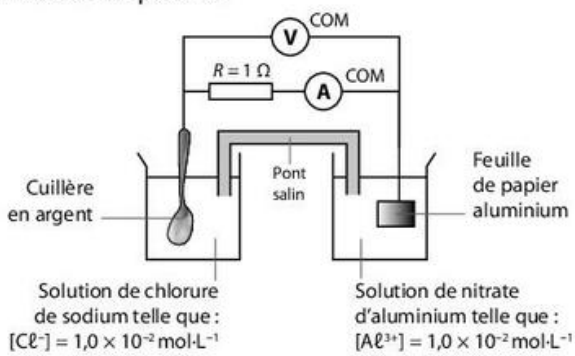


Schéma du montage expérimental

MATÉRIEL ET PRODUITS DISPONIBLES

- Objet argenté recouvert de sulfure d'argent Ag_2S(s).
- Feuille d'aluminium.
- Saladier en verre.
- Solution de chlorure de sodium $Na^+(aq) + C\ell^-(aq)$.

1. RÉA Déterminer la polarité de la pile, le sens de circulation des électrons et le sens conventionnel du courant.

2. VAL Qu'afficherait l'ampèremètre si le pont salin était supprimé ?

3. VAL Est-il envisageable d'éliminer le dépôt noir de sulfure d'argent et de redonner l'éclat à l'objet argenté ? Justifier en analysant l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.

4. VAL En utilisant le matériel et les solutions, proposer et justifier un protocole, réalisable facilement chez soi, qui permet de redonner à un objet argenté son éclat originel.

Données

- $Ag_2S(s) / Ag(s)$; $A\ell^{3+}(aq) / A\ell(s)$.
- $Ag_2S(s) + 2\,H^+(aq) + 2\,e^- \rightarrow 2\,Ag(s) + H_2S(aq)$

Vers l'oral

Fiche Méthode

Préparer les réponses aux questions du jury

Les échanges peuvent porter sur une application en lien avec la question posée...

... ou sur les limites d'un modèle scientifique...

...ou encore sur une amélioration d'un dispositif expérimental.



Je peux demander une reformulation de la question.

Je peux prendre le temps de réfléchir avant de donner une réponse.

Je peux dire : « Je ne sais pas. »

À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation fournie. Puis les élèves échangent leurs rôles et à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

Un système (V = 100 mL) est constitué d'ions argent (I) Ag^+ (aq), d'ions fer (II) Fe^{2+} (aq), d'ions fer (III) Fe^{3+} (aq) et d'argent solide Ag (s). La transformation est modélisée par des réactions opposées. L'équation s'écrit :

$$Fe^{2+}\ (aq) + Ag^+\ (aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}\ (aq) + Ag\ (s)$$

Des analyses permettent d'obtenir le tableau ci-dessous.

	État d'équilibre du système 1	État d'équilibre du système 2
$[Fe^{2+}]$ (mol·L^{-1})	0,065	0,15
$[Ag^+]$ (mol·L^{-1})	0,165	0,12
$[Fe^{3+}]$ (mol·L^{-1})	0,035	?
n(Ag) (mol)	$3{,}2 \times 10^{-5}$	$5{,}3 \times 10^{-5}$

Grille d'évaluation

Évaluation orale

- À l'aide du nuage de mots ci-dessous, construire trois questions relatives au tableau ci-contre. Les poser à son binôme qui doit y répondre en utilisant le même nuage de mots.

Évolution Quotient de réaction
$[Fe^{3+}]$ Constante d'équilibre État d'équilibre

Je m'exprime à l'oral sur L'évolution d'un système

Expliquer comment **prévoir l'évolution** d'un système.

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Définir une **transformation non totale** ?

Comment savoir si un système est à **l'état d'équilibre** ?

8 Force des acides et des bases



La concentration en dioxyde de carbone dissous de l'eau d'un aquarium est liée au pH de l'eau et à sa concentration en ions hydrogénocarbonate $HCO_3^-(aq)$. Si la présence de dioxyde de carbone est bénéfique pour les plantes, elle peut être néfaste pour les poissons.

- Comment contrôler la concentration en dioxyde de carbone dissous de l'eau d'un aquarium ?

> Rendez-vous : exercice 28 p. 168

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Associer K_A et K_e aux équations de réactions correspondantes. **Exercice 20 p. 166**
- **Capacité mathématique :** Résoudre une équation du second degré. **Côté maths 4 p. 163.**
- Estimer la valeur de la constante d'acidité d'un couple acide-base à l'aide d'une mesure de pH. **Activité 2 p. 155**
- Représenter le diagramme de prédominance d'un couple acide-base. **Exercice 20 p. 166**
- Associer le caractère fort d'un acide (d'une base) à la transformation quasi-totale de cet acide (cette base) avec l'eau. **Activité 1 p. 154**
- Exploiter un diagramme de prédominance ou de distribution. **Exercice 14 p. 165**
- Prévoir la composition finale d'une solution aqueuse de concentration donnée en acide fort ou faible apporté. **Exercice 5 p. 164**
- Justifier le choix d'un indicateur coloré lors d'un titrage. **Exercice 16 p. 165**
- Comparer la force de différents acides ou de différentes bases dans l'eau. **Activité 1 p. 154**
- **Capacité numérique :** Tracer, à l'aide d'un langage de programmation, le diagramme de distribution des espèces d'un couple acide-base de pK_A donné. **Exercice 21 p. 167**
- Mesurer le pH de solutions d'acide ou de base de concentration donnée pour en déduire le caractère fort ou faible de l'acide ou de la base. **Activité 1 p. 154**
- Citer les propriétés d'une solution tampon. **Exercice 18 p. 166**
- **Capacité numérique :** Déterminer, à l'aide d'un langage de programmation, le taux d'avancement final d'une transformation modélisée par la réaction d'un acide sur l'eau. **Exercice 24 p. 167**

Activité expérimentale 1

Force des acides

Les acides lactique, éthanoïque et chlorhydrique sont trois acides vendus dans le commerce et préconisés, entre autres, pour le détartrage.

► Objectif de l'activité : Comment comparer la force de différents acides dans l'eau ?

Notions
- Mesures de pH
- Réaction d'un acide avec l'eau
- Transformation totale ou non totale
- Acide fort, acide faible

A Quelques détartrants courants



Des solutions d'acide lactique $C_3H_6O_3(aq)$, d'acide éthanoïque $CH_3CO_2H(aq)$, comme le vinaigre blanc, ou d'acide chlorhydrique $H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$, peuvent être utilisées pour détartrer des récipents en verre, de la robinetterie ou des appareils électroménagers.

B Tartre et détartrage

Le tartre est un dépôt solide résultant de la précipitation de certains ions contenus dans l'eau, essentiellement les ions calcium $Ca^{2+}(aq)$ et les ions magnésium $Mg^{2+}(aq)$, sous l'effet de la chaleur. Les ions oxonium H_3O^+ libérés par les acides réagissent avec le tartre et le solubilisent, ils permettent donc de détartrer les surfaces entartrées.

Matériel et produits disponibles

- Un pH-mètre étalonné :



- Des solutions d'acide lactique S_1, d'acide éthanoïque S_2 et d'acide chlorhydrique S_3 de même concentration en soluté apporté $C = 10\ mmol \cdot L^{-1}$ et de même volume $V = 100\ mL$.

Complément scientifique

Pour une concentration en soluté apporté donnée, un acide est d'autant plus fort que sa réaction avec l'eau forme une quantité plus grande d'ions oxonium $H_3O^+(aq)$.

Données

Couples acide/base :
- $C_3H_6O_3(aq)$ / $C_3H_5O_3^-(aq)$
- $CH_3CO_2H(aq)$ / $CH_3CO_2^-(aq)$
- $H_3O^+(aq)$ / $H_2O(\ell)$

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 Mesurer le pH de la solution S_1 et en déduire la valeur de sa concentration en ions oxonium $[H_3O^+]_f$.

Construire un tableau RÉA

2 Construire un tableau d'avancement de la réaction entre l'acide lactique et l'eau pour un volume de solution $V = 100\ mL$.

Effectuer des calculs RÉA

3 a. Déterminer l'avancement maximal x_{max}.
b. Déduire de la mesure du pH l'avancement final x_f.
c. Calculer le taux d'avancement final τ_1 de la transformation. Conclure.

Construire un tableau – Effectuer des calculs RÉA

4 Répondre aux questions 1 à 3 pour les solutions S_2 et S_3.

Interpréter des résultats VAL

5 Classer les trois acides étudiés par force croissante.

6 Justifier que l'acide chlorhydrique est plus efficace que l'acide lactique et l'acide éthanoïque pour le détartrage.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

7 Comment comparer la force de différents acides dans l'eau ?

Activité 2 expérimentale

Constante d'acidité K_A

Le couple acide-base auquel appartient l'acide acétylsalicylique, principe actif de l'aspirine, est caractérisé par sa constante d'acidité.

Notions
- Mesure de pH
- Constante d'acidité
- Couple acide-base

▶ Objectif de l'activité : Pourquoi est-il utile de déterminer la constante d'acidité d'un couple acide-base ?

A Aspirine du Rhône® 500 mg



- **Principe actif :**
acide acétylsalicylique 500 mg.
- **Excipients :**
amidon de maïs, gel de silice...
On admet que les excipients n'ont aucun caractère acido-basique.

Données

Acide acétylsalicylique :
- Formule brute : $C_9H_8O_4$.
- $C_9H_8O_4$ (aq) / $C_9H_7O_4^-$(aq).
- Masse molaire : $M = 180{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.
- Solubilité dans l'eau : $3{,}3\ g \cdot L^{-1}$ à 20 °C.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- ☑ BROYER un comprimé d'aspirine du Rhône® à l'aide d'un pilon et d'un mortier.
- ☑ DISSOUDRE le médicament afin de préparer 500,0 mL d'une solution S_0 d'acide acétylsalicylique.
- ☑ HOMOGÉNÉISER la solution quelques minutes à l'aide d'un agitateur magnétique.
- ☑ MESURER le pH de la solution S_0 avec un pH-mètre étalonné.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

La constante d'acidité K_A d'un couple acide-base AH(aq) / A^-(aq) est la constante d'équilibre de la réaction de l'acide avec l'eau.

MATÉRIEL ET PRODUITS DISPONIBLES

- Fiole jaugée de 500,0 mL et bécher de 500,0 mL.
- Pilon et mortier.
- Entonnoir à solide.
- Pissette d'eau distillée.
- Agitateur magnétique.
- pH-mètre.

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL et relever la valeur du pH de la solution S_0.

Formuler une hypothèse ANA-RAIS

2 a. À l'aide d'un calcul, montrer que l'aspect non limpide de la solution S_0 n'est pas dû à un problème de solubilité de l'acide acétylsalicylique.
b. Formuler une hypothèse expliquant l'aspect de la solution.

Construire un tableau RÉA

3 Construire un tableau d'avancement de la réaction entre l'acide acétylsalicylique et l'eau.

Effectuer des calculs RÉA

4 a. Exprimer la constante d'acidité K_A du couple de l'acide acétylsalicylique.
b. Démontrer que $K_A = \dfrac{[H_3O^+]_{éq}^2}{C_0 - [H_3O^+]_{éq}}$ où C_0 est la concentration en acide acétylsalicylique apporté.
c. À partir de la valeur du pH et de la question **3**, calculer la valeur de cette constante d'acidité K_A.

Estimer une incertitude VAL

5 a. Mettre en commun l'ensemble des résultats obtenus par les différents groupes, puis calculer la valeur moyenne $\overline{K_A}$ après suppression des résultats manifestement aberrants.
b. Par une approche statistique, déterminer l'incertitude type $u(K_A)$ puis exprimer la valeur de K_A sous la forme $K_A \pm u(K_A)$. Fiche 2 p. 453

Comparer à une valeur de référence VAL

6 a. À 25 °C, la constante d'acidité du couple $C_9H_8O_4$(aq) / $C_9H_7O_4^-$(aq) est $K_A = 3{,}2 \times 10^{-4}$. Cette valeur appartient-elle à l'intervalle de confiance déterminé expérimentalement ?
b. Citer les différentes étapes à suivre pour déterminer la constante d'acidité d'un couple acide-base à l'aide d'une mesure de pH.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

7 a. Relier la constante d'acidité d'un couple acide-base au caractère plus ou moins fort de l'acide.
b. Justifier l'utilité de tables répertoriant les valeurs des constantes d'acidité.

Cours

lycee.hachette-education.com/pc/tle



1 La réaction d'un acide ou d'une base avec l'eau

a. Produit ionique de l'eau, K_e

• L'eau appartient à deux couples acide-base : $H_3O^+(aq)$ / $H_2O(\ell)$ et $H_2O(\ell)$ / $HO^-(aq)$ (chapitre 1), il peut donc se produire une réaction entre l'acide $H_2O(\ell)$ et la base $H_2O(\ell)$, nommée **autoprotolyse de l'eau**.

Soit les réactions opposées d'équation :

$$H_2O(\ell) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + HO^-(aq)$$

La constante d'équilibre associée à cette équation, nommée **produit ionique de l'eau K_e**, est :

$$K_e = \frac{[H_3O^+]_{éq}}{c^\circ} \times \frac{[HO^-]_{éq}}{c^\circ} \text{ où } c^\circ = 1 \text{ mol} \cdot L^{-1}.$$

K_e ne dépend que de la température (doc. A).

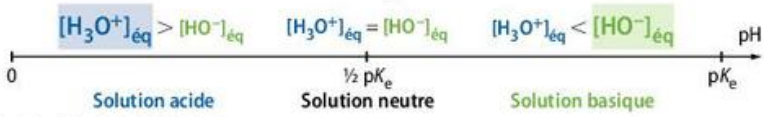
• On définit aussi le pK_e :

$pK_e = -\log K_e$ soit $K_e = 10^{-pK_e}$

à 25 °C : $pK_e = 14$ et $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$

• L'autoprotolyse de l'eau a lieu dans toutes les solutions aqueuses. Ainsi, toute solution aqueuse contient des ions $H_3O^+(aq)$ et $HO^-(aq)$.

• Dans l'eau « pure » et dans toute solution neutre, $[H_3O^+]_{éq} = [HO^-]_{éq}$ donc $K_e = [H_3O^+]_{éq}^2$, d'où $pH_{neutre} = \frac{1}{2} pK_e$ (doc. B) :



Ainsi pH = 7,0 à 25 °C.

b. Acides et bases faibles

Acide faible

La transformation modélisée par la réaction entre l'acide et l'eau n'est **pas totale** : $\tau < 1$ (doc. C).

$AH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$

Donc $[H_3O^+]_f < C$ où C est la concentration en acide apporté.

Base faible

La transformation modélisée par la réaction entre la base et l'eau n'est **pas totale** : $\tau < 1$ (doc. C).

$A^-(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons AH(aq) + HO^-(aq)$

Donc $[HO^-]_f < C$ où C est la concentration en base apportée.

Exemples

• **Un acide faible : l'acide méthanoïque**

Une solution aqueuse d'acide méthanoïque $HCO_2H(aq)$ de volume $V = 100{,}0$ mL et de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en soluté apporté a un pH égal à 2,9.

Équation	$HCO_2H(aq)$	+	$H_2O(\ell)$	⇌	$HCO_2^-(aq)$	+	$H_3O^+(aq)$
État initial ($x = 0$ mol)	$n_i = C \times V$		Solvant		0		0
État final (x_f)	$n_i - x_f$		Solvant		x_f		x_f

$x_f = n_f(H_3O^+) = [H_3O^+]_f \times V = 10^{-pH} \times V = 10^{-2,9} \times 100{,}0 \times 10^{-3} = 1{,}3 \times 10^{-4}$ mol.

$x_{max} = C \times V = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 100{,}0 \times 10^{-3} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

$x_f < x_{max}$ donc la transformation n'est pas totale et $\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{1{,}3 \times 10^{-4}}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 0{,}13$.

Les réactifs et les produits coexistent dans l'état final d'équilibre :

État final (x_f)	$8{,}7 \times 10^{-4}$ mol	Solvant	$1{,}3 \times 10^{-4}$ mol	$1{,}3 \times 10^{-4}$ mol

INFO

L'expression simplifiée du produit ionique de l'eau est :

$$K_e = [H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq}$$

où la concentration standard c° n'est pas écrite. Les concentrations sont en mol·L^{-1} et K_e n'a pas d'unité. Cette écriture simplifiée sera souvent utilisée dans les exercices.

A Produit ionique de l'eau à différentes températures

Température (°C)	K_e
0	$1{,}1 \times 10^{-15}$
25	$1{,}0 \times 10^{-14}$
37	$2{,}4 \times 10^{-14}$
40	$3{,}0 \times 10^{-14}$
60	$9{,}6 \times 10^{-14}$

B pH du sang



Le pH du sang est compris entre 7,35 et 7,45. Or, à 37 °C, $pK_e = 13{,}7$ donc $pH_{neutre} = 6{,}85$; le sang est une solution aqueuse légèrement basique.

C Solutions d'acide et de base faibles

	pH	τ
Acide méthanoïque $HCO_2H(aq)$	2,9	0,13
Ammoniac $NH_3(aq)$	10,6	0,04

Valeurs de pH et de τ à 25 °C pour des solutions de même concentration en solutés apportés $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}.

Rappel du chapitre 7

Dans le cas d'une transformation non totale, à l'état final, les quantités des espèces ne varient plus : tous les réactifs et tous les produits coexistent. L'état final est appelé état d'équilibre chimique.

• **Une base faible : l'ammoniac**

Une solution aqueuse d'ammoniac de volume $V = 100{,}0$ mL et de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en soluté apporté a un pH égal à 10,6.

Équation	$NH_3(aq)$ +	$H_2O(\ell)$ ⇌	$NH_4^+(aq)$ +	$HO^-(aq)$
État initial ($x = 0$ mol)	$n_i = C \times V$	Solvant	0	0
État final (x_f)	$n_i - x_f$	Solvant	x_f	x_f

$x_f = n_f(HO^-) = [HO^-]_f \times V = \dfrac{K_e}{[H_3O^+]_f} \times V = 10^{pH - pK_e} \times V.$

$x_f = 10^{-3,4} \times 100{,}0 \times 10^{-3} = 4{,}0 \times 10^{-5}$ mol.

$x_{max} = C \times V = 1{,}0 \times 10^{-2} \times 100{,}0 \times 10^{-3} = 1{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

$x_f < x_{max}$ donc la transformation n'est pas totale et $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}} = \dfrac{4{,}0 \times 10^{-5}}{1{,}0 \times 10^{-3}} = 0{,}040.$

État final (x_f)	$9{,}6 \times 10^{-4}$ mol	Solvant	$4{,}0 \times 10^{-5}$ mol	$4{,}0 \times 10^{-5}$ mol

D **Solutions d'acides et de bases fortes**

	pH	τ
Acide chlorhydrique $H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$	2,0	1,00
Ion éthanolate $C_2H_5O^-(aq)$	12,0	1,00

› Valeurs de pH et de τ à 25 °C pour des solutions de même concentration en solutés apportés $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}.

Démonstration

Pour une solution de concentration apportée en base forte C, on a :
$[HO^-] = C$.
Or $K_e = [H_3O^+] \times [HO^-]$;
donc $[H_3O^+] = \dfrac{K_e}{[HO^-]} = \dfrac{K_e}{C}$;
soit $pH = -\log \dfrac{K_e}{C} = -\log K_e + \log C$
d'où $pH = pK_e + \log C$.

c. Cas limite des acides et des bases fortes

Acide fort

La transformation modélisée par la réaction entre l'acide et l'eau est **totale** : $\tau = 1$ (doc. D).

$AH(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow A^-(aq) + H_3O^+(aq)$

Donc $[H_3O^+]_f = C$ où C est la concentration en acide apporté et $pH = -\log C$.

Base forte

La transformation modélisée par la réaction entre la base et l'eau est **totale** : $\tau = 1$ (doc. D).

$A^-(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow AH(aq) + HO^-(aq)$

Donc $[HO^-]_f = C$ où C est la concentration en base apportée et $pH = pK_e + \log C$ (Démonstration)

Exemples

• Équation de réaction d'un acide fort avec l'eau :
$HC\ell(g) + H_2O(\ell) \rightarrow H_3O^+(aq) + C\ell^-(aq)$

• Équation de réaction d'une base forte avec l'eau :
$C_2H_5O^-(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow C_2H_5OH(aq) + HO^-(aq)$

2 La constante d'acidité d'un couple acide-base

a. Constante d'acidité K_A et pK_A

La **constante d'acidité** K_A d'un couple acide-base $AH(aq)$ / $A^-(aq)$ est la constante d'équilibre associée à l'équation :

$AH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$

$$K_A = \frac{\dfrac{[A^-]_{éq}}{c^\circ} \times \dfrac{[H_3O^+]_{éq}}{c^\circ}}{\dfrac{[AH]_{éq}}{c^\circ}} \quad \text{où } c^\circ = 1 \text{ mol·L}^{-1}.$$

On définit aussi : $pK_A = -\log K_A$ soit $K_A = 10^{-pK_A}$

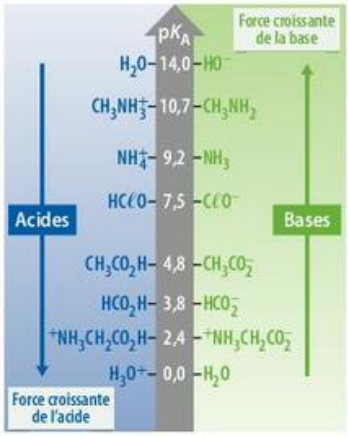
L'expression simplifiée de la constante d'acidité est : $K_A = \dfrac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH]_{éq}}$

Les concentrations sont en mol·L^{-1} et K_A n'a pas d'unité. Cette écriture simplifiée sera souvent utilisée dans les exercices.

Exemple : $HCO_2H(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$

$K_A = \dfrac{[HCO_2^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[HCO_2H]_{éq}} = 1{,}6 \times 10^{-4}$ soit $pK_A = 3{,}8$ à 25 °C.

E pK_A à 25 °C de quelques couples acide-base



lycee.hachette-education.com/pc/tle

Diagramme de prédominance

VIDÉO DE COURS

b. Forces comparées des acides et des bases dans l'eau

L'acide le plus fort dans l'eau est l'ion $H_3O^+(aq)$. La base la plus forte dans l'eau est l'ion $HO^-(aq)$. Les pK_A des couples acide-base sont compris entre ceux des deux couples de l'eau (doc. E).

- Un **acide AH (aq) est d'autant plus fort** dans l'eau que le **pK_A** du couple auquel il appartient est **petit**.
- Une **base A^- (aq)** est d'autant plus forte dans l'eau que le **pK_A** du couple auquel elle appartient est **grand**.

Exemples

$pK_A(HCO_2H(aq) / HCO_2^-(aq)) < pK_A(CH_3CO_2H(aq) / CH_3CO_2^-(aq))$, donc l'acide méthanoïque $HCO_2H(aq)$ est plus fort que l'acide éthanoïque $CH_3CO_2H(aq)$.

L'ion éthanolate $CH_3CO_2^-(aq)$ est une base plus forte que l'ion méthanolate $HCO_2^-(aq)$.

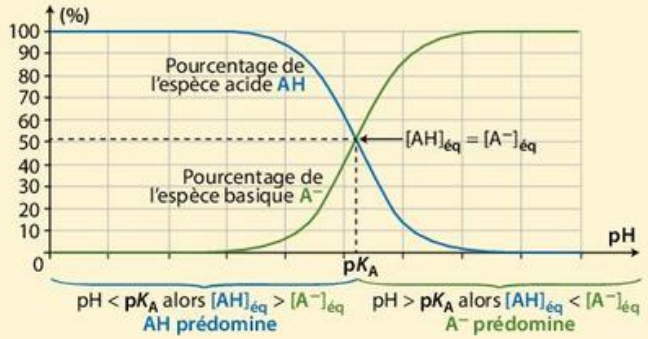
c. Espèce prédominante d'un couple

- Pour tout couple acide-base $AH(aq) / A^-(aq)$, on peut écrire :

$$pK_A = -\log K_A = -\log\left(\frac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH]_{éq}}\right) = -\log\left(\frac{[A^-]_{éq}}{[AH]_{éq}}\right) \underbrace{-\log[H_3O^+]_{éq}}_{+pH}$$

Donc :
$$pH = pK_A + \log\left(\frac{[A^-]_{éq}}{[AH]_{éq}}\right)$$

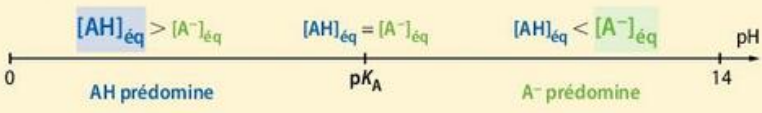
- Le **diagramme de distribution** représente les pourcentages des espèces acide et basique d'un même couple dans une solution en fonction du pH de la solution.



Exemple

Diagramme de distribution du couple $NH_4^+(aq) / NH_3(aq)$: (doc. F)

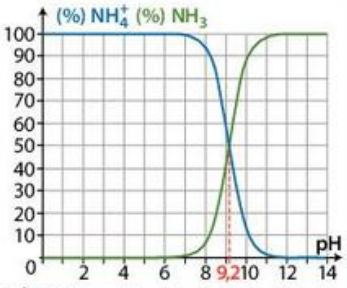
- Le **diagramme de prédominance** d'un couple **AH (aq) / A^- (aq)** représente les domaines de prédominance de l'espèce acide et de l'espèce basique conjuguée en fonction du pH de la solution.



- **Indicateur coloré et équivalence d'un titrage acido-basique**

Un **indicateur coloré acido-basique** est un couple acide-base, noté **IndH / Ind^-**, dont les espèces conjuguées n'ont pas la même teinte.

F Diagramme de distribution du couple $NH_4^+(aq) / NH_3(aq)$



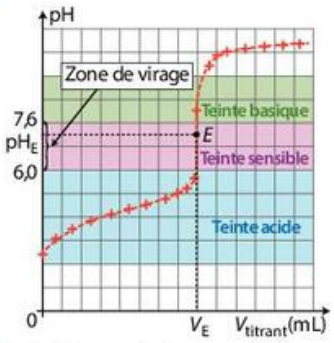
À l'intersection des deux courbes, $pH = pK_A = 9,2$.

G **Teintes du bleu de bromothymol (BBT)**



> Teinte de l'espèce acide, teinte sensible et teinte de l'espèce basique du BBT.

H **Titrage acido-basique avec un indicateur coloré**

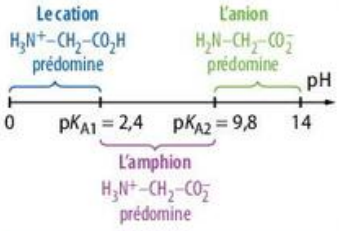


> Le BBT est un indicateur coloré adapté pour ce titrage, car le pH à l'équivalence pH_E appartient à la zone de virage de l'indicateur [6,0 – 7,6].

I **pK_A de quelques acides α-aminés**

Acide α-aminé	pK_{A1} cation/ amphion	pK_{A2} amphion/ anion
Glycine	2,4	9,8
Alanine	2,4	9,9
Valine	2,3	9,4

J **Diagramme de prédominance de la glycine**



Après l'ajout de quelques gouttes d'un indicateur coloré dans une solution initialement incolore, celle-ci peut prendre différentes teintes selon son pH :



* La teinte sensible est un mélange des teintes des formes acide et basique du couple IndH / Ind⁻.

La zone de virage est le domaine de pH pour lequel la solution prend la teinte sensible de l'indicateur coloré.

Exemple : La zone de virage du BBT est le domaine de pH [6,0-7,6] (doc. G).

Un **indicateur coloré acido-basique** est adapté à un titrage si la zone de virage de l'indicateur coloré contient le pH à l'équivalence pH_E du titrage.

L'utilisation d'un indicateur coloré permet de repérer visuellement l'équivalence d'un titrage acido-basique grâce au changement de teinte de la solution (graphique H).

d. Solution tampon et contrôle du pH

Une **solution tampon** est une solution dont le pH varie peu par dilution ou par ajout de petites quantités de solutions acides ou basiques.

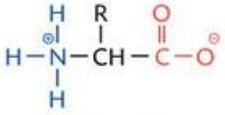
Exemple : De nombreux processus biologiques ne peuvent se produire que dans des milieux de pH bien déterminé. Ainsi, le pH du sang doit rester compris entre 7,35 et 7,45. Le couple CO_2, H_2O (aq) / HCO_3^-(aq), appelé « tampon bicarbonate » contribue à cette régulation.

e. Cas des acides α-aminés

• Un acide α-aminé est une molécule qui contient un groupe **carboxyle** $-CO_2H$ et un groupe **amine** $-NH_2$ portés par le même atome de carbone.
La formule générale d'un acide α-aminé (R est un groupe d'atomes) est :



• En solution aqueuse, un acide α-aminé existe essentiellement sous la forme d'un amphion (ou zwitterion), qui résulte d'un transfert interne de l'ion hydrogène H^+ du groupe **carboxyle** vers le groupe **amine**.
La formule générale de l'amphion correspondant est :



L'amphion est une espèce amphotère. Il peut se comporter comme :
– l'acide du couple amphion / anion, capable de céder un ion hydrogène H^+ :

$$H_3N^+-CHR-CO_2^-(aq) \rightleftarrows H_2N-CHR-CO_2^-(aq) + H^+$$

– la base du couple cation / amphion, capable de capter un ion hydrogène H^+ :

$$H_3N^+-CHR-CO_2H\ (aq) \rightleftarrows H_3N^+-CHR-CO_2^-(aq) + H^+$$

• Un acide α-aminé est caractérisé par deux pK_A (doc. I). Le diagramme de prédominance d'un acide α-aminé présente trois domaines de prédominance.

Exemple : Le diagramme de prédominance de la glycine $H_2N-CH_2-CO_2H$, montre la présence prédominante de l'amphion $H_3N^+-CH_2-CO_2^-$ entre pK_{A1} et pK_{A2} (doc. J).

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉOS DE COURS
- Les acides et les bases
- Diagramme de prédominance

QCM
Version interactive

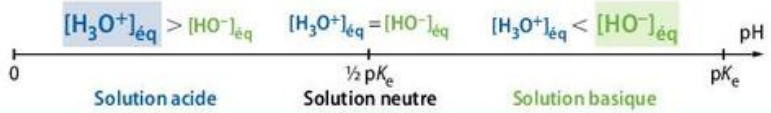
1 La réaction d'un acide ou d'une base avec l'eau

Produit ionique de l'eau K_e

Réaction d'autoprotolyse de l'eau
$H_2O(\ell) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + HO^-(aq)$

$K_e = [H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq}$
$pK_e = -\log K_e$

À 25 °C, $K_e = 10^{-14,0}$.
À 25 °C, $pK_e = 14,0$.



Acide faible

$AH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$
Transformation non totale : $\tau < 1$.

Base faible

$A^-(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons AH(aq) + HO^-(aq)$
Transformation non totale : $\tau < 1$.

Couple AH / A^-

Acide fort

$AH(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow A^-(aq) + H_3O^+(aq)$
Transformation totale : $\tau = 1$.

Base forte

$A^-(aq) + H_2O(\ell) \rightarrow AH(aq) + HO^-(aq)$
Transformation totale : $\tau = 1$.

2 La constante d'acidité d'un couple acide-base

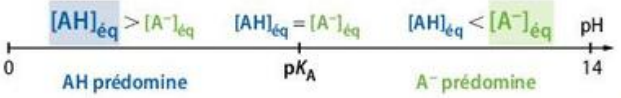
Constante d'acidité K_A

$AH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$

$K_A = \dfrac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH]_{éq}}$ et $pK_A = -\log K_A \Leftrightarrow K_A = 10^{-pK_A}$

Diagrammes de distribution et de prédominance

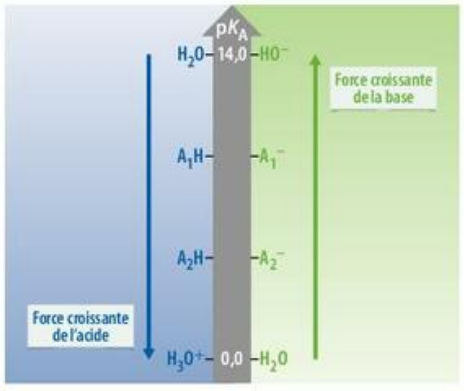
- **Diagramme de distribution :** il représente les pourcentages des espèces acide et basique d'un même couple dans une solution en fonction du pH de la solution.
- **Diagramme de prédominance :**



Solution tampon

Une solution tampon est une solution dont le pH varie peu par dilution ou par ajout de petites quantités d'acide ou de base.

Force d'un acide et d'une base



Indicateur coloré acido-basique

- Un indicateur coloré est un couple acide-base dont les espèces conjuguées n'ont pas la même teinte.
- Un indicateur coloré est adapté à un titrage si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence pH_E.

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

A	B	C

1 La réaction d'un acide ou d'une base avec l'eau

Si erreur, revoir § 1 p. 156

1. La constante K_e :	vaut 14,0 à 25 °C.	est le produit ionique de l'eau.	est égale à $[H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq}$.
2. À 25 °C, la concentration en ions hydroxyde d'une solution aqueuse est $[HO^-]_{éq} = 1{,}0 \times 10^{-6}$ mol·L^{-1}. La solution :	a une concentration en ion H_3O^+(aq) égale à $1{,}0 \times 10^{-8}$ mol·L^{-1}.	a un pH égal à 6.	est acide.
3. L'acide hypochloreux $HC\ell O$(aq) est un acide faible dans l'eau. 	Le taux d'avancement final de la transformation est forcément nul.	Le pH d'une solution d'acide hypochloreux de concentration C en acide apporté est pH = –log C.	Le taux d'avancement final de la transformation est tel que $\tau < 1$.
4. L'ion méthanolate CH_3O^- est une base forte dans l'eau. À 25 °C, le pH d'une solution aqueuse de concentration en ions méthanolate apportés $C = 1{,}0 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1} est :	pH = 3,0.	pH = 11,0.	pH = 13,0.

2 La constante d'acidité d'un couple acide-base

Si erreur, revoir § 2 p. 157

5. La constante d'acidité associée à l'équation ci-dessous : $HNO_2(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons NO_2^-(aq) + H_3O^+(aq)$ s'écrit :	$K_A = \dfrac{[HNO_2]_{éq}}{[NO_2^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}$	$K_A = \dfrac{[HNO_2]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[NO_2^-]_{éq}}$	$K_A = \dfrac{[NO_2^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[HNO_2]_{éq}}$
6. Les couples NH_4^+(aq) / NH_3(aq) et $CH_3NH_3^+$(aq) / CH_3NH_2(aq) ont pour pK_A respectifs 9,2 et 10,7, donc :	CH_3NH_2(aq) est une base plus forte que NH_3(aq) dans l'eau.	$CH_3NH_3^+$(aq) est un acide plus fort que NH_4^+(aq) dans l'eau.	NH_4^+(aq) est un acide plus fort que $CH_3NH_3^+$(aq) dans l'eau.
7. Pour un couple acide-base HA(aq) / A^-(aq), la relation liant le pH et le pK_A s'écrit :	$pK_A = pH + \log\left(\dfrac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}\right)$	$pH = pK_A + \log\left(\dfrac{[A^-]_{éq}}{[HA]_{éq}}\right)$	$pH = pK_A + \log\left(\dfrac{[HA]_{éq}}{[A^-]_{éq}}\right)$
8. L'ammoniac est la base du couple NH_4^+(aq) / NH_3(aq) de pK_A = 9,2. Dans une solution aqueuse d'ammoniac, si :	aucune des deux espèces du couple ne prédomine, alors pH = 7.	NH_3(aq) prédomine sur NH_4^+(aq), alors pH = 8.	aucune des deux espèces du couple ne prédomine, alors pH = 9,2.
9. L'hélianthine est un indicateur coloré acido-basique prenant différentes teintes selon le pH de la solution : Teinte acide : Rouge ; Teinte sensible : 3,1-4,4 Orange ; Teinte basique : Jaune Le pH à l'équivalence d'un titrage d'une base par un acide est $pH_E = 5{,}8$. L'hélianthine :	est un indicateur coloré adapté à ce titrage.	prend sa teinte sensible après l'équivalence du titrage.	prend sa teinte acide avant l'équivalence du titrage.

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Déterminer la composition finale d'une solution aqueuse de concentration donnée en acide (ou en base) fort(e) ou faible apporté(e).	**Réflexe 1** Ex. 5 p. 164 **Établir**, si nécessaire, l'équation de la réaction entre l'acide (ou la base) et l'eau et le tableau d'avancement de la réaction. **Déterminer** l'avancement final x_f à partir des valeurs du pH et du volume V de la solution. **Calculer** les quantités de matière dans l'état final à partir de la valeur de x_f.
Déterminer le caractère fort ou faible d'un acide ou d'une base dans l'eau.	**Réflexe 2** Ex. 7 p. 164 **Déterminer** l'avancement maximal x_{max} à partir des valeurs de la concentration C en acide (ou base) apporté(e) et du volume V et l'avancement final x_f (réflexe 1) **Comparer** les valeurs de x_f et de x_{max} ou **calculer** le taux d'avancement final $\tau = \frac{x_f}{x_{max}}$ pour conclure.
Comparer la force de différents acides ou de différentes bases dans l'eau.	**Réflexe 3** Ex. 11 p. 165 **Comparer** les pK_A des couples acide-base mis en jeu : – l'acide le plus fort appartient au couple de pK_A le plus petit ; – la base la plus forte appartient au couple de pK_A le plus grand.
Identifier l'espèce prédominante d'un couple acide-base.	**Réflexe 4** Ex. 13 p. 165 **Tracer**, si l'énoncé le demande, le diagramme de prédominance du couple acide-base. **Déterminer** l'espèce prédominante en comparant la valeur du pH de la solution à celle du pK_A du couple.

1 Exercice résolu

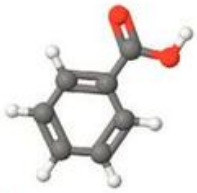
L'acide benzoïque

Utiliser un modèle ; effectuer des calculs.

L'acide benzoïque $C_6H_5CO_2H$ (aq) et sa base conjuguée l'ion benzoate $C_6H_5CO_2^-$ (aq) sont des conservateurs présents dans de nombreuses boissons sans alcool. Une solution de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en acide benzoïque apporté et de volume $V = 200$ mL a un pH égal à 3,1.

1. Déterminer la composition finale de la solution aqueuse d'acide benzoïque.

2. En déduire le caractère fort ou faible de l'acide benzoïque dans l'eau.



> L'acide benzoïque est repéré par le code européen E210.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 1.**

Établissement de l'équation de la réaction et du tableau d'avancement

1. Tableau d'avancement :

Équation	$C_6H_5CO_2H$(aq)	+	$H_2O(\ell)$	⇌	$C_6H_5CO_2^-$(aq)	+	H_3O^+(aq)
État initial ($x = 0$ mol)	$n_i = C \times V$		Solvant		0		0
État final (x_f)	$n_i - x_f$		Solvant		x_f		x_f

Détermination de x_f

L'avancement final est : $x_f = n_f(H_3O^+) = [H_3O^+]_f \times V$.
Or pH = 3,1 donc $[H_3O^+]_f = 10^{-3,1}$ mol·L^{-1}.
Donc $x_f = 10^{-3,1}$ mol·L^{-1} × 200 × 10^{-3} L = 1,6 × 10^{-4} mol.

Calculs des quantités de matière dans l'état final

La composition finale de la solution est :
$n_f(C_6H_5CO_2H) = C \times V - x_f$
$\mathbf{n_f(C_6H_5CO_2H)} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} × 200 × 10^{-3} L − 1,6 × 10^{-4} mol = **1,8 × 10^{-3} mol.**
$\mathbf{n_f(H_3O^+) = n_f(C_6H_5CO_2^-) = x_f = 1{,}6 \times 10^{-4}}$ **mol.**

État final (x_f)	1,8 mmol	Solvant	0,16 mmol	0,16 mmol

• **On utilise le Réflexe 2.**

Détermination de x_{max}

2. L'avancement maximal x_{max} serait atteint si l'acide benzoïque était totalement consommé, soit si $C \times V - x_{max} = 0$ d'où :
$x_{max} = C \times V = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} × 200 × 10^{-3} L = 2,0 × 10^{-3} mol.

Comparaison de x_f et x_{max} ou calcul de τ

$x_f < x_{max}$ donc **l'acide benzoïque est un acide faible** dans l'eau. On peut aussi calculer le taux d'avancement final : $\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{1{,}6 \times 10^{-4}\ \text{mol}}{2{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol}} = 0{,}080 < 1$

2 Exercice résolu

Comparaison de la force de trois bases faibles dans l'eau

Exploiter une relation ; tracer un graphique.



L'ion hypochlorite $C\ell O^-(aq)$, l'hydroxylamine $NH_2OH(aq)$ et l'ammoniac $NH_3(aq)$ sont trois bases faibles dans l'eau. Le pH d'une solution S d'hydroxylamine est égal 9,5.

1. Comparer la force de ces trois bases faibles dans l'eau.

2. Tracer le diagramme de prédominance, puis identifier l'espèce prédominante dans la solution S.

Données

pK_A de différents couples à 25 °C : $HC\ell O(aq) / C\ell O^-(aq)$: $pK_{A1} = 10{,}7$; $NH_3OH^+(aq) / NH_2OH(aq)$: $pK_{A2} = 6{,}0$; NH_4^+ / NH_3 : $pK_{A3} = 9{,}2$.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 3.**

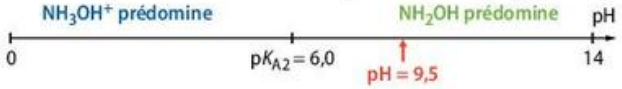
Comparaison des valeurs des pK_A

1. On constate que $pK_{A2} < pK_{A3} < pK_{A1}$. Donc :
– l'ion hypochlorite est une base plus forte que l'ammoniac dans l'eau ;
– l'ammoniac est une base plus forte que l'hydroxylamine dans l'eau.

• **On utilise le Réflexe 4.**

Tracé du diagramme de prédominance

2. Diagramme de prédominance du couple $NH_3OH^+(aq) / NH_2OH(aq)$:



Comparaison des valeurs du pH et du pK_A

$pH > pK_{A2}$, l'espèce prédominante dans la solution S est donc l'**hydroxylamine NH_2OH.**

Côté maths 4 : Résoudre une équation du second degré

Côté maths

Résoudre l'équation :
$$2x^2 - x - 6 = 0.$$

Méthode

• L'équation est de la forme :
$$ay^2 + by + c = 0$$
avec $a = 2$, $b = -1$ et $c = -6$.

• Le discriminant est :
$\Delta = b^2 - 4ac$
$= (-1)^2 - 4 \times 2 \times (-6) = 49$.

• Comme $\Delta > 0$, l'équation possède deux solutions réelles :

$$y_1 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-(-1) + \sqrt{49}}{2 \times 2} = 2$$

et

$$y_2 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} = \frac{-(-1) - \sqrt{49}}{2 \times 2} = -\frac{3}{2}.$$

Côté physique & chimie

Soit une solution aqueuse d'acide faible de concentration en acide AH apporté $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}. Calculer son pH.

Donnée

$K_A(AH(aq) / A^-(aq)) = 10^{-4,8}$.

Méthode

Équation	$AH(aq)$	+	$H_2O(\ell)$	⇌	$A^-(aq)$	+	$H_3O^+(aq)$
État initial	$n_i = C \times V$		Solvant		0		0
État final (x_f)	$n_i - x_f$		Solvant		x_f		x_f

Donc $[A^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq}$ et $[AH]_{éq} = C - [H_3O^+]_{éq}$.

La constante d'acidité K_A s'écrit : $K_A = \dfrac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH]_{éq}} = \dfrac{[H_3O^+]_{éq}^2}{C - [H_3O^+]_{éq}}$

Donc $[H_3O^+]_{éq}^2 + K_A \times [H_3O^+]_{éq} - K_A \times C = 0$

Soit $[H_3O^+]_{éq}^2 + 10^{-4,8} \times [H_3O^+]_{éq} - 10^{-6,8} = 0$

En posant $y = [H_3O^+]_{éq}$, on obtient l'équation du second degré :
$$y^2 + 10^{-4,8}\, y - 10^{-6,8} = 0$$

• L'équation est de la forme $ay^2 + by + c = 0$ avec $a = 1$, $b = 10^{-4,8}$ et $c = -10^{-6,8}$.

• Le discriminant est : $\Delta = (10^{-4,8})^2 - 4 \times (-10^{-6,8}) \approx 6{,}3 \times 10^{-7} > 0$.

• Comme $\Delta > 0$, l'équation possède deux solutions réelles. Seule la solution positive a un sens en chimie car une concentration est toujours positive :

$$y = [H_3O^+]_{éq} = \frac{-10^{-4,8} + \sqrt{6{,}3 \times 10^{-7}}}{2} = 3{,}9 \times 10^{-4} \text{ mol·L}^{-1}$$

et $pH = -\log [H_3O^+]]_{éq} = -\log (3{,}9 \times 10^{-4}) = 3{,}4$.

À retenir ! L'équation du second degré $ax^2 + bx + c = 0$ avec un discriminant $\Delta = b^2 - 4ac$ positif admet deux solutions : $x_1 = \dfrac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$ et $x_2 = \dfrac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Associer K_A et K_e aux équations de réactions correspondantes.	3	20	
Prévoir la composition finale d'une solution aqueuse de concentration donnée en acide fort ou faible apporté.	5	19	31
Associer le caractère fort d'un acide (d'une base) à la transformation quasi-totale de cet acide (cette base) avec l'eau.	7	19	31
Comparer la force de différents acides ou de différentes bases dans l'eau.	11	20	31
Représenter le diagramme de prédominance d'un couple acide-base. Exploiter un diagramme de prédominance ou de distribution	13	20	31
Justifier le choix d'un indicateur coloré lors d'un titrage.	15	23	31
Citer les propriétés d'une solution tampon.	17	23	32

1 La réaction d'un acide ou d'une base avec l'eau

Sauf mention contraire, toutes les solutions sont à 25 °C.

3 CORRIGÉ Associer une constante d'équilibre à une équation de réaction

Mobiliser des connaissances.

Soit l'équation :

$$2\,H_2O(\ell) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + HO^-(aq)$$

1. Parmi les expressions données ci-dessous, identifier et nommer la constante d'équilibre associée à cette équation :

$$\frac{[H_3O^+]_{éq}}{[HO^-]_{éq}} \; ; \; [H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq} \; ; \; \frac{1}{[H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq}}$$

2. Une solution aqueuse a un pH de 4,6. Calculer sa concentration en ions hydroxyde $OH^-(aq)$.

4 Exploiter le produit ionique de l'eau

Mobiliser ses connaissances ; effectuer un calcul.

La concentration en ions hydroxyde $HO^-(aq)$ d'une solution aqueuse est $3{,}2 \times 10^{-6}$ mol·L^{-1}

1. Écrire l'expression du produit ionique de l'eau K_e.

2. Calculer la concentration en ions oxonium $H_3O^+(aq)$ de la solution.

3. Déterminer le pH de la solution aqueuse.

5 CORRIGÉ Déterminer la composition finale d'une solution

Effectuer un calcul ; utiliser un modèle.

Une solution aqueuse d'acide ascorbique de volume $V = 500$ mL est obtenue en dissolvant $n = 5{,}0$ mmol d'acide ascorbique $C_6H_8O_6(s)$ dans l'eau. Le pH de la solution est pH = 2,7.

• Déterminer la composition finale de la solution.

Utiliser le réflexe 1

6 Exploiter la composition finale d'une solution

Exploiter des informations.

L'état final de la réaction entre la base méthylamine $CH_3NH_2(aq)$ et l'eau $H_2O(\ell)$ est décrit ci-dessous. Le volume de la solution est $V = 100{,}0$ mL.

Équation	$CH_3NH_2(aq)$ +	$H_2O(\ell) \rightleftharpoons$	$CH_3NH_3^+(aq)$ +	$HO^-(aq)$
État final	0,75 mmol	Solvant	0,25 mmol	0,25 mmol

1. Déterminer la concentration en ions hydroxyde $HO^-(aq)$ à l'état final.

2. En déduire la valeur de la concentration en ions oxonium H_3O^+ à l'état final, puis celle du pH de la solution.

3. Déterminer la valeur de la concentration C en méthylamine de la solution.

7 CORRIGÉ Justifier le caractère fort d'un acide

Construire un tableau ; effectuer un calcul.

Une solution aqueuse, de concentration $C = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1} en acide nitrique apporté et de volume $V = 150$ mL a un pH égal à 2,3. L'équation de la réaction entre l'acide nitrique et l'eau s'écrit :

$$HNO_3(\ell) + H_2O(\ell) \rightarrow NO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

1. Construire un tableau d'avancement de la réaction.

2. Justifier le caractère fort de cet acide dans l'eau en calculant le taux d'avancement final τ. Utiliser le réflexe 2

8 Exploiter un taux d'avancement final

Mobiliser ses connaissances ; effectuer un calcul.

Soit une solution aqueuse de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en méthylamine CH_3NH_2 apporté. Le taux d'avancement final de la réaction entre cette base et l'eau est $\tau = 0{,}22$.

1. Écrire l'équation de la réaction entre la méthylamine et l'eau.

2. Calculer les concentrations des espèces présentes dans la solution à l'état final.

2 La constante d'acidité d'un couple acide-base

VIDÉO DE COURS Diagramme de prédominance – QR Code p. 160

9 Écrire une constante d'acidité

CORRIGÉ

Mobiliser ses connaissances.

Les « fumeurs noirs » rejettent des solutions contenant entre autres du sulfure d'hydrogène H_2S.

1. Écrire l'équation de la réaction entre le sulfure d'hydrogène et l'eau.
2. Exprimer la constante d'acidité K_A associée.
3. Écrire la relation entre K_A et pK_A.

Donnée

$H_2S(aq)$ / $HS^-(aq)$.

10 Calculer une constante d'acidité

Exploiter des informations ; effectuer un calcul

La transfomation modélisée par la réaction de l'acide lactique avec l'eau $C_3H_6O_3$ n'est pas totale.

1. Écrire l'équation de la réaction correspondante.
2. Exprimer la constante d'acidité K_A associée.
3. Un état d'équilibre est caractérisé par :
$[C_3H_5O_3^-]_{éq} = [H_3O^+]_{éq} = 2{,}5 \text{ mmol} \cdot L^{-1}$.
En déduire la valeur la concentration $[C_3H_6O_3]_{éq}$.

Donnée

$pK_A(C_3H_6O_3(aq) / C_3H_5O_3^-(aq)) = 3{,}9$.

11 Comparer la force de différents acides

CORRIGÉ

Mobiliser ses connaissances ; effectuer des calculs.

1. Recopier puis compléter le tableau ci-dessous.

Couple		K_A	pK_A
Acide	Base		
$C_2H_5CO_2H$ (aq)	...	$1{,}3 \times 10^{-5}$	...
...	$C\ell O^-$(aq)	...	7,5
HCO_2H (aq)	...	$1{,}6 \times 10^{-4}$	...
...	$H_2O(\ell)$	...	0

2. Comparer la force des différents acides dans l'eau.

Utiliser le réflexe 3

12 Comparer la force de trois bases dans l'eau

Exploiter des informations.

Trois solutions aqueuses sont obtenues en dissolvant dans l'eau de l'ammoniac NH_3, de la méthylamine CH_3NH_2 et de l'hydroxylamine NH_2OH de même concentration en soluté apporté.

- En justifiant, attribuer à chaque solution le taux d'avancement final correspondant parmi les valeurs suivantes :
$\tau = 0{,}25$; $\tau = 4{,}0\ \%$ et $\tau = 1{,}0 \times 10^{-3}$.

Données

- $pK_{A1}(NH_4^+(aq) / NH_3(aq)) = 9{,}2$;
- $pK_{A2}(NH_3OH^+(aq) / NH_2OH(aq)) = 9{,}9$;
- $pK_{A3}(CH_3NH_3^+(aq) / CH_3NH_2(aq)) = 10{,}6$.

13 Tracer un diagramme de prédominance

CORRIGÉ

Construire un diagramme.

Le pH d'une solution aqueuse contenant de l'acide nitreux $HNO_2(aq)$ est pH = 4,5.

- Identifier, en justifiant, l'espèce prédominante du couple de l'acide nitreux dans la solution.

Donnée

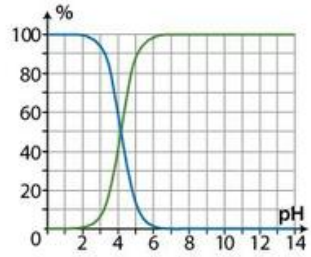
Utiliser le réflexe 4

$pK_A(HNO_2(aq) / NO_2^-(aq)) = 3{,}3$.

14 Exploiter un diagramme de distribution

Exploiter un graphique.

Le diagramme de distribution ci-contre représente les pourcentages des espèces acide benzoïque $C_6H_5CO_2H(aq)$ et ions benzoate $C_6H_5CO_2^-(aq)$ d'une solution en fonction de son pH.



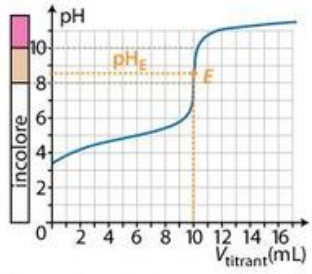
1. En justifiant, associer chacune de ces courbes à l'espèce correspondante.
2. Déterminer graphiquement la valeur du pK_A du couple $C_6H_5CO_2H(aq) / C_6H_5CO_2^-(aq)$.

15 Justifier le choix d'un indicateur coloré

CORRIGÉ

Mobiliser ses connaissances.

La courbe du suivi pH-métrique du titrage d'une solution d'acide éthanoïque par une solution d'hydroxyde de sodium est donnée ci-dessous. Les teintes de l'indicateur coloré phénolphtaléine sont indiquées à côté de l'axe des ordonnées.



1. Définir un indicateur coloré acido-basique.
2. Pourquoi la phénolphtaléine est-elle un indicateur coloré adapté à ce titrage ?

16 Choisir un indicateur coloré pour un titrage

Exploiter des informations.

À l'équivalence du titrage d'une solution d'hydroxyde de sodium par une solution d'acide chlorhydrique : $pH_E = 7{,}0$.

1. Choisir l'indicateur coloré adapté à ce titrage.
2. Déterminer le changement de couleur du mélange réactionnel à l'équivalence de ce titrage.

Données

Indicateur	Teinte acide	Zone de virage Teinte sensible	Teinte basique
Hélianthine	Rouge	Orange 3,1-4,4	Jaune
Bleu de bromothymol	Jaune	Vert 6,0-7,6	Bleu
Phénolphtaléine	Incolore	Rose 8,2-10	Pourpre

17 Reconnaitre un effet tampon

CORRIGÉ

Proposer un protocole.

On dispose de différentes solutions :

S_1 : solution de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en acide chlorhydrique	pH = 2,0
S_2 : un volume $V = 200$ mL de solution S_1 à laquelle a été ajoutée $1{,}0 \times 10^{-3}$ mol d'acide chlorhydrique sans variation de volume	pH = 2,5
S_3 : solution obtenue par dissolution de $1{,}0 \times 10^{-2}$ mol d'acide éthanoïque CH_3CO_2H et de $1{,}0 \times 10^{-2}$ mol d'éthanoate de sodium dans de l'eau distillée	pH = 4,75
S_4 : solution S_3 à laquelle a été ajoutée $1{,}0 \times 10^{-3}$ mol d'acide chlorhydrique sans variation de volume	pH = 4,71

1. Parmi les solutions S_1 et S_3, identifier celle qui pourrait être une solution tampon. Justifier.

2. Proposer d'autres tests qui permettraient de valider cette hypothèse.

18 Justifier l'utilisation d'une solution tampon

Rédiger une explication.



Les pH-mètres sont étalonnés à l'aide de solutions tampons. Ces solutions sont réutilisées très fréquemment pour refaire les étalonnages.

1. Citer les propriétés d'une solution tampon.

2. Expliquer l'intérêt d'utiliser des solutions tampons pour étalonner des pH-mètres plutôt que des solutions de même pH mais qui ne seraient pas des solutions tampons.

Exercices S'entraîner

19 À chacun son rythme

CORRIGÉ

Lutte biologique contre le varroa

Utiliser un modèle ; effectuer un calcul.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.



L'acide méthanoïque est utilisé par les apiculteurs pour éliminer le varroa, acarien parasite de l'abeille.
Le groupe carboxyle $-CO_2H$ est responsable du caractère acide de la molécule.
Un volume $V = 0{,}60$ L d'une solution aqueuse S de concentration $C = 1{,}0$ mol·L^{-1} en acide méthanoïque apporté a un pH égal à 1,9.

Énoncé compact

Déterminer la composition finale de la solution S et en déduire le caractère fort ou faible de l'acide méthanoïque dans l'eau.

Énoncé détaillé

1. Établir l'équation de la réaction entre l'acide méthanoïque et l'eau.

2. Construire un tableau d'avancement de la réaction.

3. Calculer l'avancement maximal x_{max}.

4. Déduire, des valeurs du pH et du volume V, l'avancement final x_f.

5. Déterminer la composition finale de la solution S.

6. Comparer x_f et x_{max} ou calculer le taux d'avancement final τ.

7. L'acide méthanoïque est-il un acide fort dans l'eau ?

20 Les couleurs des hortensias

CORRIGÉ

Construire un diagramme ; rédiger une explication.

D'après Baccalauréat



Les couleurs rouge, mauve, violette et bleue des hortensias sont dues à la présence d'anthocyanes dans les pétales. La couleur violette est due à une molécule que l'on notera AH dans la suite.
La molécule AH appartient à deux couples acide-base : AH_2^+ / AH de $pK_{A1} = 4{,}3$ et AH / A^- de $pK_{A2} = 7{,}0$.
La présence des espèces AH_2^+, AH et A^- en solution donne, respectivement, une coloration rouge, violette et bleue aux pétales.

1. Écrire les équations des réactions des acides AH_2^+ (aq) et AH (aq) avec l'eau.

2. Construire le diagramme de prédominance des espèces AH_2^+ (aq), AH (aq) et A^- (aq).

3. Associer les constantes d'acidité ci-dessous aux équations de la question **1** :

$$\frac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH]_{éq}} \quad \text{et} \quad \frac{[AH]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH_2^+]_{éq}}$$

4. Identifier l'acide le plus fort dans l'eau.

5. Calculer la constante d'acidité K_{A2} du couple AH / A^-.

6. Une solution S contenant l'espèce AH a un pH égal à 10,0.

a. Exprimer puis calculer la valeur du rapport $\frac{[A^-]_{éq}}{[AH]_{éq}}$.

b. En déduire la couleur de la solution S.

7. Le pH dans les cellules des pétales varie en sens inverse du pH du sol. Expliquer pourquoi et comment il est possible de faire passer de rose à bleu les fleurs d'un hortensia.

21 Python

Diagramme de distribution informatisé

Utiliser un langage de programmation ; effectuer des calculs.

On considère une solution aqueuse S de concentration C en acide faible apporté.

1. a. Écrire l'expression de la constante d'acidité K_A du couple AH / A^-.

b. Établir la relation entre C, $[AH]_{éq}$ et $[A^-]_{éq}$.

2. a. À partir des deux relations précédentes, montrer que le pourcentage en acide AH s'écrit :

$$\%\,(AH) = 100 \times \frac{[AH]_{éq}}{C} = \frac{100}{1 + 10^{pH - pK_A}}$$

b. En déduire l'expression du pourcentage en base A^-.

3. Le programme Python ci-dessous permet de tracer le diagramme de distribution d'un couple acide-base de pK_A connu. Identifier les lignes du programme permettant de calculer les pourcentages en acide et en base.

```
1  import matplotlib.pyplot as plt
2  import numpy as np
3  pKA=float(input('pKA du couple HA / A-  ?'))
4  pH = np.linspace(0,14,1000)
5  pHA = [100/(1+10**(i-pKA)) for i in pH]
6  pA = [100/(1+10**(pKA-i)) for i in pH]
7  plt.title("Diagramme de distribution d'un\
   couple HA/A-")
8  plt.xlabel('pH')
9  plt.ylabel('%')
10 plt.axis(xmin=0,xmax=14,ymin=0, ymax=100)
11 plt.xticks(range(15))
12 plt.yticks(range(0,110,10))
13 plt.grid(linestyle="-.")
14 plt.plot(pH, pHA, color='r', label='% en\
   HA')
15 plt.plot(pH, pA, color='b',label='% en A-')
16 plt.legend()
17 plt.show()
```

4. En utilisant le programme, tracer le diagramme de distribution du couple $HC\ell O\,(aq) / C\ell O^-\,(aq)$ de pK_A égal à 7,5.

5. À partir du graphe, déterminer les valeurs du pH telles que :

a. $\dfrac{[HC\ell O]_{éq}}{[C\ell O^-]_{éq}} = 10$ **b.** $\dfrac{[HC\ell O]_{éq}}{[C\ell O^-]_{éq}} = 0{,}10$

6. Proposer une modification du programme qui permette de tracer le diagramme de distribution pour deux couples acide-base AH_2 / AH et AH / A^- dont les deux pK_A sont connus. L'appliquer à l'exercice 20.

Côté maths

Côté maths 4, p. 163

22 Résoudre une équation du second degré

On dispose d'une solution aqueuse de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1} en acide faible AH (aq) apporté.

1. Exprimer la constante d'acidité du couple AH/A^-.

2. Établir l'équation du second degré vérifiée par $[H_3O^+]$.

3. Calculer le pH.

Donnée

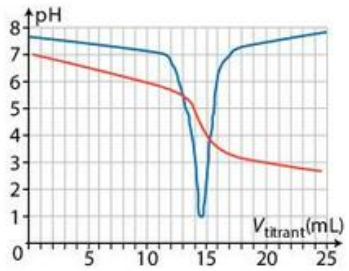
$pK_A(AH\,(aq) / A^-\,(aq)) = 3{,}5$.

23 Indicateur coloré adapté à un titrage

CONVICE

Exploiter un graphique et des informations.

La courbe de suivi pH-métrique du titrage des ions hydrogénocarbonate $HCO_3^-\,(aq)$ d'une eau minérale par les ions $H_3O^+\,(aq)$ d'une solution S_A d'acide chlorhydrique est donnée ci-contre.



1. Déterminer les coordonnées du point E correspondant à l'équivalence du titrage. Préciser la méthode utilisée.

2. a. Définir un indicateur coloré.

b. Identifier l'indicateur coloré adapté à ce titrage. Justifier.

c. Comment repère-t-on visuellement l'équivalence de ce titrage avec l'indicateur coloré choisi ?

3. La solution obtenue quand $V_A = \dfrac{V_{éq}}{2}$ est une solution tampon. Citer les propriétés d'une solution tampon.

Données

Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage Teinte sensible	Teinte basique
Jaune de méthyle	Rouge	Orange 2,9-4,0	Jaune
Vert de bromocrésol	Jaune	Vert 3,8-5,4	Bleu
Pourpre de bromocrésol	Jaune	Violet 5,2-6,8	Pourpre

24 Python

Calcul informatisé d'un taux d'avancement final

Utiliser un langage de programmation.

Le programme Python ci-dessous permet de calculer le taux d'avancement final associé à l'équation :

$$AH\,(aq) + H_2O\,(\ell) \rightleftharpoons A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

```
1   pH=float(input('pH de la solution ? pH ='))
2`  C=float(input('Concentration en soluté\
    apporté en mol/L ? C ='))
3   V=float(input('Volume de la solution en L\
    V='))
4   xf=10**-pH*V
5   xmax=C*V
6   tau=round(xf/xmax,2)
7   if tau>1 : print('taux d'avancement =',
    tau,'impossible')
8   else :
9     if tau==1 : print('taux d'avancement\
      =',tau,'Acide fort')
10    else :
11      print('taux d'avancement=',tau,'Acide
        faible')
```

1. Exécuter le programme en l'appliquant aux exercices 1 p. 162 et 7 p. 164.

2. Modifier le programme afin qu'il puisse :

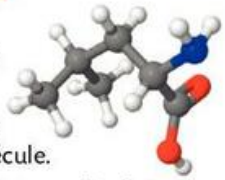
a. indiquer si l'acide est faiblement dissocié dans l'eau c'est-à-dire $\tau < 0{,}10$;

b. donner la composition du système à l'état final ;

c. vérifier le programme avec l'exercice 19 p. 166.

25 La leucine, un acide α-aminé

Construire un diagramme.



La leucine est un acide α-aminé dont le modèle est donné ci-contre.

1. Identifier les deux groupes caractéristiques présents dans cette molécule.

2. En solution aqueuse, un transfert intramoléculaire d'un ion hydrogène a lieu du groupe carboxyle vers le groupe amine. Écrire la formule de l'amphion formé.

3. L'amphion est une espèce amphotère. Écrire les deux couples acide-base auxquels il appartient.

4. La leucine est caractérisée par deux valeurs de pK_A : $pK_{A1} = 2{,}4$ et $pK_{A2} = 9{,}9$.
Établir le diagramme de prédominance de la leucine.

26 Connaître les critères de réussite

pH d'une solution d'acide sulfurique

Établir et exploiter une relation.

L'acide sulfurique $H_2SO_4(\ell)$ peut être considéré comme un diacide fort dans l'eau. La réaction entre l'acide sulfurique et l'eau libère deux ions $H_3O^+(aq)$. On considère une solution de concentration $C = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol·L^{-1} en acide sulfurique apporté.

1. Écrire l'équation de la réaction entre l'acide sulfurique et l'eau.

2. Établir une relation entre $[H_3O^+]$ et C.

3. Calculer le pH de la solution d'acide sulfurique.

Critères de réussite

J'ai développé le raisonnement pour répondre à la question **2**.	☐ ☐
J'ai donné le résultat du calcul avec un nombre de chiffres significatifs et une unité adaptés.	☐ ☐

27 pH of a strong dibase

Pratiquer une langue vivante étrangère.

Calcium hydroxide $Ca(OH)_2$ (s) is a strong dibase in water. Let's look at how calculate the pH of homogeneous aqueous solution S that contains 0.11 g of calcium hydroxide, in a total volume of 250 mL.

1. Balance[1] the dissolution equation of calcium hydroxide in water.

2. Calculate the amount[2] of substance of the calcium hydroxide introduced in the water.

3. How many moles of hydroxide ions are in this solution?

4. Deduce the concentration of hydroxide ions.

5. Calculate the pH of this solution using $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$.

6. Solution S is diluted ten times: what is the pH of the dilute solution?

Data

$M(Ca(OH)_2) = 74{,}1$ g·mol^{-1}.

Vocabulary: 1. *to balance*: équilibrer ; 2. *amount*: quantité.

28 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Comme un poisson dans l'eau...

Exploiter des informations ; comparer à une valeur de référence.

D'après Baccalauréat

• La concentration en dioxyde de carbone dissous de l'eau prélevée dans un aquarium est-elle optimale pour les plantes et les poissons ?

A CO_2 dissous dans l'eau d'un aquarium



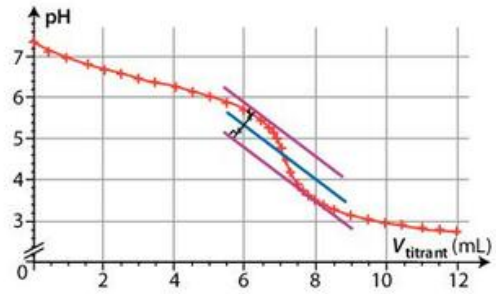
Le dioxyde de carbone CO_2 est essentiel à la bonne croissance des plantes d'un aquarium, c'est pourquoi il est nécessaire d'installer des dispositifs qui libèrent ce gaz dans l'eau de l'aquarium dans laquelle il se dissout. Cependant, une concentration en dioxyde de carbone dissous trop grande est toxique pour les poissons. Les cellules grisées du tableau ci-dessous, indiquent les concentrations en masse en dioxyde de carbone dissous optimales pour les plantes et les poissons de l'eau d'un aquarium.

pH	Concentration en masse en CO_2 dissous (mg·L^{-1})									
7,8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7,6	1	2	4	5	7	8	10	11	13	14
7,4	1	4	6	8	11	13	16	18	20	23
7,2	2	6	9	13	17	21	25	28	32	36
7,0	3	9	15	21	27	33	39	45	51	57
6,8	5	14	24	33	43	52	62	72	81	91

D'après http://www.aquabase.org

B Titrage acido-basique de l'eau d'un aquarium

La concentration en dioxyde de carbone dissous de l'eau d'un aquarium est liée au pH et à la concentration en ions hydrogénocarbonate $HCO_3^-(aq)$. La courbe ci-dessous correspond au suivi pH-métrique du titrage des ions HCO_3^- dans 100,0 mL d'eau prélevée dans un aquarium par une solution de concentration $C_A = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} en acide chlorhydrique.



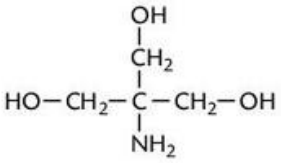
Données

• $pK_A(CO_2, H_2O / HCO_3^-) = 6{,}4$.
• $M(CO_2) = 44{,}0$ g·mol^{-1}.

29 Le tampon TRIS

Rédiger une explication ; effectuer des calculs.

Le tampon TRIS est utilisé en biochimie pour travailler dans un intervalle de pH compris entre 6,5 et 9,7. Il contient les espèces du couple acide-base $RNH_3^+(aq)$ / $RNH_2(aq)$ de pK_A égal à 8,1.



Une solution S de tampon TRIS, de volume $V_S = 1{,}00$ L telle que $[RNH_2] + [RNH_3^+] = 0{,}10$ mol · L^{-1} a un pH égal à 7,4.

1. Écrire la relation entre le pH, le pK_A, $[RNH_3^+]_{éq}$ et $[RNH_2]_{éq}$.

2. Déterminer $[RNH_3^+]_{éq}$ et $[RNH_2]_{éq}$ dans la solution S.

3. Une réaction enzymatique a lieu dans la solution S et libère 10 mmol d'ions oxonium $H_3O^+(aq)$ sans variation de volume.

a. Écrire l'équation de la réaction entre $RNH_2(aq)$ et les ions $H_3O^+(aq)$, la transformation étant totale.

b. Calculer le pH de la solution S à la fin de la réaction.

c. Quel serait le pH d'une solution obtenue par dissolution de 10 mmol d'ions oxonium $H_3O^+(aq)$ dans 1,0 L d'eau pure ?

Coup de pouce QR Code p. 160

4. Justifier l'intérêt du tampon TRIS pour cette réaction enzymatique.

5. On considère une solution tampon TRIS de volume $V = 1{,}00$ L telle que $[RNH_2] = [RNH_3^+] = c$.

a. Quel est le pH de cette solution tampon ?

b. On ajoute une quantité $n = 10$ mmol d'ions $H_3O^+(aq)$ à la solution tampon TRIS précédente, sans variation de volume. Les ions $H_3O^+(aq)$ sont limitants.

Montrer que la variation de pH est : $\Delta pH = \log\left(\dfrac{c - \frac{n}{V}}{c + \frac{n}{V}}\right)$.

c. Déterminer la meilleure des solutions tampons TRIS, parmi les deux solutions ci-dessous.

Tampon TRIS 1	Tampon TRIS 2
$c_1 = 1{,}0 \times 10^{-1}$ mol · L^{-1}	$c_2 = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1}

30 Acidification des océans

Exploiter un diagramme ; proposer une explication

D'après Baccalauréat

A Différents équilibres dans l'océan

Depuis le début de l'ère industrielle, la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère a fortement augmenté. Une partie du CO_2 atmosphérique est piégée dans les océans :

$CO_2^{atm} \rightleftharpoons CO_2^{océan}$

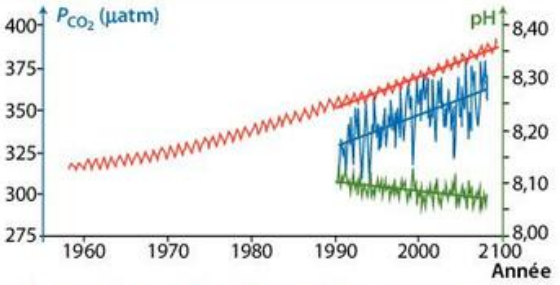
$CO_2^{océan} + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CO_2, H_2O(aq)$

$CO_2, H_2O(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HCO_3^-(aq) + H_3O^+(aq)$ K_{A_1}

$HCO_3^-(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons CO_3^{2-}(aq) + H_3O^+(aq)$ K_{A_2}

avec $K_{A_1} = 5{,}01 \times 10^{-7}$ et $K_{A_2} = 5{,}01 \times 10^{-11}$ à 25 °C.

B Évolution de différentes concentrations à Hawaï



- Concentration en CO_2 de l'atmosphère en ppmv (partie par million par volume) sans soucis d'échelle
- Pression partielle en CO_2, P_{CO_2}, à la surface de l'océan
- pH de l'océan

C Loi de Henry

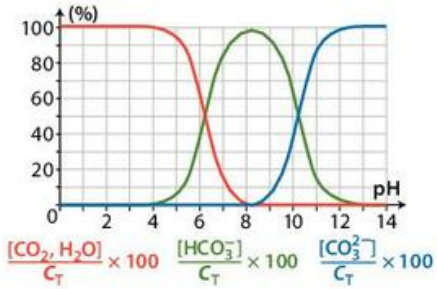
La concentration $[CO_2^{océan}]$ est proportionnelle à la pression partielle P_{CO_2} en dioxyde de carbone à la surface de l'océan :

$$[CO_2^{océan}] = \alpha \times P_{CO_2}$$

avec :

- $\alpha = 2{,}803 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} · bar, constante de Henry ;
- $P_{CO_2} = 3{,}80 \times 10^{-4}$ bar.

D Diagramme de distribution



Avec $C_T = [CO_2, H_2O] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}]$

1. En utilisant le graphique B et le texte C, indiquer comment évoluent, la pression partielle P_{CO_2}, la concentration $[CO_2^{océan}]$ et le pH de l'océan à Hawaï ?

2. Déterminer graphiquement les valeurs de pK_{A1} et de pK_{A2}. Comparer ces résultats aux données du doc. A.

3. a. Construire le diagramme de prédominance des espèces CO_2, $H_2O(aq)$, $HCO_3^-(aq)$ et $CO_3^{2-}(aq)$.

b. Identifier l'espèce qui prédomine dans l'océan en 2010 à Hawaï.

4. En présence d'un excès de CO_2, le carbonate de calcium $CaCO_3(s)$ réagit selon les réactions opposées d'équation :

$$CaCO_3(s) + CO_2, H_2O(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + 2\,HCO_3^-(aq)$$

Quelle est la conséquence de l'acidification des océans sur les organismes marins qui ont une coquille à base de carbonate de calcium ? Justifier.

Vers le BAC

Repérer des grandeurs sans unité

Les grandeurs :

$$K_e = [H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq}$$

$$\text{et } K_A = \frac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH]_{éq}}$$

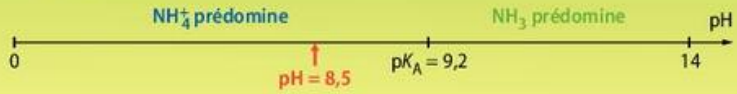
sont sans unités.

En effet, en toute rigueur, il faudrait écrire ces expressions en divisant chaque concentration par $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Conclure sur l'acidité d'une solution

Le fait que l'acide d'un couple acide-base prédomine sur la base, n'implique pas forcément que la solution est acide !

Exemple : pour le couple $NH_4^+(aq)$ / $NH_3(aq)$ de pK_A égal à 9,2 à 25 °C, l'acide NH_4^+ prédomine sur la base NH_3 à pH = 8,5 mais la solution est basique (pH > 7).



Relier pH et concentration

- La relation $pH = -\log C$ est correcte seulement pour un acide fort de concentration C en acide apporté. Pour un acide faible, $pH > -\log C$.
- La relation $pH = pK_e + \log C$ est correcte seulement pour une base forte de concentration C en base apportée. Pour une base faible, $pH < pK_e + \log C$.

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2, 3 et 4 sont présentés p. 162

31 Une astuce culinaire

60 min — CORRIGÉ

Extraire et exploiter des informations ; tracer un graphique ; effectuer des calculs ; proposer une explication.

D'après Baccalauréat



Les substances chimiques responsables de la mauvaise odeur du poisson sont des composés azotés, les amines, comme la triméthylamine de formule $(CH_3)_3N$. Celle-ci est produite lors de la décomposition du poisson. Pour atténuer ces odeurs, il est conseillé de verser du jus de citron ou du vinaigre sur le poisson lors de sa cuisson.

Partie I Comportement de la triméthylamine dans l'eau

Le pH d'une solution aqueuse S, de concentration molaire $C = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en triméthylamine $(CH_3)_3N$ apportée et de volume $V = 50$ mL est 10,9. Soit les réactions de sens opposés d'équation :

$$(CH_3)_3N(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons (CH_3)_3NH^+(aq) + HO^-(aq).$$

1. Déterminer l'espèce prédominante du couple $(CH_3)_3NH^+$ (aq) / $(CH_3)_3N$ (aq) dans la solution S.

Utiliser le réflexe 4

2. Déterminer la composition finale de la solution S. Confirme-t-elle la réponse à la question **1.** ?

Utiliser le réflexe 1

3. En déduire le caractère fort ou faible de la triméthylamine dans l'eau.

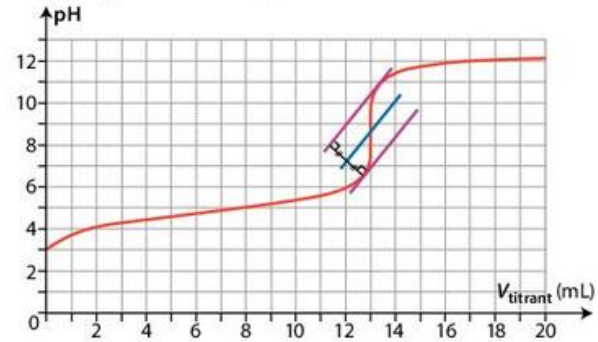
Utiliser le réflexe 2

4. Comparer la force de la triméthylamine $(CH_3)_3N$ (aq) et des ions éthanoate $CH_3CO_2^-$ (aq) dans l'eau.

Utiliser le réflexe 3

Partie II Titrage pH-métrique d'un vinaigre dilué

Le vinaigre est une solution aqueuse contenant essentiellement de l'acide éthanoïque CH_3CO_2H (aq). La solution S_0 de vinaigre commercial est diluée 20 fois. On prélève un volume $V_1 = 10{,}0$ mL de la solution diluée S_1. La courbe du suivi du titrage pH-métrique de la solution S_1, par une solution titrante de concentration $C_b = 5{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ en hydroxyde de sodium, est donnée ci-dessous.



5. Identifier l'indicateur coloré adapté à ce titrage.

6. Rappeler la relation entre le pH, le pK_A et les concentrations des espèces du couple dont l'acide éthanoïque est l'espèce acide.

7. a. Citer les propriétés d'une solution tampon.

b. À la demi-équivalence du titrage, le volume d'hydroxyde de sodium versé est égal à $\frac{V_E}{2}$. Justifier, à l'aide de la courbe du titrage, qu'une des propriétés des solutions tampons est vérifiée par la solution obtenue à la demi-équivalence.

Partie III **Intérêt d'ajouter du vinaigre à l'eau de cuisson du poisson**

On ajoute du vinaigre à la solution S de triméthylamine. Le pH de la solution vaut alors 6,5.

Il se produit deux réactions de sens opposés d'équation :

$(CH_3)_3N(aq) + CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons (CH_3)_3NH^+(aq) + CH_3COO^-(aq)$

8. Écrire l'expression de la constante d'acidité K_{A2} du couple $(CH_3)_3NH^+(aq)$ / $(CH_3)_3N(aq)$ et en déduire l'expression du rapport $\frac{[(CH_3)_3NH^+]_{éq}}{[(CH_3)_3N]_{éq}}$ en fonction de pK_{A2} et du pH.

9. Calculer la valeur de ce rapport.

10. Le conseil donné en début d'exercice est-il judicieux ? Justifier.

Données à 25 °C

- $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$.
- $pK_{A1}(CH_3CO_2H(aq) / CH_3CO_2^-(aq)) = 4{,}8$.
- $pK_{A2}((CH_3)_3NH^+(aq) / (CH_3)_3N(aq)) = 9{,}8$.
- Tableau d'indicateurs colorés :

Indicateur coloré	Teinte acide	Zone de virage et teinte sensible	Teinte basique
Bleu de bromothymol	Jaune	Vert 6,0-7,6	Bleu
Rouge de phénol	Jaune	Orange 6,6-8,0	Rouge
Phénolphtaléine	Incolore	Rose 8,2-10,0	Pourpre

Préparation à l'ECE

La version intégrale de cette ECE, réalisable en activité expérimentale, est disponible dans la version numérique. La version proposée ci-dessous, permet à l'élève de travailler en autonomie les compétences RÉA et VAL.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

☑ DISSOUDRE un comprimé d'aspirine, contenant $m = 500$ mg d'acide acétylsalicylique, afin de préparer 200,0 mL de solution S d'aspirine.

☑ AJOUTER à la solution S, à l'aide d'une burette graduée, $V_b = 10{,}0$ mL de solution S_b de concentration $C_b = 0{,}10$ mol·L^{-1} en hydroxyde de sodium.
MESURER le pH de la solution.

☑ POURSUIVRE les ajouts de la solution S_b de 2,0 mL en 2,0 mL jusqu'à $V_b = 20{,}0$ mL et MESURER le pH à chaque ajout. Les valeurs du pH et du volume V_b sont données dans le tableau ci-contre.

V_b (L)	pH
0,010	3,3
0,012	3,4
0,014	3,5
0,016	3,6
0,018	3,8
0,020	3,9

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

L'équation de la réaction entre l'acide acétylsalicylique, noté AH(aq), et les ions hydroxyde $HO^-(aq)$ s'écrit :

$$AH(aq) + HO^-(aq) \rightarrow A^-(aq) + H_2O(\ell)$$

Le pH du mélange est : $pH = pK_A + R$ avec $R = \log\left(\frac{C_b \times V_b}{\frac{m}{M} - C_b \times V_b}\right)$.

A Programme en langage Python

```
1  import matplotlib.pyplot as plt
2  from numpy import log10, arange
3  Vb = [                                    ]
4  pH = [                                    ]
5  R=[]
6  for i in Vb :
7      R.append(log10(0.1*i/(0.5/180-0.1*i)))
8  plt.title('Courbe pH en fonction de R')
9  plt.xlabel('R')
10 plt.ylabel('pH')
11 plt.axis(xmin=-0.5, xmax=0.5, ymin=3, ymax=4.5)
12 plt.xticks(arange(-0.5,0.6,0.1))
13 plt.yticks(arange(3,4.6,0.1))
14 plt.grid(linestyle='-.')
15 plt.plot(R, pH, 'ro')
16 plt.show()
```

1. RÉA Compléter et utiliser le programme en langage Python fourni pour tracer le graphique $pH = f(R)$.

2. VAL En expliquant la méthode utilisée, déduire du graphe la valeur du pK_A du couple de l'acide acétylsalicylique.

Donnée

Masse molaire de l'acide acétylsalicylique : $M = 180$ g·mol^{-1}.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Préparer l'échange sur l'orientation lors de l'entretien

À la fin de l'entretien, les questions du jury vont porter sur le projet d'orientation du candidat.

Comment s'est construit son choix ?
Compétences, motifs et besoins, valeurs, etc.

Comment s'organisent les études choisies ?
Matières enseignées, horaires, modes d'évaluations, durée, alternance, césure, stages, etc.

ORIENTATION

Comment le futur étudiant s'est-il informé ?
Sites Internet, portes ouvertes, stages, CIO, conseiller d'orientation, salons étudiants, etc.

Comment va s'organiser la vie de l'étudiant ?
Logement, déplacements, aides financières, job étudiant, etc.

À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation fournie. Puis les élèves échangent leurs rôles et à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

Grille d'évaluation

Évaluation orale n° 1

- À l'aide du nuage de mots, justifier que l'acide benzoïque est un acide faible en utilisant le fait qu'une solution aqueuse de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} en acide benzoïque a un pH égal à 3,1.

Évaluation orale n° 2

- À l'aide du nuage de mots, justifier que l'acide bromhydrique est un acide fort en utilisant le fait qu'une solution aqueuse de concentration $C = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} en acide bromhydrique a un pH égal à 2.

pH solution supérieur logC Égal acide faible aqueuse fort

Je m'exprime à l'oral sur

Les forces des acides et des bases

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

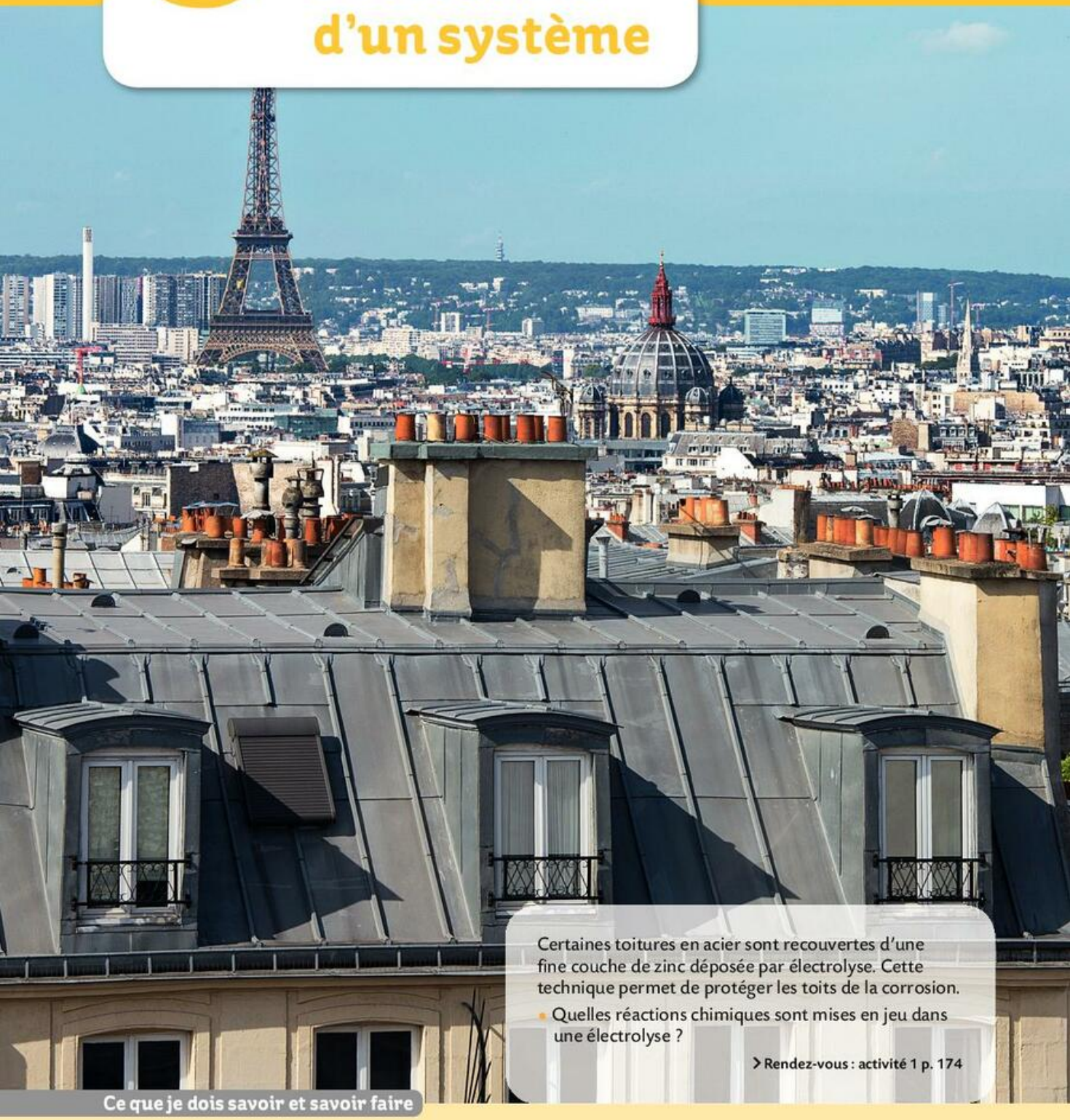
La **constante d'acidité** a-t-elle une unité ?

Une solution dans laquelle l'**espèce basique** d'un couple est prédominante a-t-elle un pH basique ?

Pourquoi l'**autoprotolyse de l'eau** peut-elle être considérée comme une **réaction acide-base** ?

À quelle condition un **indicateur coloré** est-il adapté à un **titrage** ?

9 Forcer l'évolution d'un système



Certaines toitures en acier sont recouvertes d'une fine couche de zinc déposée par électrolyse. Cette technique permet de protéger les toits de la corrosion.

- Quelles réactions chimiques sont mises en jeu dans une électrolyse ?

> Rendez-vous : activité 1 p. 174

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Modéliser et schématiser, à partir de résultats expérimentaux, les transferts d'électrons aux électrodes par des réactions électrochimiques. **Activité 1 p. 174**
- Déterminer les variations de quantité de matière à partir de la durée de l'électrolyse et de la valeur de l'intensité du courant. **Activité 1 p. 174**
- Identifier les produits formés lors du passage forcé d'un courant dans un électrolyseur. **Activité 1 p. 174**
- Citer des exemples de dispositifs mettant en jeu des conversions et stockages d'énergie chimique (piles, accumulateurs, organismes chlorophylliens) et les enjeux sociétaux associés. **Activité 2 p. 175**

Activité expérimentale 1

Forcer l'évolution d'un système

L'électrolyse est une technique forçant une transformation limitée à poursuivre son évolution. Elle connaît des applications très variées : purifications industrielles, protection contre la corrosion, charge des accumulateurs, etc.

▶ **Objectif de l'activité : Comment forcer l'évolution d'un système chimique ?**

Notions
- Électrolyse
- Porteurs de charges
- Intensité du courant, durée d'une électrolyse, quantité(s) de produit(s) formé(s)
- Quotient de réaction

A Le zincage



Certaines toitures en acier sont recouvertes d'une fine couche de zinc afin de les protéger de la corrosion. Ce zincage se fait par électrolyse. Industriellement, on plonge une plaque d'acier dans une solution contenant des ions zinc (II) $Zn^{2+}(aq)$ et on fait circuler un courant électrique entre cette plaque et une (ou plusieurs) électrode(s) de zinc de façon à provoquer le dépôt de zinc Zn(s).

Protocole expérimental 1

☑ Dans un tube à essai, VERSER quelques millilitres d'une solution de sulfate de zinc $Zn^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$ de concentration $1\ mol \cdot L^{-1}$ en ions zinc (II) $Zn^{2+}(aq)$.
☑ INTRODUIRE un clou décapé. NOTER les observations.

Données
- Couples oxydant / réducteur : $Zn^{2+}(aq)$ / Zn(s) ; $Fe^{2+}(aq)$ / Fe(s).
- Constante K associée à l'équation : $Zn^{2+}(aq) + Fe(s) \rightleftharpoons Zn(s) + Fe^{2+}(aq)$ $K = 1{,}5 \times 10^{-11}$.

Complément scientifique

- Lors d'une électrolyse, lorsque le générateur débite un courant d'intensité I constante pendant une durée Δt, une charge électrique Q traverse l'électrolyseur :

$$Q = I \times \Delta t$$

avec Q en coulomb (C), I en ampère (A) et Δt en seconde (s).

- Cette charge électrique Q est telle que :

$$Q = n(e^-) \times N_A \times e$$

avec $n(e^-)$, la quantité d'électrons échangés, en mole (mol) ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ C \cdot mol^{-1}$, la charge électrique élémentaire.

Protocole expérimental 2

☑ REMPLIR un tube en U avec une solution acidifiée de sulfate de zinc de concentration $1\ mol \cdot L^{-1}$ en ions zinc (II) $Zn^{2+}(aq)$.
☑ PESER un clou en fer et une plaque en fer, puis INTRODUIRE la plaque en fer dans l'une des branches du tube en U, et le clou en fer dans l'autre branche.
☑ RELIER le clou en fer à la borne négative d'un générateur de tension continue réglable et la plaque de fer à la borne positive. INSÉRER un ampèremètre en série dans le circuit ainsi formé.
☑ RÉGLER le générateur afin qu'une intensité voisine de 0,2 A circule dans le circuit.
☑ DÉCLENCHER le chronomètre et réaliser l'électrolyse, sans agitation, pendant une vingtaine de minutes. NOTER les observations.
☑ RELEVER la durée exacte de l'électrolyse et la valeur exacte de l'intensité maintenue, si possible, constante.
☑ Après séchage, PESER à nouveau les électrodes.

Pratique expérimentale

Exploiter des observations ANA-RAIS

1 a. Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 1.
b. Une transformation chimique semble-t-elle avoir eu lieu ?

Interpréter des observations VAL

2 a. On considère l'équation fournie dans les données. Exprimer puis calculer le quotient de réaction $Q_{r,i}$ à l'état initial en fonction des concentrations des espèces présentes.
b. Comparer les valeurs de $Q_{r,i}$ et K ; conclure.
c. Exprimer K en fonction des concentrations des espèces présentes à l'état d'équilibre, puis calculer la valeur de la concentration en ions fer (II) $Fe^{2+}(aq)$ à l'état final. Pourquoi peut-on affirmer que la réaction est très peu avancée ?

Mettre un œuvre un protocole RÉA

3 Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 2.

Faire un schéma adapté RÉA

4 Faire un schéma légendé du montage en précisant les bornes du générateur, le sens de déplacement des électrons, le sens conventionnel du courant électrique, la nature et le sens des porteurs de charge dans la solution.

Proposer un modèle ANA-RAIS

5 Écrire les équations des réactions électrochimiques qui se déroulent aux électrodes.

Effectuer des calculs RÉA

6 Déterminer la masse attendue de zinc qui aurait dû se déposer sur l'électrode reliée à la borne négative.

Formuler des hypothèses ANA-RAIS

7 Comparer la masse attendue à celle obtenue expérimentalement et proposer une explication à une éventuelle différence.

Un pas vers le cours

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

8 Comment forcer l'évolution d'un système chimique ?

Activité documentaire 2

Les voitures « à hydrogène »

Notions
- Conversion et stockage d'énergie chimique
- Enjeux sociétaux

Les recherches sur les véhicules « à hydrogène » s'inscrivent dans un contexte de diminution des ressources pétrolières. L'utilisation du dihydrogène comme vecteur énergétique suppose d'augmenter massivement sa production.

▶ **Objectif de l'activité : Le dihydrogène peut-il être le carburant du futur ?**

A Le vaporeformage du méthane

Le dihydrogène H_2 (g) est très peu présent dans l'atmosphère et n'est donc pas une source d'énergie primaire directement disponible comme le charbon ou le pétrole. Actuellement, il existe diverses méthodes de production de dihydrogène. Un procédé de production dominant (96 %) est le vaporeformage des combustibles fossiles.

Par exemple, le vaporeformage du méthane CH_4 (g) issu de l'industrie pétrolière se fait en deux étapes à haute température (entre 700 °C et 1 000 °C) à partir de vapeur d'eau :

$$CH_4\,(g) + H_2O\,(g) \rightarrow CO\,(g) + 3\,H_2\,(g)$$

$$CO\,(g) + H_2O\,(g) \rightarrow CO_2\,(g) + H_2\,(g)$$

À la sortie du vaporéacteur, le dihydrogène est séparé du dioxyde de carbone CO_2 (g) qui peut être capturé.

Des catalyseurs métalliques sont utilisés (nickel, fer, chrome, cuivre).

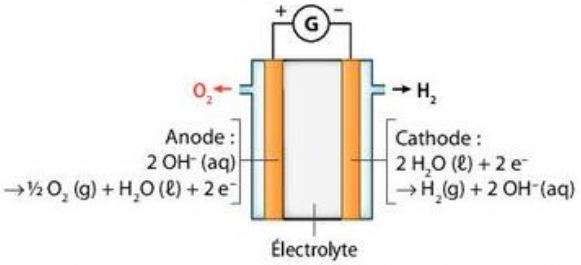
Le vaporeformage est associé à une très lourde émission de dioxyde de carbone : pour une tonne de dihydrogène obtenue, 10 à 11 tonnes de dioxyde de carbone sont produites et en général émises dans l'atmosphère. La production mondiale de dihydrogène s'accompagne annuellement de près d'un milliard de tonnes de dioxyde de carbone émis dans l'atmosphère, soit plus de trois fois les émissions annuelles de dioxyde de carbone liées à la combustion d'énergie en France (319 Mt de CO_2 en 2018).

Évalué à 1,5 €/kg, le coût du dihydrogène au kilogramme est le triple de celui du gaz naturel hors taxe carbone (donc en ne tenant pas compte de sa lourde empreinte environnementale).

D'après https://www.connaissancedesenergies.org

B Une alternative : l'électrolyse de l'eau

L'électrolyse basique de l'eau reste encore marginale (quelques pourcents de la production) mais elle permet de produire du dihydrogène très pur. Le procédé permet la décomposition de l'eau entre deux électrodes baignant dans un électrolyte basique : la potasse K^+ (aq) + OH^- (aq).



Cette technologie est mise en œuvre dans des installations de plusieurs mégawatts pour un coût de l'ordre de 6 €/kg de dihydrogène produit.

C MYRTE

La Mission hYdrogène Renouvelable pour l'inTégration au réseau Électrique (MYRTE), a développé, à Vignola en Corse, une plateforme solaire composée de panneaux photovoltaïques et d'un électrolyseur qui produit du dihydrogène et du dioxygène à partir d'eau.



Analyse des documents

Proposer un modèle ANA-RAIS

1 Écrire les équations des réactions mises en jeu :
- lors du vaporeformage du méthane (doc. A) ;
- lors de l'électrolyse de l'eau (doc. B).

Exploiter un schéma ANA-RAIS

2 **a.** Citer les porteurs de charge assurant le passage du courant dans le circuit extérieur et les électrodes, puis dans l'électrolyseur (doc. B).

b. Expliquer le rôle du générateur.

c. Quelles sont les conversions d'énergie réalisées à Vignola (doc. B) ?

Extraire et organiser l'information APP

3 Le dihydrogène peut être également obtenu à partir de la biomasse. Effectuer des recherches sur ce procédé.

Un pas vers le cours

Faire preuve d'esprit critique et argumenter APP

4 Discuter l'affirmation : le dihydrogène est le carburant du futur. Vers l'oral p. 188

Cours

1 La transformation forcée

a. Évolution peu avancée d'un système

On considère une transformation modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit :

$$a\,A + b\,B \rightleftharpoons c\,C + d\,D$$

Dans le cas où la constante d'équilibre K est petite, en présence uniquement des réactifs, le système évolue très faiblement dans le sens direct (x_f faible). La transformation est limitée.

Exemple : Un clou en fer Fe (s) est plongé dans une solution contenant des ions zinc Zn^{2+} (aq) (photographie A). Une transformation très limitée a lieu. On peut écrire l'équation :

$$Fe\,(s) + Zn^{2+}\,(aq) \rightleftharpoons Fe^{2+}\,(aq) + Zn\,(s)$$

La constante d'équilibre à 25 °C est $K = 1{,}5 \times 10^{-11}$.

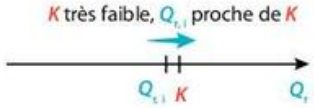
Le quotient de réaction à l'état initial est :

$Q_{r,i} = \dfrac{[Fe^{2+}]}{[Zn^{2+}]} = 0$ car initialement $[Fe^{2+}] = 0$ mol·L^{-1}, donc $Q_{r,i} < K$.

Le système évolue spontanément dans le sens direct, mais la faible valeur de K permet de prévoir que la quantité de produits formés est très faible.

A Évolution peu avancée





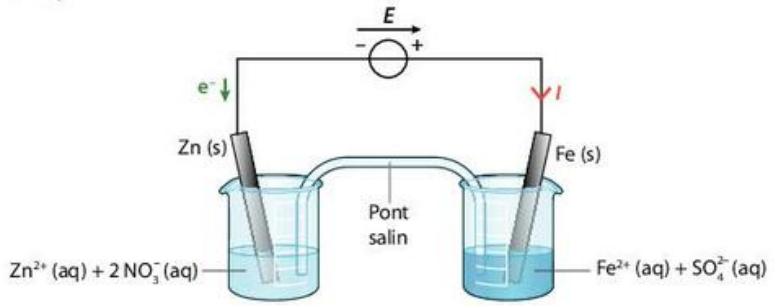
> Après avoir plongé un clou en fer Fe(s) dans une solution contenant des ions zinc Zn^{2+} (aq), aucune évolution n'est observée.

b. Électrolyse : transformation forcée

Grâce à l'apport d'énergie d'un générateur, les transformations limitées peuvent tout de même se produire par électrolyse, jusqu'à épuisement du réactif limitant. La transformation est appelée **transformation forcée**. Elle est réalisée dans un électrolyseur branché aux bornes d'un générateur (doc. B).

Un **électrolyseur** est un récepteur électrique constitué de deux tiges conductrices appelées **électrodes** plongeant dans une solution appelée **électrolyte**. Un générateur impose un transfert d'électrons forçant une transformation limitée à poursuivre son évolution.

Exemple :



Le générateur alimente en électrons l'électrode de zinc :

$$Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^- \rightarrow Zn\,(s)$$

Dans le même temps, l'électrode de fer cède des électrons au circuit :

$$Fe\,(s) \rightarrow Fe^{2+}\,(aq) + 2\,e^-$$

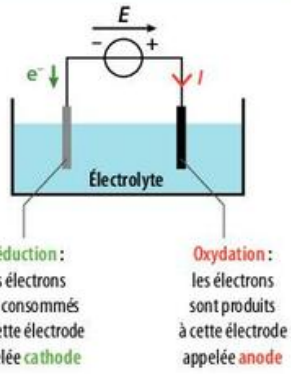
L'équation de la réaction s'écrit :

$$Fe\,(s) + Zn^{2+}\,(aq) \rightarrow Fe^{2+}\,(aq) + Zn\,(s)$$

On arrête l'électrolyse lorsque la quantité de zinc formée est suffisante.

- La **borne positive** du générateur est reliée à l'électrode où se produit l'oxydation. Cette électrode est appelée **anode** (doc. B).
- La **borne négative** du générateur est reliée à l'électrode où se produit la **réduction**. Cette électrode est appelée **cathode** (doc. B).

B Schéma d'un électrolyseur



> L'électrolyte, solution aqueuse contenant des ions, assure la conduction. Aucun électron libre n'existe dans la solution.

INFO

Le pont salin n'est pas un élément indispensable à l'électrolyseur car il réduit le rendement de l'électrolyse. Sa présence permet cependant dans certains cas d'éviter d'éventuelles réactions secondaires.

INFO

Les termes anode et cathode peuvent s'employer aussi pour une pile. L'anode désigne toujours l'électrode où a lieu l'oxydation et la cathode celle où a lieu la réduction.

lycee.hachette-education.com/pc/tle



VIDÉO DE COURS

ATTENTION !

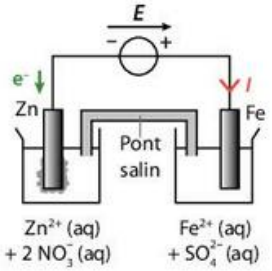
Il ne faut pas confondre la quantité d'électricité Q et le quotient de réaction Q_r.

INFO

La constante de Faraday représente la valeur absolue de la charge d'une mole d'électrons :

$1\ F = |N_A \times (-e)|$
$= 6{,}0221 \times 10^{23} \times 1{,}6022 \times 10^{-19}$
$= 96\,485\ C \cdot mol^{-1}$
$\approx 96\,500\ C \cdot mol^{-1}$

C Évolution du système chimique



Au cours de l'électrolyse, un dépôt de zinc se forme sur l'électrode de zinc.

INFO

En réalité, dans un accumulateur une partie de l'énergie est dissipée sous forme de transfert thermique diminuant ainsi le rendement lors de la conversion d'énergie.

D La centrale MYRTE en Corse



Les panneaux solaires photovoltaïques de la centrale MYRTE associés à des électrolyseurs permettent la production et le stockage d'énergie chimique sous forme de dihydrogène $H_2(g)$.

2 Le fonctionnement d'un électrolyseur

L'intensité I du courant qui circule dans l'électrolyseur pendant une durée Δt est :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

(I en A ; Q en C ; Δt en s)

Q est la quantité d'électricité mise en jeu au cours de l'électrolyse pendant la durée Δt :

$$Q = n(e^-) \times F$$

(Q en C ; $n(e^-)$ en mol ; Constante de Faraday $F = 96\,500\ C \cdot mol^{-1}$)

$n(e^-)$: quantité d'électrons échangés entre les deux électrodes pendant une durée Δt.

Exemple : Dans l'exemple précédent, l'électrolyseur est alimenté par un courant d'intensité $I = 400$ mA pendant 30 minutes. La masse de l'électrode de zinc augmente (doc. C).

La quantité d'électrons échangés pendant 30 minutes est donc :

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} = \frac{I \times \Delta t}{F} = \frac{0{,}400 \times 30 \times 60}{96\,500} = 7{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol.}$$

D'après l'équation de la réaction électrochimique se produisant à l'électrode de zinc : $Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Zn(s)$

La quantité de zinc formé est donc :

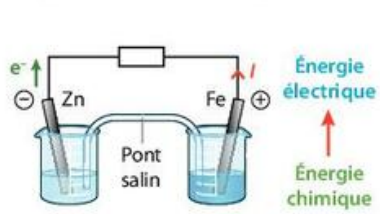
$$n(Zn)_{formé} = \frac{n(e^-)}{2} = \frac{7{,}5 \times 10^{-3}}{2} = 3{,}7 \times 10^{-3}\ \text{mol.}$$

3 La conversion et le stockage d'énergie

Un convertisseur d'énergie assure **la conversion** d'une forme d'énergie en une ou plusieurs autres formes.

Le stockage d'énergie permet de créer une réserve d'énergie facilement utilisable.

• Un **accumulateur** électrique est un convertisseur d'énergie pouvant se comporter comme une pile ou un électrolyseur :



Fonctionnement en pile — Fonctionnement en électrolyseur

Ces accumulateurs, associés à des systèmes qui utilisent une énergie durable comme les panneaux solaires, ont l'avantage de pouvoir se substituer aux énergies dites fossiles (doc. D). La réaction qui se produit dans une pile est la réaction opposée à celle qui a lieu dans un électrolyseur.

• Le système chimique des **organismes chlorophylliens** constitué de glucose, de dioxygène, de dioxyde de carbone et d'eau évolue spontanément, la nuit, dans le sens direct :

$$C_6H_{12}O_6(aq) + 6\,O_2(g) \rightleftharpoons 6\,CO_2(g) + 6\,H_2O(\ell)$$

L'énergie apportée par la lumière du jour le force à évoluer dans le sens opposé de l'équation réalisant ainsi la photosynthèse.

L'essentiel

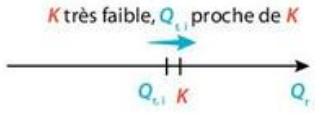
lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Électrolyse
QCM
Version interactive

1 La transformation forcée

Évolution peu avancée d'un système

K très faible, $Q_{r,i}$ proche de K

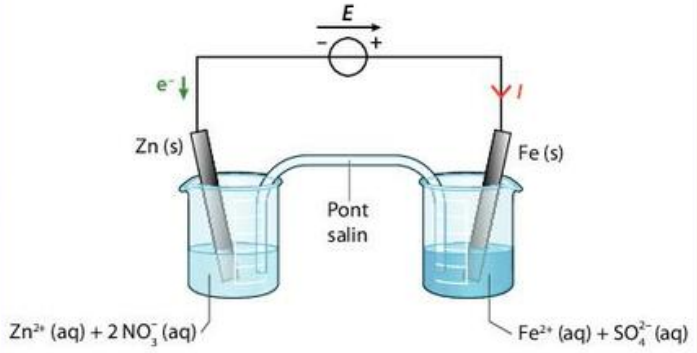




Transformation limitée

$Fe(s) + Zn^{2+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{2+}(aq) + Zn(s)$

Évolution forcée d'un système

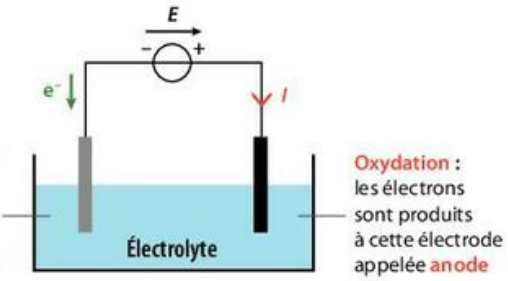


Transformation forcée

$Fe(s) + Zn^{2+}(aq) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + Zn(s)$

2 Le fonctionnement d'un électrolyseur

Électrolyseur



Réduction : les électrons sont consommés sur cette électrode appelée **cathode**

Oxydation : les électrons sont produits à cette électrode appelée **anode**

Courant circulant dans l'électrolyseur

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

I en A ; Q en C ; Δt en s

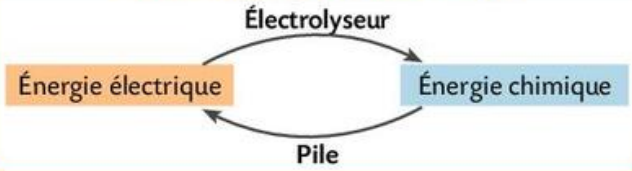
Quantité d'électricité mise en jeu

$$Q = n(e^-) \times F$$

Q en C ; $n(e^-)$ en mol ; Constante de Faraday $F = 96\,500\ C \cdot mol^{-1}$

3 La conversion et le stockage d'énergie

Conversion et stockage de l'énergie



QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

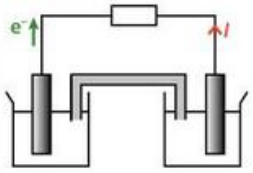
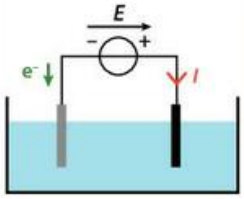
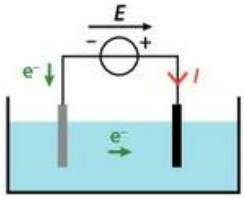
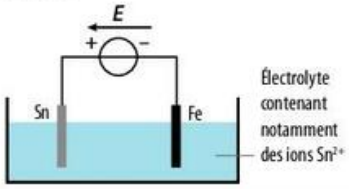
1 La transformation forcée

Si erreur, revoir § 1 p. 176

	A	B	C
1. Dans une transformation forcée, le transfert d'électrons est imposé par :	le générateur.	l'électrode.	l'électrolyte.
2. Lors d'une électrolyse, la circulation du courant est assurée :	uniquement par les électrons.	uniquement par les ions.	par les électrons et les ions.
3. Une transformation est limitée si :	la constante d'équilibre K est grande.	la constante d'équilibre K est petite.	le quotient de réaction $Q_{r,i}$ est proche de la constante d'équilibre K.
4. $Cu(s) + Fe^{2+}(aq) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq) + Fe(s)$ La constante d'équilibre K associée à cette équation à 25 °C est égale à $4{,}1 \times 10^{-27}$. On peut dire que :	la quantité de fer formée est faible.	la quantité de fer formée peut être importante.	le passage d'un courant peut forcer le système chimique à aller jusqu'à l'épuisement du réactif limitant.

2 Le fonctionnement d'un électrolyseur

Si erreur, revoir § 2 p. 177

	A	B	C
5. Le dispositif qui permet de produire de l'électricité à partir d'une réaction chimique est :	une pile.	un électrolyseur.	un panneau solaire.
6. Le schéma de fonctionnement d'un électrolyseur est :			
7. On observe pour l'électrolyse suivante : 	une diminution de la masse de l'électrode d'étain Sn (s).	une augmentation de la masse de l'électrode d'étain Sn (s).	un dépôt d'étain Sn (s) sur l'électrode de fer.
8. La quantité d'électrons échangés au cours de la transformation est :	$n(e^-) = \frac{Q}{F}$	$n(e^-) = \frac{F}{Q}$	$n(e^-) = Q \times F$
9. La quantité d'électricité Q mise en jeu au cours d'une électrolyse de 10 minutes dont l'intensité I du courant est de 100 mA est égale à :	$Q = 60$ C.	$Q = 1$ C.	$Q = 600$ C.

3 La conversion et le stockage d'énergie

Si erreur, revoir § 3 p. 177

	A	B	C
10. L'électrolyse :	permet de convertir de l'énergie électrique en énergie chimique.	permet de convertir de l'énergie chimique en énergie électrique.	nécessite un apport d'énergie.
11. Un accumulateur :	permet de convertir de l'énergie électrique en énergie chimique.	permet de convertir de l'énergie chimique en énergie électrique.	permet de stocker de l'énergie chimique.

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Déterminer les quantités de matière de produit formé pendant une durée donnée.	**Réflexe 1** Ex. 7 p. 183 **Exprimer** la quantité d'électricité Q mise en jeu au cours de l'électrolyse en fonction : – de l'intensité I du courant et de la durée Δt de l'électrolyse ; – de la quantité d'électrons $n(e^-)$ échangés et de la constante de Faraday F. **Exprimer** la quantité d'électrons circulant dans le circuit électrique en fonction de la quantité de produit formé, à partir des équations des réactions électrochimiques ayant lieu aux électrodes. **En déduire** la quantité de produit formé.
Déterminer le sens de déplacement des électrons.	**Réflexe 2** Ex. 5 p. 182 **Identifier** l'électrode reliée à la borne ⊕ du générateur et celle reliée à la borne ⊖. **Déterminer** le sens de déplacement des porteurs de charges : dans les fils électriques et les électrodes, les électrons se déplacent de la borne ⊖ du générateur vers la borne ⊕ (aucun électron libre n'existe en solution).
Identifier l'anode et la cathode lors d'une électrolyse.	**Réflexe 3** Ex. 5 p. 182 **Écrire** (ou utiliser) les équations des réactions électrochimiques ayant lieu aux électrodes. **Déduire** la nature des électrodes : – l'Anode est le lieu d'une oxydAtion (les électrons sont libérés) ; – la Cathode est le lieu d'une réduCtion (les électrons sont consommés).

1 Exercice résolu

Production industrielle de zinc

Effectuer des calculs.



La dernière étape de la production industrielle du zinc est une électrolyse. Elle a lieu dans des cuves en ciment revêtues de PVC ; le bain est maintenu à une température de 30 à 40 °C. On utilise une anode en plomb Pb (s) et une cathode en aluminium Aℓ (s) immergées dans un mélange de solutions de sulfate de zinc $Zn^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$ et d'acide sulfurique $2\,H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$. Un gaz se forme à l'anode. Le zinc se dépose sur la cathode. Il est récupéré toutes les 48 ou 72 heures. *La production journalière, par cellule qui contient jusqu'à 86 cathodes, peut atteindre 3 t.* Le zinc obtenu est très pur (99,995 %) : il contient moins de 50 ppm d'impuretés, la principale étant le plomb. Il n'a pas besoin de subir un raffinage ultérieur.

D'après https://www.Lelementarium.fr/element-fiche/zinc/

1. a. Modéliser, par des équations de réactions électrochimiques, les oxydations susceptibles de se produire à l'anode.
b. Quelle est *a priori* celle qui permet de rendre compte de l'observation décrite dans l'énoncé ?

2. Établir l'équation de la réaction.

3. Vérifier l'information en italique de l'énoncé.

Données

- Lors de la production, l'intensité du courant imposé peut atteindre 115 kA pour chaque cellule.
- Constante de Faraday : $F = 9{,}65 \times 10^4\ C \cdot mol^{-1}$.
- Masse molaire du zinc : $M(Zn) = 65{,}4\ g \cdot mol^{-1}$.
- Couples oxydant / réducteur mis en jeu : $Zn^{2+}(aq)$ / Zn (s) ; $S_2O_8^{2-}(aq)$ / $SO_4^{2-}(aq)$; $H^+(aq)$ / $H_2(g)$; $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$; $Pb^{2+}(aq)$ / Pb (s).

Solution rédigée

1. a. Les équations des réactions électrochimiques modélisant les oxydations possibles à l'anode s'écrivent :

$$Pb(s) \rightarrow Pb^{2+}(aq) + 2\,e^-$$
$$2\,H_2O(\ell) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$$
$$2\,SO_4^{2-}(aq) \rightarrow S_2O_8^{2-}(aq) + 2\,e^-$$

b. Un gaz se forme à l'anode : il peut s'agir du dioxygène $O_2(g)$; on peut donc supposer que l'équation de la réaction électrochimique qui rend compte du phénomène observé est : $2\,H_2O(\ell) \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$

2. Le zinc se dépose sur la cathode selon la réaction électrochimique d'équation :

$$Zn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Zn\,(s)$$

L'équation de la réaction s'en déduit :

$$2\,Zn^{2+}(aq) + 2\,H_2O(\ell) \rightarrow 2\,Zn\,(s) + O_2(g) + 4\,H^+(aq)$$

• **On utilise le Réflexe 1.**

Expression de la charge électrique

3. La quantité d'électricité Q mise en jeu dans une cellule d'électrolyse traversée par un courant électrique d'intensité I pendant une durée Δt est telle que :

$$Q = I \times \Delta t = n(e^-) \times F.$$

Expression de la quantité d'électrons

L'équation de la réaction électrochimique montre que la quantité d'électrons échangés est le double de celle de zinc formé :

$$n(e^-) = 2 \times n(Zn).$$

Détermination de la quantité puis de la masse de produit

On en déduit : $Q = I \times \Delta t = 2 \times n(Zn) \times F = 2 \times \dfrac{m(Zn)}{M(Zn)} \times F.$

D'où $m(Zn) = \dfrac{I \times \Delta t \times M(Zn)}{2 \times F} = \dfrac{115 \times 10^3\ A \times (24 \times 3\,600)\ s \times 65{,}4\ g \cdot mol^{-1}}{2 \times 9{,}65 \times 10^4\ A \cdot s \cdot mol^{-1}}$;

donc $m(Zn) = 3{,}4 \times 10^6\ g = 3{,}4\ t$.

La production journalière pour une cellule est donc égale à **3,4 tonnes**, ce qui est cohérent avec la valeur fournie dans l'énoncé.

2 Exercice résolu

Traitement de l'eau d'une piscine

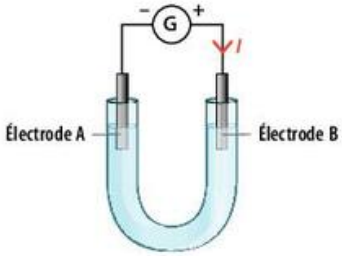
I Proposer une hypothèse.

Dans certaines piscines, on ajoute du chlorure de sodium (sel) à l'eau. Après pompage, l'eau salée est traitée par électrolyse. Pour étudier le fonctionnement d'un électrolyseur au sel, on réalise l'expérience suivante : dans un tube en U contenant une solution de chlorure de sodium $Na^+(aq) + C\ell^-(aq)$, on plonge deux électrodes A et B reliées aux bornes d'un générateur de tension continue. Il se produit, entre autres, un dégagement de dichlore $C\ell_2(g)$ à une électrode et un dégagement de dihydrogène $H_2(g)$ à l'autre.

1. a. Identifier l'électrode à laquelle a lieu le dégagement de dichlore. Justifier la réponse à partir du déplacement des électrons et en écrivant l'équation de la réaction électrochimique ayant lieu à cette électrode.

b. Cette électrode est-elle l'anode ou la cathode ? Justifier la réponse.

2. Pourquoi l'électrolyseur au sel est-il utilisé pour le traitement de l'eau des piscines ?



Données

Couples oxydant/réducteur mis en jeu : $H_2O(\ell)$ / $H_2(g)$; $C\ell_2(g)$ / $C\ell^-(aq)$.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 2.**

Identification des électrodes reliées aux bornes ⊖ ou ⊕ du générateur

1. a. L'électrode B est reliée à la borne ⊕ du générateur.

Recherche du déplacement des électrons

Les électrons sont produits à cette électrode (le sens de déplacement des électrons est l'inverse du sens conventionnel du courant). L'équation de la réaction électrochimique se produisant à cette électrode s'écrit :

$$2\,C\ell^-(aq) \rightarrow C\ell_2(g) + 2\,e^-$$

Il se forme donc du dichlore à l'électrode B.

• **On utilise le Réflexe 3.**

Déduction de la nature de l'électrode à partir de l'équation de la réaction électrochimique

b. L'équation de la réaction électrochimique montre que les ions chlorure sont oxydés : **l'électrode B est donc l'anode.**

2. L'électrolyseur au sel produit du dichlore $C\ell_2(g)$. On peut émettre l'hypothèse que ce gaz se dissout en partie dans l'eau de la piscine et favorise sa désinfection.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Modéliser et schématiser, à partir de résultats expérimentaux, les transferts d'électrons aux électrodes par des réactions électrochimiques.	7	12	17 18
Identifier les produits formés lors du passage forcé d'un courant dans un électrolyseur.	5	12	17 18
Relier la durée, l'intensité du courant et les quantités de matière de produits formés.	7	12	17 18
Citer des exemples de dispositifs mettant en jeu des conversions et stockages d'énergie chimique (piles, accumulateurs, organismes chlorophylliens) et leurs enjeux sociétaux.	9	16	

Donnée

La charge d'une mole d'électrons est égale à $F = 96\,500\ C \cdot mol^{-1}$.

1 La transformation forcée

3 Reconnaître la nature d'une transformation CORRIGÉ

Utiliser un modèle pour prévoir.

• Pour chacun des deux systèmes ❶ et ❷, indiquer s'il est nécessaire de réaliser une électrolyse pour obtenir une quantité notable de produits.

❶ • 5 mL de solution d'ions argent (I) telle que $[Ag^+] = 0{,}1\ mol \cdot L^{-1}$;
• 1 g de tournure de cuivre Cu (s).

❷ • 5 mL de solution d'ions bromure telle que $[Br^-] = 0{,}1\ mol \cdot L^{-1}$;
• 5 mL de solution d'ions zinc (II) telle que $[Zn^{2+}] = 0{,}1\ mol \cdot L^{-1}$.

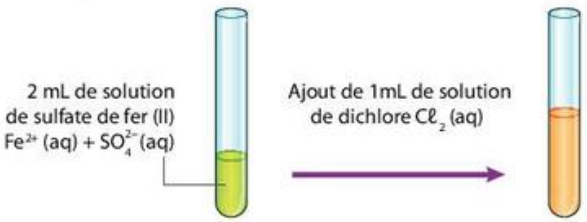
Données

• $2\ Ag^+(aq) + Cu(s) \rightleftharpoons 2\ Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$ $K_1 = 2{,}2 \times 10^{15}$.
• $Zn^{2+}(aq) + 2\ Br^-(aq) \rightleftharpoons Zn(s) + Br_2(aq)$ $K_2 = 2{,}5 \times 10^{-62}$.

4 Justifier une transformation forcée

Extraire et organiser l'information.

La manipulation schématisée ci-dessous est réalisée.



Des ions fer (III) $Fe^{3+}(aq)$ et des ions chlorure $C\ell^-(aq)$ sont formés.

1. En utilisant les nombres stœchiométriques entiers les plus petits possibles, écrire l'équation (1) de la réaction qui se produit dans le tube. La constante d'équilibre K_1, à 25 °C, associée à cette équation est égale à $1{,}0 \times 10^{21}$.

2. a. Écrire l'équation (2) de la réaction opposée. En déduire la constante d'équilibre K_2 associée à cette équation.

b. Une solution de chlorure de fer (III), $Fe^{3+}(aq) + 3\,C\ell^-(aq)$ est telle que $[Fe^{3+}] = 2{,}0 \times 10^{-1}\ mol \cdot L^{-1}$. Déterminer le quotient de réaction initial $Q_{r2,i}$ associé à l'équation (2). En déduire le sens d'évolution spontanée du système.

c. Cette évolution est-elle notable ?

d. Proposer une méthode permettant de faire évoluer le système vers la formation des ions fer (II) $Fe^{2+}(aq)$ et du dichlore $C\ell_2(aq)$.

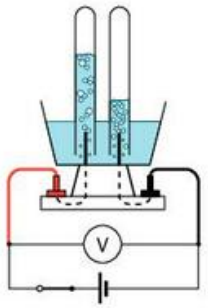
2 Le fonctionnement d'un électrolyseur

VIDÉO DE COURS Électrolyse – QR Code p. 178

5 Identifier la réaction électrochimique CORRIGÉ

Exploiter des schémas ; mobiliser ses connaissances.

L'électrolyse d'une solution d'acide sulfurique $2\ H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$ est réalisée à l'aide du montage schématisé ci-contre.



1. Déterminer le sens de déplacement des électrons.
Utiliser le réflexe 2

2. Identifier l'anode et la cathode.
Utiliser le réflexe 3

3. Écrire l'équation de la réaction.

4. Comparer, en justifiant, les volumes de gaz dégagés aux deux électrodes.

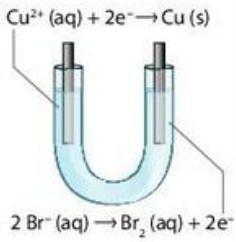
Données

• $H^+(aq)$ / $H_2(g)$; $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$.
• Les ions sulfate $SO_4^{2-}(aq)$ ne réagissent pas.

6 Compléter un dispositif d'électrolyse

Faire un schéma adapté.

• Recopier puis compléter le dispositif relatif à l'électrolyse d'une solution de bromure de cuivre (II) $Cu^{2+}(aq) + 2\ Br^-(aq)$, en précisant les branchements du générateur, le sens conventionnel du courant et le sens de déplacement des électrons.



7 Déterminer une quantité de matière

CORRIGÉ

Interpréter des observations ; effectuer des calculs.

Les casseroles en cuivre sont étamées, c'est-à-dire recouvertes d'un dépôt d'étain Sn (s), afin d'éviter de retrouver des traces d'élément cuivre dans les aliments. Ce dépôt peut être réalisé, par électrolyse ou par bain d'étain en fusion.



Le Rétamage, Marius Roy (1833-1921).

L'électrolyse d'une solution aqueuse acidifiée de chlorure d'étain (II) $Sn^{2+}(aq) + 2\ C\ell^{-}(aq)$ est réalisée pendant 30 minutes à une intensité constante du courant électrique maintenue égale à 0,80 A.

1. Un dépôt d'étain Sn (s) se forme sur une électrode. Écrire l'équation de la réaction électrochimique et nommer l'électrode.

2. Sur l'autre électrode, se dégage un gaz qui ravive une allumette incandescente. Écrire l'équation de la réaction électrochimique ayant lieu sur cette électrode.

3. Déterminer la quantité d'étain $n(Sn)$, puis la masse $m(Sn)$, qui se dépose au cours de l'électrolyse.

Utiliser le réflexe 1

Données

- Les électrodes utilisées sont inattaquables.
- $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$; $Sn^{2+}(aq)$ / Sn (s).
- $M(Sn) = 118{,}7\ g \cdot mol^{-1}$.

8 Estimer la durée d'une électrolyse

Effectuer des calculs ; mobiliser ses connaissances.

Pour produire du dihydrogène $H_2(g)$, l'électrolyse de l'eau, en milieu acide, est réalisée à 25 °C. Un électrolyseur parcouru par un courant d'intensité constante $I = 10$ kA permet de produire un volume de dihydrogène $V(H_2)_{produit} = 3\,686$ L. Le rendement η de l'électrolyse est égal à 0,80.
L'équation de la réaction est :

$$2\ H_2O(\ell) \rightarrow 2\ H_2(g) + O_2(g)$$

1. Déterminer la borne du générateur à laquelle est reliée l'électrode où se dégage le dihydrogène $H_2(g)$.

2. Estimer la durée Δt de l'électrolyse.

Données

- $H^+(aq)$ / $H_2(g)$; $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$.
- Volume molaire : $V_m = 24{,}5\ L \cdot mol^{-1}$.
- Rendement de l'électrolyse : $\eta = \dfrac{V(H_2)_{produit}}{V(H_2)_{maximal}}$.
- Le volume $V(H_2)_{maximal}$ serait le volume de dihydrogène produit s'il n'y avait aucune perte d'énergie.

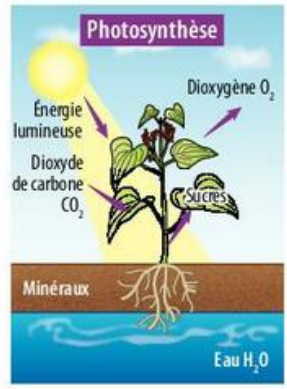
3 La conversion et le stockage d'énergie

9 Déterminer un type de conversion

CORRIGÉ

Exploiter des informations.

Lors de la photosynthèse des végétaux, la chlorophylle utilise l'énergie lumineuse pour transformer le dioxyde de carbone $CO_2(g)$ et l'eau $H_2O(\ell)$ en glucide comme le glucose $C_6H_{12}O_6(aq)$, et en dioxygène $O_2(g)$.
Lors de la respiration des végétaux, le dioxygène consommé oxyde le glucose en dioxyde de carbone. Cette réaction est la réaction opposée à celle ayant lieu lors de la photosynthèse.



1. Écrire les demi-équations électroniques des couples : $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$ et $CO_2(g)$ / $C_6H_{12}O_6(aq)$.

2. En déduire l'équation de la réaction ayant lieu lors de la respiration des végétaux.

3. a. En l'absence de lumière, la photosynthèse n'a pas lieu. Expliquer le rôle joué par la lumière.
b. Déterminer le type de conversion d'énergie qui se produit lors de la photosynthèse.

10 Étudier le fonctionnement d'un accumulateur

Faire un schéma adapté.

Dans les accumulateurs au plomb utilisés par exemple dans l'automobile, des cycles de décharge et de charge se succèdent. Lors de la décharge, l'accumulateur se comporte comme une pile et lors de la charge, il se comporte comme un électrolyseur permettant de régénérer les réactifs.



1. a. Au cours de la décharge, le plomb Pb (s) et le dioxyde de plomb $PbO_2(s)$ sont respectivement oxydé et réduit en ions plomb (II) $Pb^{2+}(aq)$. Écrire les équations des réactions électrochimiques se produisant respectivement à l'anode et à la cathode de la pile.
b. En déduire l'équation de fonctionnement de la pile.
c. Déterminer le type de conversion d'énergie réalisée.

2. Au cours de la charge, des ions plomb (II) sont réduits en plomb Pb (s), d'autres sont oxydés en dioxyde de plomb $PbO_2(s)$. Répondre aux questions **1. a**, **b** et **c** pour la charge de l'accumulateur.

3. Représenter par un cycle le principe d'un accumulateur et expliquer l'intérêt que présente ce type de dispositif.

11 Connaître les critères de réussite

Zincage par électrolyse

Effectuer des calculs.

Pour les protéger de la corrosion, les tôles métalliques sont zinguées. L'électrolyse de tôles métalliques de surface $S = 15\ m^2$ est réalisée à partir d'une solution de sulfate de zinc $Zn^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$. L'épaisseur du dépôt de zinc Zn (s) doit être au moins de 60 µm.

• Estimer la durée de l'électrolyse si l'intensité du courant est constante et égale à 600 A.

Données

- $Zn^{2+}(aq) / Zn(s)$.
- $M(Zn) = 65{,}4\ g \cdot mol^{-1}$.
- Masse volumique du zinc : $\rho(Zn) = 7{,}1 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3}$.

Critères de réussite

	😐	😊
Conduite du calcul		
J'ai introduit le calcul par une phrase.	☐	☐
J'ai écrit l'expression littérale avant d'effectuer l'application numérique.	☐	☐
J'ai donné le résultat des calculs avec un nombre de chiffres significatifs et une unité adaptés.	☐	☐
Rédaction		
J'ai utilisé un vocabulaire spécifique.	☐	☐

12 Des couverts en métal argenté

CORRIGÉ

Faire un schéma adapté ; comparer à une valeur de référence.



Pour argenter des objets métalliques, les orfèvres utilisent le principe de l'électrolyse « à anode soluble ». L'objet à argenter, jouant le rôle de cathode, est plongé dans une solution contenant des ions dicyanoargentate $Ag(CN)_2^-(aq)$ et des ions argent (I) $Ag^+(aq)$. Des anodes en argent sont placées de chaque côté du bain. Un générateur délivre un courant d'intensité constante I égale à 0,70 A.

1. a. Schématiser le montage expérimental en précisant les bornes du générateur auxquelles sont reliées la pièce à argenter et les anodes.

b. Indiquer le sens conventionnel du courant électrique et celui de déplacement des électrons.

2. Dans le bain électrolytique, les ions argent réagissent à la cathode selon l'équation de la réaction électrochimique :

$$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$$

Les ions argent et l'argent métallique sur cette électrode seront écrits en vert. Justifier l'intérêt d'avoir utilisé l'objet à argenter comme cathode.

3. a. Identifier le produit formé à l'anode étant donné le sens de circulation du courant.

b. Écrire l'équation de la réaction électrochimique se produisant à l'anode. L'argent métallique à l'anode et les ions argent intervenant à cette électrode seront écrits en rouge : Ag(s) et $Ag^+(aq)$.

4. En déduire l'écriture de l'équation de la réaction chimique modélisant la transformation se produisant lors de l'électrolyse. Justifier le terme d'« électrolyse à anode soluble ».

5. Par électrolyse, on souhaite réaliser un dépôt uniforme d'argent d'épaisseur e sur une cuillère dont la surface S est estimée à 70 cm^2. La durée Δt de l'électrolyse est de 30 min. Établir l'expression de la masse d'argent $m(Ag)$ déposé sur le couvert pendant l'électrolyse en fonction de I, Δt, $M(Ag)$ et F (constante de Faraday).

6. Une fois l'électrolyse terminée, l'orfèvre applique un poinçon comportant les chiffres I ou II. En déduire le poinçon que l'orfèvre doit appliquer sur la cuillère.

Données

- Couple oxydant / réducteur : $Ag^+(aq) / Ag(s)$.
- $M(Ag) = 108\ g \cdot mol^{-1}$.
- Masse volumique de l'argent : $\rho(Ag) = 10\ g \cdot cm^{-3}$.
- Épaisseur e du dépôt d'argent en µm : qualité I : $e > 33$ µm ; qualité II : $e > 20$ µm.

13 Électrolyse et quotient de réaction

Utiliser un modèle pour prévoir, décrire et expliquer.

Dans une cuve comportant des électrodes de graphite inattaquables, on réalise l'électrolyse d'une solution aqueuse de bromure de cuivre (II), $Cu^{2+}(aq) + 2\ Br^-(aq)$ telle que $[Br^-]_i = 2 \times [Cu^{2+}]_i = 1{,}0\ mol \cdot L^{-1}$ et de volume V égal à 200 mL.

1. Écrire l'équation de la réaction entre les ions cuivre (II) $Cu^{2+}(aq)$ et les ions bromure $Br^-(aq)$ avec les nombres stœchiométriques entiers les plus petits possibles.

2. a. À 25 °C, la constante d'équilibre K associée à l'équation de la réaction est égale à $1{,}3 \times 10^{-25}$. Prévoir le sens d'évolution du système.

b. À l'état d'équilibre, la concentration du dibrome $Br_2(aq)$ est égale à $6{,}5 \times 10^{-26}\ mol \cdot L^{-1}$. Justifier la nécessité de réaliser une électrolyse de la solution.

3. a. Réaliser un schéma légendé du montage permettant d'effectuer cette électrolyse.

b. Représenter le sens conventionnel du courant et le sens de circulation des électrons.

c. Écrire les équations des réactions électrochimiques ayant lieu aux deux électrodes.

4. a. Au cours de l'électrolyse, l'électrolyseur est traversé par un courant d'intensité I constante et égale à 4,0 A, pendant une durée Δt égale à 1,0 heure. Calculer l'avancement x de la réaction à la fin de l'électrolyse.

b. En déduire les concentrations en quantité de matière des ions $Cu^{2+}(aq)$, $Br^-(aq)$ et de l'espèce $Br_2(aq)$.

c. Calculer le quotient de réaction $Q_{r,f}$ à la fin de l'électrolyse. Commenter le résultat.

Données

Couples oxydant/réducteur :
$Cu^{2+}(aq) / Cu(s)$; $Br_2(aq) / Br^-(aq)$.

14 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

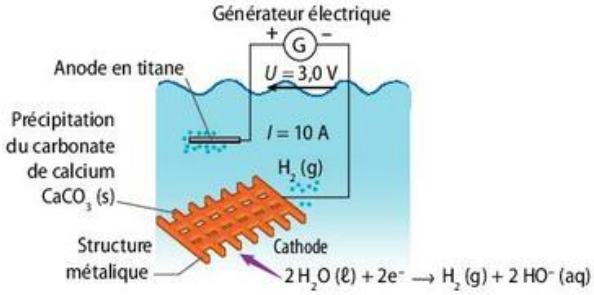
Des récifs coralliens artificiels

Construire les étapes d'une résolution de problème.



Procédé Biorock testé à Bali

Le projet « Biorock » est un programme de repeuplement des récifs coralliens dégradés. Des structures métalliques, sur lesquelles ont été greffés des débris de coraux, sont immergées puis recouvertes de carbonate de calcium $CaCO_3$ (s) par électrolyse. La croissance des coraux greffés sur la surface métallique est supérieure à celle mesurée dans les conditions naturelles (croissance de 2 mm par an).



Le dioxyde de carbone dissous CO_2, H_2O (aq) et les ions calcium Ca^{2+} (aq) présents dans l'eau de mer réagissent avec les ions hydroxyde produits à la cathode pour former le carbonate de calcium $CaCO_3$ (s) selon l'équation de réaction suivante :

$$Ca^{2+}(aq) + CO_2, H_2O(aq) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow CaCO_3(s) + 2\,H_2O(\ell)$$

- Calculer la durée d'électrolyse nécessaire à la réalisation d'un dépôt artificiel de carbonate de calcium de 2 mm d'épaisseur sur une surface métallique de 4 m^2.

Données

$M(CaCO_3) = 100{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; $\rho(CaCO_3) = 2{,}9 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3}$.

15 À chacun son rythme

Nickelage d'une pièce métallique

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Il est possible de nickeler une pièce métallique afin de la rendre brillante par électrolyse. Un dépôt de nickel d'épaisseur e égale à 40 µm est réalisé sur un pot d'échappement de moto de surface S égale à 10 dm^2. La pièce est plongée dans une solution contenant des ions nickel (II) Ni^{2+} (aq). Le générateur délivre un courant d'intensité I constante égale à 0,70 A et la tension entre les électrodes est 3,0 V.

Énoncé compact

Estimer l'énergie nécessaire à la réalisation de ce dépôt.

Énoncé détaillé

1. Écrire l'équation de la réaction électrochimique conduisant au dépôt de nickel.
2. Déterminer la quantité n de nickel à déposer.
3. En déduire la durée de l'électrolyse.
4. Estimer l'énergie électrique nécessaire à la réalisation de ce dépôt.

Données

- $M(Ni) = 58{,}7\ g \cdot mol^{-1}$; $\rho(Ni) = 8{,}9\ g \cdot cm^{-3}$.
- Énergie (en Joule) transférée par un générateur : $E = U \times I \times \Delta t$ où U est la tension en V, I l'intensité du courant en A et Δt la durée en s.

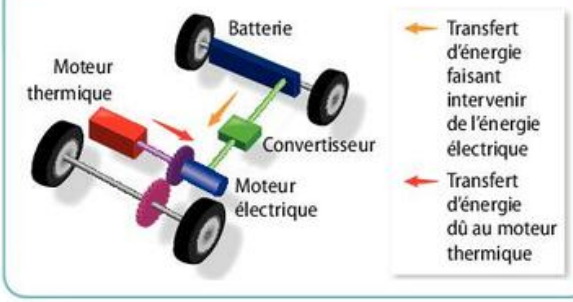
16 Rôle d'une batterie Lithium-ion

CORRIGÉ

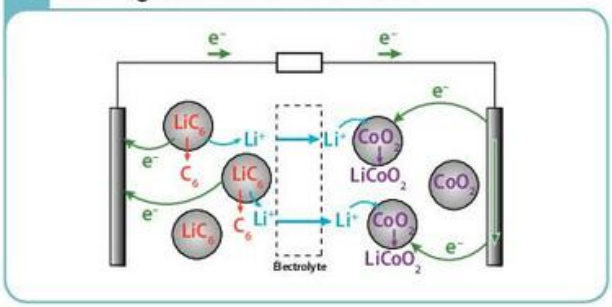
Exploiter des schémas ; faire preuve d'esprit critique.

Les véhicules hybrides sont équipés d'un moteur thermique associé à un moteur électrique. Ceux dotés de la technologie « mild hybrid » récupèrent de l'énergie lors des phases de freinage. Cette énergie est convertie, puis stockée dans des batteries Lithium-ion.

A **Un mode de fonctionnement**



B **Décharge de la batterie Lithium-ion**

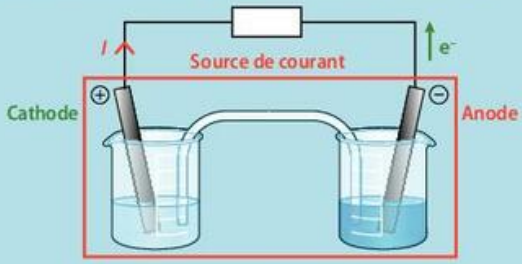


1. a. Associer le schéma du doc. **A** à un des modes de fonctionnement du véhicule hybride : *propulsion électrique ; charge de la batterie ; assistance électrique ; freinage régénératif.*
b. Schématiser les trois autres modes de fonctionnement en précisant le(s) type(s) de conversion d'énergie se produisant.
2. Expliquer pourquoi la voiture hydride consomme moins de carburant qu'une voiture à moteur thermique.
3. Le mécanisme de décharge de la batterie est représenté sur le dessin **B**. Écrire l'équation de la réaction ayant lieu lors de la décharge de la batterie.
4. En déduire l'équation de la réaction ayant lieu lors de la charge de la batterie.
5. Expliquer l'intérêt environnemental et rechercher les limites que peut présenter ce type de batterie dans l'automobile.

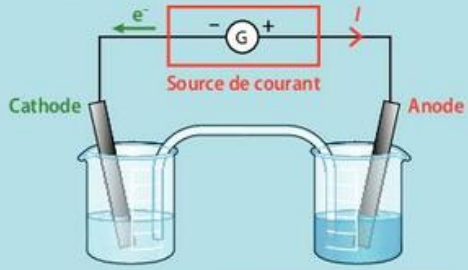
Vers le BAC

Ne pas confondre pile et électrolyse

• **Dans une pile,** la transformation spontanée impose le sens de circulation des électrons :
– Borne ⊖ :
électrons libérés ⇒ oxydation ⇒ anode.
– Borne ⊕ :
électrons consommés ⇒ réduction ⇒ cathode.



• **Lors d'une électrolyse,** c'est le générateur qui impose la circulation des électrons :
– Électrode reliée à la borne – du générateur :
électrons consommés ⇒ réduction ⇒ cathode.
– Électrode reliée à la borne + du générateur :
électrons libérés ⇒ oxydation ⇒ anode.



Ne pas oublier les nombres stœchiométriques dans les calculs

• *Exemple :* Soit la réaction électrochimique dont l'équation est donnée ci-dessous.

$$Fe\,(s) \rightarrow Fe^{2+}\,(aq) + 2\,e^-$$

$$n(Fe)_{consommé} = \frac{n(e^-)}{2}$$

Deux relations pour une même grandeur

La quantité d'électricité Q peut se calculer indifféremment par :

$$Q = I \times \Delta t \quad \text{ou} \quad Q = n(e^-) \times F$$

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 180

17 CORRIGÉ — 15 min

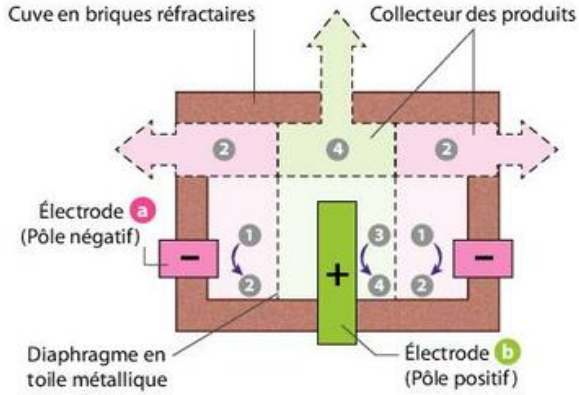
Obtention de lithium et de dichlore par électrolyse

Extraire et exploiter des informations ; effectuer des calculs.



Lithium métallique

L'électrolyse du chlorure de lithium LiCℓ (ℓ) permet de produire du lithium Li (s) et du dichlore $C\ell_2$ (g). Pour des densités de courant j de 6 à 7 kA·m^{-2} et une tension U de 6 à 7,5 V, une cellule d'électrolyse produit m(Li) = 275 kg de lithium et $m(C\ell_2)$ = 1 400 kg de dichlore par jour. L'énergie électrique E consommée par la cellule est de 30 à 35 kWh par kilogramme de lithium. On donne ci-contre le schéma simplifié de l'électrolyseur.



1. Nommer les espèces chimiques 1 à 4 et affecter les termes d'anode et de cathode aux électrodes a et b.

Utiliser le réflexe 3

2. Estimer la surface S de l'électrode où est formé le lithium.

Coup de pouce QR Code p. 178

Données

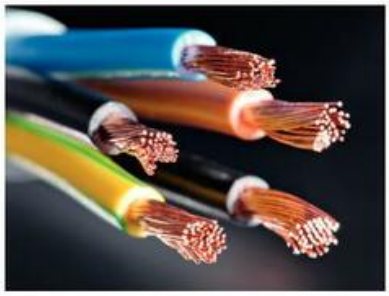
- F = 96 500 C·mol^{-1} ;
- $M(C\ell)$ = 35,5 g·mol^{-1} et M(Li) = 7,0 g·mol^{-1}.
- Densité de courant j : $j = \frac{I}{S}$ avec I l'intensité du courant et S la surface de l'électrode.
- Couples oxydant / réducteur : Li^+ / Li et $C\ell_2$ / $C\ell^-$.

18 — 30 min — Obtention de cuivre très pur par électrolyse

CORRIGÉ

Extraire et exploiter des informations ; effectuer des calculs.

• Après extraction du cuivre d'un minerai, on peut obtenir des lingots de cuivre, d'une pureté d'environ 99 %. Cette pureté n'est pas suffisante pour l'utilisation du cuivre comme conducteur électrique qui nécessite une pureté supérieure à 99,95 %.



• Les lingots de cuivre peuvent être purifiés en réalisant une électrolyse. Lors de cet électroraffinage, l'anode est constituée d'un lingot de cuivre à purifier et la cathode est en cuivre. Le bain d'électrolyse est une solution contenant de l'acide sulfurique $2\ H^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$, et des ions cuivre (II) $Cu^{2+}(aq)$.

• Aucun dégagement gazeux n'est observé lors de cette électrolyse et les ions sulfate $SO_4^{2-}(aq)$ sont électro-inactifs

• L'association d'une anode et d'une cathode est appelée une cellule d'électrolyse. La durée de vie des anodes est de 3 à 4 semaines. La tension appliquée est faible, de l'ordre de 0,30 V. La consommation électrique par tonne de cuivre à purifier est de l'ordre de 250 kWh.

1. Schématiser et légender une cellule d'électrolyse branchée aux bornes d'un générateur et permettant l'obtention de cuivre purifié.

2. Indiquer le sens conventionnel du courant électrique et le sens de déplacement des électrons. Utiliser le réflexe 2

3. À partir des couples fournis en données, écrire toutes les équations des réactions susceptibles de se produire à l'anode et à la cathode. Utiliser le réflexe 3

4. À l'aide de la réponse à la question 3, justifier que l'équation de la réaction chimique modélisant la transformation se produisant lors de l'électrolyse s'écrit :

$$Cu^{2+}(aq) + Cu(s) \rightarrow Cu(s) + Cu^{2+}(aq)$$

5. Expliquer le principe de l'électroraffinage du cuivre. Justifier notamment l'expression « électrolyse à anode soluble ».

6. Vérifier la durée de vie d'une anode sachant que $I = 350$ A et que la masse moyenne d'une anode est de 280 kg. Utiliser le réflexe 1

7. Vérifier la valeur de la consommation électrique donnée.

Données

- Couples oxydant/réducteur : $H^+(aq) / H_2(g)$; $S_2O_8^{2-}(aq) / SO_4^{2-}(aq)$; $Cu^{2+}(aq) / Cu(s)$; $O_2(g) / H_2O(\ell)$.
- $M(Cu) = 63{,}5\ g \cdot mol^{-1}$.
- $F = 96\ 500\ C \cdot mol^{-1}$.
- Énergie électrique E : $E = U \times I \times \Delta t$ avec E en kWh, U en V, I en kA et Δt en h.

Préparation à l'ECE

De nombreuses entreprises métallisent des surfaces (automobile, outillage, etc). Il est possible de diminuer la concentration en nickel des effluents de ces entreprises en réalisant une électrolyse. La cuve à électrodéposition contient une anode en titane et une cathode en carbone.



L'équation de la réaction qui a lieu dans la cuve à électrodéposition s'écrit :

$$2\ Ni^{2+}(aq) + 2\ H_2O(\ell) \rightarrow O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 2\ Ni(s)$$

MATÉRIEL ET PRODUITS DISPONIBLES

- Solution aqueuse de chlorure de nickel (II) telle que $[Ni^{2+}] = 0{,}10\ mol \cdot L^{-1}$.
- Électrode en titane et électrode en carbone.
- Grand bécher pour électrolyse.
- Générateur de tension continue.
- Ampèremètre et fils électriques.

1. RÉA Réaliser un schéma détaillé du montage permettant de diminuer, par électrolyse, la concentration en ions nickel (II) d'une solution aqueuse.

2. ANA-RAIS Prévoir les observations qui pourront être faites lors de cette électrolyse.

Donnée

Les ions nickel (II) donnent une coloration verte aux solutions qui les contient.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Persuader : logos, pathos, ethos

Le candidat doit faire adhérer le jury à son discours. La rhétorique (l'art de bien parler) d'Aristote est composée des trois piliers : logos, pathos et ethos.

Logos : c'est la persuasion par **le raisonnement** (arguments, faits, données, recherches scientifiques, etc.).

Ethos : c'est **la crédibilité** que l'orateur inspire au jury (autorité, apparence, comportement, etc.).

Pathos : c'est **l'émotion** que l'orateur parvient à susciter chez les membres du jury (empathie, sensations, etc.).



LE TRIANGLE PERSUASIF DU DISCOURS

- **Visionner la vidéo ci-contre et expliquer les liens qui existent entre logos, pathos et ethos.**

À deux, c'est mieux

Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation fournie. Puis les élèves échangent leurs rôles et à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

En s'appuyant sur les documents de l'activité 2 p. 175 et en utilisant le nuage de mots ci-dessous, défendre un des deux points de vue ci-dessous. Des connaissances personnelles peuvent être mobilisées. Pendant la présentation de son camarade, le binôme repère dans la présentation les points qui relèvent de l'éthos, du pathos et du logos.

Évaluation orale n° 1

- Le dihydrogène est le carburant de demain.

Évaluation orale n° 2

- Le dihydrogène n'est pas le carburant de demain.

Fossile
Biomasse
Dioxyde de carbone
Électrolyse
Photovoltaïque
Rareté

Critères de réussite

Éthos : le candidat a de l'assurance, maîtrise sa gestuelle, le contact visuel avec le jury, etc.	☐ ☐
Logos : le candidat parle de manière claire et concise en se basant sur les documents et les données pour répondre à la question.	☐ ☐
Pathos : le candidat utilise des tournures exclamatives, des gestes, des mimiques, suscite une certaine émotion, etc.	☐ ☐

Je m'exprime à l'oral sur

Forcer l'évolution d'un système

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Pourquoi utiliser un **générateur** pour effectuer une électrolyse ?

Qu'est-ce qu'un **accumulateur** ?

Définir les mots **anode** et **cathode**.

Citer des applications nécessitant une **électrolyse**.

10 Synthèses organiques



La juvabione est une espèce chimique naturelle qui agit sur le développement et la reproduction des insectes. Plusieurs synthèses de cette espèce chimique sont décrites dans la littérature.

- Comment comparer l'efficacité de différentes synthèses ?

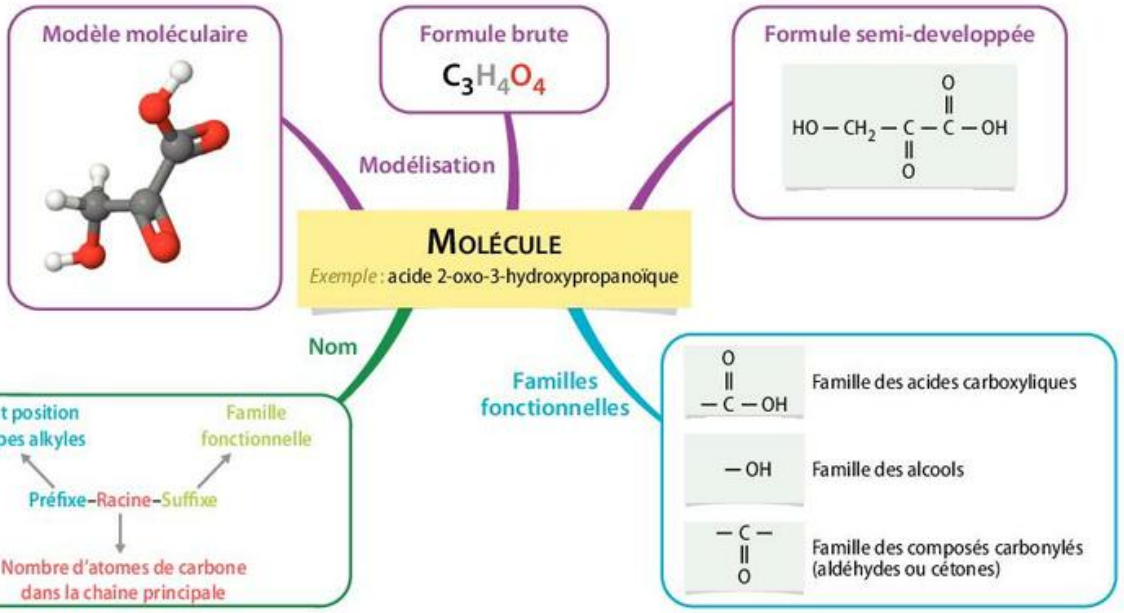
> Rendez-vous : exercice 30 p. 208

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Exploiter des règles de nomenclature. **Activité 3 p. 193**
- Représenter des formules topologiques d'isomères de constitution. **Exercice 11 p. 203**
- Identifier le motif d'un polymère. **Exercice 20 p. 204**
- Citer des polymères naturels et synthétiques et des utilisations courantes des polymères. **Exercice 26 p. 206**
- Identifier dans un protocole, les opérations réalisées pour optimiser la vitesse de formation d'un produit. **Activité 2 p. 192**
- Justifier l'augmentation du rendement d'une synthèse par introduction d'un excès d'un réactif ou par élimination d'un produit du milieu réactionnel. **Activité 2 p. 192**
- Élaborer une séquence réactionnelle de synthèse d'une espèce à partir d'une banque de réactions. **Activité 3 p. 193**
- Identifier des réactions d'oxydoréduction, d'acide-base, de substitution, d'addition, d'élimination. **Activité 3 p. 193**
- Identifier des étapes de protection/déprotection et justifier leur intérêt, à partir d'une banque de réactions. **Exercice 18 p. 204**
- Mettre en œuvre un protocole de synthèse conduisant à la modification d'un groupe caractéristique ou d'une chaîne carbonée. **Activité 1 p. 192**
- Discuter de l'impact environnemental d'une synthèse et proposer des améliorations à l'aide de données fournies. **Exercice 30 p. 208**

Vu en 1re

Molécule : modélisation, nom et groupes caractéristiques



Réactiver ses connaissances

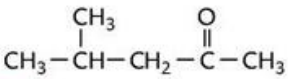
lycee.hachette-education.com/pc/tle

Modélisation des molécules Groupes caractéristiques Nomenclature

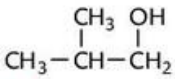
VIDÉO DE COURS

Regarder les trois vidéos. Pour chacune des molécules dont les noms et les formules semi-développées sont donnés ci-après, répondre aux questions suivantes.

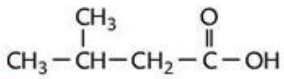
1. Écrire les formules brutes de ces trois molécules.
2. Recopier les formules semi-développées, entourer les groupes caractéristiques et nommer les familles fonctionnelles correspondantes.
3. Justifier les noms de ces molécules.



(a) 4-méthylpentan-2-one



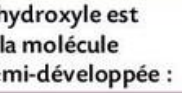
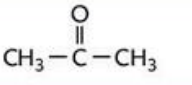
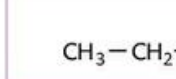
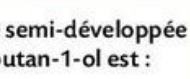
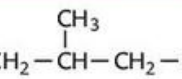
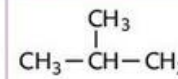
(b) 2-méthylpropan-1-ol



(c) acide 3-méthylbutanoïque

Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Le groupe hydroxyle est présent dans la molécule de formule semi-développée :			
2. L'octan-2-one :	est une cétone.	est un aldéhyde.	est composé de molécules possédant 8 atomes de carbone.
3. La formule semi-développée du 2-méthylbutan-1-ol est :			

Activité 1 expérimentale

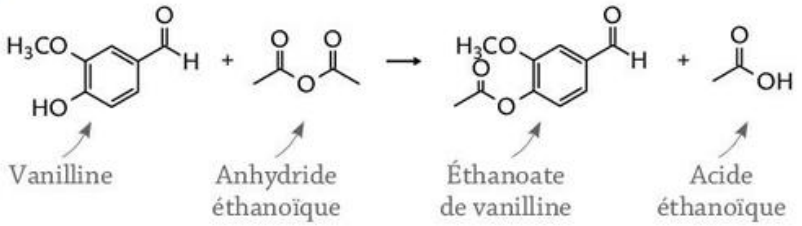
Synthèse conduisant à la modification d'un groupe caractéristique

Notions
- Synthèse d'un solide
- Modification d'un groupe caractéristique

La synthèse de l'éthanoate de vanilline est la première étape permettant l'obtention d'un principe actif destiné au traitement de la maladie d'Alzheimer. Dans cette synthèse, il est nécessaire de protéger le groupe hydroxyle de la vanilline.

▶ **Objectif de l'activité : Comment synthétiser une espèce chimique ?**

A Équation de la réaction de synthèse





> La vanilline peut être extraite des gousses de vanille.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Synthèse de l'éthanoate de vanilline

☑ Dans un erlenmeyer de 250 mL muni d'un barreau aimanté, DISSOUDRE 1,5 g de vanilline dans 25 mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium telle que $[HO^-] = 2{,}5\ mol \cdot L^{-1}$.

☑ Tout en agitant, AJOUTER 30 g de glace pilée, puis, avec précaution, 4 mL d'anhydride éthanoïque.

☑ ÉQUIPER l'erlenmeyer d'un réfrigérant à air, puis AGITER 10 minutes.

B Rôle du cahier de laboratoire

- Description succinte des opérations expérimentales.
- Consignation de toute remarque pertinente venant compléter ou justifier le protocole expérimental.
- Présentation des observations et de leur exploitation.
- Présentation de l'intégralité des résultats (rendement, analyses, etc.) et de leur exploitation.

PRODUITS DISPONIBLES

- **Vanilline :** $M = 152{,}15\ g \cdot mol^{-1}$ et $T_{fusion} = 82\ °C$.
- **Solution d'hydroxyde de sodium :** $[HO^-] = 2{,}5\ mol \cdot L^{-1}$.



- **Anhydride éthanoïque :** $M = 102{,}09\ g \cdot mol^{-1}$ et $d = 1{,}08$.



- **Éthanoate de vanilline :** $M = 194{,}18\ g \cdot mol^{-1}$ et $T_{fusion} = 77\ °C$.
- **Solvants usuels.**

Données
- L'éthanoate de vanilline est peu soluble dans l'eau froide et partiellement soluble à température ambiante.
- Lors de l'ajout de l'anhydride éthanoïque, la température du milieu réactionnel augmente.

Pratique expérimentale

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1 Au cours de la séance, rédiger le cahier de laboratoire relatif à la synthèse (doc. A et texte B).

Mettre en œuvre un protocole RÉA

2 a. Réaliser la synthèse de l'éthanoate de vanilline à partir du PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL ci-dessus.
b. Nommer la famille fonctionnelle associée au groupe caractéristique formé lors de cette synthèse.

Élaborer un protocole ANA-RAIS

3 Élaborer un protocole expérimental permettant d'isoler le solide obtenu et d'en contrôler la pureté. Après accord du professeur, mettre en œuvre ce protocole.

Un pas vers le cours

Présenter sous forme de schéma COM

4 Présenter, sous la forme d'un organigramme, les différentes étapes de la synthèse.

Activité 2 expérimentale en groupe

Rendement et vitesse

Le méthanoate d'éthyle est un solvant produit par l'industrie chimique. Il est nécessaire d'optimiser sa vitesse de formation ainsi que le rendement de sa synthèse.

▶ **Objectif de l'activité : Comment les conditions expérimentales influent-elles sur le rendement d'une réaction ou sur la vitesse de formation d'un produit ?**

Notions
- Augmentation de la vitesse de formation d'un produit
- Optimisation du rendement d'une réaction
- Titrage avec indicateur coloré
- Synthèse organique

A Synthèse du méthanoate d'éthyle

Acide méthanoïque — Éthanol — Méthanoate d'éthyle

$$HCO_2H + CH_3CH_2OH \rightleftharpoons HCO_2CH_2CH_3 + H_2O$$

Défi de l'équipe 1



☑ Dans un ballon, INTRODUIRE un volume V_1 d'éthanol, un volume V_2 d'acide méthanoïque, 1,0 mL d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce.

Binôme 1 $V_1 = 15{,}0$ mL et V_2 choisi de sorte que les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques.

Binôme 2 $V_1 = 27{,}0$ mL et $V_2 = 10{,}0$ mL.

Binôme 3 $V_1 = 15{,}0$ mL et $V_2 = 10{,}0$ mL.



☑ Pour les expériences 1 et 2, RÉALISER un montage à reflux et CHAUFFER à reflux les mélanges pendant 1 h 15. Pour l'expérience 3, INTRODUIRE le milieu réactionnel dans un montage à distillation fractionnée.

☑ Pour chaque expérience, REFROIDIR le milieu réactionnel. Pour l'expérience 3, RÉINTRODUIRE le distillat dans le ballon et agiter pour HOMOGÉNÉISER.

☑ Pour chaque expérience, INTRODUIRE 1,0 mL du milieu réactionnel dans un erlenmeyer contenant environ 10 mL d'eau et AJOUTER quelques gouttes de bleu de thymol.

☑ TITRER à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 0{,}70$ mol · L^{-1} en ions hydroxyde.

☑ NOTER le volume V_E de soude ajouté lorsque le changement de couleur est observé.

Défi 1

Déterminer la quantité d'acide méthanoïque restant à la fin de chaque expérience. En déduire, pour chacune d'elles, la quantité d'ester formé et le rendement de la synthèse.

Défi de l'équipe 2



☑ Dans un erlenmeyer, INTRODUIRE 15,0 mL d'acide méthanoïque, 1,0 mL d'acide sulfurique concentré et, tout en déclenchant le chronomètre, AJOUTER 15,0 mL d'éthanol absolu.

☑ HOMOGÉNÉISER le mélange puis le RÉPARTIR dans cinq tubes à essai à raison de 5,0 mL par tube.

☑ Sur chaque tube, ADAPTER un réfrigérant à air, puis PLACER l'ensemble dans un bain-marie.

Expérience 1 La température du bain-marie est 30 °C.

Expérience 2 La température du bain-marie est 50 °C.

☑ À $t = 5$ min ; 10 min ; 15 min ; 30 min et 45 min, VERSER le contenu d'un tube à essai dans un erlenmeyer contenant 50 mL d'eau glacée. RINCER le tube à essai avec un peu d'eau glacée et AJOUTER cette eau de rinçage ainsi que quelques gouttes de bleu de thymol dans l'erlenmeyer.

☑ TITRER à l'aide d'une solution d'hydroxyde de sodium de concentration $C = 2{,}5$ mol · L^{-1} en ions hydroxyde. Les volumes V_E de solution titrante, ajoutés lors du changement de couleur, sont donnés ci-dessous.

	5 min	10 min	15 min	30 min	45 min
V_E (mL) pour l'expérience 1	15,50	14,50	13,50	11,75	10,60
V_E (mL) pour l'expérience 2	13,15	11,20	9,90	8,35	7,45

Défi 2

Déterminer la quantité n_{ester} de méthanoate d'éthyle formé au cours du temps, puis tracer le graphe $n_{ester} = f(t)$ pour les deux expériences.

Données
- 1 mL d'acide sulfurique contient n mol d'ions H_3O^+ (valeur donnée par le professeur).
- Masses volumiques : ρ(éthanol) = 0,79 g · mL^{-1} ; ρ(acide méthanoïque) = 1,22 g · mL^{-1}.
- Masses molaires : M(éthanol) = 46,0 g · mol^{-1} ; M(acide méthanoïque) = 46,0 g · mol^{-1}.

Pratique expérimentale

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

1. Former des équipes, puis réaliser les DÉFIS 1 et 2.

Présenter oralement une explication COM

2. Désigner un élève rapporteur au sein de chaque groupe, puis présenter oralement à la classe les résultats du défi.

Un pas vers le cours

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

3. Comment les conditions expérimentales influent-elles sur le rendement d'une réaction ou la vitesse de formation d'un produit ?

Activité 3 jeu

Synthèse et nomenclature

La synthèse d'une espèce chimique à partir de réactifs à disposition nécessite souvent plusieurs étapes. Pour élaborer une étape, le chimiste s'aide de banques de réactions existantes.

▶ **Objectif de l'activité : Comment nommer une espèce chimique et déterminer une étape de synthèse ?**

Notions
- Banque de réactions et séquences réactionnelles
- Catégories de réaction : addition, élimination, substitution, oxydation et réduction
- Règles de nomenclature
- Formules topologiques

Consigne

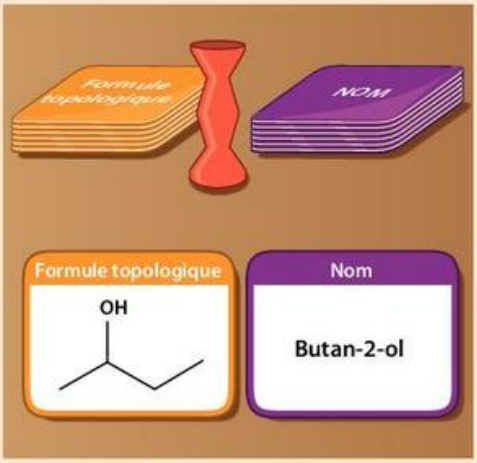
APP ANA-RAIS

- Former des équipes pour jouer aux jeux 1 et 2. Vous avez à votre disposition :
– un jeu de cartes à télécharger ;
– la Fiche 8 p. 459 « Nomenclature » ;
– la Fiche 9 p. 460 « Banque de réactions ».

lycee.hachette-education.com/pc/tle

CARTES du Jeu 1
CARTES du Jeu 2

Jeu 1
Associer un nom à une formule topologique

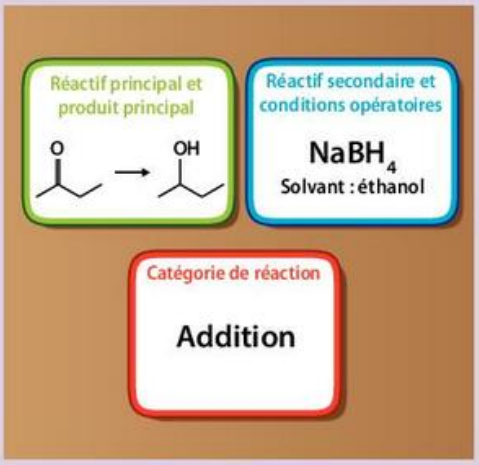


Règles du jeu

- Placer le totem au centre de la table.
- Le donneur répartit toutes les cartes aux différents joueurs, faces cachées.
- Le joueur situé à gauche du donneur retourne devant lui la première carte. Les autres joueurs font de même à tour de rôle.
- Lorsque deux joueurs ont retourné des cartes « nom » et « formule topologique » associées, le premier des deux joueurs qui s'empare du totem emporte le duel et donne son tas de cartes retournées à l'autre.
- Le perdant ajoute ces cartes à son paquet de cartes faces cachées, puis repose une nouvelle carte face retournée et la partie reprend.
- Si un joueur s'empare du totem alors qu'il n'avait pas à le faire, il ramasse toutes les cartes retournées de tous les autres joueurs.
- Le joueur qui n'a plus de carte gagne la partie.

Nombre de joueurs : de 2 à 8.

Jeu 2
Déterminer une étape de synthèse



Règles du jeu

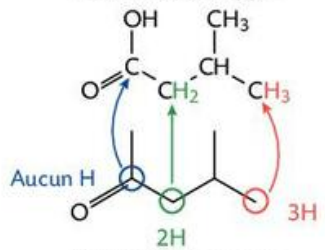
- Chaque joueur se voit distribuer des cartes appartenant aux catégories suivantes :
– « réactif principal et produit principal » ;
– « réactif secondaire et conditions opératoires ».
- Tous les joueurs se lèvent avec leurs cartes en main, puis vont à la rencontre de leurs camarades pour associer leurs cartes à l'aide de la banque de réactions.
- Une fois la paire de cartes formée, les joueurs concernés choisissent la carte « catégories de réaction » correspondante sur le bureau du professeur.
- Les deux joueurs présentent alors au professeur la triplette de cartes pour validation. Ce dernier sort alors les cartes du jeu.
- Le gagnant est le premier joueur qui n'a plus de carte.

Nombre de joueurs : jusqu'à 24.

Cours

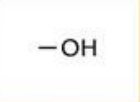
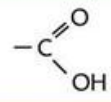
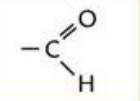
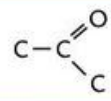
A Nombre d'atomes d'hydrogène

Formule développée



Formule topologique

B Familles fonctionnelles vues en classe de Première

Famille fonctionnelle et suffixe	
Alcool	Acide carboxylique
	
ol	oïque
Aldéhyde	Cétone
	
al	one

> Dans un alcool, l'atome de carbone lié au groupe –OH doit former quatre liaisons simples.
Pour les acides carboxyliques, le nom de la molécule commence par le mot acide.

C Règles de nomenclature

Le nom des molécules organiques est de la forme :

Nature et position du (ou des) groupe(s) alkyle(s) — Famille fonctionnelle

Préfixe – Racine – Suffixe

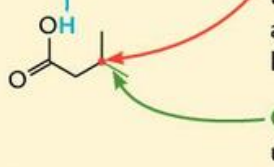
Nombre d'atomes de carbone dans la chaîne principale

1 La structure des entités chimiques organiques

a. Formules topologiques

• L'écriture topologique est une représentation simple et rapide des molécules organiques :

❶ Les atomes de carbone et les atomes d'hydrogène liés à ces atomes ne sont pas indiqués.
❷ Les atomes d'hydrogène non liés à des atomes de carbone sont indiqués.



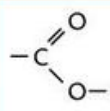
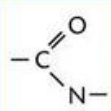
❸ Un sommet correspond à un atome de carbone et aux atomes d'hydrogène qui sont liés à l'atome de carbone.
❹ Un segment correspond à un doublet liant.
❺ La chaîne carbonée est représentée en ligne brisée (« zigzag »).

• Le nombre d'atome(s) d'hydrogène lié(s) à chaque atome de carbone se retrouve facilement car ce dernier est entouré de quatre doublets liants (doc. A).

b. Familles fonctionnelles et nomenclature

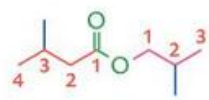
• Pour nommer une espèce chimique, il faut suivre les règles récapitulées dans la Fiche 8 p. 459.

• Le suffixe du nom indique la famille fonctionnelle à laquelle appartient l'espèce chimique (tableau B et doc. C).

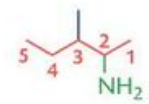
Famille fonctionnelle	Ester	Amine	Amide	Halogénoalcane	
Groupe caractéristique				–F	–Cℓ
				–Br	–I
Suffixe ou préfixe	... oate de ... yle	amine*	amide*	fluoro ; chloro ; bromo ; iodo	

* Si l'atome d'azote, en plus d'être lié à la chaîne principale, est aussi lié à des groupes alkyles, le nom est précédé de la mention N-alkyl.

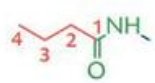
Exemples



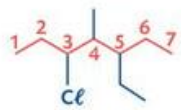
3-méthylbutanoate de 2-méthylpropyle



3-méthylpentan-2-amine

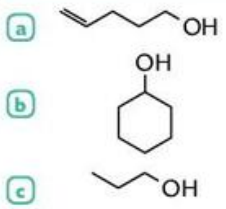


N-méthylbutanamide



3-chloro-5-éthyl-4-méthylheptane

D Squelettes carbonés



> Les squelettes carbonés du pent-4-én-1-ol (a) et celui du cyclohexanol (b) sont **insaturés**. Le squelette du propan-1-ol (c) est **saturé**.

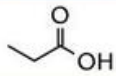
c. Squelette carboné

- Le **squelette carboné** représente l'enchaînement des atomes de carbone constituant une molécule organique.
- Si une liaison multiple (double ou triple) ou un cycle est présent, le squelette est dit **insaturé**. Dans le cas contraire, il est dit **saturé** (doc. D).

d. Isomérie de constitution

Deux espèces sont **isomères de constitution** si leurs molécules ont la même formule brute et des formules semi-développées différentes.

Exemple

	Formule brute	Formule semi-développée	Formule topologique
Acide propanoïque	$C_3H_6O_2$	$CH_3-CH_2-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-OH$	
Éthanoate de méthyle	$C_3H_6O_2$	$CH_3-\overset{\overset{O}{\|\|}}{C}-O-CH_3$	

2 L'optimisation d'une synthèse

a. Augmentation de la vitesse de formation

Pour augmenter la vitesse de formation d'un produit, on peut :
– **chauffer** le milieu réactionnel avec un montage de chauffage à reflux ;
– utiliser un **catalyseur** ;
– augmenter la **concentration des réactifs** en solution.

E Températures d'ébullition

Formule brute	Température d'ébullition de l'espèce (°C)
C_2H_5OH	78,3
HCO_2H	118,1
$HCO_2C_2H_5$	54,3
H_2O	100,0

> Parmi les espèces du milieu réactionnel, c'est l'ester de formule $HCO_2C_2H_5$ qui a la plus faible température d'ébullition.

b. Optimisation du rendement

Dans le cas où une réaction opposée limite une synthèse, on peut améliorer le rendement de cette dernière :
– en introduisant l'un des **réactifs en excès** ;
– en **éliminant** du milieu réactionnel un des **produits** de la réaction.

Exemple : Soient les réactions opposées dont l'équation est donnée ci-dessous.

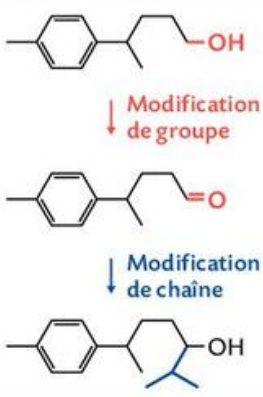
$$C_2H_5OH(\ell) + HCO_2H(\ell) \rightleftharpoons \mathbf{HCO_2C_2H_5(\ell)} + H_2O(\ell)$$

Le milieu réactionnel est ici constitué d'un mélange d'espèces liquides miscibles ; dans ce cas le quotient de réaction s'écrit :

$$Q_r = \frac{\mathbf{n(HCO_2C_2H_5)} \times n(H_2O)}{n(C_2H_5OH) \times n(HCO_2H)}.$$

En distillant l'ester $HCO_2C_2H_5$ (doc. E) au fur et à mesure de sa formation, le quotient de réaction Q_r est toujours inférieur à la constante d'équilibre K : le système évolue de manière continue dans le sens direct de l'équation, et des rendements proches de 100 % sont alors obtenus.

F Modification de groupe ou de chaîne



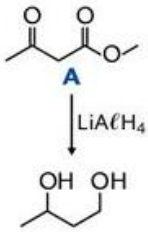
3 La stratégie de synthèse

a. Modification de groupe ou de chaîne

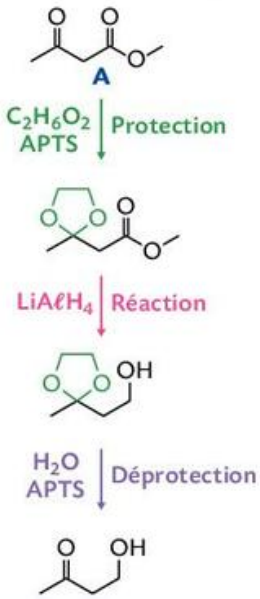
- La **chaîne carbonée** d'une molécule est **modifiée** s'il y a création ou rupture de liaison carbone-carbone. Dans le cas contraire, il y a **modification d'un ou plusieurs groupe(s)** caractéristique(s) (doc. F).

G **Protection de fonction**

• En présence de tétrahydruroaluminate de lithium, les deux groupes fonctionnels de la molécule **A** sont transformés :



• Grâce à des étapes de protection et de déprotection, il est possible de transformer un seul des deux groupes caractéristiques de la molécule **A** :



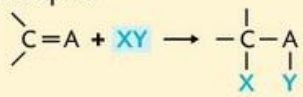
• Lors d'une synthèse, si plusieurs groupes caractéristiques peuvent réagir lors d'une même réaction, il convient de protéger l'un des groupes par un groupe protecteur moins réactif (doc. G).

Lors d'une **protection de fonction**, un groupe caractéristique est transitoirement transformé en un autre groupe caractéristique moins réactif. Une réaction de déprotection doit exister pour régénérer le groupe caractéristique initial.

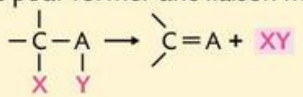
b. Catégories de réaction

• En chimie organique, on peut classer la plupart des réactions en quatre grandes catégories :

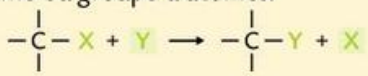
• **Addition** : Lors d'une **réaction d'addition**, des atomes ou des groupes d'atomes se lient à des atomes engagés dans des liaisons multiples.



• **Élimination** : Lors d'une **réaction d'élimination**, des atomes ou groupes d'atomes, portés par des atomes adjacents, sont éliminés pour former une liaison multiple.

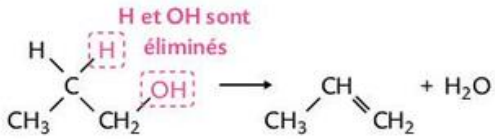


• **Substitution** : Lors d'une **réaction de substitution**, un atome ou un groupe d'atomes d'une molécule est remplacé par un autre atome ou groupe d'atomes.



• **Acide-Base** : Lors d'une **réaction acide-base**, un échange d'ion hydrogène H^+ se produit.

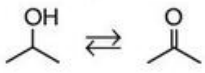
Exemple : La réaction dont l'équation est donnée ci-dessous est une réaction d'élimination.



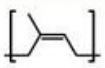
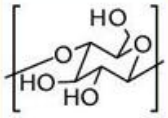
• Un classement complémentaire est parfois possible, certaines réactions peuvent être aussi qualifiées de réactions d'oxydation ou de réduction.

Lors d'une **réaction d'oxydoréduction** il se produit un échange d'électron(s).

Exemple : La réaction modélisant la transformation du propan-2-ol en propanone est une réaction d'élimination. C'est aussi une réaction d'oxydation car elle peut être modélisée par la demi-équation électronique donnée ci-dessous.



H **Polymères synthétiques ou naturels**

Nom, utilisation et origine	Motif
Polychlorure de vinyle (PVC) Revêtements de sol, canalisations etc. Synthétique	
Cis-polyisoprène Caoutchouc Naturel (Latex)	
Cellulose Mouchoirs en papier Naturel (Paroi des cellules végétales)	

lycee.hachette-education.com/pc/tle

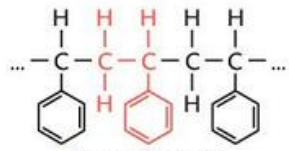


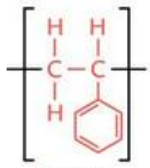
VIDÉO DE COURS

c. Réaction de polymérisation

Un **polymère** est un ensemble de **macromolécules**. Dans une macromolécule, une unité structurale appelée **motif** se répète un grand nombre de fois.

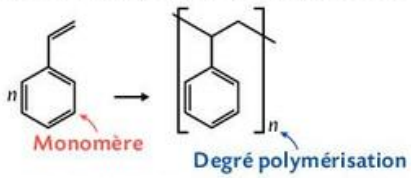
Exemple : Le polystyrène est un polymère synthétique utilisé par exemple comme isolant dans le bâtiment.





Une **réaction de polymérisation** permet d'obtenir les macromolécules constituant le polymère à partir d'un très grand nombre de molécules identiques appelées **monomères**.

Exemple : La réaction dont l'équation est donnée ci-dessous est une réaction de polymérisation. On peut aussi la qualifier de réaction d'addition.

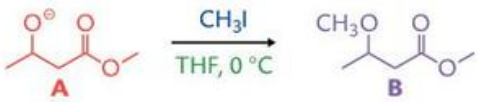


Les polymères peuvent être d'origine naturelle ou synthétique (tableau H).

d. Synthèse multi-étapes

- La synthèse organique consiste à produire une espèce chimique organique. Les molécules de cette espèce, dites **molécules cibles**, sont plus complexes que les molécules des réactifs appelés **précurseurs** de la molécule cible.
- Une équation est toujours ajustée mais en chimie organique, on utilise souvent une écriture simplifiée (INFO).

Exemple :



- Pour définir une stratégie de synthèse (ordre des étapes, mise en place d'éventuelles étapes de protection, etc.), le chimiste dispose de banques de réactions (voir la Fiche 9 p. 460).
- Pour comparer plusieurs synthèses d'une même espèce cible, un critère important est le **rendement global** de la synthèse qui doit être le plus élevé possible.
- D'autres critères sont aussi importants : écoresponsabilité, coût, durée, etc.

Une **synthèse écoresponsable** d'un produit permet de réduire au maximum l'empreinte environnementale en se proposant d'agir sur trois domaines :
– les matières premières : en limitant les quantités, en préférant des espèces peu dangereuses, renouvelables, etc. ;
– les solvants : non toxiques, non polluants, en faible quantité voire sans solvant ;
– l'énergie : en limitant les dépenses, en utilisant des conditions douces (catalyseur, faibles températures, etc.).

INFO

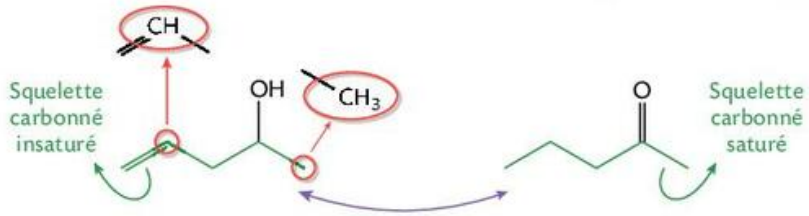
- On distingue le réactif principal A qui est le précurseur de la molécule cible du réactif secondaire CH_3I.
- Au-dessous et au-dessus de la flèche, des informations sont fournies : solvant, température, chauffage (noté Δ), catalyseur, durée de la réaction, etc.
- Dans l'écriture simplifiée, seule la formule de la molécule cible est indiquée (ici B). Le sous-produit de la réaction I^- n'est pas indiqué.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Stratégie de synthèse
QCM
Version interactive

1 La structure des entités chimiques organiques



Même formules brutes ($C_5H_{10}O$) et formules topologiques semi-développées différentes : **isomère de constitution**

Nom d'une espèce
Savoir utiliser la Fiche 8 p. 459

Famille fonctionnelle	Halogénoalcane	Alcool	Aldéhyde	Cétone	Acide carboxylique	Ester	Amine	Amide
Groupe caractéristique	C–X avec X = Cℓ, Br, I	–C(–OH)–	–C(=O)–H	–C(=O)–C–	–C(=O)–OH	–C(=O)–O–C–	–N–	–C(=O)–N–

2 L'optimisation d'une synthèse

Augmentation de la vitesse de formation d'un produit
- Chauffer le milieu réactionnel.
- Utiliser un catalyseur.
- Augmenter la concentration des réactifs en solution.

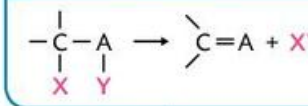
Optimisation du rendement
- Introduire un réactif en excès.
- Éliminer un produit de la réaction au fur et à mesure de sa formation.

3 La stratégie de synthèse

Addition



Élimination



Substitution

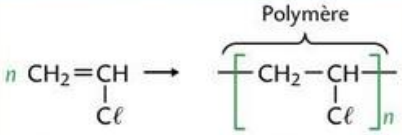


Catégories de réaction

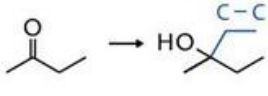
Réaction acide-base
Si échange d'ions hydrogène H^+

Réaction d'oxydoréduction
Si échange d'électrons e^-

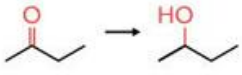
Polymérisation



- **Modification de chaîne**



- **Modification de groupe**



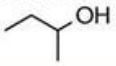
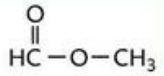
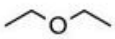
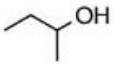
- **Protection / déprotection** de fonction :
– transformer temporairement un groupe caractéristique en un autre moins réactif ;
– une réaction de déprotection doit exister.
- Pour établir la **stratégie de synthèse** d'une espèce, savoir utiliser la Fiche 9 p. 460.
- Critères de **comparaison de deux synthèses** : rendement, écoresponsabilité (matière première, solvants, énergie, vitesse de formation, etc.).

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 La structure des entités chimiques organiques

Si erreur, revoir § 1, p. 194.

	A	B	C
1. La molécule dont la formule topologique est donnée ci-dessous contient : 	5 atomes de carbone.	10 atomes d'hydrogène.	9 atomes d'hydrogène.
2. La molécule dont la formule semi-développée est donnée ci-contre appartient à la famille des : 	esters.	acides carboxyliques.	aldéhydes.
3. On donne ci-contre la formule topologique de la molécule d'une espèce A. Identifier la (ou les) formule(s) topologique(s) de molécules correspondant à des espèces isomères de A : 			

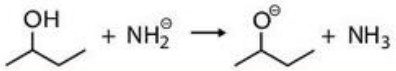
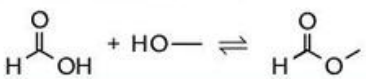
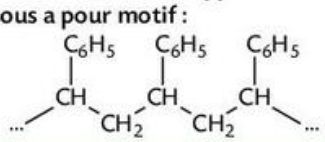
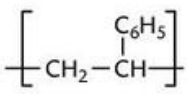
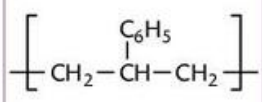
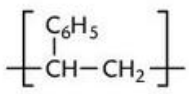
2 L'optimisation d'une synthèse

Si erreur, revoir § 2, p. 195.

4. Généralement, la vitesse de formation d'un produit :	ne dépend pas de la température.	croît lorsque l'on ajoute un catalyseur dans le milieu.	croît lorsque la concentration des produits augmente.
5. Pour optimiser le rendement d'une synthèse, on peut :	introduire un réactif en excès.	ajouter des produits.	éliminer des produits du milieu réactionnel au fur et à mesure de leur formation.

3 La stratégie de synthèse

Si erreur, revoir § 3, p. 195.

6. La réaction dont l'équation est donnée ci-dessous est une réaction : 	d'addition.	de substitution.	acide-base.
7. La réaction de synthèse de l'éthanal CH_3CHO à partir de l'éthanol CH_3CH_2OH est une réaction :	d'addition.	d'élimination.	de substitution.
8. Lors d'une estérification dont l'équation est donnée ci-dessous, a lieu : 	une modification de groupe.	une modification de chaîne.	une modification de chaîne et de groupe.
9. La macromolécule dont un extrait de la formule semi-développée est donné ci-dessous a pour motif : 			

QCM **Version interactive**

Les bons réflexes

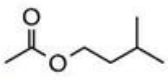
Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Justifier que deux espèces dont les molécules sont notées A et B sont isomères de constitution.	Réflexe 1 — Ex. 10 p. 202 • **Déterminer** les formules brutes des molécules A et B. Si elles sont différentes, les espèces correspondantes ne sont pas isomères de constitution. Si elles sont identiques, passer au point suivant. • **Vérifier** que les formules semi-développées des molécules A et B sont différentes. Si c'est le cas, les espèces correspondantes sont isomères de constitution sinon elles sont identiques.
Proposer un réactif et éventuellement des conditions expérimentales pour synthétiser un produit B à partir d'un réactif A.	Réflexe 2 — Ex. 14 p. 203 • **Repérer** les familles fonctionnelles associées aux groupes caractéristiques de A et de B. • **Identifier** la modification (de chaîne ou de groupe) ayant lieu. • **Déterminer** le réactif et les conditions expérimentales à l'aide de la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460.
Identifier la catégorie d'une réaction.	Réflexe 3 — Ex. 16 p. 203 • **Repérer** le site modifié lors de la réaction : – S'il y a formation d'une double liaison, la réaction est une élimination. – S'il y a disparition d'une double liaison, la réaction est une addition. – Si un atome ou groupe d'atomes a été remplacé par un autre atome ou groupe d'atomes, la réaction est une substitution. – Si un échange d'ion hydrogène H^+ a lieu, la réaction est de type acide-base.
Représenter le motif d'un polymère.	Réflexe 4 — Ex. 20 p. 204 • **Repérer** le plus petit groupe d'atomes (composé d'au moins deux atomes de carbone) qui se répète. • **Recopier** ce groupe d'atomes et dessiner, de part et d'autre de la chaîne principale de ce groupe d'atomes, des liaisons et des parenthèses.

1 Exercice résolu

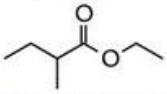
Mûrissement des pommes

Utiliser un modèle.

Lorsque des pommes mûrissent, il se forme deux espèces A et B dont les formules topologiques des molécules sont données ci-dessous.



> Formule topologique d'une molécule de l'espèce A



> Formule topologique d'une molécule de l'espèce B

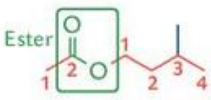


1. Identifier la famille fonctionnelle associée au groupe caractéristique présent dans les molécules des espèces A et B. À l'aide de la Fiche 8 p. 459, nommer les espèces A et B.

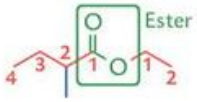
2. Justifier que ces deux espèces sont isomères de constitution.

Solution rédigée

1. Espèce A : **éthanoate de 3-méthylbutyle**.



Espèce B : **2-méthylbutanoate d'éthyle**.



• **On utilise le** Réflexe 1.

Détermination des formules brutes des molécules

2. Formule brute d'une molécule de l'espèce A : $C_7H_{14}O_2$.
Formule brute d'une molécule de l'espèce B : $C_7H_{14}O_2$.

Comparaison des formules semi-développées

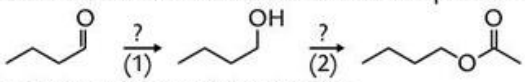
Les molécules des espèces A et B ont la même formule brute et des formules semi-développées (et topologiques) différentes. Les espèces A et B sont donc des **isomères de constitution**.

2 Exercice résolu

Séquence réactionnelle en deux étapes

I Extraire et exploiter des informations.

1. Compléter la séquence réactionnelle décrite ci-dessous à l'aide de la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460.



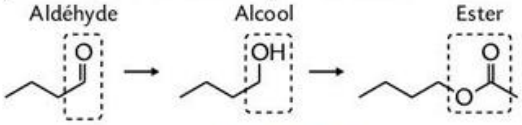
2. Associer une catégorie de réaction à chaque étape de la séquence.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 2.**

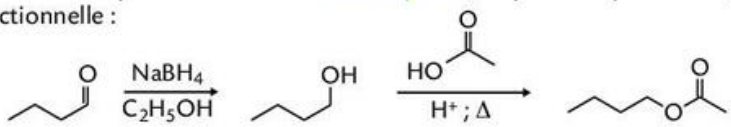
Repérage des familles fonctionnelles et du type de modification (chaîne ou groupe)

1. Deux modifications successives de groupes caractéristiques (et donc de famille fonctionnelle) ont lieu lors de cette séquence réactionnelle :



Détermination des réactifs à utiliser et des conditions expérimentales

Grâce à la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460, on peut compléter la séquence réactionnelle :



• **On utilise le Réflexe 3.**

Repérage du site modifié

2. Dans l'étape (1), une liaison double C=O est transformée en liaison simple C–O, il s'agit d'une réaction **d'addition**.

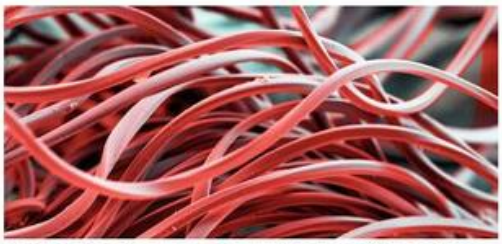
Dans l'étape (2), l'atome d'hydrogène H lié à l'atome d'oxygène de l'alcool est remplacé par le groupement $-CO-CH_3$ il s'agit donc d'une réaction de **substitution**.

3 Exercice résolu

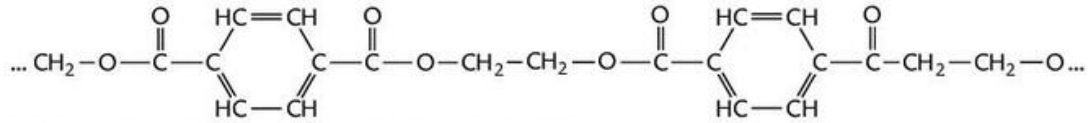
Réaction de polymérisation

I Mobiliser ses connaissances.

Le polyéthylène téréphtalate (PET) est un polymère synthétique constituant les bouteilles d'eau minérale. Il entre aussi dans la composition de vêtements. On donne ci-dessous une partie de la formule d'une macromolécule de PET :



Fibres de polyester vues au microscope électronique.



1. Écrire la formule semi-développée du motif du PET.

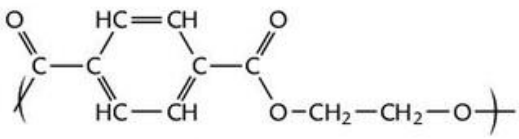
2. Lors de la synthèse, de l'eau se forme simultanément au PET. Expliquer l'intérêt d'éliminer l'eau, en continu, du milieu réactionnel lors de la synthèse.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 4.**

Repérage du plus petit groupe d'atomes qui se répète et positionnement des parenthèses

1. Motif du PET :



2. En éliminant l'eau, en continu, du milieu réactionnel, le quotient de réaction Q_r reste inférieur à K. Le système évolue donc dans le sens direct de l'équation, le rendement de la réaction est donc augmenté.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

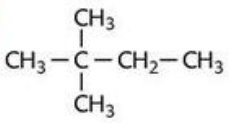
Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Exploiter des règles de nomenclature.	8	25	32
Représenter des formules topologiques d'isomères de constitution.	10	22	
Identifier le motif d'un polymère.	20	25	
Citer des polymères naturels et synthétiques et des utilisations courantes des polymères.	20	25	
Identifier dans un protocole, les opérations réalisées pour optimiser la vitesse de formation d'un produit.	12	25	32
Justifier l'augmentation du rendement d'une synthèse par introduction d'un excès d'un réactif ou par élimination d'un produit du milieu réactionnel.	12	25	32
Élaborer une séquence réactionnelle de synthèse d'une espèce à partir d'une banque de réactions.	14	25	33
Identifier des réactions d'oxydoréduction, acide-base, de substitution, d'addition, d'élimination.	16	25	33
Identifier des étapes de protection/déprotection et justifier leur intérêt, à partir d'une banque de réactions.	18	22	33
Discuter de l'impact environnemental d'une synthèse et proposer des améliorations à l'aide de données fournies.		22	

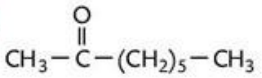
1 La structure des entités chimiques organiques

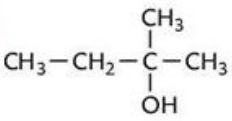
4 Représenter des formules topologiques CORRIGÉ

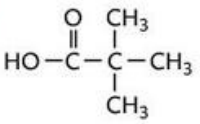
Mobiliser ses connaissances.

• Représenter les formules topologiques correspondant aux formules semi-développées ci-dessous.

a 

b 

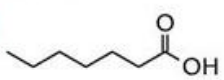
c 

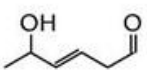
d 

5 Exploiter des formules topologiques

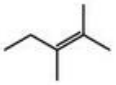
Utiliser un modèle.

• Déterminer la formule semi-développée puis la formule brute correspondant aux formules topologiques données ci-dessous.

a 

b 

c 

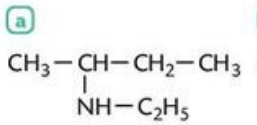
d 

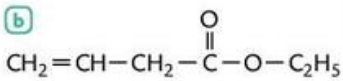
6 Reconnaître un groupe caractéristique CORRIGÉ

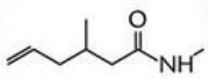
Mobiliser ses connaissances.

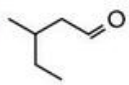
1. Repérer les groupes caractéristiques présents dans les molécules dont les formules sont données ci-après. Associer à chacun d'eux une famille fonctionnelle.

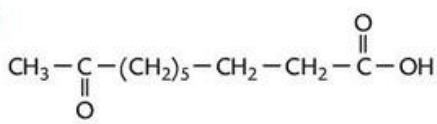
2. Pour chaque molécule, indiquer si son squelette carboné est saturé ou non.

a 

b 

c 

d 

e 

7 Proposer des formules topologiques

Proposer un modèle.

• Pour chaque molécule décrite ci-dessous, écrire une formule topologique possible.

a Molécule d'alcool dont la chaîne carbonée saturée est composée de cinq atomes de carbone.

b Molécule d'ester de formule brute $C_2H_4O_2$.

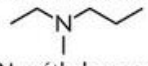
c Molécule d'amine dont la chaîne carbonée insaturée possède trois atomes de carbone.

8 Justifier des noms

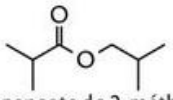
CORRIGÉ

Extraire et exploiter des informations.

On donne ci-dessous les formules topologiques de deux molécules et le nom des espèces associées.

a 

N-éthyl, N-méthylpropan-1-amine

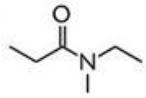
b 

méthylpropanoate de 2-méthylpropyle

• Justifier ces noms à l'aide de la Fiche 8 p. 459.

9 Nommer une espèce

Extraire et exploiter des informations.

1. À l'aide de la Fiche 8 p. 459, nommer l'espèce dont la formule topologique de la molécule est donnée ci-contre. 

2. À l'aide de la Fiche 8 p. 459, représenter la formule topologique du 3-méthylbutanoate d'éthyle.

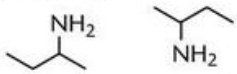
10 Identifier des isomères de constitution

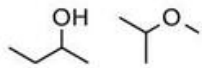
CORRIGÉ

Utiliser un modèle.

• Pour chaque couple de formules topologiques ci-dessous, identifier si les espèces correspondantes sont isomères de constitution. Justifier. Utiliser le réflexe 1

a 

b 

c 

11 Représenter des isomères de constitution

Proposer un modèle.

• Pour chaque formule brute ci-dessous, écrire les formules topologiques des molécules de tous les isomères de constitution correspondants sachant qu'aucune d'elles n'est cyclique.

a C_3H_6O b $C_4H_{11}N$ c $C_5H_{11}C\ell$

2 L'optimisation d'une synthèse

12 Optimiser un rendement et une vitesse

CORRIGÉ

Mobiliser ses connaissances.

On synthétise l'espèce **C** grâce à une transformation lente modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit : $A(\ell) + B(\ell) \rightleftharpoons C(\ell) + D(\ell)$

La constante d'équilibre associée à l'équation est notée K.

1. Proposer deux opérations permettant d'augmenter la vitesse de formation de l'espèce **C**.

2. Proposer deux méthodes d'optimisation du rendement de cette synthèse. Justifier.

13 Justifier un protocole

Justifier un protocole.

On synthétise l'éthanoate de 3-méthylbutyle, noté **A**, grâce à une transformation lente modélisée par deux réactions opposées. L'équation s'écrit :

$$C_2H_4O_2(\ell) + C_5H_{12}O(\ell) \rightleftharpoons A(\ell) + H_2O(\ell)$$

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Extrait du protocole de la synthèse de l'espèce A

☑ Dans un ballon, INTRODUIRE 0,18 mol de 3-méthylbutan-1-ol, 0,53 mol d'acide éthanoïque et environ 0,02 mol d'acide sulfurique concentré.

☑ AJOUTER trois grains de pierre ponce, ADAPTER un réfrigérant à boules sur le ballon et CHAUFFER à reflux pendant environ 30 min.

1. a. Citer deux raisons qui laissent penser que l'acide sulfurique est un catalyseur de la réaction.

b. Citer deux opérations du PROTOCOLE ci-dessus permettant d'augmenter la vitesse de formation de **A**.

2. a. Citer l'opération du protocole ci-dessus qui permet d'optimiser le rendement de la synthèse.

b. Justifier que si on éliminait l'eau du milieu réactionnel au fur et à mesure de sa formation, on augmenterait le rendement.

3 La stratégie de synthèse

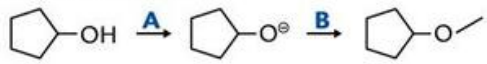
VIDÉO DE COURS Stratégie de synthèse – QR Code p. 198

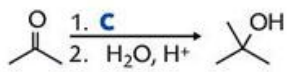
14 Compléter des étapes d'une synthèse (1)

CORRIGÉ

Extraire et exploiter des informations.

1. Pour chaque étape décrite ci-dessous, déterminer si le but recherché est une modification de groupe ou une modification de chaîne.



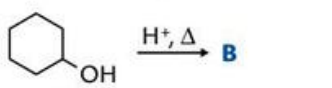


2. À l'aide de la Fiche 9 p. 460, déterminer les formules topologiques des réactifs **A**, **B** et **C**. Utiliser le réflexe 2

15 Compléter des étapes d'une synthèse (2)

Extraire et exploiter des informations.





1. À l'aide de la Fiche 9 p. 460 déterminer les formules topologiques des molécules des espèces **A** et **B**.

2. Pour chaque étape décrite ci-dessus, le but recherché est une modification de groupe caractéristique. Justifier.

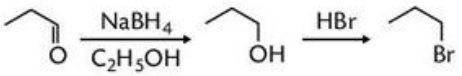
Exercices — Appliquer le cours

16 Attribuer une catégorie de réaction

CORRIGÉ

| Mobiliser ses connaissances.

On décrit ci-dessous deux étapes d'une synthèse.



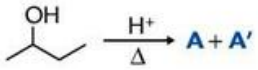
1. Attribuer une catégorie (addition, élimination, substitution, acide-base) à chacune des réactions décrites ci-dessus. Utiliser le réflexe 3

2. Justifier que la première réaction correspond aussi à une réaction de réduction.

17 Déterminer le produit issu d'une élimination

| Exploiter des résultats.

Lorsqu'on chauffe du butan-2-ol en milieu acide, on forme de l'eau et deux isomères de constitution notés **A** et **A'**. Il s'agit d'une réaction d'élimination.



1. Définir une réaction d'élimination.

2. Donner les formules topologiques des molécules des espèces **A** et **A'** en s'aidant éventuellement de la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460.

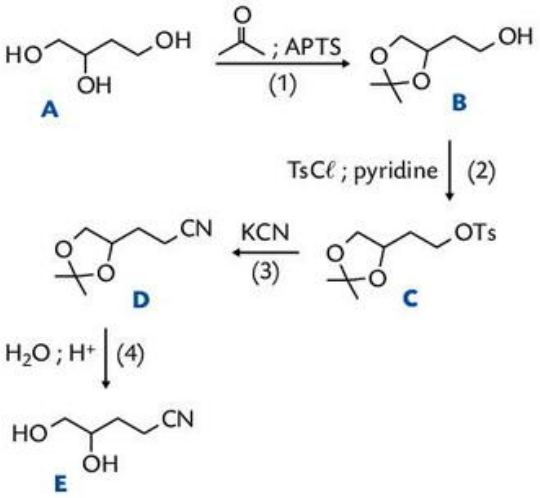
3. Déterminer s'il s'agit aussi d'une réaction d'oxydo-réduction. Justifier.

18 Identifier des étapes de protection

CORRIGÉ

| Exploiter des observations.

On considère la synthèse décrite ci-dessous qui a pour but de substituer un unique groupe hydroxyle de la molécule **A** par un groupement cyano -CN :



1. Identifier les étapes de protection et de déprotection intervenant dans cette synthèse.

2. Expliquer pourquoi ces étapes sont nécessaires pour atteindre l'objectif fixé.

19 Identifier des fonctions à protéger

| Exploiter des observations.

La leucine et l'alanine sont deux acides α-aminés dont les formules sont données ci-dessous.



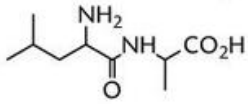
> Alanine

> Leucine

On fait réagir ces deux acides α-aminés dans des conditions telles que les groupes carboxyle ($-CO_2H$) et amine ($-NH_2$) peuvent réagir pour former le groupe amide.

1. Dénombrer les dipeptides susceptibles de se former.

2. On souhaite synthétiser le dipeptide dont la formule est donnée ci-dessous. Déterminer les groupes à protéger.

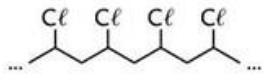


20 Représenter un motif

CORRIGÉ

| Restituer ses connaissances.

Le polychlorure de vinyle (PVC) est un polymère synthétique. Dans le bâtiment, il est utilisé pour la confection des fenêtres et des canalisations. On représente ci-dessous une partie de la formule topologique d'une de ses macromolécules :



1. Définir le terme polymère.

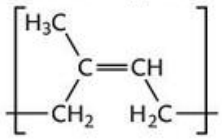
2. Représenter le motif du PVC. Utiliser le réflexe 4

3. Nommer un autre polymère synthétique et donner son application.

21 Représenter un polymère

| Restituer ses connaissances.

Le cis-polyisoprène est le principal constituant du caoutchouc naturel (issu du latex). On donne ci-dessous la formule semi-développée de son motif :





> Récolte du latex

1. Définir le terme motif.

2. Représenter une partie de la formule topologique du cis-polyisoprène schématisant l'enchaînement de quatre motifs.

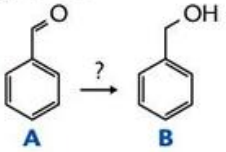
3. Nommer un autre polymère naturel et citer une de ses applications.

22 Quelques réactions de synthèse

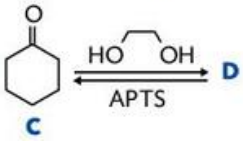
CORRIGÉ

Extraire et exploiter des informations.

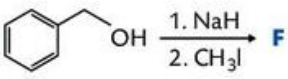
On donne ci-dessous sept écritures simplifiées de réactions de synthèse :

a 

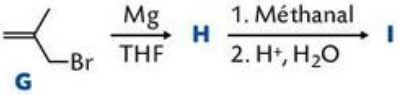
A B

b 

C

c 

E

d 

G

e 2,2-diméthylpropan-1-ol (J) $\xrightarrow{?}$ propanoate de 2,2-diméthylpropyle (K)

f butan-2-ol (L) $\xrightarrow{?}$ (M) + M'

1. À l'aide de la Fiche 8 p. 459, écrire les formules topologiques des molécules des espèces notées **J**, **K** et **L**.

2. Recopier les formules topologiques des réactifs **A**, **B**, **C**, **E**, **G**, **J** et **L**. Repérer les groupes caractéristiques présents, puis nommer la famille fonctionnelle associée.

3. À l'aide de la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460.

a. Déterminer les réactifs permettant de réaliser les transformations a, e et f.

b. Déterminer les formules topologiques des molécules des espèces **D**, **F**, **H** et **I**.

4. La transformation non totale b est catalysée par l'APTS. Déterminer le sous-produit de la réaction et proposer une méthode permettant d'optimiser le rendement de la synthèse.

5. La transformation f conduit à la formation de deux espèces isomères de constitution **M** et **M'**. Donner la formule topologique de **M'**.

6. Justifier que la transformation a correspond à une réaction d'oxydoréduction.

7. a. Identifier, dans la liste de réactions ci-dessus, une réaction d'élimination, d'addition et de substitution.

b. Identifier, dans la liste, une réaction dont le but est :
– une modification de groupe ;
– une modification de chaîne.

23 Équilibre d'estérification

Effectuer des calculs.

Lors de la synthèse de l'éthanoate d'éthyle Es à partir d'acide éthanoïque Ac et d'éthanol Aℓ deux réactions de sens opposé ont lieu. L'équation s'écrit :

$$Ac(\ell) + A\ell(\ell) \rightleftharpoons Es(\ell) + H_2O(\ell)$$

Le milieu réactionnel est constitué d'un mélange d'espèces liquides miscibles. Le quotient de réaction s'écrit :

$$Q_r = \frac{n(Es) \times n(H_2O)}{n(Ac) \times n(A\ell)}$$

Expérience 1 : Faire réagir à 70 °C, 1,00 mol d'acide éthanoïque et 1,00 mol d'éthanol. À l'équilibre, 0,67 mol d'eau est formé.

Expérience 2 : Faire réagir à 70 °C, 1,00 mol d'acide éthanoïque et 10,00 mol d'éthanol.

1. À l'aide de la Fiche 8 p. 459, déterminer les formules semi-développées des réactifs et des produits.

2. Calculer, à 70 °C, la constante d'équilibre K associée à l'équation ci-dessus.

3. Déterminer le rendement de la réaction dans les conditions de l'expérience 1.

4. a. Déterminer, dans les conditions de l'expérience 2, la composition du système à l'équilibre.

b. En déduire le rendement de la réaction. Conclure.

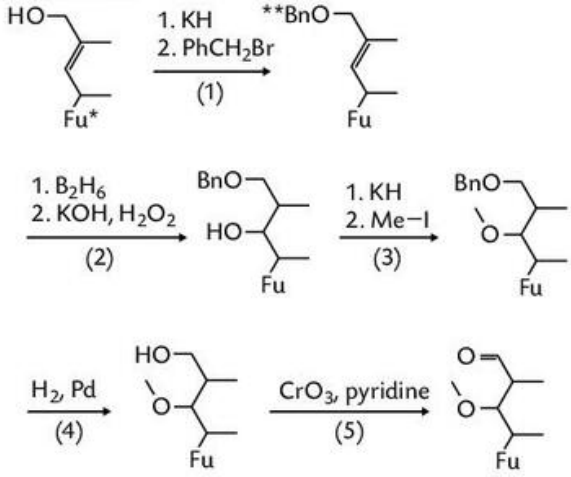
24 À chacun son rythme

Synthèse d'un antibiotique

Extraire et exploiter des informations.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

On donne ci-dessous un extrait du schéma de synthèse de la monensine, antibiotique utilisé dans l'alimentation des ruminants.



* Fu (groupe furane) : 

** Bn (groupe benzyl) : $C_6H_5–CH_2–$

Énoncé compact

Justifier l'utilité de l'étape de protection et de déprotection intervenant dans la séquence réactionnelle ci-dessus.

Énoncé détaillé

1. Identifier et nommer le groupe caractéristique, transformé temporairement en une autre, puis reformé.

2. En déduire les étapes de protection et de déprotection.

3. Justifier l'utilité de l'étape de protection en représentant la formule topologique du produit qui aurait été obtenu sans cette étape.

25 Le nylon-6,6

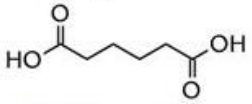
CORRIGÉ

Extraire et exploiter des informations ; effectuer des calculs.

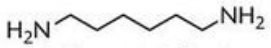
D'après Baccalauréat

A Le nylon-6,6

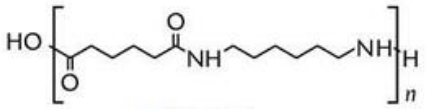
Le nylon-6,6 est un polyamide obtenu par une réaction de polymérisation, il est utilisé comme « soie synthétique ». Cette fibre présente une meilleure élasticité que les fibres naturelles. Le nylon-6,6 est obtenu par réaction entre l'hexane-1,6-diamine et l'acide hexanedioïque. On donne ci-dessous les formules topologiques des réactifs et d'une macromolécule du polymère.



> Acide hexanedioïque



> Hexane-1,6-diamine



> Nylon-6,6

B Recyclage du nylon

Le procédé d'ammonolyse permet de recycler du nylon, le cœur du procédé est la dépolymérisation. Le nylon réagit avec un excès d'ammoniaque entre 300 et 350 °C, à des pressions comprises entre 35 et 175 bars en présence d'un catalyseur au phosphate. Les produits obtenus correspondent à un mélange de monomères et d'eau.

D'après le site *Ademe.fr*

1. a. Recopier les formules topologiques des molécules des réactifs, repérer les groupes caractéristiques puis nommer la famille fonctionnelle correspondante (doc. A).

b. À l'aide de la Fiche 8 p. 459, justifier le nom de chacun des réactifs.

c. Nommer la catégorie (addition, élimination, substitution) de la réaction de synthèse du nylon-6,6.

2. a. Justifier le nom de polyamide donné au nylon-6,6 (doc. A).

b. Déterminer la formule semi-développée du motif du nylon-6,6 (doc. A)

3. Citer un autre polymère synthétique et un polymère naturel.

4. a. Dans la formule du polymère, n est appelé degré de polymérisation. Il est possible de déterminer la masse molaire M du polymère et donc le degré de polymérisation n par chromatographie. Rappeler le principe de la chromatographie sur couche mince.

b. Calculer la masse molaire du motif du nylon-6,6.

c. On détermine expérimentalement $M = 1{,}2 \times 10^5\ g \cdot mol^{-1}$. En déduire le degré de polymérisation n.

5. Pour la réaction d'ammonolyse :

a. Donner la formule du réactif secondaire mis en jeu (doc. B).

b. Indiquer l'intérêt d'éliminer en continu l'eau du milieu réactionnel.

c. Expliquer le rôle du catalyseur.

26 Connaître les critères de réussite

Des polymères naturels

Mobiliser ses connaissances.

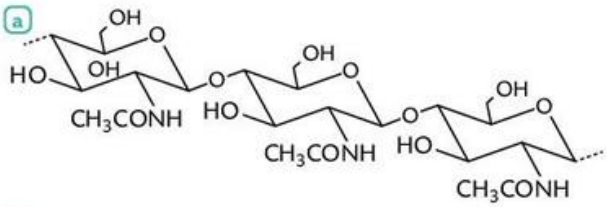
On donne ci-dessous une partie de la formule topologique de deux macromolécules de polymères naturels :

– La chitine (a) est présente dans l'exosquelette des crustacés et des insectes (comme par exemple dans l'exosquelette d'une cigale).

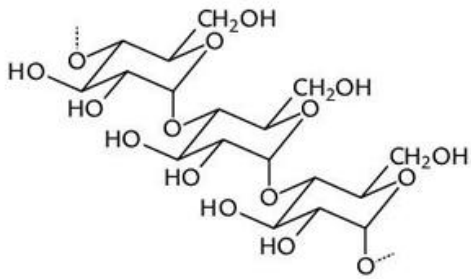


– L'amylose (b) est présent dans l'amidon de la pomme de terre, la banane, etc.

(a)



(b)



1. Représenter le motif de chaque macromolécule.

2. a. Identifier un groupe caractéristique commun à ces macromolécules et nommer la famille fonctionnelle.

b. Repérer un deuxième groupe caractéristique présent dans la chitine et nommer la famille fonctionnelle.

Critères de réussite

Précision de la réponse	
J'ai correctement représenté le motif en le délimitant à l'aide de parenthèses.	☐ ☐
J'ai identifié seulement les atomes formant le groupe.	☐ ☐
J'ai associé clairement le groupe à son nom.	☐ ☐
Présentation	
J'ai soigné la présentation.	

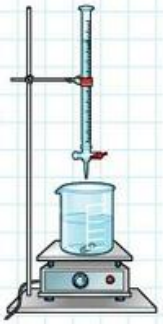
27 Étude cinétique d'une estérification

Justifier un protocole ; exploiter un graphique.

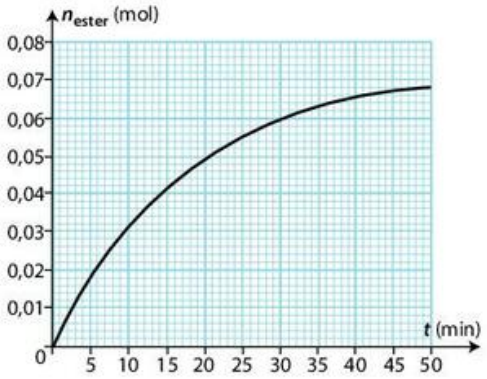
On donne ci-dessous un protocole permettant d'étudier la cinétique de la synthèse d'un ester.

PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

- ☑ MÉLANGER 57 mL d'acide éthanoïque pur, 58 mL d'éthanol et 2 mL d'acide sulfurique concentré.
- ☑ RÉPARTIR ce mélange en parts égales dans 10 ampoules scellées.
- ☑ PLACER ces ampoules au bain-marie à 60 °C.
- ☑ RETIRER à intervalles de temps réguliers une ampoule du bain-marie et la PLONGER dans de l'eau glacée.
- ☑ RÉALISER le montage schématisé ci-contre, puis TITRER l'acide restant dans l'ampoule à l'aide d'une solution de concentration C_B en ions hydroxyde.
- ☑ NOTER le volume V_E de solution titrante versé à l'équivalence.



L'exploitation du titrage permet de tracer le graphique ci-dessous représentant la quantité d'ester n_{ester} formé dans une ampoule en fonction du temps.



1. a. Écrire les formules topologiques des molécules d'acide éthanoïque et d'éthanol.

b. À l'aide de la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460, déterminer la formule topologique de l'ester formé.

c. À l'aide de la Fiche 8 p. 459, nommer cet ester.

2. a. Citer deux raisons qui permettent de considérer que l'acide sulfurique est un catalyseur de la réaction.

b. Pourquoi est-il nécessaire de plonger les ampoules dans l'eau glacée avant d'effectuer le titrage ?

c. À l'aide du graphique ci-dessus, déterminer la valeur de la vitesse de formation v_f de l'ester aux dates $t_1 = 10$ min et $t_2 = 30$ min. Justifier l'évolution de v_f au cours du temps.

3. a. Reproduire et légender le schéma du dispositif de titrage.

b. Écrire l'équation de la réaction support du titrage.

c. Soit n_0 la quantité d'acide éthanoïque introduit initialement. Déterminer la relation entre n_{ester}, n_0, C_B et V_E permettant de tracer le graphique ci-dessus.

d. Sachant qu'à l'équivalence du titrage, le milieu est basique, proposer un indicateur coloré adapté à ce titrage.

e. Proposer une autre méthode permettant de repérer l'équivalence du titrage.

4. a. Montrer que la transformation étudiée n'est pas totale et calculer le rendement η de la synthèse.

b. Proposer deux façons d'optimiser le rendement de cette synthèse.

Données

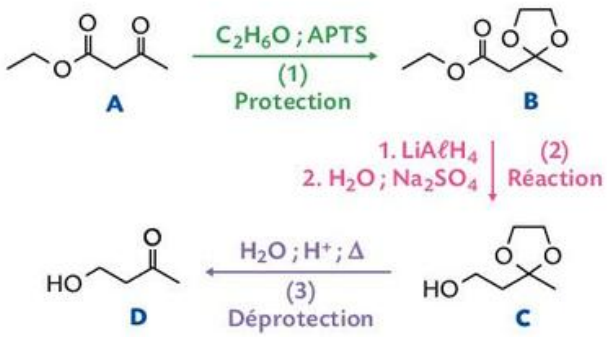
- ρ(acide éthanoïque) = 1,05 g·mL^{-1}.
- ρ(éthanol) = 0,80 g·mL^{-1}.
- M(acide éthanoïque) = 60,0 g·mol^{-1}.
- M(éthanol) = 46,0 g·mol^{-1}.
- Zones de virage d'un indicateur coloré :

Bleu de bromothymol	pH = 6,0-7,6
Rouge de phénol	pH = 6,6-8,0
Phénolphtaléine	pH = 8,2-10

28 Réduction d'un composé bifonctionnel

Mobiliser ses connaissances ; extraire et exploiter des informations.

On donne ci-dessous la séquence réactionnelle en trois étapes d'une synthèse dont l'un des précurseurs **A** possède deux groupes caractéristiques :



1. Recopier les formules topologiques des molécules des espèces **A** et **D**, repérer les groupes caractéristiques présents puis nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

2. a. La transformation associée à l'étape (1) est non totale. Le milieu réactionnel est ici constitué d'un mélange d'espèces liquides miscibles, le quotient de réaction s'écrit :

$$Q_r = \frac{n(B) \times n(H_2O)}{n(A) \times n(C_2H_6O_2)}$$

Justifier pourquoi l'élimination d'eau et/ou l'ajout d'éthane-1,2-diol $C_2H_6O_2$ permet(tent) d'optimiser le rendement de cette étape.

b. L'acide paratoluène sulfonique (APTS) catalyse la réaction. Indiquer si l'ajout d'APTS a une influence sur le rendement de la synthèse.

3. a. Justifier que l'étape (2) de la synthèse correspond à une réaction de réduction. Sachant que de l'éthanol se forme simultanément à **C**.

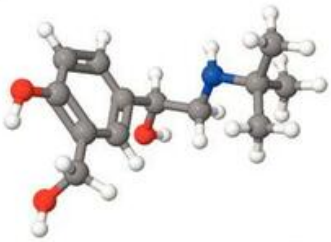
b. Justifier l'utilité de l'étape de protection intervenant dans cette synthèse en représentant la formule topologique de la molécule qui aurait été obtenue sans cette étape. Utiliser pour cela la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460.

29 Reconstituer une séquence réactionnelle

Extraire et exploiter des informations.

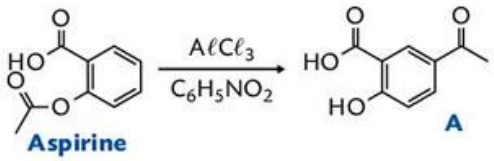
Le salbutamol est un bronchodilatateur utilisé lors des crises d'asthme. Il peut être synthétisé à partir de l'acide acétylsalicylique (aspirine).

1. Écrire les formules brute et topologique de la molécule de salbutamol dont le modèle moléculaire est donné ci-contre.



2. Entourer les groupes caractéristiques présents dans une molécule le salbutamol puis nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

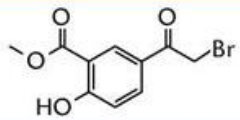
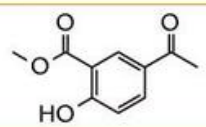
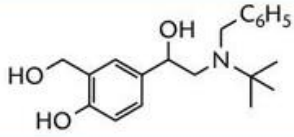
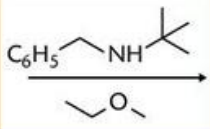
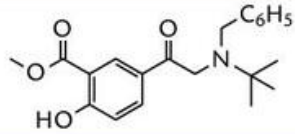
3. a. La synthèse du salbutamol à partir de l'aspirine se fait en sept étapes. On donne ci-dessous une écriture simplifiée de la première étape de cette synthèse.
Montrer que l'espèce **A** et l'aspirine sont des isomères de constitution.



Aspirine

b. Recopier les formules topologiques des molécules d'aspirine et de l'espèce **A**. Entourer les groupes caractéristiques présents, puis nommer les familles fonctionnelles correspondantes.

4. On donne ci-dessous dans le désordre les conditions opératoires (réactifs secondaires, solvant, catalyseur, etc.) et les produits principaux des étapes (2) à (7). En utilisant éventuellement la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460, reconstituer la séquence réactionnelle de la synthèse du salbutamol.

Conditions opératoires	Produits principaux
$\xrightarrow{Br_2}$	
$\xrightarrow[H^+]{CH_3OH}$	
$\xrightarrow[Pd]{H_2}$	salbutamol
$\xrightarrow[THF]{LiAlH_4}$	
	

30 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Synthèses de la juvabione

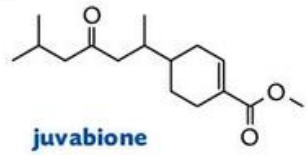
Construire les étapes d'une résolution de problème.



• Parmi les trois équipes, quelle est celle qui propose la synthèse la plus efficace de la juvabione ?

A Synthèse de la juvabione

• La juvabione, dont la formule topologique est donnée ci-dessous, est une espèce chimique naturelle qui agit sur le développement et la reproduction des insectes. Plusieurs synthèses de cette espèce ont été proposées dont une en 1974 par FICINI et son équipe.



juvabione

• On peut admettre que la synthèse de FICINI peut-être décomposée en trois stades successifs :

A → **B** → **C** → **juvabione**

A	B	C	juvabione
$C_{14}H_{26}O_2$	$C_{16}H_{28}O_3$	$C_{18}H_{32}O_5$	$C_{16}H_{26}O_3$
$M = 226\ g \cdot mol^{-1}$	$M = 268\ g \cdot mol^{-1}$	$M = 328\ g \cdot mol^{-1}$	$M = 266\ g \cdot mol^{-1}$

• Deux autres équipes de chercheurs ont proposé une synthèse de la juvabione avec les mêmes réactifs principaux pour chaque stade mais des conditions expérimentales différentes. Les rendements obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	$\eta_{A\text{-}B}$	$\eta_{B\text{-}C}$	$\eta_{C\text{-juvabione}}$
Équipe FICINI	80 %	60 %	55 %
Équipe 2	35 %	90 %	70 %
Équipe 3	95 %	29 %	95 %

B Comparaison de synthèses

• Le rendement global ne constitue pas à lui seul une bonne appréciation de l'efficacité d'une stratégie de synthèse. Il faut aussi prendre en compte le critère du coût et faire en sorte que la synthèse soit la plus écoresponsable possible, c'est-à-dire limiter les quantités de réactifs secondaires, de solvant, d'énergie, de déchets, etc.

• Pour prendre en compte les critères de coût et d'écoresponsabilité dans la comparaison de synthèses, il est possible de considérer que les quantités de solvants, de réactifs secondaires et d'énergie sont directement proportionnelles à la masse de réactif principal engagé à chaque étape. Par exemple, pour synthétiser 1,0 kg de juvabione, l'équipe de FICINI a mis en jeu une masse totale de réactif principal m_{tot}(FICINI) = 8,5 kg et l'équipe 2 une masse $m_{tot}(2) = 7{,}2$ kg.

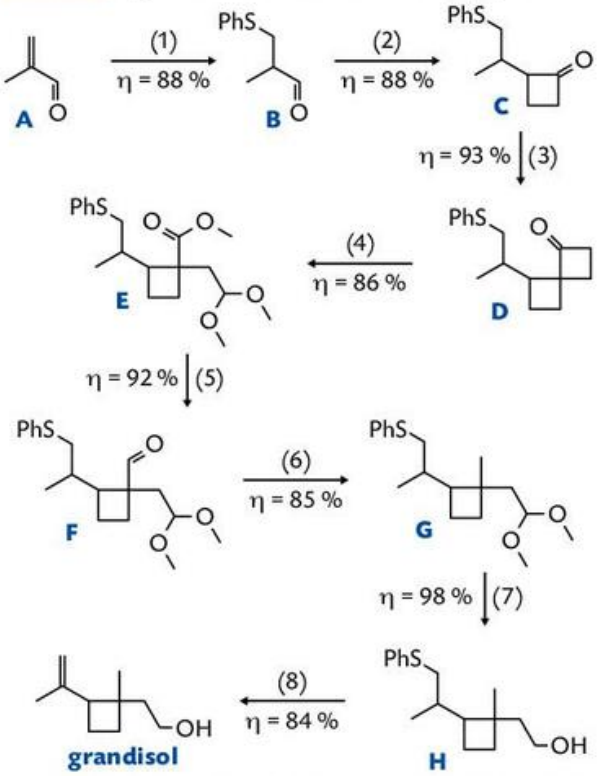
31 Comparaison de deux synthèses

Extraire et exploiter des informations ; faire preuve d'esprit critique.

Le grandisol est un constituant d'une phéromone sexuelle mâle d'un charançon de la graine du coton qui a causé des pertes importantes de récoltes aux États-Unis. Sa synthèse a été effectuée dans le but de concevoir un produit permettant de lutter contre cet insecte.



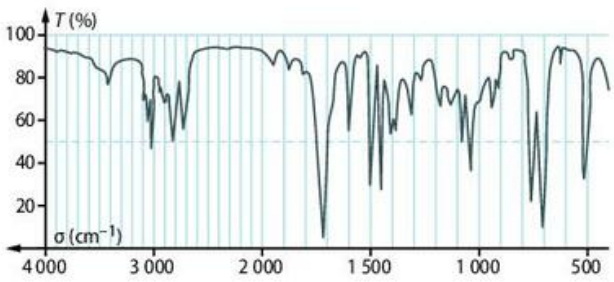
Partie I Synthèse de Gueldner et son équipe



R. C. Gueldner, A. C. Thompson and P. A. Hedin, *The Journal of Organic Chemistry*, Vol. 37, N° 11, juin 1972.

1. a. Dans l'article de Gueldner et son équipe, la première étape de la synthèse est décrite ainsi : « *L'addition conjuguée du thiophénol sur la méthacroléïne (triéthylamine, anhydre, 0 °C) donne l'aldéhyde* **B** *;* $T_{éb} = 103$ *°C* ». Schématiser à l'aide d'une écriture simplifiée la première étape de la synthèse (voir données).

b. On donne ci-après le spectre infrarouge de l'aldéhyde **B**. À l'aide du tableau des bandes d'absorption infrarouge (rabat III), justifier que le spectre IR peut être celui d'un aldéhyde.



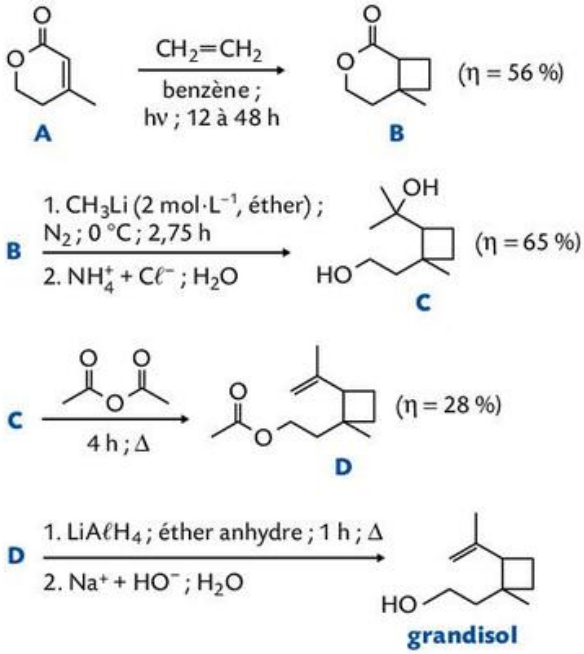
2. Recopier les formules des molécules des espèces **C**, **E**, **F** et **H**. Pour chaque molécule, entourer un des groupes caractéristiques présents puis nommer la famille fonctionnelle associée.

3. Citer les étapes de la synthèse qui sont des modifications de chaîne.

Données

- Formule du thiophénol : Ph-SH.
- Autre nom de la méthacroléïne : 2-méthylprop-2-énal.

Partie II Synthèse du grandisol par Trost et Keeley



Barry M. Trost et Donald E. Keeley, *The Journal of Organic Chemistry*, Vol. 40, N° 13, juin 1975

4. Recopier les formules des molécules des espèces **C** et **D**. Entourer un groupe caractéristique présent puis nommer les familles fonctionnelles associées.

5. Citer les étapes de la synthèse qui sont des modifications de chaîne. Justifier.

Partie III Comparaison des deux synthèses

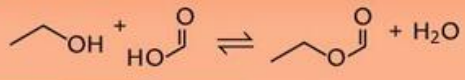
6. Calculer le rendement global de chaque synthèse. En déduire laquelle de ces deux synthèses semble la plus efficace. On considère que la dernière étape de la synthèse de Trost et Keeley a un rendement très proche de 100 %.

7. Citer d'autres critères que l'on pourrait prendre en compte pour mieux comparer l'efficacité des deux synthèses.

Vers le BAC

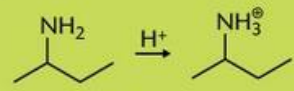
Ne pas confondre allongement de chaîne et augmentation du nombre d'atomes de carbone

Lors d'une réaction d'estérification, le nombre d'atomes de carbone de l'ester est supérieur à celui de l'alcool ou de l'acide carboxylique. Mais attention, comme il n'y a pas de création de liaison C–C la réaction n'est pas une modification de chaîne.



Bien repérer une réaction d'addition

La réaction décrite ci-dessous n'est pas une réaction d'addition car il n'y a pas modification de la multiplicité des liaisons.



C'est une réaction acide-base.

Préparation à l'écrit

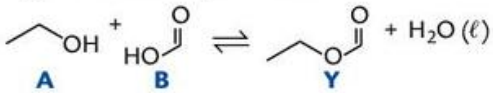
→ Les bons réflexes 1, 2, 3 et 4 sont présentés p. 200

32 CORRIGÉ — 30 min

Un ester à odeur de rhum

Effectuer des calculs ; exploiter des résultats.

L'industrie agroalimentaire met sur le marché de nombreux produits à odeur de rhum mais, pour des raisons économiques, beaucoup ne contiennent pas de « rhum ». Ces produits doivent leur odeur à un ester **Y** que l'on peut synthétiser. La transformation est modélisée par des réactions opposées dont l'équation s'écrit :



A **B** **Y**

Le milieu réactionnel est ici constitué d'un mélange d'espèces liquides miscibles, dans ce cas le quotient de réaction s'écrit :

$$Q_r = \frac{n(Y) \times n(H_2O)}{n(A) \times n(B)}$$

Partie I **Réactifs et produits**

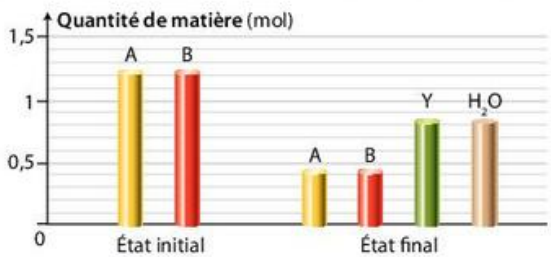
1. a. Repérer les groupes caractéristiques présents dans les réactifs **A** et **B**. Associer à chacun d'eux une famille fonctionnelle.

b. Déterminer la formule brute de l'ester synthétisé.

c. À l'aide de la Fiche 8 p. 459, nommer l'ester **Y** et les réactifs **A** et **B**.

Partie II **Transformation 1**

Dans un ballon contenant 1,20 mol de **B**, 4 gouttes d'acide sulfurique concentré et quelques grains de pierre ponce, on ajoute 1,20 mol de **A** (système S_1). On chauffe à reflux jusqu'à ce qu'il n'y ait plus d'évolution du milieu réactionnel. Le graphe ci-après représente les quantités de matière des réactifs et des produits à l'état initial et à l'état final.



2. a. Formuler une hypothèse sur le rôle de l'acide sulfurique. Justifier.

b. Citer les deux opérations permettant d'augmenter la vitesse de formation de **Y**.

c. Calculer le rendement η_1 de la synthèse ainsi que la constante d'équilibre K associée à l'équation.

Partie III **Transformation 2**

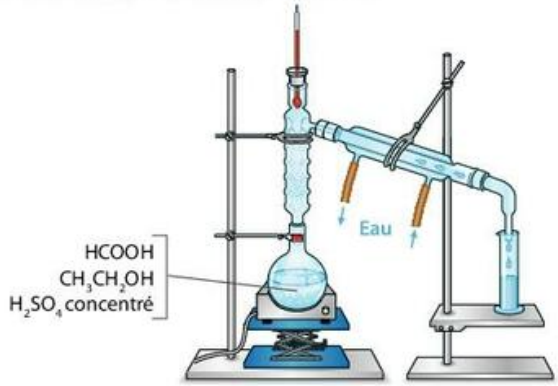
On considère un nouveau système S_2 que l'on chauffe à reflux. Ce dernier ne diffère de S_1 que par une donnée : on introduit 2,4 mol de **A** à la place de 1,2 mol. Quand l'état d'équilibre est atteint, il reste 1,4 mol de **A**.

3. a. Justifier, sans calcul, que le nouveau rendement η_2 est supérieur à η_1.

b. Vérifier cette prévision en calculant η_2.

Partie IV **Transformation 3**

On réalise à présent le montage schématisé ci-dessous. Les quantités initiales de réactifs sont identiques à celles introduites dans la transformation 1.



4. a. Donner la nature du liquide recueilli dans l'éprouvette. Justifier.

b. Justifier pourquoi les conditions expérimentales de cette synthèse permettent d'obtenir un rendement η_3 supérieur à η_1.

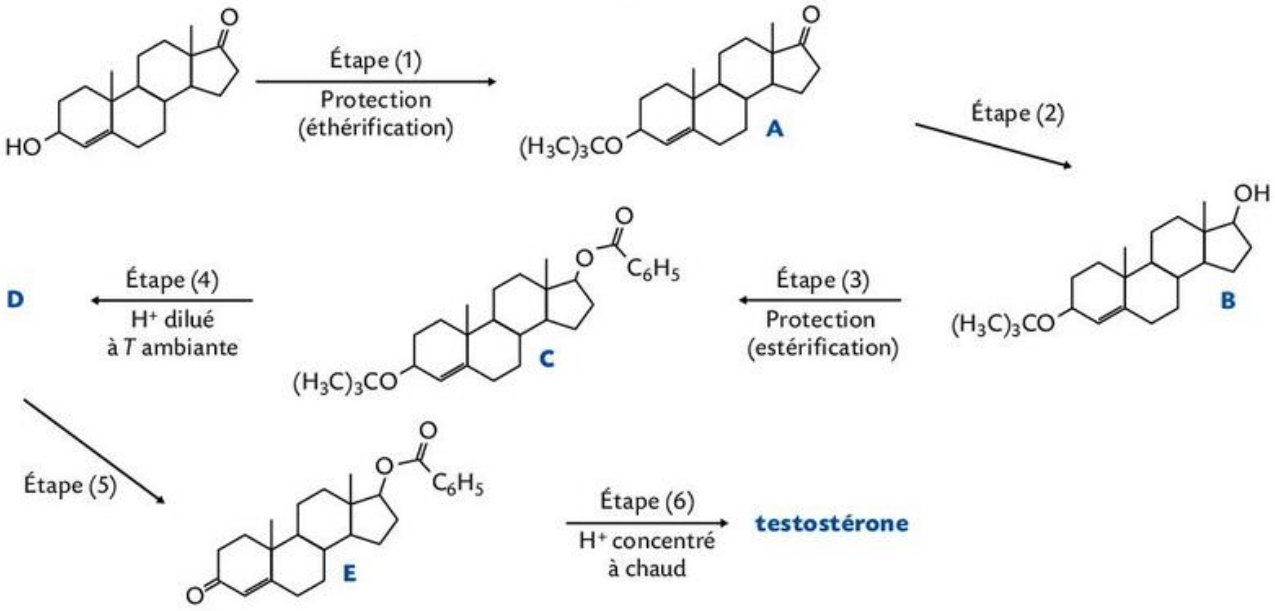
Données

Espèces	A	B	Y
$T_{éb}$	78 °C	101 °C	57 °C

33 CORRIGÉ 30 min Synthèse de la testostérone

Extraire et exploiter des informations.

La testostérone est la principale hormone sexuelle mâle. Les ressources naturelles de testostérone sont beaucoup trop limitées pour satisfaire aux besoins de la médecine et de la recherche. C'est pourquoi elle est synthétisée en laboratoire. Le schéma ci-dessous détaille les principales étapes de sa synthèse à partir d'un dérivé du cholestérol.



1. a. Déterminer la formule topologique d'une molécule de l'espèce **D** et de la **testostérone**.

b. À l'aide de la banque de réactions à la Fiche 9 p. 460, proposer des réactifs permettant d'effectuer les étapes (2) et (5). Utiliser le réflexe 2

2. Indiquer la catégorie de réaction (addition, élimination, substitution, acide-base) correspondant à chacune des six étapes. Justifier que l'étape (2) correspond aussi à une réduction et l'étape (5) à une oxydation. Utiliser le réflexe 3

3. a. Identifier les étapes de déprotection.

b. Justifier l'utilité de l'étape (1) en donnant la formule du produit **C'** que l'on aurait obtenu à l'issue de l'étape (3) si l'étape (1) n'avait pas eu lieu.

Données

- Formules brutes : **A** : $C_{23}H_{36}O_2$; **B** : $C_{23}H_{38}O_2$; **C** : $C_{30}H_{42}O_3$; **D** : $C_{26}H_{34}O_3$; **E** : $C_{26}H_{32}O_3$; **testostérone** : $C_{19}H_{28}O_2$.

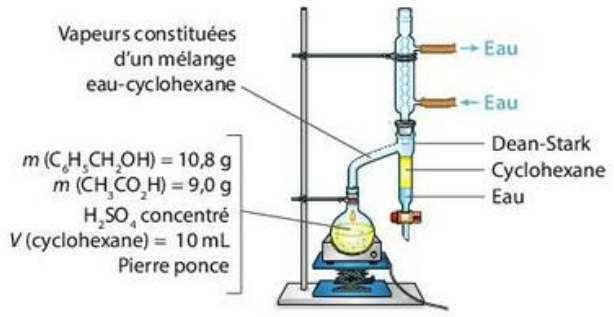
Conditions opératoire	Produits obtenus lorsque le réactif est un étheroxyde : $(CH_3)_3C-O-CH_3$	Produits obtenus lorsque le réactif est un ester : $CH_3-O-CO-C_6H_5$
H^+ dilué ; H_2O ; T ambiante	$(CH_3)_3C-OH$ + $HO-CH_3$	$CH_3-O-CO-C_6H_5$
H^+ concentré ; H_2O ; $T = 100$ °C	$(CH_3)_3C-OH$ + $HO-CH_3$	CH_3-OH + $HO_2C-C_6H_5$

Préparation à l'ECE

Un ester à l'odeur de jasmin peut être synthétisé en laboratoire. La transformation non totale est modélisée par des réactions opposées. L'équation s'écrit :

$$C_6H_5-CH_2-OH\,(\ell) + CH_3CO_2H\,(\ell) \rightleftharpoons C_6H_5-CH_2-O-CO-CH_3\,(\ell) + H_2O\,(\ell)$$

Les réactifs sont introduits dans le ballon et le montage ci-contre est réalisé. Le Dean-Stark est rempli initialement de cyclohexane. En se vaporisant, le cyclohexane entraîne l'eau présente dans le milieu réactionnel.



1. REA Proposer un intérêt du montage Dean-Stark par rapport à un montage de chauffage à reflux.

2. VAL Une fois la transformation terminée, le volume de la phase inférieure dans le Dean-Stark est de 2,0 mL. Pourquoi ce résultat est-il surprenant ? Comment l'expliquer ?

Données

$M(C) = 12{,}0\ g\cdot mol^{-1}$; $M(O) = 16{,}0\ g\cdot mol^{-1}$; $M(H) = 1{,}0\ g\cdot mol^{-1}$.

Vers l'oral

Fiche Méthode

La *captatio benevolentiae*

La *captatio benevolentiae* est une technique oratoire par laquelle on cherche à s'attirer l'attention bienveillante de l'auditoire en début de prestation orale. De nombreux effets sont possibles :

Jouer sur la surprise



Jouer sur un effet comique



Associer l'auditoire



Et bien d'autres



- **Visionner les premières minutes de l'une des conférences ci-contre et repérer les techniques de *captatio benevolentiae* utilisées.**



JOUER, C'EST TRÈS SÉRIEUX !

À deux, c'est mieux

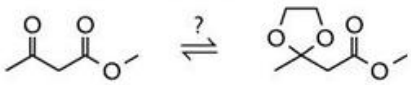
Chaque élève prépare, en temps limité, une présentation orale. Ensuite, un élève passe à l'oral tandis que l'autre évalue sa prestation à l'aide de la grille d'évaluation. Puis les élèves échangent leurs rôles et, à l'aide des résultats de l'évaluation, essaient d'améliorer les prestations.

Grille d'évaluation

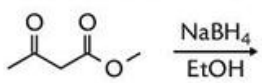
- À l'aide du nuage de mot ci-contre et de la Fiche 9 p. 460, commenter les équations incomplètes ci-dessous. Commencer la courte présentation par une *captatio benevolentiae*.

Réduction Addition Catalyseur Produit Solvant Cétone Alcool Réactif Ester

Évaluation orale n° 1



Évaluation orale n° 2



Je m'exprime à l'oral sur

La stratégie de synthèse

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Comment **augmenter la vitesse de formation d'un produit** ?

Comment **optimiser le rendement d'une synthèse** ?

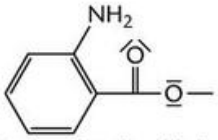
Qu'est-ce qu'une **réaction d'addition** ?

Définir **un polymère**.

Synthèse de l'anthranilate de méthyle

Utiliser un modèle pour décrire ; effectuer des calculs ; exploiter des résultats.

L'anthranilate de méthyle est une espèce chimique présente dans certaines fleurs. L'industrie chimique l'intègre dans des répulsifs utilisés pour éloigner les oiseaux à proximité des aéroports. La synthèse de l'anthranilate de méthyle est réalisée à partir de l'acide anthranilique. Le mécanisme réactionnel est décrit dans le doc. A.



Anthranilate de méthyle
$C_8H_9NO_2$

1. Recopier la formule topologique de l'anthranilate de méthyle. Repérer les groupes caractéristiques et nommer les familles fonctionnelles associées.

2. Tracer le diagramme de prédominance de l'acide anthranilique. Une solution aqueuse préparée à partir de la dissolution d'acide anthranilique a un pH environ égal à 3,5. Identifier l'espèce chimique qui prédomine dans cette solution. Justifier.

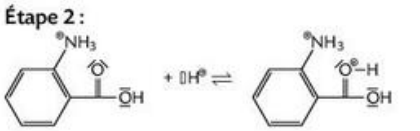
A Mécanisme réactionnel

Étape 1 :



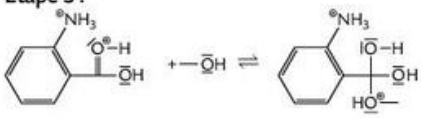
Acide anthranilique, $C_7H_7NO_2$ — $C_7H_8NO_2^+$

Étape 2 :



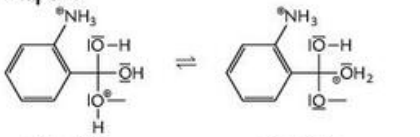
$C_7H_8NO_2^+$ — $C_7H_9NO_2^{2+}$

Étape 3 :



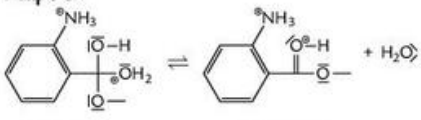
$C_7H_9NO_2^{2+}$ — $C_8H_{13}NO_3^{2+}$

Étape 4 :



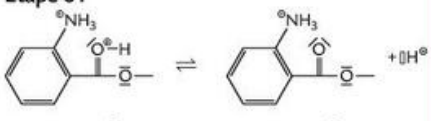
$C_8H_{13}NO_3^{2+}$ — $C_8H_{13}NO_3^+$

Étape 5 :



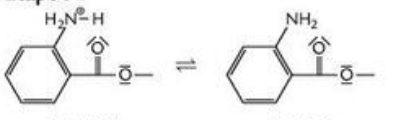
$C_8H_{13}NO_3^{2+}$ — $C_8H_{11}NO_2^{2+}$

Étape 6 :



$C_8H_{11}NO_2^{2+}$ — $C_8H_{10}NO_2^{2+}$

Étape 7 :



$C_8H_{10}NO_2^+$ — $C_8H_9NO_2$

3. a. À l'aide du mécanisme réactionnel, écrire l'équation de la réaction de synthèse de l'anthranilate de méthyle sachant que toutes les espèces sont à l'état liquide.
b. Donner le rôle de l'ion hydrogène. Justifier.
c. Définir le terme intermédiaire réactionnel et donner un exemple issu du mécanisme réactionnel.
d. Recopier l'étape n° 3 du mécanisme réactionnel. Identifier les sites donneur et accepteur de doublet d'électrons qui interagissent.
e. Représenter, par des flèches courbes, ce qui se produit dans cet acte élémentaire.

4. Indiquer la catégorie de réactions (addition, élimination, substitution, acide-base) correspondant à chacune des étapes 1, 4 et 5.

Pour synthétiser l'anthranilate de méthyle, notée E, un mélange constitué de 0,38 mol d'acide anthranilique (A), de 0,38 mol de méthanol (B) et de quelques gouttes d'acide sulfurique concentré est chauffé à reflux. La transformation est modélisée par deux réactions opposées. La réaction s'écrit :

$$A(\ell) + B(\ell) \rightleftharpoons E(\ell) + H_2O(\ell)$$

Le quotient de réaction Q_r associé s'exprime par :

$$Q_r = \frac{n_E \times n_{H_2O}}{n_A \times n_B}$$

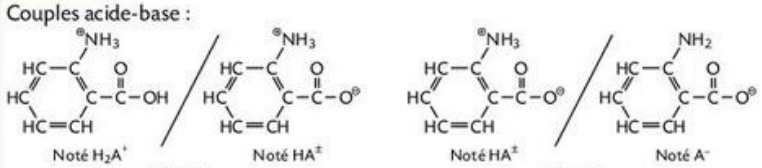
où n_E, n_{H_2O}, n_A et n_B sont respectivement les quantités d'anthranilate de méthyle, d'eau, d'acide anthranilique et de méthanol.
La constante d'équilibre K est 3,7.

5. a. Déterminer l'avancement à l'équilibre x_e.
b. À l'instant $t_1 = 10$ min, la valeur de l'avancement x de la réaction est $x = 0{,}125$ mol. Donner la composition du mélange à cet instant et calculer le quotient de réaction Q_{r,t_1}.
c. Justifier que le système est encore en évolution à la date t_1.
d. La date t_1 porte un nom particulier, indiquer ce nom.

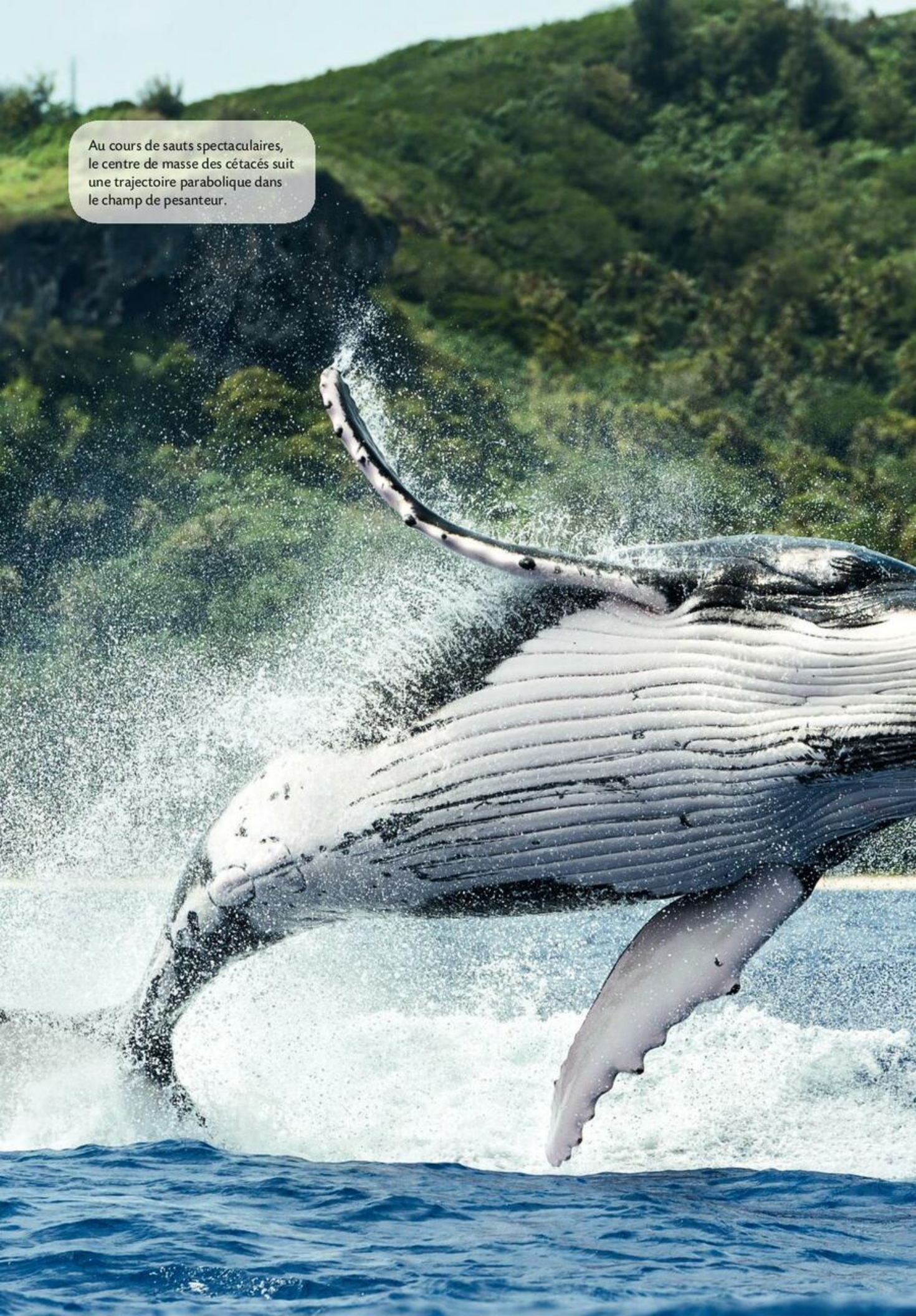
6. Proposer deux méthodes permettant d'augmenter le rendement de la synthèse.

Données

Couples acide-base :



Noté H_2A^+ — Noté $HA^\pm$ ($pK_{A1} = 2$) — Noté $HA^\pm$ — Noté A^- ($pK_{A2} = 5$)


Au cours de sauts spectaculaires, le centre de masse des cétacés suit une trajectoire parabolique dans le champ de pesanteur.



Mouvement et interactions

CHAPITRE 11 Mouvement et deuxième loi de Newton

CHAPITRE 12 Mouvement dans un champ uniforme

CHAPITRE 13 Mouvement dans un champ de gravitation

CHAPITRE 14 Modélisation de l'écoulement d'un fluide

Métiers et formations

Des idées de métiers pour découvrir la variété des parcours de formation après le Bac

Les formations évoluent régulièrement, consultez les sites de l'Onisep et du CIDJ.



Ingénieur(e) mécanique spatiale

Le rôle de l'ingénieur(e) mécanique spatiale est de déterminer les outils nécessaires pour placer un satellite sur une trajectoire spatiale et faire en sorte qu'il n'en dévie pas.

Ses principales missions consistent à calculer et à analyser des données de trajectoire, à réaliser des simulations sur ordinateur pour choisir les solutions techniques adéquates. Il lui faut également suivre le lancement du satellite, jusqu'à ce qu'il adopte sa trajectoire de mission, et gérer les risques de collision en orbite.

Dernière étape, comparer les performances constatées à celles qui étaient attendues.

Exemples de formations

Des écoles d'ingénieurs spécialisées, au niveau Bac + 5

IPSA, Institut polytechnique des sciences avancées

Des écoles du groupe ISAE, Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace :

ISAE-SUPAERO, Institut supérieur de l'aéronautique et de l'espace

ISAE-ENSMA, École Nationale Supérieure de Mécanique et d'Aérotechnique

ESTACA, École Supérieure des Techniques Aéronautiques et de Construction Automobile



Hydraulicien / Hydraulicienne

Ses compétences peuvent l'amener à intervenir sur des ouvrages variés ayant pour point commun la mécanique des fluides : barrages, centrales hydroélectriques, châteaux d'eau, usines marémotrices, réseaux de distribution ou d'irrigation...

Son champ d'intervention est vaste, de la réalisation des études préalables à la mise en place des installations, en passant par le calcul des paramètres liés à la distribution de l'eau, afin de mettre les capacités du réseau en relation avec les besoins des utilisateurs finaux : particuliers, industries, collectivités ou exploitations agricoles.

Exemples de formations

Au niveau Bac + 5

ENSE³, École Nationale Supérieure de l'Énergie, l'Eau et l'Environnement

ENGEES, École Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg

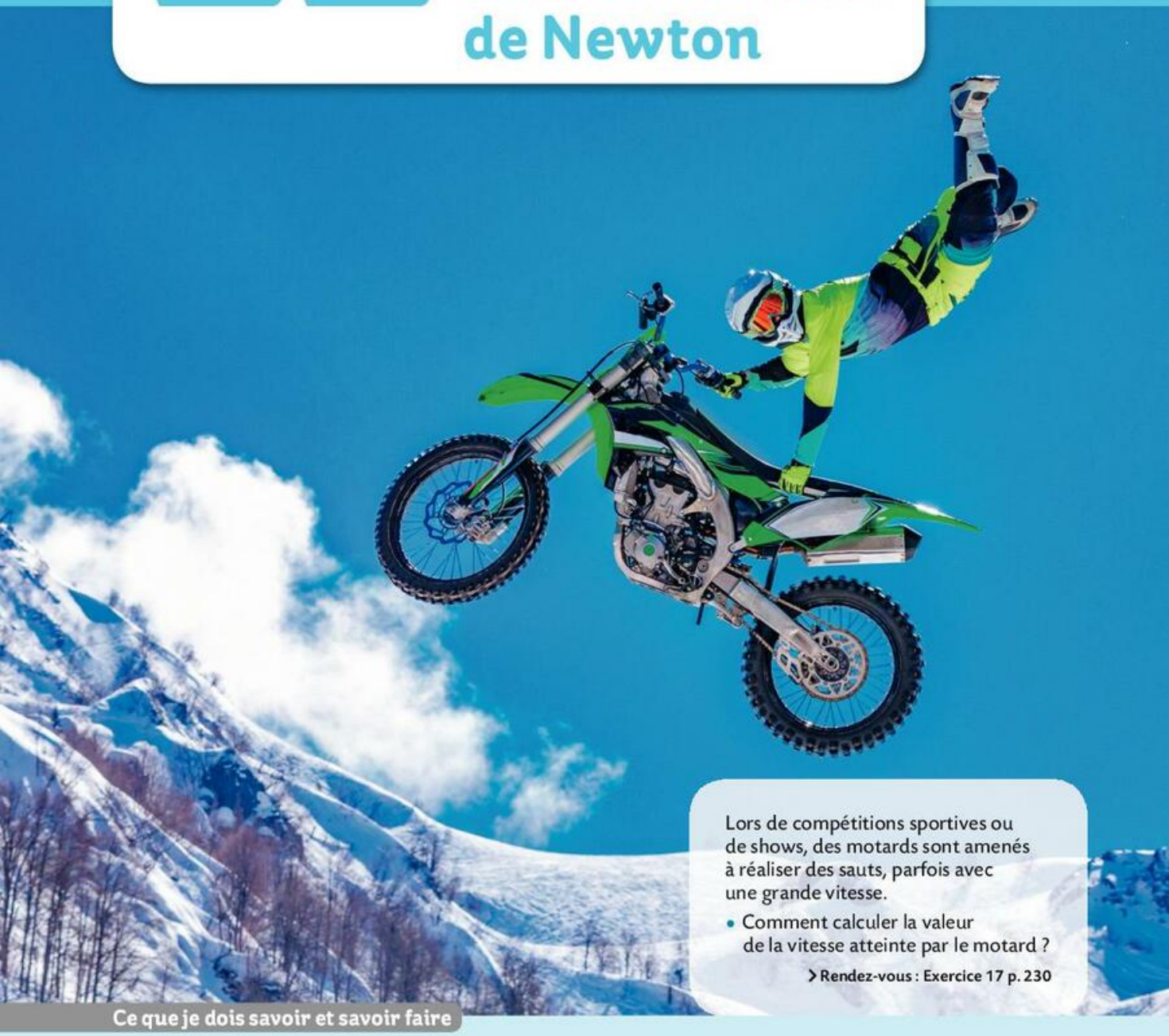
ENSIP, École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers spécialité génie de l'eau et génie civil

ENSEGID, École Nationale Supérieure en Environnement, Géoressources et Ingénierie du Développement durable

Master Sciences pour l'ingénieur spécialité mécanique des fluides : fondements et applications

Mastère spécialisé Hydraulique (ENSEEIHT)

11 Mouvement et deuxième loi de Newton



Lors de compétitions sportives ou de shows, des motards sont amenés à réaliser des sauts, parfois avec une grande vitesse.

- Comment calculer la valeur de la vitesse atteinte par le motard ?

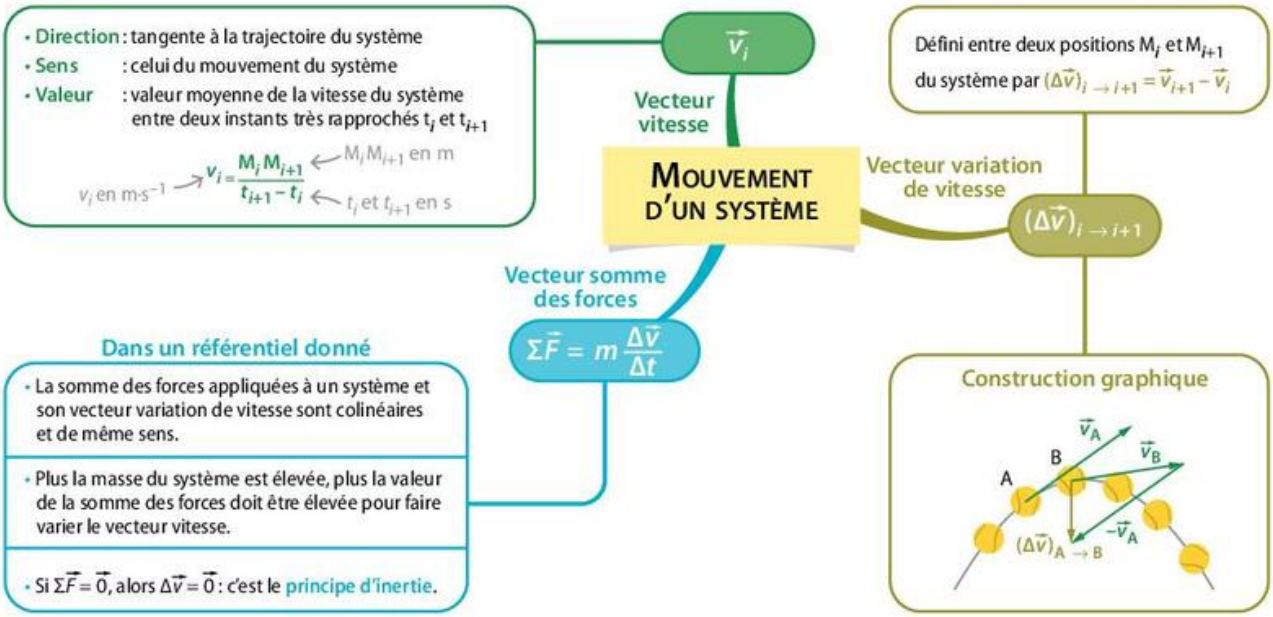
> Rendez-vous : Exercice 17 p. 230

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Définir le vecteur vitesse et le vecteur accélération. Établir les coordonnées cartésiennes des vecteurs vitesse et accélération à partir des coordonnées du vecteur position et/ou du vecteur vitesse. **Activité 1 p. 219**
- Citer et exploiter les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire. **Activité 2 p. 220**
- Caractériser le vecteur accélération pour quelques mouvements. **Activité 1 p. 219**
- Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie pour déterminer les coordonnées du vecteur position en fonction du temps et en déduire les coordonnées approchées ou les représentations des vecteurs vitesse et accélération. **Activité 1 p. 219**
- Justifier qualitativement la position du centre de masse d'un système, cette position étant donnée. **Exercice 11 p. 229**
- Discuter qualitativement du caractère galiléen d'un référentiel donné pour le mouvement étudié. **Exercice 21 p. 231**
- Utiliser la deuxième loi de Newton pour en déduire le vecteur accélération du centre de masse, les forces appliquées au système étant connues, ou la somme des forces appliquées au système, le mouvement du centre de masse étant connu. **Exercice 1 p. 226**
- **Capacité mathématique** : dériver une fonction. **Exercice 22 p. 232**
- **Capacité numérique** : représenter, à l'aide d'un langage de programmation, des vecteurs accélération d'un point lors d'un mouvement. **Exercice 24 p. 232**

Vu en 1re

Le mouvement d'un système

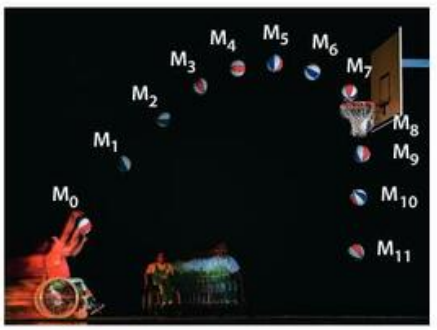


Réactiver ses connaissances

VIDÉO Tracé d'un vecteur variation de vitesse – QR Code p. 224

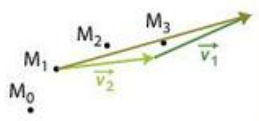
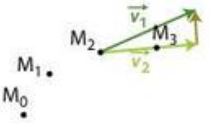
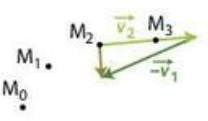
La chronophotographie du mouvement d'un ballon de basket dans un référentiel lié au sol est représentée ci-contre.
La valeur v_1 de la vitesse du ballon en M_1 est 5,5 m·s^{-1}. La valeur v_2 de la vitesse en M_2 est 4,6 m·s^{-1}.

1. Construire les vecteurs vitesse $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ en utilisant l'échelle proposée : 1,0 cm ↔ 1,0 m·s^{-1}.
2. Construire en M_2 le vecteur variation de vitesse $(\Delta\vec{v})_{1\to2}$.
3. En déduire la direction et le sens du vecteur somme des forces $\Sigma\vec{F}$ appliquées au ballon.



Flash test

3 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Le vecteur vitesse en un point est :	de sens opposé au mouvement.	tangent à la trajectoire.	de même sens que le mouvement.
2. Parmi les trois vecteurs variation de vitesse dessinés en vert ci-contre, lequel représente le vecteur $(\Delta\vec{v})_{1\to2}$?			
3. Le vecteur variation de vitesse est :	colinéaire et de même sens que la somme des forces appliquées au système.	de direction perpendiculaire à celle de la somme des forces appliquées au système.	colinéaire et de sens opposé à la somme des forces appliquées au système.

Activité 1 expérimentale

Accélération d'un système

Notion
- Coordonnées des vecteurs position, vitesse et accélération en fonction du temps

Afin de mesurer les émissions polluantes des véhicules, on les soumet à différents « cycles » : accélérations, décélérations et paliers à vitesse de valeur constante. Un des tests, appelé cycle urbain, consiste à faire passer une voiture de 0 à 50 km·h^{-1} en 26 secondes.



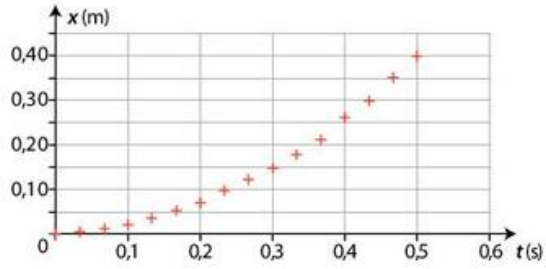
▶ Objectif de l'activité : Comment définir les vecteurs vitesse et accélération ?

A Modélisation d'un test d'accélération d'une voiture

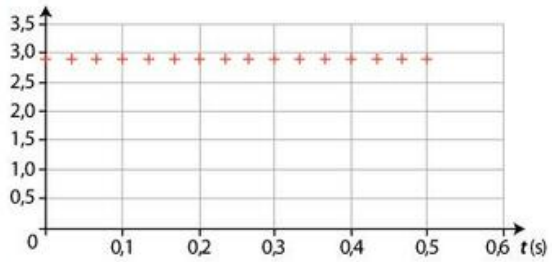
On modélise un test d'accélération d'une voiture sur piste avec une maquette de voiture qui peut se déplacer sans frottement sur un rail horizontal. Initialement immobile, elle est accélérée par une force $\vec{F}$ horizontale constante. On s'intéresse au mouvement d'un point M de la maquette de la voiture.

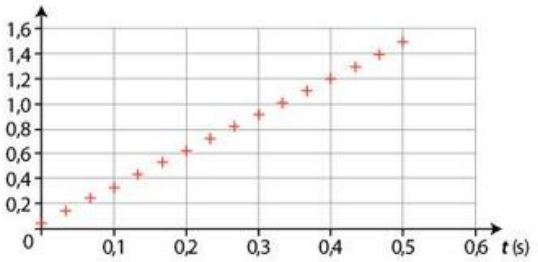


B Exemple d'évolution de l'abscisse d'un point M d'une maquette de voiture en fonction du temps



C Exemple d'évolution des valeurs de la vitesse et de l'accélération du point M en fonction du temps





COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Pour un **mouvement rectiligne**, suivant un axe Ox :

- La position d'un point M à la date t est donnée par le vecteur position $\overrightarrow{OM}(t)$, plus simplement noté $\overrightarrow{OM}$.
- $\overrightarrow{OM}$ a pour abscisse x.
- x s'exprime en m.

- Le vecteur vitesse $\vec{v}(t)$ de M à la date t, plus simplement noté $\vec{v}$, est la dérivée du vecteur position par rapport au temps :

$$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

- $\vec{v}$ a pour abscisse $v_x = \frac{dx}{dt}$ en m·s^{-1}.

- Le vecteur accélération $\vec{a}(t)$ de M à la date t, plus simplement noté $\vec{a}$, est la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

- $\vec{a}$ a pour abscisse $a_x = \frac{dv_x}{dt}$ en m·s^{-2}.

Pratique expérimentale

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

1 Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de tracer l'évolution de l'abscisse x d'un point M d'une maquette de voiture, accélérée par une force constante, en fonction du temps.

Exploiter des informations ANA-RAIS

2 Utiliser les outils de modélisation d'un logiciel tableur grapheur pour déterminer l'équation $x = f(t)$. L'allure de la courbe obtenue est-elle similaire à celle de la courbe B ?

Effectuer des calculs RÉA

3 En déduire les équations $v_x = g(t)$ et $a_x = h(t)$. Associer à chaque équation la courbe C qui lui correspond.

Effectuer des calculs RÉA

4 Quelle est la valeur de l'accélération, supposée constante, d'une voiture lors d'un test correspondant au cycle urbain ?

Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique et rigoureux COM

5 Comment définir les vecteurs vitesse et accélération ?

Activité documentaire 2

Vecteur accélération lors d'un mouvement circulaire

Notions
- Vecteurs vitesse et accélération lors d'un mouvement circulaire
- Repère de Frenet

Le lancer du marteau est une discipline d'origine celte consistant à lancer le plus loin possible un boulet en acier de 16 livres anglaises (7,257 kg). Pour cela, le sportif le fait tourner, puis le lâche.

▶ **Objectif de l'activité : Comment exploiter les coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire ?**

A Méthode de tracé d'un vecteur accélération

L'accélération en une position M_{i+1}, à la date t_{i+1}, peut être assimilée à l'accélération moyenne entre deux dates très proches t_i et t_{i+1} :

$$\vec{a}_{i+1} = \frac{(\Delta\vec{v})_{i\to i+1}}{\Delta t}$$

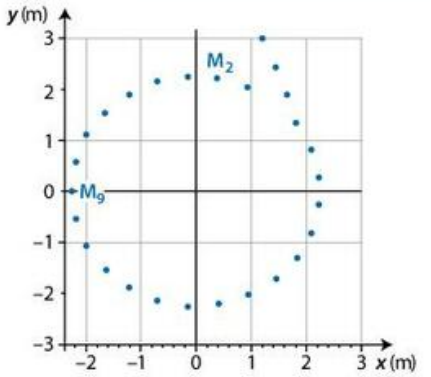
avec $\Delta t = t_{i+1} - t_i$.

Pour construire le vecteur accélération $\vec{a}_{i+1}$:

- Construire en M_{i+1} le vecteur $(\Delta\vec{v})_{i\to i+1} = \vec{v}_{i+1} - \vec{v}_i$ en précisant l'échelle de vitesse choisie.
- Mesurer la longueur du segment fléché représentant $(\Delta\vec{v})_{i\to i+1}$, puis déterminer sa valeur $(\Delta v)_{i\to i+1}$.
- Calculer $a_{i+1} = \frac{(\Delta v)_{i\to i+1}}{\Delta t}$.
- Construire en M_{i+1} le vecteur $\vec{a}_{i+1}$ sachant qu'il est colinéaire à $(\Delta\vec{v})_{i\to i+1}$ et de même sens. Préciser l'échelle d'accélération choisie.

B Positions d'un boulet en phase d'élan

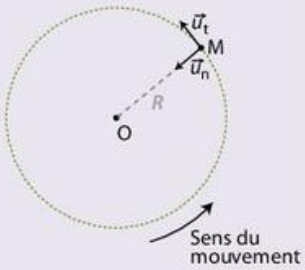




Durée entre deux positions consécutives : $\Delta t = 25$ ms.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Le repère de Frenet noté $(M ; \vec{u}_n, \vec{u}_t)$ est défini par :
– une origine mobile liée au point matériel M étudié ;
– un vecteur unitaire $\vec{u}_n$ perpendiculaire en M à la trajectoire et orienté vers l'intérieur de la trajectoire ;
– un vecteur unitaire $\vec{u}_t$ tangent en M à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement.



Dans le repère de Frenet, le vecteur accélération a pour expression :

$$\vec{a} = a_n\vec{u}_n + a_t\vec{u}_t = \frac{v^2}{R}\vec{u}_n + \frac{dv}{dt}\vec{u}_t$$

Analyse des documents

Exploiter des informations ANA

1 Décrire le mouvement du boulet en phase d'élan dans un référentiel terrestre.

Faire un schéma adapté RÉA

2 Construire, sur le document fourni, les vecteurs accélération du boulet en M_2 et M_9.

Exploiter des résultats et des mesures ANA

3 En déduire les coordonnées a_n et a_t du vecteur accélération dans le repère de Frenet en M_2 et M_9.

Exploiter des résultats et des mesures ANA

4 Montrer que ces coordonnées sont en accord avec le COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

5 Comment exploiter les coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire ?

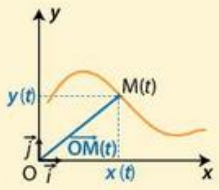
1 Les vecteurs position, vitesse et accélération

On se limite ici à l'étude du mouvement plan d'un point M d'un système dans un référentiel donné.

a. Vecteur position

• Dans un repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ lié au référentiel d'étude, la position d'un point M est donnée par le **vecteur position** $\overrightarrow{OM}(t)$: $\overrightarrow{OM}(t)\begin{cases}x(t)\\y(t)\end{cases}$.

• $x(t)$ et $y(t)$, ou plus simplement x et y, sont les coordonnées cartésiennes du point M à l'instant t.



Remarque :
On obtient la valeur du vecteur position à partir de la relation $OM = \sqrt{x^2 + y^2}$.

b. Vecteur vitesse

Vu en 1re

En classe de Première, nous avons assimilé le vecteur vitesse $\vec{v}_i$ d'un point M, en une position M_i de la trajectoire, au vecteur vitesse moyenne obtenu pour une durée Δt extrêmement courte :

$$\vec{v}_i = \frac{\overrightarrow{M_i M_{i+1}}}{t_{i+1} - t_i} = \frac{\overrightarrow{M_i M_{i+1}}}{\Delta t}$$

• Le vecteur vitesse moyenne $\vec{v}_i = \dfrac{\overrightarrow{M_i M_{i+1}}}{t_{i+1} - t_i}$ s'écrit aussi $\vec{v}_i = \dfrac{(\Delta\overrightarrow{OM})_{i \to i+1}}{\Delta t}$ car $\overrightarrow{M_i M_{i+1}} = \overrightarrow{OM}_{i+1} - \overrightarrow{OM}_i = (\Delta\overrightarrow{OM})_{i \to i+1}$.

• Le vecteur vitesse d'un point en une position M_i est la limite de $\vec{v}_i = \dfrac{(\Delta\overrightarrow{OM})_{i \to i+1}}{\Delta t}$ lorsque Δt tend vers zéro.

Cette limite est la dérivée par rapport au temps du vecteur position à l'instant t_i : $\vec{v}_i = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \dfrac{(\Delta\overrightarrow{OM})_{i \to i+1}}{\Delta t} = \left(\dfrac{d\overrightarrow{OM}}{dt}\right)_{t_i}$ (Côté Maths 5 p. 227).

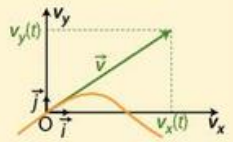
• Dans un référentiel donné, le **vecteur vitesse** d'un point M à l'instant t est égal à la dérivée, par rapport au temps, du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ à cet instant :

Valeur en $m \cdot s^{-1}$ — Valeur en m

$$\vec{v}(t) = \left(\frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}\right)_t \text{ noté plus simplement } \vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$$

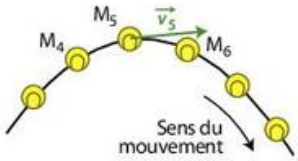
t en s

• Les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse $v_x(t)$ et $v_y(t)$ sont obtenues en dérivant, par rapport au temps, celles $x(t)$ et $y(t)$ du vecteur position $\overrightarrow{OM}(t)$:



$$\vec{v}(t)\begin{cases}v_x(t) = \left(\dfrac{dx}{dt}\right)_t\\ v_y(t) = \left(\dfrac{dy}{dt}\right)_t\end{cases} \text{ ou plus simplement } \vec{v}\begin{cases}v_x = \dfrac{dx}{dt}\\ v_y = \dfrac{dy}{dt}\end{cases}$$

A **Vecteur vitesse de M dans la position M_5**



> Le vecteur $\vec{v}_5$ est tangent à la trajectoire en M_5.

Remarques :

• v_x est aussi le coefficient directeur de la tangente à la courbe $x = f(t)$ tracée à cette date t. Il en est de même pour v_y et la tangente à la courbe $y = g(t)$.

• On obtient la valeur v du vecteur vitesse à partir de la relation : $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$.

• Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire et dirigé dans le sens du mouvement (construction A).

Cours

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Tracé d'un vecteur accélération

VIDÉO DE COURS

c. Vecteur accélération

- Le vecteur accélération caractérise la variation du vecteur vitesse en fonction du temps.
- Par analogie avec le vecteur vitesse, on peut déterminer le vecteur accélération à un instant t_{i+1} : $\vec{a}_{i+1} = \dfrac{(\Delta\vec{v})_{i\to i+1}}{\Delta t}$ (construction B).
- Lorsque Δt tend vers zéro, le vecteur accélération à l'instant t_{i+1} s'écrit :

$$\vec{a}_{i+1} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{(\Delta\vec{v})_{i\to i+1}}{\Delta t} = \left(\frac{d\vec{v}}{dt}\right)_{t_{i+1}}$$

- Dans un référentiel donné, le **vecteur accélération** d'un point M est égal à la dérivée, par rapport au temps, du vecteur vitesse $\vec{v}$ à cet instant :

Valeur en $m \cdot s^{-2}$ — Valeur en $m \cdot s^{-1}$

$$\vec{a}(t) = \left(\frac{d\vec{v}}{dt}\right)_t \quad \text{noté plus simplement} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

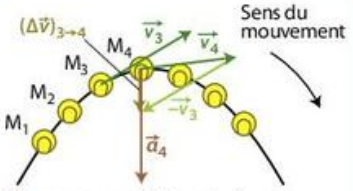
t en s

- Les coordonnées cartésiennes du vecteur accélération $a_x(t)$ et $a_y(t)$ sont obtenues en dérivant, par rapport au temps, celles $v_x(t)$ et $v_y(t)$ du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$:

$$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x(t) = \left(\dfrac{dv_x}{dt}\right)_t \\ a_y(t) = \left(\dfrac{dv_y}{dt}\right)_t \end{cases} \quad \text{ou plus simplement} \quad \vec{a}\begin{cases} a_x = \dfrac{dv_x}{dt} \\ a_y = \dfrac{dv_y}{dt} \end{cases}$$

Remarques :
- a_x est le coefficient directeur de la tangente à la courbe $v_x = f(t)$ tracée à la date t considérée. Il en est de même pour a_y et la tangente à la courbe $v_y = g(t)$.
- La valeur du vecteur accélération est donnée par : $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$.
- Le vecteur accélération $\vec{a}$ est colinéaire et de même sens que le vecteur variation de vitesse $\Delta\vec{v}$ (construction B).

B Vecteur variation de vitesse et vecteur accélération



Le vecteur variation de vitesse $(\Delta\vec{v})_{3\to4}$ et le vecteur accélération $\vec{a}_4$ ont même direction et même sens.

Point maths Côté maths 5 p. 227

Les coordonnées cartésiennes du vecteur accélération peuvent être obtenues à partir de la dérivée seconde des coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ du vecteur position :

$$\vec{a}(t)\begin{cases} a_x(t) = \left(\dfrac{dv_x}{dt}\right)_t = \left(\dfrac{d^2x}{dt^2}\right)_t \\ a_y(t) = \left(\dfrac{dv_y}{dt}\right)_t = \left(\dfrac{d^2y}{dt^2}\right)_t \end{cases}$$

2 Des exemples de mouvements

a. Mouvements rectilignes

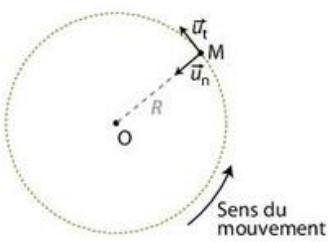
Un système est animé d'un mouvement rectiligne si sa trajectoire est une portion de droite.

Mouvement	Rectiligne uniforme	Rectiligne uniformément varié
Vecteur accélération $\vec{a}$	$\vec{a} = \vec{0}$	**Direction :** droite support de la trajectoire **Sens :** – celui de $\vec{v}$ si le mouvement est accéléré ; – opposé à $\vec{v}$ si le mouvement est ralenti. **Valeur :** a ($m \cdot s^{-2}$) constante

b. Mouvements circulaires

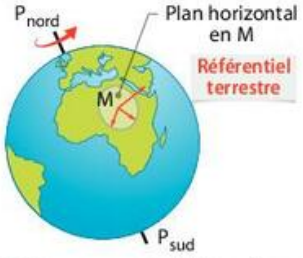
- Un système est animé d'un mouvement circulaire si sa trajectoire est une portion de cercle.
- Un repère privilégié pour l'étude d'un mouvement circulaire est le repère de Frenet noté $(M ; \vec{u}_n, \vec{u}_t)$ (schéma C).

C Repère de Frenet

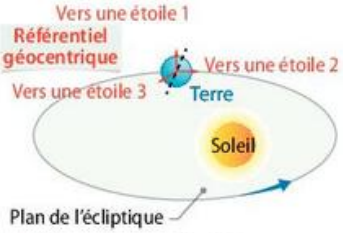


Le repère de Frenet noté $(M ; \vec{u}_n, \vec{u}_t)$ est défini par :
– une origine mobile liée au point M étudié ;
– un vecteur unitaire $\vec{u}_n$ perpendiculaire en M à la trajectoire et orienté vers l'intérieur de la trajectoire ;
– un vecteur unitaire $\vec{u}_t$ tangent en M à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement.

D **Trois référentiels courants**



> Origine en un point de la surface de la Terre, axes liés à la surface de la Terre. Peut être considéré comme galiléen, par exemple pour l'étude du mouvement d'un avion.

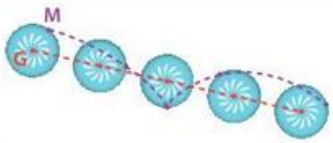


> Origine au centre de la Terre, axes pointant vers trois étoiles lointaines. Peut être considéré comme galiléen, par exemple pour l'étude du mouvement d'un satellite terrestre.



> Origine au centre du Soleil, axes pointant vers trois étoiles lointaines. Peut être considéré comme galiléen, par exemple pour l'étude du mouvement des planètes du système solaire.

E **Centre de masse d'un système**



> Au cours du mouvement d'un frisbee, le centre de masse G a un mouvement plus simple que celui d'un point M à la périphérie.

Dans le repère de Frenet, pour un **mouvement circulaire** de rayon R :
– le vecteur vitesse $\vec{v}$ est tangent à la trajectoire, donc $\vec{v} = v\vec{u}_t$;
– le vecteur accélération a pour expression $\vec{a} = \frac{v^2}{R}\vec{u}_n + \frac{dv}{dt}\vec{u}_t$ avec :
- $a_n = \frac{v^2}{R}$, accélération normale du système ;
- $a_t = \frac{dv}{dt}$, accélération tangentielle du système.

Mouvement	Circulaire uniforme	Circulaire varié
Vecteur vitesse $\vec{v}$	**Direction :** tangente à la trajectoire. **Sens :** celui du mouvement.	
	Valeur : v ($m \cdot s^{-1}$) constante	**Valeur :** v ($m \cdot s^{-1}$) variable
Vecteur accélération $\vec{a}$	**Direction :** variable et perpendiculaire à la trajectoire ($a_t = 0$) **Sens :** vers le centre de la trajectoire **Valeur :** a ($m \cdot s^{-2}$) $= \frac{v^2 (m \cdot s^{-1})^2}{R (m)}$ constante	**Direction :** variable et non perpendiculaire à la trajectoire ($a_t \neq 0$) **Sens :** vers l'intérieur de la trajectoire **Valeur :** a ($m \cdot s^{-2}$) $\neq \frac{v^2 (m \cdot s^{-1})^2}{R (m)}$ variable

• Dans le cas où l'accélération tangentielle est nulle, alors $\frac{dv}{dt} = 0$ donc v = constante, le mouvement est circulaire uniforme.

3 La deuxième loi de Newton

a. Référentiel galiléen

Un **référentiel galiléen** est un référentiel dans lequel le principe d'inertie est vérifié (documents D).

b. Centre de masse d'un système

Le **centre de masse** G d'un système est l'unique point de ce système où peut toujours s'appliquer le principe d'inertie.

Lorsque l'on ramène l'étude du mouvement d'un système à celui de son centre de masse G, on considère que toute la masse du système est concentrée en G. L'étude du mouvement est alors plus simple (schéma E).

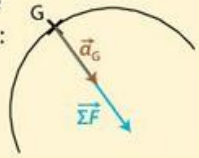
c. Énoncé de la deuxième loi de Newton

• Nous avons vu en Première la relation approchée $\Sigma\vec{F} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$.
Si Δt tend vers zéro, $\lim\limits_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}\right) = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}$ et la relation devient $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$.

Dans un référentiel galiléen, la somme des forces $\Sigma\vec{F}$ appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par l'accélération $\vec{a}_G$ de son centre de masse :

m en kg — Valeur en N — Valeur en $m \cdot s^{-2}$

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}_G$$



• Dans le cas particulier d'un système **immobile**, $\Sigma\vec{F} = \vec{0}$.
Il vient alors, de la deuxième loi de Newton, $m\vec{a}_G = \vec{0}$, donc $\vec{a}_G = \vec{0}$ et par suite $\vec{v}_G = \overrightarrow{cte}$. Le principe d'inertie (ou première loi de Newton) apparaît comme un cas particulier de la deuxième loi de Newton.

La **deuxième loi de Newton** permet de déterminer le vecteur accélération $\vec{a}_G$ du centre de masse, les forces appliquées au système $\Sigma\vec{F}$ étant connues, ou inversement.

L'essentiel

VIDÉO DE COURS
Tracé d'un vecteur accélération
QCM
Version interactive

1 Les vecteurs position, vitesse et accélération

Dans un référentiel donné, associé à un repère cartésien $(O ; \vec{i}, \vec{j})$, pour un point M d'un système, **à toute date t** :

Dérivation par rapport au temps → Dérivation par rapport au temps

Vecteur position : $\overrightarrow{OM}$

$$\overrightarrow{OM} \begin{cases} x \text{ (m)} \\ y \text{ (m)} \end{cases}$$

Vecteur vitesse : $\vec{v} = \dfrac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$

$$\vec{v} \begin{cases} v_x = \dfrac{dx}{dt} \ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \\ v_y = \dfrac{dy}{dt} \ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \end{cases}$$

Vecteur accélération : $\vec{a} = \dfrac{d\vec{v}}{dt}$

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = \dfrac{dv_x}{dt} = \dfrac{d^2x}{dt^2} \ (\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \\ a_y = \dfrac{dv_y}{dt} = \dfrac{d^2y}{dt^2} \ (\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \end{cases}$$

2 Des exemples de mouvements

Dans un référentiel donné, les vecteurs $\vec{v}$ et $\vec{a}$ permettent de caractériser le mouvement d'un système.

Mouvement rectiligne

uniforme

Vecteur vitesse
- **Direction** : droite support de la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Valeur** : v $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ constante

Vecteur accélération
$\vec{a} = \vec{0}$

uniformément varié

Vecteur vitesse
- **Direction** : droite support de la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Valeur** : v $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$ variable au cours du temps

Vecteur accélération
- **Direction** : droite support de la trajectoire
- **Sens** :
  – celui de $\vec{v}$ (mouvement accéléré)
  – opposé à $\vec{v}$ (mouvement ralenti)
- **Valeur** : a $(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$ constante

Mouvement circulaire

uniforme

Vecteur vitesse
- **Direction** : tangente à la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Valeur** : **constante** v $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$

Vecteur accélération
- **Direction** : variable et perpendiculaire à la trajectoire
- **Sens** : vers le centre de la trajectoire
- **Valeur** : **constante**

$$a = \frac{v^2}{R} \quad (\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \ \leftarrow \ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})^2 \ / \ (\text{m})$$

varié

Vecteur vitesse
- **Direction** : tangente à la trajectoire
- **Sens** : celui du mouvement
- **Valeur** : **variable** v $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$

Vecteur accélération
- **Direction** : variable et non perpendiculaire à la trajectoire
- **Sens** : vers l'intérieur de la trajectoire
- **Valeur** : **variable**

$$a \neq \frac{v^2}{R} \text{ car } a_t \neq 0$$

3 La deuxième loi de Newton

Cette loi n'est valable que dans les **référentiels galiléens**, référentiels dans lesquels s'applique le principe d'inertie.

Deuxième loi de Newton

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}_G$$

G est le centre de masse du système, seul point de ce système où s'applique toujours le principe d'inertie :

$$\Sigma\vec{F} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v}_G = \overrightarrow{cte}$$

QCM

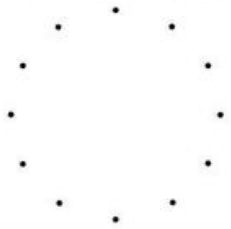
A

Un motard effectue un essai sur une piste rectiligne. M est un point du système {moto et motard} d'abscisse x.



B

On a représenté les positions à intervalles de temps réguliers d'un point P pris sur le plateau horizontal d'un manège en mouvement de rotation autour d'un axe vertical.



Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

	A	B	C

1 Les vecteurs position, vitesse et accélération

Si erreur, revoir § 1 p. 221

1. Dans la situation A, la distance parcourue par la moto 3 s après le départ est :	$d = 20{,}7$ m	$d = 6{,}9$ m	$d = 10{,}4$ m
2. Dans la situation A, la vitesse de la moto est donnée par la relation :	$v(t) = 2{,}3t$	$v(t) = 4{,}6t$	$v(t) = 4{,}6t + 2{,}3$
3. Dans la situation B, le vecteur vitesse $\vec{v}$ du point P :	est un vecteur constant.	a une valeur constante.	varie au cours du temps.
4. D'après la situation B, le vecteur accélération $\vec{a}$ du point P :	est dirigé vers le centre de la trajectoire.	a une valeur égale à $\frac{dv}{dt}$.	a une valeur égale à $\frac{v^2}{R}$, avec R le rayon du cercle.

2 Des exemples de mouvements

Si erreur, revoir § 2 p. 222

5. Dans la situation A, le mouvement du point M du système est :	rectiligne uniforme.	rectiligne uniformément accéléré.	curviligne accéléré.
6. Dans la situation B, le mouvement du point P du système est circulaire :	uniforme.	uniformément accéléré.	uniformément retardé.

3 La deuxième loi de Newton

Si erreur, revoir § 3 p. 223

7. Le centre de masse G d'un système :	est un point quelconque choisi d'un système.	est le seul point de ce système où peut toujours s'appliquer le principe d'inertie.	a en général un mouvement plus simple que les autres points du système.
8. La deuxième loi de Newton est donnée par la relation :	$\Sigma\vec{F} = m\frac{d\vec{v}_G}{dt}$	$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}_G$	$\Sigma F = m \times a_G$
9. Dans la situation B, la somme des forces appliquées au point P est :	colinéaire et de même sens que le vecteur accélération.	perpendiculaire et de même sens que le vecteur accélération.	dirigée vers le centre de la trajectoire.

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Établir les coordonnées cartésiennes des vecteurs vitesse et accélération.	**Réflexe 1** Ex. 4 p. 228 • Partir des coordonnées $x = f(t)$ et $y = g(t)$ du vecteur position, puis les dériver par rapport au temps pour obtenir celles du vecteur vitesse. • Partir des coordonnées $v_x = h(t)$ et $v_y = i(t)$ du vecteur vitesse, puis les dériver par rapport au temps pour obtenir celles du vecteur accélération.
Exploiter les expressions des coordonnées de la vitesse et de l'accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.	**Réflexe 2** Ex. 6 p. 228 • Donner l'expression des coordonnées du vecteur accélération dans le repère de Frenet. • Exploiter l'expression de l'accélération tangentielle $a_t = \frac{dv}{dt}$ pour déterminer l'uniformité ou non du mouvement circulaire étudié. • Exploiter l'expression de l'accélération normale $a_n = \frac{v^2}{R}$ pour déterminer a_n, v ou R.
Déterminer l'accélération ou la somme des forces appliquées au système.	**Réflexe 3** Ex. 12 p. 229 • Choisir un référentiel galiléen adapté au contexte du mouvement étudié. • Énoncer la deuxième loi de Newton. • Identifier les grandeurs connues et extraire la grandeur recherchée.

1 Exercice résolu

La fronde

Mobiliser ses connaissances ; effectuer des calculs.



Une fronde de longueur $L = 50$ cm retient un petit caillou de masse $m = 40$ g. Ce caillou, en rotation, a une vitesse de valeur constante $v = 7{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ autour de la main, dans un plan horizontal. On néglige l'action de l'air.
On considère qu'à cette vitesse, le poids est négligeable devant la force exercée par la corde.

1. a. Déterminer les caractéristiques du vecteur accélération du caillou dans le repère de Frenet.
b. Calculer la valeur de la force exercée par la corde sur le caillou.

2. Le caillou quitte la fronde. À chaque date t (en seconde), les coordonnées de son vecteur position dans un repère orthonormé $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ lié au référentiel d'étude sont : $\begin{cases} x = 7{,}0t\ (\text{m}) \\ y = -4{,}9t^2 + 2{,}0\ (\text{m}) \end{cases}$

a. Dans quel référentiel le mouvement du système est-il étudié ?
b. Déterminer les coordonnées v_x et v_y du vecteur vitesse du caillou à chaque instant.
c. Déterminer les coordonnées a_x et a_y du vecteur accélération du caillou à chaque instant.

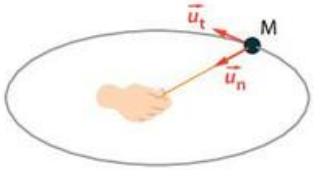
Donnée
Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 2.**

Expression des coordonnées du vecteur accélération dans ce repère

1. a. On définit le repère de Frenet dont l'origine M est le caillou assimilé à un point matériel.



Dans ce repère, le vecteur accélération du caillou s'exprime par : $\vec{a} = \frac{v^2}{R}\vec{u}_n + \frac{dv}{dt}\vec{u}_t$.

Exploitation de l'expression de l'accélération tangentielle

Comme le caillou se déplace à vitesse constante, $a_t = \frac{dv}{dt} = 0$.
L'accélération est donc orientée vers le centre.

Exploitation de l'expression de l'accélération normale

Sa valeur est : $a = a_n = \frac{v^2}{R}$. Dans la situation étudiée, $R = L$.

On obtient donc $a = \frac{(7{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1})^2}{0{,}50\ \text{m}}$ soit $a = 98\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

• **On utilise le Réflexe 3.**

Choix d'un référentiel galiléen adapté

b. On étudie le mouvement du caillou assimilé à un point matériel dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

Énoncé de la deuxième loi de Newton

Extraction de la grandeur recherchée

D'après la deuxième loi de Newton appliquée au système caillou, $\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$.

Le vecteur somme des forces a même direction et même sens que le vecteur accélération et a pour valeur $\Sigma F = m \times a$, d'où $\Sigma F = 0{,}040\ \text{kg} \times 98\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, soit $\Sigma F = 3{,}9$ N.

Le caillou est soumis à son poids, à l'action de l'air et à la force exercée par la corde. Le poids et l'action de l'air pouvant être négligés, la force exercée par la corde a donc pour valeur $F = 3{,}9$ N.

2. a. Le mouvement du petit caillou, assimilé à un point matériel M, est étudié dans un référentiel terrestre lié au sol supposé galiléen.

b. Le vecteur vitesse s'écrit $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$.

• **On utilise le** Réflexe 1.

Dérivation par rapport au temps des coordonnées du vecteur position

Dérivation par rapport au temps des coordonnées du vecteur vitesse

On dérive les coordonnées du vecteur position : $\vec{v}\begin{cases} v_x = \dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 7{,}0\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \\ v_y = \dfrac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t} = -9{,}8t\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) \end{cases}$

c. Le vecteur accélération s'écrit $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$.

On dérive les coordonnées du vecteur vitesse : $\vec{a}\begin{cases} a_x = \dfrac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = 0\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \\ a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = -9{,}8\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-2}) \end{cases}$

Côté maths 5 : Écrire une dérivée – Dériver une fonction

Côté maths

On dispose de la fonction f définie pour tout x par :

$$f = 10x^2 - 8x + 5$$

1. Exprimer la dérivée f' de f sous la forme différentielle et donner l'expression de f'.
2. Calculer le nombre dérivé en $x = 1$.
3. Exprimer la dérivée seconde f'' de f sous la forme différentielle et donner l'expression de f''.

Méthode

1. La notation différentielle f' de la dérivée de f s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}x}$ et se lit : « dérivée de f par rapport à x ».
Les formules de dérivation conduisent à :

$$\frac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}x} = f' = 20x - 8$$

2. Le nombre dérivé en $x = 1$ est $f'(1) = 12$.
3. La notation différentielle f'' de la dérivée seconde de f s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}^2f}{\mathrm{d}x^2}$ et se lit : « dérivée seconde de f par rapport à x ». On peut encore écrire $\dfrac{\mathrm{d}^2f}{\mathrm{d}x^2} = \dfrac{\mathrm{d}f'}{\mathrm{d}x}$.
Les formules de dérivation conduisent à : $\dfrac{\mathrm{d}^2f}{\mathrm{d}x^2} = f'' = 20$.

Côté physique & chimie

L'équation horaire, en unités SI, du mouvement d'un point mobile qui se déplace suivant un axe Ox est :

$$x = 10t^2 - 8t + 5$$

1. Exprimer la coordonnée v_x du vecteur vitesse de ce point mobile.
2. Calculer la valeur de la vitesse à la date $t = 1$ s.
3. Exprimer la coordonnée a_x du vecteur accélération du point mobile.

Méthode

1. La coordonnée v_x du vecteur vitesse est la dérivée de l'abscisse du vecteur position par rapport au temps :

$$v_x = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = 20t - 8\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$$

2. À la date $t = 1$ s, la coordonnée v_x est : $v_x(1) = 12\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
Pour ce mouvement selon l'axe Ox, la valeur de la vitesse à cette date est donc :

$$v(1) = \sqrt{v_x(1)^2 + v_y(1)^2} = \sqrt{v_x(1)^2 + 0^2} = 12\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

3. La coordonnée a_x du vecteur accélération est la dérivée seconde de l'abscisse x du vecteur position par rapport au temps. C'est aussi la dérivée de l'abscisse v_x du vecteur vitesse par rapport au temps :

$$a_x = \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = \frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t} = 20\ (\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$$

À retenir !

	Fonctions généralement étudiées	Variable de dérivation	Notation de la dérivée
Mathématiques	Fonctions de x	x	f' ou $\dfrac{\mathrm{d}f}{\mathrm{d}x}$
Physique-Chimie	Fonctions du temps t	t	$\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$, $\dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}$, etc.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Définir le vecteur vitesse et le vecteur accélération. Établir les coordonnées cartésiennes des vecteurs vitesse et accélération à partir des coordonnées du vecteur position et/ou du vecteur vitesse.	2 4	22	29
Citer et exploiter les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.	6	16	30
Caractériser le vecteur accélération pour quelques mouvements.	8	22	30
Utiliser la deuxième loi de Newton dans des situations variées pour en déduire le vecteur accélération du centre de masse ou la somme des forces appliquées au système.	12	16	29
Capacité mathématique : dériver une fonction.	2 4	22	29

1 Les vecteurs position, vitesse et accélération

VIDÉO DE COURS **Tracé d'un vecteur accélération – QR Code p. 224**

2 Déterminer les coordonnées d'un vecteur vitesse (1) CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

Les coordonnées du vecteur position d'un point matériel M dans un repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ lié au référentiel d'étude sont données ci-dessous :

$$\overrightarrow{OM} \begin{cases} x = -a \times t + b \\ y = 0 \end{cases}$$

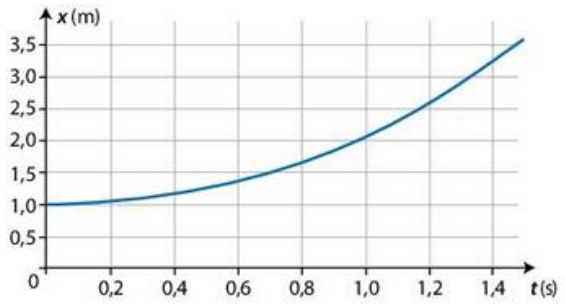
avec a et b constants.

• Déterminer les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse de M.

3 Déterminer les coordonnées d'un vecteur vitesse (2)

Exploiter un graphique.

On donne l'évolution de la position d'un point matériel P qui se déplace suivant un axe horizontal Ox, dans un repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ lié au référentiel d'étude.



1. Rappeler l'interprétation graphique d'un nombre dérivé en mathématiques.

2. Déterminer alors la valeur de la vitesse de P à la date $t = 1{,}0$ s.

4 Déterminer les coordonnées d'un vecteur accélération (1) CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

Une bille assimilée à un point B est lancée verticalement à un instant $t = 0$ s. Ses positions sont repérées dans un repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ lié à un référentiel terrestre par :

$$\overrightarrow{OB} \begin{cases} x = 0 \\ y = -4{,}9t^2 + 4{,}0t + 1{,}5 \end{cases}$$

avec x et y en mètre, et t en seconde.

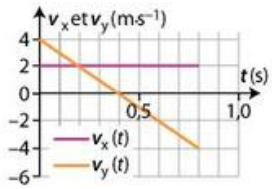
• Établir l'expression des coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse puis du vecteur accélération de la bille.

Utiliser le réflexe 1

5 Déterminer les coordonnées d'un vecteur accélération (2)

Exploiter un graphique.

Une bille est lancée dans le plan vertical $(O ; x, y)$ associé à un repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ lié à un référentiel terrestre (voir graphique ci-contre).



1. Déterminer l'expression des coordonnées cartésiennes v_x et v_y du vecteur vitesse.

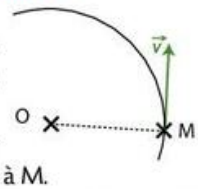
2. Établir l'expression des coordonnées cartésiennes a_x et a_y du vecteur accélération.

2 Des exemples de mouvements

6 Étudier un mouvement circulaire CORRIGÉ

Faire un schéma adapté.

Un point matériel M décrit un mouvement circulaire uniforme autour d'un point O.



1. Reproduire le schéma, puis définir et représenter le repère de Frenet lié à M.

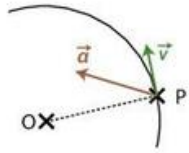
2. Exprimer les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ de M dans ce repère.

Utiliser le réflexe 2

7 Exploiter la représentation d'un vecteur accélération

| Exploiter un schéma.

On a représenté sur le schéma ci-contre le vecteur accélération $\vec{a}$ d'un point matériel P qui se déplace suivant une trajectoire circulaire autour d'un point O.



1. a. Définir et représenter le repère de Frenet lié à P.
b. Exprimer les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ de P dans ce repère.

2. Le mouvement de P est-il uniforme ?

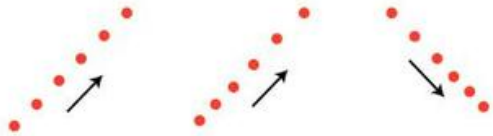
8 Exploiter les caractéristiques du vecteur accélération (1)

CORRIGÉ

| Interpréter des observations.

Des mouvements d'un point matériel dans un référentiel terrestre sont étudiés ci-dessous.

• Relier chacun des pointages suivants aux caractéristiques du vecteur accélération $\vec{a}$ qui lui correspondent.



$\vec{a}$ { **Direction :** celle de la trajectoire **Sens :** celui du mouvement	$\vec{a} = \vec{0}$	$\vec{a}$ { **Direction :** celle de la trajectoire **Sens :** opposé à celui du mouvement

9 Exploiter les caractéristiques du vecteur accélération (2)

| Faire un schéma adapté.

Le vecteur accélération d'un point matériel P en mouvement circulaire a pour coordonnées dans le repère de Frenet : $a_n = 4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et $a_t = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

• Représenter, sans souci d'échelle, un pointage possible du mouvement de P.

3 La deuxième loi de Newton

10 Tracer la trajectoire du centre de masse d'un système

CORRIGÉ

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

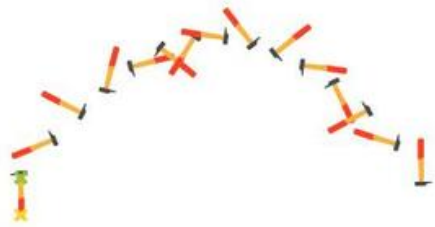
Un mobile autoporteur est lancé sur une table horizontale dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen. On néglige toute force de frottement.

• Représenter la trajectoire du centre de masse de ce mobile.

11 Justifier la position du centre de masse d'un système

| Exploiter un schéma.

On a filmé le mouvement d'un marteau lancé en l'air.



1. Utiliser le schéma fourni et repérer le point jaune et le point vert pour chacune des positions du marteau.

2. Justifier que le point vert est le centre de masse du marteau.

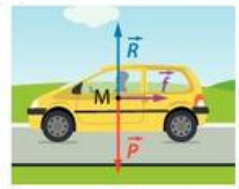
3. Le marteau est-il soumis à des forces qui se compensent ?

12 Appliquer la deuxième loi de Newton (1)

CORRIGÉ

| Utiliser un modèle pour prévoir.

Une voiture de masse $m = 900$ kg se déplace moteur arrêté sur une route horizontale. Elle ralentit sous l'effet des forces de frottements exercées par l'air et par la route sur les pneus.



Toutes les forces qui s'appliquent sur la voiture sont représentées en son centre de masse M sans souci d'échelle. Le poids $\vec{P}$ du véhicule et la réaction $\vec{R}$ de la route sur les pneus se compensent. La valeur de la force de frottement est $f = 300$ N.

1. Énoncer la deuxième loi de Newton.

2. Exploiter cette loi pour déterminer les caractéristiques du vecteur accélération de M. Utiliser le réflexe 3

13 Appliquer la deuxième loi de Newton (2)

| Utiliser un modèle pour décrire.

Une montgolfière et l'air qu'elle contient (masse $m = 1{,}20 \times 10^4$ kg) sont animés d'un mouvement vertical uniformément accéléré vers le haut. La valeur de l'accélération est $a = 0{,}20\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.



La montgolfière est soumise à son poids $\vec{P}$ et à la poussée d'Archimède $\vec{F}_p$ exercée par l'air extérieur. On néglige les forces de frottement devant les autres forces. Les forces sont représentées sans souci d'échelle au centre de masse du système sur la photo ci-dessus.

1. Déterminer les caractéristiques de la somme des forces $\Sigma\vec{F}$ appliquées au système.

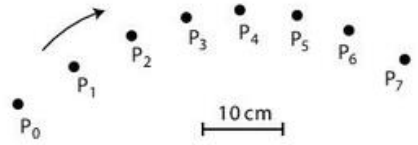
2. En déduire la valeur F_p de la poussée d'Archimède.

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

14 Le point sur les vecteurs

Construire des vecteurs.



Le document ci-dessus est l'enregistrement du mouvement du centre de masse P d'un mobile autoporteur. La durée qui sépare deux positions successives de P est $\Delta t = 40$ ms.

1. Reproduire le pointage. Construire en P_2 et en P_3 les vecteurs vitesse $\vec{v}_2$ et $\vec{v}_3$ en précisant l'échelle utilisée.

2. Construire en P_3 le vecteur variation de vitesse $(\Delta\vec{v})_{2\to3}$.

3. Construire en P_3 le vecteur accélération $\vec{a}_3$ en précisant l'échelle utilisée.

15 Ion acceleration

Pratiquer une langue vivante étrangère.



> Orsay's Linear Accelerator

The highly energetic ion beams are used in material physics and radiobiology to study the influence of this radiation on matter and life.

An Al^{3+} ion enters a linear accelerator which maintains a voltage $U = 1\,000$ V between its electrodes. The distance between the electrodes is $d = 20$ cm. The ion is subjected to an electrostatic force of value $F = \dfrac{|q| \times U}{d}$.

1. Calculate F.

2. Check that the weight of the ion is negligible compared to the value F.

3. Determine the value of the ion acceleration.

Data

- Elementary charge: $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C.
- Mass of ion Al^{3+}: $m = 4.48 \times 10^{-26}$ kg.
- $g = 9.81$ m·s^{-2}.

16 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Virage d'un avion

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.

On s'intéresse au mouvement du centre de masse G d'un avion de 50 tonnes qui entame un virage contenu dans le plan horizontal. Lors du virage, la trajectoire de G est une portion de cercle de rayon $R = 10\,000$ m, et sa vitesse a une valeur constante $v = 800$ km·h^{-1}.



1. Déterminer la valeur a_G de l'accélération du centre de masse de l'avion au cours du virage.

2. Déterminer la valeur ΣF de la somme des forces qui s'appliquent sur l'avion dans cette situation.

Critères de réussite

J'ai explicité les notations utilisées pour la masse et le repère de Frenet (question 1).	☐	☐
J'ai donné le résultat avec un nombre de chiffres significatifs et une unité adaptés (question 1).	☐	☐
J'ai été rigoureux sur les notations des vecteurs $(\vec{a}_G, \Sigma\vec{F})$ et de leur valeur $(a_G, \Sigma F)$ (questions 1 et 2).	☐	☐

17 Saut au-dessus du canal de Corinthe

Mobiliser et organiser ses connaissances ; exploiter des informations.

En avril 2010, le pilote de moto Robbie MADDISON a pris son élan pour franchir le canal de Corinthe.
Le mouvement du centre de masse G du système {R. MADDISON et sa moto} est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen. À l'instant $t = 0$ s, il se trouve à l'origine du repère et quitte le tremplin. Son vecteur vitesse $\vec{v}_0$ fait un angle $\alpha = 33°$ avec l'axe horizontal et a pour valeur 125 km·h^{-1}.

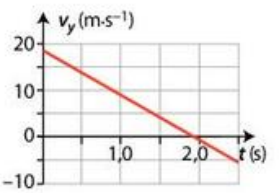
1. a. Utiliser la chronophotographie ci-dessous pour montrer que le mouvement suivant l'axe (Ox) est uniforme.



b. Montrer que si le poids est la seule force qui s'applique sur le système, le vecteur accélération est vertical.

c. Vérifier que les réponses aux deux questions précédentes sont cohérentes entre elles.

2. a. En utilisant l'allure de la courbe ci-contre, justifier que le mouvement suivant l'axe vertical est uniformément varié.

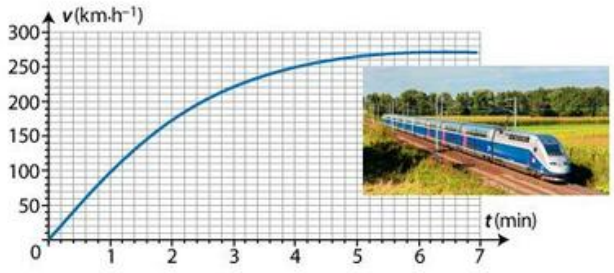


b. Quelle position particulière de la trajectoire est occupée par G à la date pour laquelle $v_y = 0$? Quelle est alors la valeur de la vitesse ?

18 Accélération d'un TGV

Exploiter un graphique.

L'étude du mouvement du centre de masse G d'une rame de TGV se déplaçant en ligne droite donne les résultats suivants :



1. Expliquer comment déterminer graphiquement la valeur a_G de l'accélération.
2. Comment la valeur de l'accélération évolue-t-elle au cours du temps ?
3. Caractériser le vecteur accélération à $t = 2$ min, instant de la photographie.

19 Accélération d'un parachutiste

Exploiter un tableau ; effectuer des calculs ; interpréter des résultats.

La somme $\vec{f}$ des forces exercées par l'air sur un parachutiste de masse $m = 80$ kg en chute verticale est verticale vers le haut, et sa valeur est variable. On définit un axe vertical Oy orienté dans le sens du mouvement.

Phase 1	Phase 2	Phase 3
$f = 0$ N	$f = 300$ N	$f = 800$ N

1. Établir l'inventaire des forces qui s'exercent sur le parachutiste pour chaque phase du saut. Faire un schéma de ces forces sans souci d'échelle mais de façon cohérente.
2. Pour chaque phase, caractériser le vecteur accélération du centre de masse G du parachutiste et donner la nature de son mouvement.

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 10$ m·s^{-2}.

20 Le curling

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Une pierre de curling initialement immobile de masse $m = 18$ kg est poussée par une joueuse qui exerce sur elle une force parallèle au sol, de valeur constante F pendant la durée $\Delta t_1 = 4{,}0$ s (phase 1).



La pierre est ensuite lâchée et glisse sur la glace à vitesse constante. Elle parcourt la distance $d = 20$ m en une durée $\Delta t_2 = 10$ s (phase 2).

On néglige les frottements de l'air et de la glace sur la pierre de centre de masse G lors de son mouvement.

1. Représenter les forces exercées sur la pierre durant les deux phases du mouvement et sans souci d'échelle.
2. Calculer la valeur v_G de la vitesse lors de la phase 2.
3. En déduire la valeur a_G constante de l'accélération de la pierre lors de la première phase.
4. Calculer la valeur F de la force exercée par la joueuse sur la pierre lors de la phase de lancer.

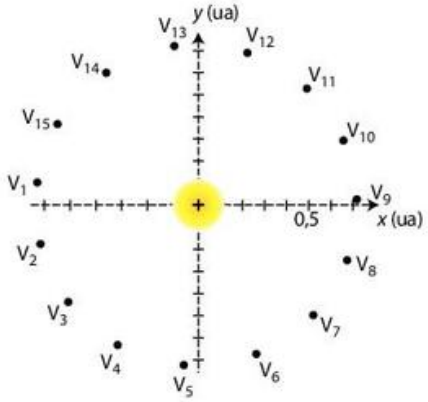
21 Le mouvement de Vénus

Effectuer des calculs ; construire des vecteurs ; interpréter des observations.



Vénus, deuxième des huit planètes du Système solaire en partant du Soleil, est la sixième par masse ou par taille décroissante. La distance Vénus-Soleil est voisine de 0,72 ua. Sa trajectoire autour du Soleil est quasiment circulaire.

Le site de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides permet d'obtenir, pour une durée au choix, la trajectoire de Vénus dans un référentiel donné. Ci-dessous sont représentées les positions de Vénus tous les 15 jours entre le 1er septembre 2019 (V_1) et le 29 mars 2020 (V_{15}).



1. a. Dans quel référentiel le mouvement de Vénus est-il étudié ?

b. Utiliser le schéma fourni pour vérifier la cohérence entre les informations extraites du pointage et celles du texte.

2. On suppose que la vitesse de Vénus autour du Soleil a une valeur constante $v = 34$ km·s^{-1}.

a. Construire en V_2 et en V_3 les vecteurs vitesse $\vec{v}_2$ et $\vec{v}_3$ en précisant l'échelle utilisée.

b. Construire en V_3 le vecteur accélération $\vec{a}_3$ de Vénus en précisant l'échelle utilisée.

c. Indiquer les caractéristiques (direction, sens et valeur) de ce vecteur.

3. a. Exprimer la force gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par le Soleil sur Vénus.

b. Par application de la deuxième loi de Newton, exprimer le vecteur accélération $\vec{a}$ et calculer sa valeur.

c. Vérifier alors le caractère galiléen du référentiel.

Données

- 1 ua $= 1{,}5 \times 10^{11}$ m.
- Masse de Vénus : $m_V = 4{,}9 \times 10^{24}$ kg.
- Masse du Soleil : $m_S = 2{,}0 \times 10^{30}$ kg.
- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N·m^2·kg^{-2}

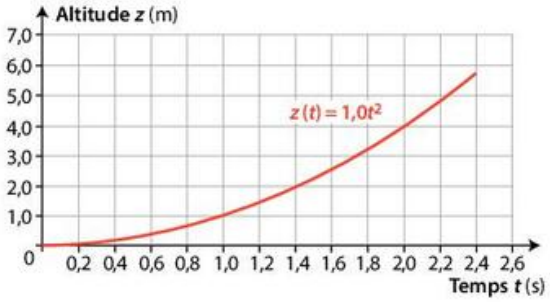
Côté maths

Côté maths 5, p. 227

22 Dériver une fonction

CORRIGÉ

On étudie le mouvement d'un drone, assimilé à un point matériel D, dans un référentiel terrestre supposé galiléen. L'exploitation du film de son décollage vertical a permis d'obtenir les résultats suivants :



1. Établir l'expression $v_z(t)$ de la coordonnée suivant l'axe vertical (Oz) du vecteur vitesse du drone.

2. Tracer, en utilisant une échelle appropriée, l'allure de la courbe $a_z = f(t)$. Caractériser le vecteur accélération du drone au cours du mouvement.

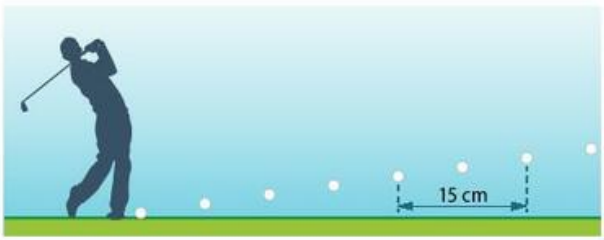
23 À chacun son rythme

Vol d'une balle de golf

Mobiliser et organiser ses connaissances ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Le swing d'un joueur de golf expérimenté permet d'envoyer une balle à une distance voisine de 250 m. Les huit premières positions d'une balle de golf sont pointées ci-dessous toutes les 1,0 ms.



L'étude du mouvement de la balle dans un repère cartésien $(O ; x, y)$ montre qu'elle touche le sol à une distance $D = \dfrac{v_0^2 \times \sin 2\theta}{a}$ de O, appelée « portée du swing ». Dans cette relation, θ est l'angle entre le sol horizontal et le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$ de la balle ; a est la valeur constante de son accélération.

Lorsque le golfeur imprime à la balle un mouvement de rotation arrière, appelé *backspin*, la balle se met en rotation à grande vitesse et est alors soumise à une force verticale $\vec{F}$ considérée comme constante, orientée vers le haut.

Énoncé compact

Vérifier que la portée du swing correspond à la distance annoncée dans le texte introductif.

Énoncé détaillé

1. Déterminer, à l'aide du pointage, la valeur de la vitesse initiale $\vec{v}_0$ de la balle.

2. Établir l'inventaire des forces qui s'exercent sur la balle lors de son mouvement.

3. Par application de la deuxième loi de Newton, déterminer la valeur a de l'accélération de la balle.

4. Vérifier que la portée du swing correspond à la distance annoncée dans le texte introductif.

Données

- Masse de la balle : $m = 46$ g.
- Valeur de la force $\vec{F}$: $F = 5{,}0 \times 10^{-2}$ N.
- $\theta = 11°$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8$ m·s^{-2}.

24 Python

Vecteur accélération

Utiliser un langage de programmation.

À l'aide d'un logiciel de pointage vidéo, on repère les positions du centre de masse d'un ballon de basket au cours d'un lancer. Un tableau de données est généré. Il indique, à différentes dates, les coordonnées des positions du système étudié, lorsqu'il a quitté les mains de la basketteuse.

Un programme en langage python, dont un extrait est donné ci-dessous, permet d'extraire les données du pointage, puis de représenter les vecteurs accélération en différentes positions.

PROGRAMME Python – QR Code p. 224

```
35  '''Calcul des coordonnées vx et vy des
    vecteurs vitesse'''
36  vx=[ ]
37  for i in range(len(x)-1) :
38     vx=vx+[(x[i+1]-x[i])/(t[i+1]-t[i])]
39
40  vy=[ ]
41  for i in range(len(y)-1) :
42     vy=vy+[(y[i+1]-y[i])/(t[i+1]-t[i])]
43
44  '''Calcul des coordonnées ax et ay des
    vecteurs accélération'''
45  ax=[ ]
46  for i in range(len(vx)-1) :
47     ax=
48
49  ay=[ ]
50  for i in range(len(vy)-1) :
51     ay=
```

1. Par analogie avec le calcul des coordonnées vx et vy du vecteur vitesse, compléter les lignes 47 et 51 afin de calculer les coordonnées ax et ay du vecteur accélération.

2. Mettre en œuvre le programme pour tracer le vecteur accélération en différentes positions de la trajectoire.

3. Donner les caractéristiques du vecteur accélération du centre de masse du système.

4. Rappeler les caractéristiques du vecteur champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$.

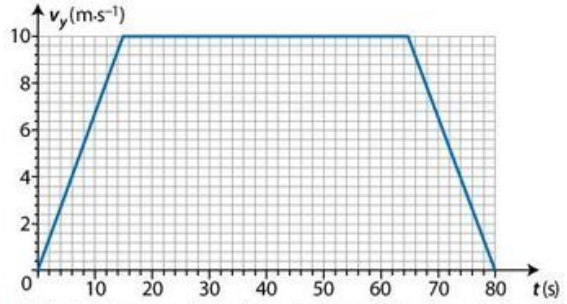
5. À l'aide de la deuxième loi de Newton, montrer que le modèle de la chute libre est ici valide.

25 La cabine d'ascenseur

Exploiter un graphique ; mobiliser et organiser ses connaissances.



À Dubaï, le Bürj Khalifa, plus haut gratte-ciel du monde, est équipé d'un ascenseur pouvant se déplacer à 40 km·h^{-1}. Le graphique ci-après donne l'évolution de la coordonnée verticale v_y de la vitesse d'un ascenseur en fonction du temps. L'axe vertical Oy est ascendant.



1. Calculer la coordonnée a_y de l'accélération de la cabine d'ascenseur pendant chaque phase du mouvement.

2. a. Une personne de masse $m = 70$ kg se trouve dans la cabine. Établir l'inventaire des forces s'exerçant sur elle.

b. Par application de la deuxième loi de Newton, déterminer la valeur de la force $\vec{R}$ exercée par le sol de l'ascenseur sur la personne lors de chaque phase.

c. Quel sera à chaque fois le ressenti de la personne ?

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.

26 L'expérience de Millikan

Mobiliser et organiser ses connaissances.



Pour déterminer la charge de l'électron, l'Américain Robert MILLIKAN a réalisé l'expérience suivante, qui lui valut le prix Nobel de physique en 1923.
Un pulvérisateur produit un nuage de gouttelettes d'huile chargées négativement. Ces gouttelettes tombent, sous l'effet de leur poids, dans une zone où règne un champ électrique $\vec{E}$ uniforme, vertical et dirigé vers le bas.
Pour maintenir en équilibre une gouttelette de rayon $r = 2{,}0$ µm, R. MILLIKAN a appliqué un champ électrique de valeur $E = 1{,}83 \times 10^5$ N·C^{-1}.

1. Déterminer les caractéristiques (direction, sens et valeur) de la force électrique $\vec{F}$ à laquelle est soumise la gouttelette.

2. Effectuer l'inventaire des forces qui s'exercent sur la gouttelette d'huile assimilée à un point matériel.

3. Caractériser l'accélération de la gouttelette maintenue en équilibre.

4. Déterminer la charge électrique q de la gouttelette.

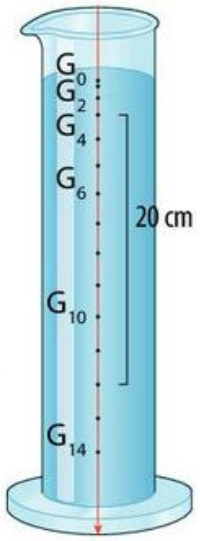
5. Cette charge q étant due à un excès de 10 électrons, déterminer la charge de l'électron.

Données

- Masse volumique de l'huile : $\rho = 890$ kg·m^{-3}.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.
- Volume d'une sphère de rayon r : $V = \frac{4}{3}\pi \times r^3$.

27 Chute dans un fluide

Extraire et organiser l'information ; construire des vecteurs.



Un objet (masse $m = 3{,}80 \times 10^{-3}$ kg et volume $V = 2{,}10 \times 10^{-6}$ m^3) est lâché sans vitesse initiale dans un liquide de masse volumique $\rho = 1\,240$ kg·m^{-3}. Sa chute est filmée avec une webcam puis analysée à l'aide d'un logiciel adapté. Le schéma ci-contre montre l'ensemble des positions successives occupées par le centre de masse G de l'objet à intervalles de temps réguliers : $\tau = 0{,}050$ s.
Les frottements du fluide sur l'objet sont modélisés par une force $\vec{f}$ opposée au vecteur vitesse $\vec{v}$ et de valeur proportionnelle à v.

1. Reproduire le schéma ci-dessus ou utiliser le document fourni et calculer la valeur des vitesses en G_3 et G_4. Tracer sur le schéma les vecteurs vitesse en ces positions avec l'échelle 1 cm ↔ 0,20 m·s^{-1}.

2. Calculer la valeur a_4 de l'accélération en G_4, puis tracer le vecteur accélération en cette position avec l'échelle 1 cm ↔ 0,50 m·s^{-2}.

3. Calculer la valeur de la poussée d'Archimède $\vec{F}_P$ et la comparer à celle du poids de l'objet.

4. Représenter les forces exercées sur l'objet sans souci d'échelle.

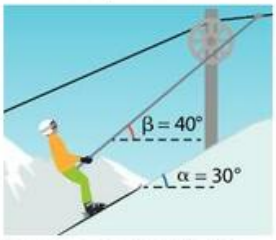
5. Déterminer la valeur f de la force de frottement qui s'exerce sur l'objet.

Données

- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.
- Caractéristiques de la poussée d'Archimède exercée par un fluide sur un objet complètement immergé dans ce fluide : force verticale, vers le haut, de valeur $F_P = \rho_{fluide} \times V_{objet} \times g$.

28 Le téléski

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.



Une skieuse de masse $m = 60$ kg est accrochée à la perche d'un téléski et se déplace avec une vitesse de valeur constante. Le téléski exerce sur la skieuse une force constante $\vec{F}$ dans l'axe de la perche. Les forces de frottement exercées par l'air et par la neige sont négligées.

1. Établir l'inventaire des forces exercées sur la skieuse et représenter l'ensemble de ces forces sans souci d'échelle au centre de masse G de la skieuse.

2. Exprimer les coordonnées de chacune des forces dans un repère cartésien $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ dont l'axe Ox est parallèle à la pente.

3. Calculer la valeur F de la force exercée par la perche sur la skieuse.

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.

Vers le BAC

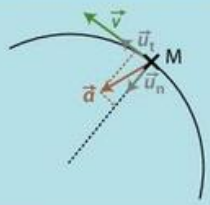
Ne pas confondre les expressions des composantes normale et tangentielle de l'accélération

Dans le repère de Frenet :

$$\vec{a} = \left(\frac{v^2}{R}\right)\vec{u}_n + \left(\frac{dv}{dt}\right)\vec{u}_t$$

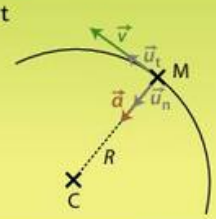
Coordonnée normale

Coordonnée tangentielle



Ne pas confondre vecteur et valeur d'un vecteur

Dans le cas du mouvement circulaire uniforme :
$v = \text{cte}$ mais $\vec{v} \neq \overrightarrow{\text{cte}}$
DONC
$\frac{dv}{dt} = 0$ mais $\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a} \neq \vec{0}$
Il y a une accélération !



Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 226

29 CORRIGÉ — 30 min

Le thermomètre de Galilée

Faire un schéma adapté ; effectuer des calculs ; faire preuve d'esprit critique.

Le liquide d'un thermomètre de Galilée a une masse volumique $\rho_\ell(\theta)$ qui décroît lorsque sa température augmente.



Partie I Étude théorique du mouvement

Le liquide du thermomètre est à 18 °C ; à cette température, l'ampoule portant le médaillon « 18 °C », de 12,0 g et de volume V, flotte. On chauffe le liquide jusqu'à 20 °C, l'ampoule descend alors dans le tube.

On prend pour origine des dates ($t = 0$ s) l'instant où l'ampoule se met en mouvement.

On modélise la valeur f de la force de frottement fluide exercée par le liquide sur l'ampoule par $f = k \times v_G$, avec v_G la valeur de la vitesse du centre de masse de l'ampoule et k le coefficient de frottement. On définit un axe Oy dirigé vers le bas dont l'origine O coïncide avec le centre de masse de l'ampoule portant le médaillon « 18 °C » à la date $t = 0$ s.

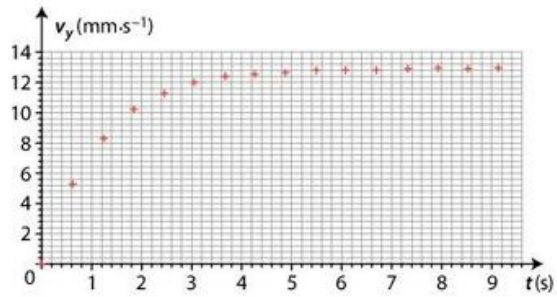
1. Représenter, sans souci d'échelle mais de façon cohérente, les forces s'exerçant sur l'ampoule en mouvement.

2. Montrer que les valeurs a_G de l'accélération et v_G de la vitesse de G sont liées par $a_G = A - B \times v_G$. Exprimer A et B en fonction de m, g, k, $\rho_\ell(\theta)$ et V. Utiliser le réflexe 3

3. Calculer A et B.

Partie II Étude expérimentale du mouvement

Une capture vidéo permet d'obtenir la courbe ci-dessous.



1. Justifier que l'ampoule atteint une vitesse de valeur constante v_ℓ et la déterminer.

2. Montrer que $v_\ell = \frac{A}{B}$. Utiliser le réflexe 1

Données

- Volume de l'ampoule : $V = \frac{4}{3}\pi \times R^3$.
- Masse volumique du liquide à 20 °C : $\rho_\ell = 848$ kg·m^{-3}.
- Coefficient de frottement : $k = 8{,}8 \times 10^{-3}$ kg·s^{-1}.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.

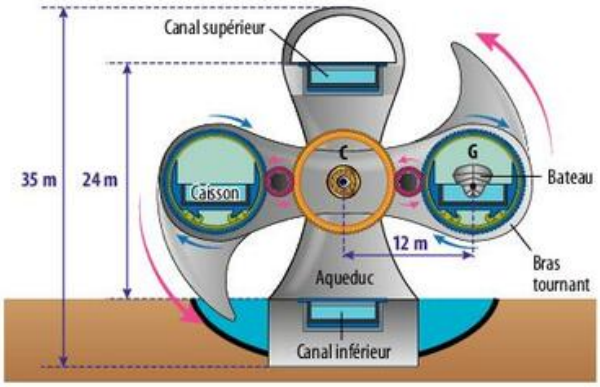
30 — Un ascenseur à bateau

30 min — CORRIGÉ

Faire un schéma adapté ; mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; faire preuve d'esprit critique et argumenter.

D'après Baccalauréat Amérique du Sud, 2016

La Roue de Falkirk est un ascenseur rotatif à bateaux construit près de la ville de Falkirk dans le centre de l'Écosse. Après environ trois ans de travaux, cet ascenseur a été inauguré par la Reine en mai 2002.
Le bras tournant comporte deux godets remplis d'eau, situés à chacune de ses extrémités. Un système de roues dentées permet la rotation du bras.

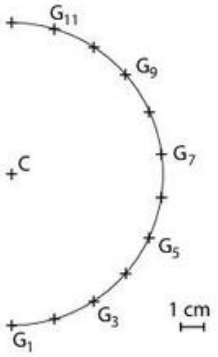


Dans un référentiel terrestre considéré galiléen, le système étudié est un godet contenant de l'eau et un bateau dont le centre de masse est G.

Partie I — Le système d'enregistrement du mouvement

Un dispositif de pointage a permis de repérer la position de G lors du fonctionnement de l'ascenseur.

Échelles
Distance : 1 cm ↔ 2,0 m
Durée entre deux positions consécutives : $\Delta t = 30$ s



1. Donner la nature du mouvement de G.
2. Exprimer les coordonnées du vecteur accélération du centre de masse du système, dans un repère de Frenet.

Partie II — Le roulis

Le roulis est un mouvement d'oscillations latérales du bateau. Afin que le roulis soit négligeable lors de l'ascension, la valeur de l'accélération du centre de masse du système, dans son mouvement de rotation autour de C, doit être faible : elle ne doit pas dépasser un centième de l'accélération de la pesanteur terrestre ($g = 9{,}81$ m·s^{-2}).

- Le roulis est-il ici négligeable ?

Coup de pouce QR Code p. 224

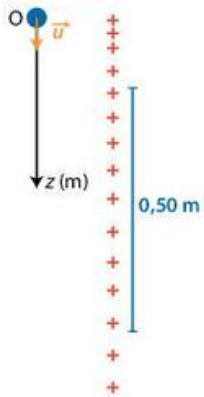
Utiliser le réflexe 2

Préparation à l'ECE

L'huile utilisée dans les moteurs de voitures permet de limiter les frottements entre les pièces.
Une des grandeurs caractéristiques d'une huile pour moteur est sa viscosité η.
Un groupe d'élèves dispose d'un bidon d'huile dont l'étiquette a été arrachée.
L'objectif de cet exercice est de déterminer la viscosité de l'huile contenue dans le bidon.

A Protocole de mesure de la viscosité

On filme la chute d'une bille de rayon R dans un tube vertical rempli de l'huile à analyser.
Les positions de la bille sont repérées sur un axe vertical (Oz) orienté vers le bas, muni d'un vecteur unitaire $\vec{u}$.
L'intervalle de temps entre deux images consécutives est $\tau = 400$ ms.



B Résultats et données utiles

- Concernant la bille :
rayon $R = 2{,}00$ cm ; masse $m = 35{,}5$ g ; volume $V = 33{,}5$ cm^3.
- Concernant les forces :
Lors de sa chute dans l'huile, la bille est soumise à :
– la poussée d'Archimède $\vec{F}_p = -(\rho_{huile} \times V_{bille} \times g)\,\vec{u}$;
– la force de frottement $\vec{f} = -(6\pi \times \eta \times R \times v)\,\vec{u}$.

- Concernant l'huile :
– masse volumique $\rho = 920$ kg·m^{-3} ;
– viscosité de quelques huiles témoins à 20 °C :

	Huile 1	Huile 2	Huile 3
η (Pa·s)	0,088	0,290	0,700

Donnée
Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.

1. APP Montrer que la bille atteint une vitesse de valeur constante v_ℓ.
2. RÉA Déterminer la valeur de cette vitesse v_ℓ.
3. ANA-RAIS Par application de la deuxième loi de Newton, montrer que la viscosité de la bille s'exprime par la relation :

$$\eta = \frac{(m - \rho \times V) \times g}{6\pi \times R \times v_\ell}$$

4. VAL Identifier l'huile moteur étudiée.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Penser à bien articuler

Lors d'une discussion, il arrive très souvent que l'on ne prononce pas correctement la fin des mots : on dit familièrement que l'on « mange les mots ». Il faut bien sûr éviter cela lors d'une présentation orale.
L'exercice suivant permet d'apprendre à articuler correctement en évitant de parler du bout des lèvres.



EXERCICE DE DICTION : LE CRAYON DANS LA BOUCHE

- **Visionner la vidéo ci-contre qui présente une méthode pour améliorer son articulation.**
- **S'entraîner ensuite à prononcer les quelques phrases suivantes :**
  La jolie rose jaune de Josette jaunit dans le jardin.
  Suis-je bien chez ce cher Serge ?
  Ninon dîna dit-on du dos dodu de dix dodus dindons.
  Sachez, mon cher Sacha, que Natacha n'attacha pas son chat.

À deux, c'est mieux


LETTRES
DE L. EULER
PARIS

Description d'un mouvement et deuxième loi de Newton
« Pour qu'un corps change d'état, il faut qu'il soit forcé par quelque cause étrangère...
Votre Altesse verra, par ce que je viens de dire, que le nom de force signifie tout ce qui est capable de changer l'état des corps.
Ainsi, quand un corps qui a été en repos est mis en mouvement, c'est une force qui a produit cet effet, et quand un corps en mouvement change ou de direction ou de vitesse, c'est aussi une force qui a causé ce changement... »

Extrait de *Lettres à une princesse d'Allemagne*, Leonhard Euler, publié par les Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2003.

- **Lire le texte d'Euler avec un crayon dans la bouche en s'obligeant à articuler, puis le relire devant un camarade sans le crayon.**
- **Évaluer la lecture à l'aide des critère ci-contre.**

Ensuite, inverser les rôles et faire de même. Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite	😐	😊
Penser à bien articuler		
Les fins de mot sont correctement prononcées.	☐	☐
L'articulation est satisfaisante.	☐	☐
La lecture est fluide.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur

La description d'un mouvement et la deuxième loi de Newton

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

- Citer les deux premières **lois de Newton**.
- Quel est l'intérêt de définir le **centre de masse** d'un système ?
- Écrire le vecteur accélération dans un **repère de Frenet**.

12 Mouvement dans un champ uniforme



Ashleigh BARTY est réputée pour la qualité de son service.

- Comment la connaissance des conditions initiales du mouvement de la balle permet-elle de prévoir si elle passera au-dessus du filet ?

> Rendez-vous : Exercice 30 p. 255

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Établir et exploiter les équations horaires du mouvement. Établir l'équation de la trajectoire. **Activité 1 p. 239**
- Utiliser des capteurs ou une vidéo pour déterminer les équations horaires du mouvement du centre de masse d'un système dans un champ uniforme. **Activité 1 p. 239**
- Montrer que le mouvement dans un champ uniforme est plan. **Exercice 14 p. 252**
- Décrire le principe d'un accélérateur linéaire de particules chargées. **Activité 3 p. 241**
- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique ou le théorème de l'énergie cinétique dans le cas du mouvement dans un champ uniforme. **Activité 2 p. 240**
- Étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique. **Activité 2 p. 240**
- **Capacité numérique :** représenter, à partir de données expérimentales variées, l'évolution des grandeurs énergétiques d'un système en mouvement dans un champ uniforme à l'aide d'un langage de programmation ou d'un tableur. **Activité 2 p. 240**
- **Capacité mathématique :** déterminer la primitive d'une fonction. **Exercice 29 p. 255**

Vu en 1re

Champs, forces et théorème de l'énergie cinétique

Champs, forces, théorème de l'énergie cinétique

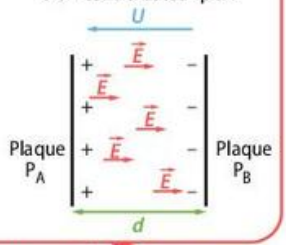
Champ vectoriel

Un champ vectoriel est représenté par un vecteur. Il a une direction, un sens et une valeur.

Champ de pesanteur terrestre

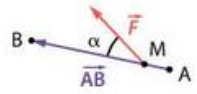


Champ électrique entre les armatures d'un condensateur plan



Force et travail

Une force qui s'exerce sur un système M se déplaçant d'une position A à une position B peut effectuer un travail.



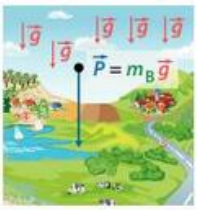
$W_{A \to B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \times AB \times \cos \alpha$

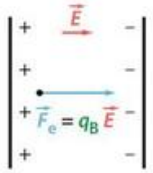
AB en m ; W en J ; F en N

Le travail est une forme de transfert d'énergie.

Force et champ

Dans une région de l'espace où règne un champ, tout objet B aux propriétés physiques appropriées y subit une force :





Théorème de l'énergie cinétique

La variation de l'énergie cinétique d'un système en mouvement, d'une position A à une position B, est égale à la somme des travaux de toutes les forces appliquées au système entre A et B :

$\Delta \mathscr{E}_{c\,A \to B} = \mathscr{E}_{c_B} - \mathscr{E}_{c_A} = \sum_i W_{A \to B}(\vec{F}_i)$

$\mathscr{E}_c$ en J ; W en J

Réactiver ses connaissances

VIDÉO Théorème de l'énergie cinétique – QR Code p. 246

Une plongeuse s'élance sans vitesse initiale d'une hauteur de 5,0 m au-dessus de l'eau.

• En supposant que la plongeuse, au cours de sa chute, n'est soumise qu'à son poids, calculer la valeur de la vitesse avec laquelle elle pénètre dans l'eau.

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.



Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Une particule de charge $q = 3{,}2 \times 10^{-19}$ C est placée dans un champ électrique $\vec{E}$ de valeur $2{,}0 \times 10^3\ \text{N} \cdot \text{C}^{-1}$. La valeur F de la force électrique qu'elle subit vaut :	$6{,}4 \times 10^{16}$ N	$6{,}4 \times 10^{-16}$ N	$1{,}6 \times 10^{-22}$ N
2. Au cours de sa chute libre, la pomme accélère. Le travail du poids : 	est positif.	est négatif.	est nul.
3. Lorsqu'un système en mouvement n'est soumis qu'à des forces qui ne travaillent pas, son énergie cinétique :	augmente.	diminue.	reste constante.

Activité 1 expérimentale

Mouvement dans un champ de pesanteur

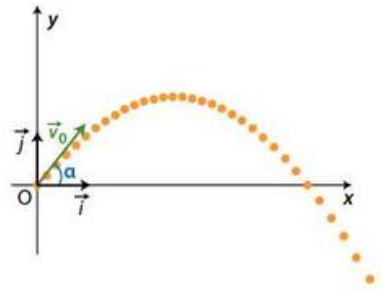
Notions
- Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme
- Équation d'une trajectoire

La pétanque est un jeu qui consiste à lancer une boule le plus près possible du « cochonnet ». Le terrain de jeu est horizontal. Un joueur lance sa boule. Après une trajectoire en cloche, elle retombe sur le sol et roule pour s'arrêter au plus près du cochonnet.



▶ **Objectif de l'activité : Comment établir et exploiter l'équation de la trajectoire d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme ?**

A Pointage d'un lancer de boule de pétanque



PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

On modélise le mouvement d'une boule de pétanque par celui du centre de masse M d'un projectile.

☑ FILMER le mouvement du projectile lors d'un lancer ou utiliser la vidéo fournie.

☑ CHOISIR un repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ dont l'origine correspond à la position initiale de M.

☑ INDIQUER l'échelle de représentation à partir d'un étalon figurant sur l'image.

☑ POINTER les positions consécutives occupées par M au cours du temps.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Coordonnées des vecteurs accélération, vitesse et position d'un point mobile M

- On se place dans un repère cartésien $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ dont l'origine correspond à la position initiale de M.
- Le point mobile est lancé avec la vitesse initiale $\vec{v}_0$ faisant un angle α avec l'horizontale.
- Les actions de l'air sur M sont négligées.

Vecteur accélération de M

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$$

Vecteur vitesse de M

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \times \cos\alpha \\ v_y = -g \times t + v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$$

Vecteur position de M

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t \\ y = -\frac{1}{2} g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t \end{cases}$$

avec g l'intensité de la pesanteur égale à 9,8 $m \cdot s^{-2}$.

Équation de la trajectoire d'un point mobile M

- Dans le repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ choisi, l'équation de la trajectoire est de la forme $y = f(x)$.
- La détermination de l'équation de la trajectoire $y = f(x)$ nécessite d'éliminer le temps en combinant les équations horaires $x = g(t)$ et $y = h(t)$ du mouvement de M.

VIDÉO **Lancer d'une boule de pétanque – QR Code p. 246**

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 a. Mettre en œuvre le PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL permettant de déterminer les coordonnées, dans le repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ choisi, des vecteurs position $\overrightarrow{OM}$, vitesse $\vec{v}$ et accélération $\vec{a}$ du centre de masse M du projectile.

Exploiter des résultats ANA-RAIS

b. Déterminer la valeur v_0 de la vitesse initiale de M, ainsi que l'angle α du lancer.

Discuter un modèle VAL

c. Vérifier, par traitement graphique et en utilisant les fonctionnalités de modélisation du logiciel tableur, que les coordonnées de M sont conformes à celles données dans le COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE.

Effectuer des calculs RÉA

2 Établir, à l'aide du COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE et des équations précédentes, l'équation $y = f(x)$ de la trajectoire de M.

Interpréter des résultats VAL

3 Un joueur veut placer sa boule devant le cochonnet situé à 6,1 m de lui. Il lance la boule depuis une hauteur égale à 1,1 m du sol, avec un angle α égal à 51° et une vitesse initiale de valeur $v_0 = 7{,}7$ $m \cdot s^{-1}$. Le joueur a-t-il réussi son lancer ?

Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux COM

4 Comment établir et exploiter l'équation de la trajectoire d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme ?

Activité numérique 2

Évolution des énergies d'un système en mouvement dans un champ de pesanteur

Notion
- Aspects énergétiques d'un système en mouvement dans un champ uniforme

Au cours d'une partie de pétanque, une boule métallique décrit une trajectoire parabolique. Lors du lancer, le joueur communique de l'énergie à la boule.

► **Objectif de l'activité : Quelles conversions d'énergie ont lieu lors d'un mouvement de chute libre d'un système dans un champ de pesanteur ?**

A Les différentes formes d'énergie d'un système de masse *m*

Énergie cinétique $\mathscr{E}_c$

$$\mathscr{E}_c = \frac{1}{2} m \times v^2$$

(m en kg, v en $m \cdot s^{-1}$, $\mathscr{E}_c$ en J)

avec v la valeur de la vitesse du centre de masse du système.

Énergie potentielle de pesanteur $\mathscr{E}_p$

$$\mathscr{E}_p = m \times g \times z$$

(m en kg, g en $N \cdot kg^{-1}$, $\mathscr{E}_p$ en J, z en m)

avec z l'altitude repérée sur un axe (Oz) orienté vers le haut et g l'intensité de la pesanteur. À l'altitude $z = 0$ m choisie comme référence, $\mathscr{E}_p = 0$ J.

Énergie mécanique $\mathscr{E}_m$

$$\mathscr{E}_m = \mathscr{E}_c + \mathscr{E}_p$$

($\mathscr{E}_m$, $\mathscr{E}_c$ et $\mathscr{E}_p$ en J)

Cette énergie se conserve si le travail des forces non conservatives est nul.

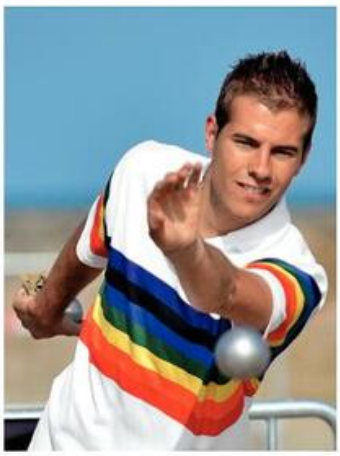
B Programme permettant l'étude énergétique d'un système en mouvement

Un programme informatique en langage python permet de tracer les courbes représentant l'évolution des énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique du système {boule de pétanque} au cours du temps.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

python™

Programme python à télécharger



```
30 v=[]
31 for i in range(len(vx)) :
32    v=v+[(vx[i]**2+vy[i]**2)**0.5]
33 #masse du système en kg
34 m=0.60
35 #intensité de la pesanteur
36 g=9.81
37 #Calcul des énergies
38 Ep=[]
39 for i in range(len(vx)) :
40    Ep=Ep+[m*g*y[i]]
41 Ec=[]
42 for i in range(len(vx)) :
43    Ec=
44 Em=[]
45 for i in range(len(vx)) :
46    Em=Em+[Ep[i]+Ec[i]]
47 plt.show()
```

Simulation numérique

Utiliser un langage de programmation RÉA

1 Compléter la ligne de code masquée permettant de calculer l'énergie cinétique du système.

Interpréter des résultats VAL

2 a. Exécuter le programme python fourni.
b. Justifier l'allure des courbes $\mathscr{E}_p$ et $\mathscr{E}_c$ en fonction du temps.

Interpréter des résultats VAL

3 Déduire des courbes :
a. l'altitude maximale z_{max} atteinte par la boule ;
b. la valeur v_{sol} de la vitesse de la boule lorsqu'elle atteint le sol.

Discuter une hypothèse VAL

4 Discuter l'hypothèse d'une chute libre de la boule.

Interpréter des résultats VAL

5 Un joueur souhaite que sa boule percute directement une boule de son adversaire située sur le sol à 7,0 m de lui. Peut-il réussir son lancer ?

Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux COM

6 Quelles conversions d'énergie ont lieu lors d'un mouvement de chute libre d'un système dans un champ de pesanteur ?

Activité documentaire 3

Accélération de particules chargées

Notions
- Champ électrique créé par un condensateur plan
- Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme

Un accélérateur linéaire permet d'accélérer en ligne droite des particules chargées (électrons, protons, ions). On utilise des accélérateurs linéaires en radiothérapie.

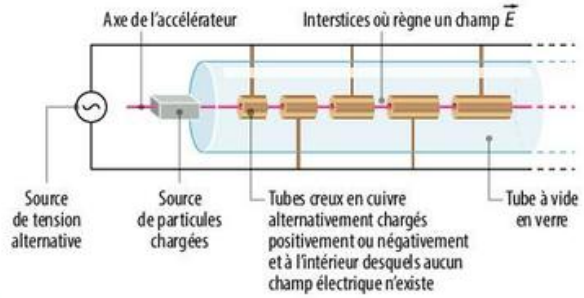
▶ Objectif de l'activité : Quel est le principe de fonctionnement d'un accélérateur linéaire de particules chargées ?



A Fonctionnement d'un accélérateur linéaire

Dans un accélérateur linéaire, les particules chargées sont accélérées à chaque fois qu'elles pénètrent dans un champ électrique convenablement dirigé et orienté.

La fréquence de la tension alternative appliquée entre deux tubes de cuivre consécutifs et la longueur des tubes sont calculées de sorte qu'au passage des particules, le champ électrique, temporairement uniforme, soit convenablement dirigé et orienté.



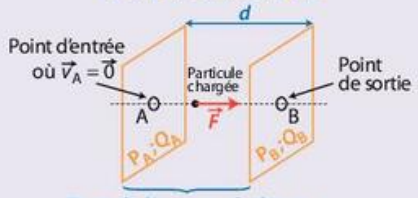
Données
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg.
- Charge d'un électron : $q = -e = -1{,}60 \times 10^{-19}$ C.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Accélération dans un champ électrique uniforme

Un condensateur plan permet d'obtenir un champ électrique uniforme $\vec{E}$ entre ses deux plaques lorsque l'on applique une tension électrique U_{AB} entre les plaques.

Plaques chargées et parallèles d'un condensateur plan



Zone de l'espace où règne un champ électrique $\vec{E}$ uniforme

$\vec{E}$ | **Direction** : perpendiculaire aux plaques
Sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement
Valeur : $E = \dfrac{|U_{AB}|}{d}$ en $\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$

Le travail de la force électrique qui s'exerce sur la particule de charge q et dont le point d'application se déplace de la position A à la position B est : $W_{A\to B}(\vec{F}) = q \times U_{AB}$.

Analyse des documents

Rédiger une explication COM

1 **a.** Préciser la direction et le sens des champs électriques $\vec{E}$ permettant l'accélération d'électrons par un accélérateur de particules (doc. A).
b. Déterminer le signe des charges portées par deux tubes de cuivre consécutifs.

Effectuer des calculs RÉA

2 Les plaques P_A et P_B du condensateur plan du COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE sont séparées de $d = 4{,}0$ m, et $U_{AB} = -1{,}0$ kV.
a. Donner l'expression de la valeur F de la force électrique qui s'exerce sur un électron placé dans le condensateur plan.
b. On néglige le poids de l'électron devant la force électrique qu'il subit. Par application du théorème de l'énergie cinétique, montrer que la vitesse atteinte par un électron à la sortie du condensateur plan a pour valeur : $v_B = \sqrt{\dfrac{2(-e) \times U_{AB}}{m_e}}$.

Faire preuve d'esprit critique VAL

3 En radiothérapie, des accélérateurs linéaires communiquent une grande énergie cinétique à des électrons, afin que ceux-ci provoquent la destruction des cellules cancéreuses visées.
Quel peut être l'intérêt de les accélérer en plusieurs fois comme dans le document A plutôt qu'en une fois avec un seul condensateur plan ?

Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux COM

4 Quel est le principe de fonctionnement d'un accélérateur linéaire de particules chargées ?

Cours

1 Des champs uniformes

A **Champ de pesanteur uniforme**



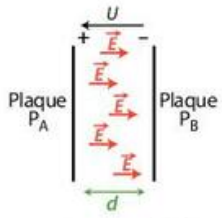
> Si on se déplace peu à la surface de la Terre, $\vec{g}$ est un vecteur constant. À Paris, $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Un **champ vectoriel uniforme** est un champ qui garde, en tout point d'une région de l'espace, la même direction, le même sens et la même valeur.

• Le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ est assimilable au champ de gravitation terrestre au voisinage de la Terre. Il est dirigé suivant la **verticale du lieu**, orienté **vers le bas** et a une **valeur** g qui dépend de l'altitude et de la latitude du lieu considéré (doc. A).

Dans une région de l'espace de **faibles dimensions** par rapport à la Terre, un **champ de pesanteur** $\vec{g}$ peut être considéré comme **uniforme**.

B **Champ électrique créé par un condensateur plan**



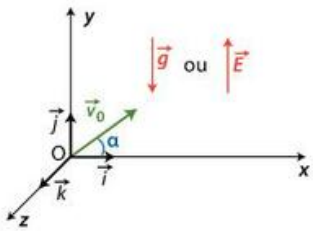
> La valeur de $\vec{E}$ est : $E = \frac{|U|}{d}$.

• Un condensateur plan est constitué de deux plaques conductrices planes, parallèles et séparées d'une distance d (schéma B).

Lorsqu'on applique une tension électrique U entre les plaques d'un **condensateur plan**, elles se chargent électriquement. Il apparaît alors entre elles un **champ électrique** $\vec{E}$ **uniforme** dont les caractéristiques sont :
– direction : perpendiculaire aux plaques ;
– sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement ;
– valeur : d'autant plus élevée que la valeur absolue de la tension U est grande et que la distance d entre les plaques est faible.

2 Le mouvement dans un champ uniforme

C **Situation à l'instant initial**



> $\vec{g}$ est toujours vertical vers le bas ; $\vec{E}$ est choisi ici vertical et vers le haut.

Le système étudié est un point matériel ou le centre de masse M d'un corps. Son mouvement dans un champ uniforme vertical est étudié dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen.
À la date $t = 0$ s, le vecteur vitesse $\vec{v}_0$ du système est contenu dans le plan (Oxy). L'étude se fait dans un repère orthonormé de l'espace $(O ; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ dont l'origine O est par exemple choisie en la position initiale du système (schéma C). On se place dans le cas où le système est **uniquement** soumis à son poids ou à une force électrique.

a. Détermination du vecteur accélération

Le vecteur accélération du système est obtenu par application de la **deuxième loi de Newton**.

Mouvement dans un champ de pesanteur

$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$ soit $m\vec{g} = m\vec{a}$ et ainsi $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur accélération est vertical vers le bas.

Le vecteur accélération a pour coordonnées cartésiennes : $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \\ a_z = 0 \end{cases}$

Mouvement dans un champ électrique vertical

$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$ soit $q\vec{E} = m\vec{a}$ et ainsi $\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$.

Le vecteur accélération est vertical, de même sens que $\vec{E}$ si la charge q est positive, et de sens contraire sinon.

Le vecteur accélération a pour coordonnées cartésiennes : $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{q \times E}{m} \\ a_z = 0 \end{cases}$

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Mouvement dans un champ uniforme

VIDÉO DE COURS

b. Détermination du vecteur vitesse

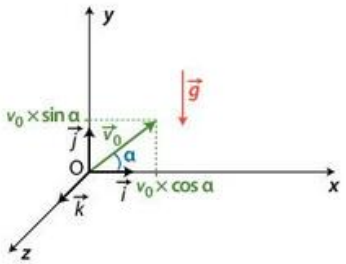
• Puisque le vecteur accélération est la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps, les coordonnées du vecteur vitesse sont obtenues en recherchant les **primitives par rapport au temps** des coordonnées du vecteur accélération.

• Les **constantes d'intégration** apparues dans les primitives sont déterminées à l'aide des **conditions initiales** : les coordonnées du vecteur **vitesse** à l'instant **initial**.

Mouvement dans un champ de pesanteur

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \\ a_z = 0 \end{cases} \xrightarrow{\text{primitive}} \vec{v}\begin{cases} v_x = C_x \\ v_y = -g \times t + C_y \\ v_z = C_z \end{cases}$$

Utilisation des coordonnées de $\vec{v}_0$:



$$\vec{v}_0\begin{cases} v_{x_0} = v_0 \times \cos\alpha = C_x \\ v_{y_0} = v_0 \times \sin\alpha = -g \times 0 + C_y \\ v_{z_0} = 0 = C_z \end{cases}$$

Il vient : $\begin{cases} C_x = v_0 \times \cos\alpha \\ C_y = v_0 \times \sin\alpha \\ C_z = 0 \end{cases}$

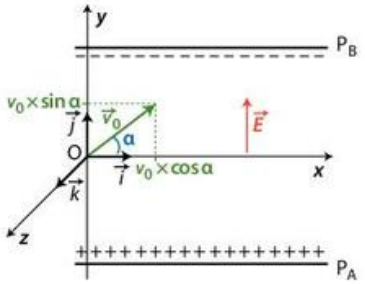
Les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse sont donc :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \times \cos\alpha \\ v_y = -g \times t + v_0 \times \sin\alpha \\ v_z = 0 \end{cases}$$

Mouvement dans un champ électrique vertical

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \dfrac{q \times E}{m} \\ a_z = 0 \end{cases} \xrightarrow{\text{primitive}} \vec{v}\begin{cases} v_x = C_x \\ v_y = \dfrac{q \times E}{m} \times t + C_y \\ v_z = C_z \end{cases}$$

Utilisation des coordonnées de $\vec{v}_0$:



$$\vec{v}_0\begin{cases} v_{x_0} = v_0 \times \cos\alpha = C_x \\ v_{y_0} = v_0 \times \sin\alpha = \dfrac{q \times E}{m} \times 0 + C_y \\ v_{z_0} = 0 = C_z \end{cases}$$

Il vient : $\begin{cases} C_x = v_0 \times \cos\alpha \\ C_y = v_0 \times \sin\alpha \\ C_z = 0 \end{cases}$

Les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse sont donc :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \times \cos\alpha \\ v_y = \dfrac{q \times E}{m} \times t + v_0 \times \sin\alpha \\ v_z = 0 \end{cases}$$

INFO

Rappel des conventions d'écriture

• Fonctions dépendant du temps :

$\vec{v}(t) = \vec{v} = \dfrac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$; $a_y(t) = a_y = \dfrac{dv_y}{dt}$, etc.

• Grandeurs à une date t_i donnée :

$\vec{v}(t_i) = \vec{v}_i = \left(\dfrac{d\overrightarrow{OM}}{dt}\right)_{t_i}$,

$a_y(t_i) = a_{yi} = \left(\dfrac{dv_y}{dt}\right)_{t_i}$, etc.

Au cours du mouvement, la coordonnée v_z est constamment nulle. Le mouvement du système est donc dans le plan contenant le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$.

c. Détermination du vecteur position

• Puisque le vecteur vitesse est la dérivée du vecteur position par rapport au temps, les coordonnées du vecteur position sont obtenues en recherchant les **primitives par rapport au temps** des coordonnées du vecteur vitesse.

• Les **constantes d'intégration** apparues dans les primitives sont déterminées à l'aide des **conditions initiales** : les coordonnées du vecteur **position** à l'instant **initial**.

Mouvement dans un champ de pesanteur

$$\vec{v} \xrightarrow{\text{primitive}} \overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t + D_x \\ y = -\frac{1}{2} g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t + D_y \\ z = D_z \end{cases}$$

Utilisation des coordonnées de $\overrightarrow{OM}_0$:

$$\overrightarrow{OM}_0\begin{cases} x_0 = 0 = v_0 \times \cos\alpha \times 0 + D_x \\ y_0 = 0 = -\frac{1}{2} g \times 0^2 + v_0 \times \sin\alpha \times 0 + D_y \\ z_0 = 0 = D_z \end{cases}$$

Il vient : $\begin{cases} D_x = 0 \\ D_y = 0 \\ D_z = 0 \end{cases}$

Les coordonnées cartésiennes du vecteur position sont :

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t \\ y = -\frac{1}{2} g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t \\ z = 0 \end{cases}$$

Mouvement dans un champ électrique vertical

$$\vec{v} \xrightarrow{\text{primitive}} \overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t + D_x \\ y = \frac{q \times E}{2m} \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t + D_y \\ z = D_z \end{cases}$$

Utilisation des coordonnées de $\overrightarrow{OM}_0$:

$$\overrightarrow{OM}_0\begin{cases} x_0 = 0 = v_0 \times \cos\alpha \times 0 + D_x \\ y_0 = 0 = \frac{q \times E}{2m} \times 0^2 + v_0 \times \sin\alpha \times 0 + D_y \\ z_0 = 0 = D_z \end{cases}$$

Il vient : $\begin{cases} D_x = 0 \\ D_y = 0 \\ D_z = 0 \end{cases}$

Les coordonnées cartésiennes du vecteur position sont :

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t \\ y = \frac{q \times E}{2m} \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t \\ z = 0 \end{cases}$$

z est constamment nulle, ce qui confirme la **planéité** de la trajectoire. Par la suite, on limite l'étude des mouvements dans un champ uniforme ($\vec{g}$ ou $\vec{E}$) à une étude dans un repère à deux dimensions.

d. Détermination de l'équation de la trajectoire

L'équation de la trajectoire d'un système est la **relation mathématique entre ses coordonnées spatiales**. Dans un repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$, elle est obtenue en combinant les équations horaires $x = f(t)$ et $y = g(t)$ de façon à « éliminer » la variable temps des équations.

Mouvement dans un champ de pesanteur

On extrait t de l'expression de $x = f(t)$:

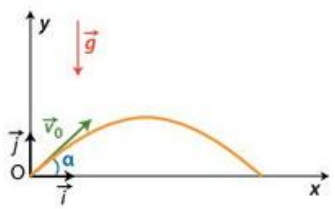
$$t = \frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}$$

On remplace t dans l'expression de $y = g(t)$:

$$y = -\frac{1}{2} g \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}\right)^2 + v_0 \times \sin\alpha \times \frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}$$

La trajectoire du système est donc :

$$y = -\frac{g}{2(v_0 \times \cos\alpha)^2} \times x^2 + \tan\alpha \times x$$



Trajectoire du système partant de la position O dans un champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$

Mouvement dans un champ électrique vertical

On extrait t de l'expression de $x = f(t)$:

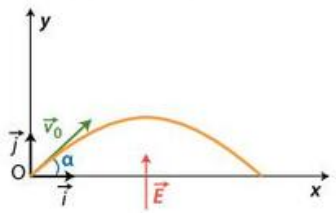
$$t = \frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}$$

On remplace t dans l'expression de $y = g(t)$:

$$y = \frac{q \times E}{2m} \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}\right)^2 + v_0 \times \sin\alpha \times \frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}$$

La trajectoire du système est donc :

$$y = \frac{q \times E}{2m \times (v_0 \times \cos\alpha)^2} \times x^2 + \tan\alpha \times x$$



Trajectoire du système de charge $q < 0$ C partant de la position O dans un champ électrique uniforme $\vec{E}$

INFO

Dans le cas du champ électrique, la concavité de la parabole dépend du signe de la charge électrique q du système et de l'orientation du champ électrique.

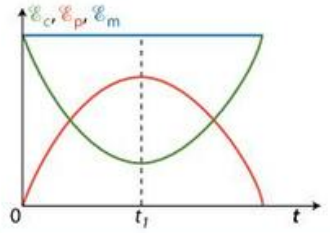
La trajectoire du système est une portion de parabole, dans le **plan** vertical contenant $\vec{v}_0$. Elle dépend des **conditions initiales** (vitesse initiale $\vec{v}_0$ et position initiale $\overrightarrow{OM}_0$).

e. Aspects énergétiques

Le poids et la force électrique sont des forces conservatives.

Lors du mouvement d'un système dans un champ de pesanteur ou électrique uniforme, en l'absence de forces non conservatives, **l'énergie mécanique du système se conserve**. Son énergie cinétique est totalement convertie en énergie potentielle, et inversement.

D **Énergies du système lors d'un mouvement de chute libre**



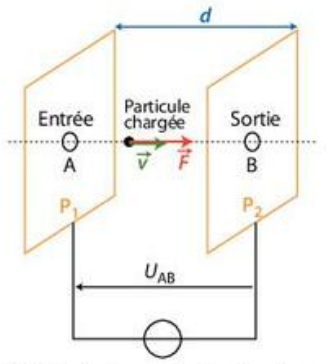
Exemple : Pour un mouvement de chute libre dans un champ de pesanteur uniforme, on peut tracer les énergies du système en fonction du temps (graphique **D**). Ces courbes s'interprètent par :
– une conversion totale d'énergie cinétique $\mathscr{E}_c$ en énergie potentielle de pesanteur $\mathscr{E}_p$ (pour $0 \leqslant t < t_1$) ;
– puis une conversion totale d'énergie potentielle de pesanteur $\mathscr{E}_p$ en énergie cinétique $\mathscr{E}_c$ (pour $t > t_1$).
L'énergie mécanique $\mathscr{E}_m$ du système reste constante au cours du temps.

Le **théorème de l'énergie cinétique** (ou la conservation de l'énergie mécanique du système) permet de calculer des valeurs de vitesse ou la coordonnée verticale du système selon les données disponibles.

f. Principe de fonctionnement d'un accélérateur linéaire de particules

Une particule de charge électrique q placée dans un accélérateur linéaire de particules est accélérée par la force due à un champ électrique uniforme convenablement orienté.

E **Accélération dans un champ uniforme**



À l'échelle des particules chargées (électrons, protons, ions), la valeur du poids peut être négligée devant celle de la force électrique. Le mouvement de la particule aura alors la direction du champ électrique.

- En effet, le travail de la force électrique $\vec{F}$ entre les positions A et B (schéma **E**) est :

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos(\widehat{\vec{F}\,;\overrightarrow{AB}})$$

Avec les données du schéma **E** :
- $AB = d$;
- $(\widehat{\vec{F}\,;\overrightarrow{AB}}) = 0$;
- $F = q \times E = q \times \dfrac{U_{AB}}{d}$.

Il vient :

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = q \times \frac{U_{AB}}{d} \times d$$

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = q \times U_{AB}$$

- Le signe de la tension **électrique** est choisi de sorte que ce travail soit positif. D'après le théorème de l'énergie cinétique appliqué entre les positions A et B, $\mathscr{E}_c$ augmente. Donc la valeur de la vitesse augmente, il y a accélération du système {particule}.

- Un **accélérateur linéaire** permet d'accélérer en ligne droite des particules électriquement **chargées**.
- Cette accélération est la conséquence de l'existence d'un **champ électrique uniforme** ayant :
– pour **direction,** celle de l'axe de l'accélérateur ;
– pour **sens** celui de l'entrée vers la sortie si la charge électrique est positive, le sens contraire si la charge électrique est négative.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Mouvement dans un champ uniforme
QCM
Version interactive

1 Des champs uniformes

Un champ vectoriel **uniforme** est un champ qui garde en tout point d'une région de l'espace :
– la même direction ;
– le même sens ;
– la même valeur.

Champ de pesanteur

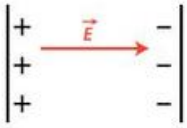
Sur une région de l'espace de faibles dimensions par rapport à la Terre, le champ de pesanteur peut être considéré comme uniforme.



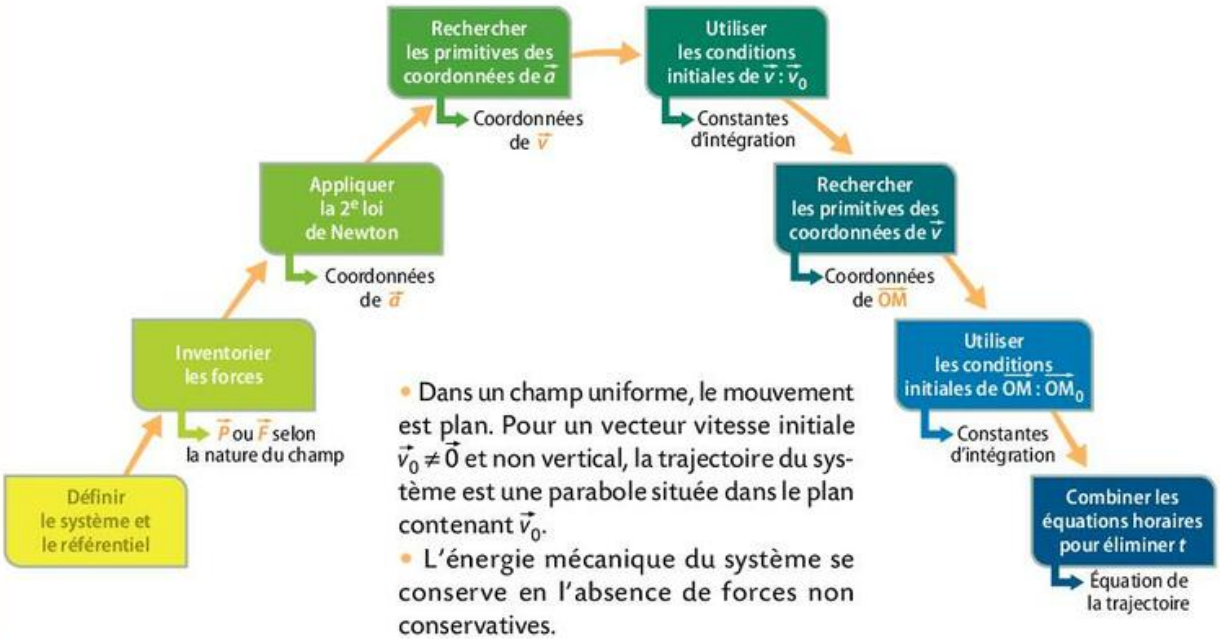
Champ électrique

Le champ électrique entre les plaques d'un condensateur plan chargé est **uniforme.**

$\vec{E}$
- Direction : perpendiculaire aux plaques
- Sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement
- Valeur : d'autant plus élevée qu'entre les plaques la tension est grande et la distance faible



2 Le mouvement dans un champ uniforme



- Dans un champ uniforme, le mouvement est plan. Pour un vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0 \neq \vec{0}$ et non vertical, la trajectoire du système est une parabole située dans le plan contenant $\vec{v}_0$.
- L'énergie mécanique du système se conserve en l'absence de forces non conservatives.

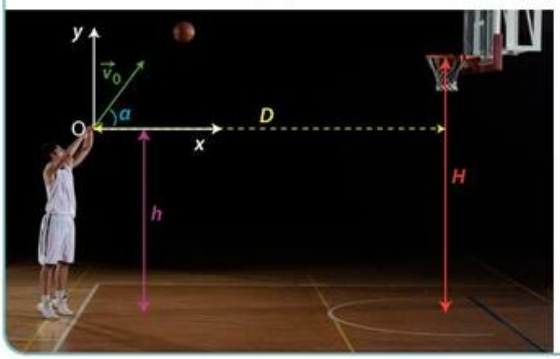
Principe d'un accélérateur linéaire de particules chargées

Un champ électrique **uniforme** $\vec{E}$, de même **direction** que celle du mouvement **rectiligne** de la particule chargée et **convenablement orienté** suivant le signe de la charge, permet d'accélérer linéairement la particule.

QCM

A

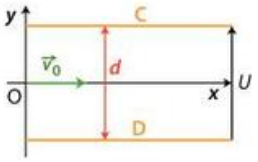
Un ballon de basket est lancé avec la vitesse initiale $\vec{v}_0$ contenue dans le plan (Oxy). On néglige toute autre force que le poids $\vec{P}$ du ballon.



$v_0 = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$\alpha = 40°$
$h = 2{,}2\ \text{m}$
$D = 4{,}6\ \text{m}$
$H = 3{,}05\ \text{m}$

B

Un proton de charge $q = +e$ entre, avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$, entre les plaques C et D d'un condensateur plan où règne un champ électrique $\vec{E}$.



Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

	A	B	C

1 Des champs uniformes

Si erreur, revoir § 1 p. 242

1. Dans la situation A, le vecteur champ de pesanteur est :	horizontal.	vertical vers le haut.	vertical vers le bas.
2. Le champ de pesanteur est uniforme à l'échelle :	d'un terrain de basket.	d'un continent.	de la Terre.
3. Dans un condensateur plan, le champ électrique est :	uniforme.	perpendiculaire aux plaques.	orienté de la plaque positive vers la plaque négative.

2 Le mouvement dans un champ uniforme

Si erreur, revoir § 2 p. 242

4. Dans la situation A, le vecteur accélération $\vec{a}_G$ du centre de masse du ballon est :	horizontal.	vertical vers le haut.	vertical vers le bas.
5. Dans la situation A, à la date $t = 0$ s, la coordonnée horizontale du vecteur vitesse est :	$v_{x_0} = v_0$	$v_{x_0} = v_0 \times \sin\alpha$	$v_{x_0} = v_0 \times \cos\alpha$
6. Dans la situation A, $v_x = v_0 \times \cos\alpha$. Le mouvement horizontal du ballon est :	ralenti.	uniforme.	accéléré.
7. Dans la situation A, $y = -\frac{g}{2(v_0 \times \cos\alpha)^2} \times x^2 + \tan\alpha \times x$. Quand le centre de masse G du ballon a parcouru la distance horizontale D :	$y = 2{,}1$ m	$y = -4{,}3$ m	$y = -0{,}1$ m
8. Dans la situation B, si la plaque C est chargée négativement et D positivement, le proton est :	dévié vers le bas.	dévié vers le haut.	accéléré sans être dévié.
9. Dans un accélérateur linéaire de particules chargées :	le champ électrique $\vec{E}$ est perpendiculaire au vecteur vitesse $\vec{v}$ des particules chargées.	les particules chargées sont déviées.	le champ électrique $\vec{E}$ a la même direction que le vecteur vitesse $\vec{v}$ des particules chargées.

QCM version interactive

Les bons réflexes

Réflexe 1
Dans tous les cas, une étude de mouvement débute par la définition du système et du référentiel, et par l'inventaire des forces exercées sur le système.

Si l'énoncé demande de…	Il est nécessaire de…
Établir les équations horaires du mouvement.	**Réflexe 2** Ex. 18 p. 252 **Écrire** la deuxième loi de Newton pour exprimer l'accélération du système. **Exprimer**, dans le repère choisi, les coordonnées du vecteur accélération du système. **Déterminer** les coordonnées du vecteur vitesse du système en recherchant les primitives qui tiennent compte des conditions initiales sur la vitesse. **Déterminer** les coordonnées du vecteur position du système en recherchant les primitives qui tiennent compte des conditions initiales sur la position.
Établir l'équation de la trajectoire.	**Réflexe 3** Ex. 16 p. 252 **Extraire** le temps t de l'équation horaire ayant la forme mathématique la plus simple. **Remplacer** l'expression de t établie précédemment dans l'autre équation horaire.
Exploiter, dans le cas du mouvement dans un champ uniforme, la conservation de l'énergie mécanique ou le théorème de l'énergie cinétique.	**Réflexe 4** Ex. 20 p. 253 **S'assurer** que le travail des forces non conservatives est nul. **Exploiter** la conservation de l'énergie mécanique entre une position initiale et une position finale pour déterminer la grandeur recherchée. ou **Énoncer** le théorème de l'énergie cinétique dans le référentiel choisi entre une position initiale et une position finale du mouvement du système étudié. **Exploiter** le théorème pour déterminer la grandeur recherchée.

1 Exercice résolu

Le *water jump*

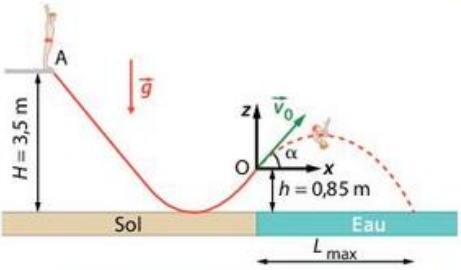
Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; interpréter des formules.

Le *water jump* est une activité au cours de laquelle une personne glisse sur un toboggan mouillé qui se termine par un tremplin. À la sortie du tremplin, elle effectue un saut en chute libre et termine sa course dans l'eau.
Le sol horizontal est choisi comme origine de l'énergie potentielle de pesanteur. La personne est modélisée par son centre de masse G. L'étude de son mouvement est effectuée dans un référentiel terrestre supposé galiléen. On considère que l'action de l'air et les frottements sont négligeables. L'action du toboggan est alors constamment perpendiculaire au vecteur déplacement.

1. La personne part depuis la position A sans vitesse initiale. En utilisant la conservation de l'énergie mécanique, établir l'expression, puis calculer la valeur de sa vitesse en O.

2. On choisit comme origine des dates l'instant où la personne se trouve en O. Établir les équations horaires du mouvement dans le repère $(O ; x, z)$.

3. Établir l'équation de la trajectoire du centre de masse de la personne.





Données
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.
- Masse de la personne : $m = 73$ kg.

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 1.**

Définition du système et du référentiel, et inventaire des forces

1. Le mouvement du système {personne} est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen.
Le système est soumis à son poids et à l'action du toboggan.

- **On utilise le Réflexe 4.**

Vérification du travail des forces non conservatives

Le poids est une force conservative. L'action du toboggan ne travaille pas, car elle est constamment perpendiculaire au vecteur déplacement. Entre les positions A et O, il y a donc conservation de l'énergie mécanique :
$\Delta \mathcal{E}_{m\,A\to O} = \mathcal{E}_{m_O} - \mathcal{E}_{m_A} = 0$ J,
soit $\mathcal{E}_{m_O} = \mathcal{E}_{m_A}$ où $\mathcal{E}_{m_O} = \mathcal{E}_{p_O} + \mathcal{E}_{c_O}$.

Exploitation de la conservation de l'énergie mécanique entre A et O

On cherche v_O, les autres grandeurs étant connues :

$\mathscr{E}_{m_O} = m \times g \times h + \frac{1}{2} m \times v_O^2$ et $\mathscr{E}_{m_A} = m \times g \times H$ car $v_A = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Il vient : $m \times g \times h + \frac{1}{2} m \times v_O^2 = m \times g \times H$ puis $v_O = \sqrt{2g \times (H - h)}$.

$v_O = \sqrt{(2 \times 9{,}81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}) \times (3{,}5 \text{ m} - 0{,}85 \text{ m})} = 7{,}2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

• **On utilise le Réflexe 2.**

Utilisation de la deuxième loi de Newton

Expression des coordonnées du vecteur accélération

Recherche de primitives et utilisation des conditions initiales sur la vitesse

Recherche de primitives et utilisation des conditions initiales sur la position

2. D'après la deuxième loi de Newton : $\Sigma \vec{F} = m\vec{g} = m\vec{a}$, et ainsi $\vec{a} = \vec{g}$.

Dans le repère choisi, le vecteur accélération a pour coordonnées cartésiennes :

$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$ Or $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ donc $\vec{v} \begin{cases} v_x = C_x \\ v_z = -g \times t + C_z \end{cases}$ de plus $\vec{v}_0 \begin{cases} v_{x_0} = v_0 \times \cos\alpha \\ v_{z_0} = v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$

Par identification $\begin{cases} C_x = v_0 \times \cos\alpha \\ C_z = v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$ d'où $\vec{v} \begin{cases} v_x = v_0 \times \cos\alpha \\ v_z = -g \times t + v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$

Or $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}$ donc $\overrightarrow{OG} \begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t + D_x \\ z = -\frac{1}{2} g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t + D_z \end{cases}$ de plus $\overrightarrow{OG}_0 \begin{cases} x_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases}$

Par identification $\begin{cases} D_x = 0 \\ D_z = 0 \end{cases}$ d'où $\overrightarrow{OG} \begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t \\ z = -\frac{1}{2} g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t \end{cases}$

• **On utilise le Réflexe 3.**

Extraction de t de la plus simple équation horaire

Remplacement de t dans l'autre équation horaire

3. On a $x = v_0 \times \cos\alpha \times t$ donc $t = \frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}$.

$z = -\frac{1}{2} g \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos\alpha} \right)^2 + v_0 \times \sin\alpha \times \frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}$

soit $z = -\frac{g}{2(v_0 \times \cos\alpha)^2} \times x^2 + \tan\alpha \times x$.

$z(x)$ est de la forme $z(x) = Ax^2 + Bx + C$: le mouvement est parabolique.

Côté maths 6 : Déterminer la primitive d'une fonction

Côté maths

On considère la fonction f définie pour tout x par $f(x) = 5$.

1. Déterminer la fonction F_1, primitive de la fonction f, qui vérifie $F_1(0) = 2$.

2. Déterminer la fonction F_2, primitive de la fonction F_1, qui vérifie $F_2(0) = 0$.

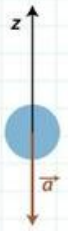
Méthode

1. On recherche les fonctions F_1 telles que $F'_1(x) = 5$.
Les fonctions de la forme $F_1(x) = 5x + B$ le vérifient.
Comme $F_1(0) = 2$, il vient : $F_1(0) = 5 \times 0 + B = 2$, donc $B = 2$.
La fonction F_1 est définie par : $F_1(x) = 5x + 2$.

2. On recherche les fonctions F_2 telles que $F'_2(x) = 5x + 2$.
Les fonctions de la forme $F_2(x) = 2{,}5x^2 + 2x + C$ le vérifient.
Comme $F_2(0) = 0$, il vient : $F_2(0) = 2{,}5 \times 0^2 + 2 \times 0 + C = 0$, donc $C = 0$.
La fonction F_2 est définie par : $F_2(x) = 2{,}5x^2 + 2x$.

Côté physique & chimie

La coordonnée a_z de l'accélération d'une balle lâchée sans vitesse initiale est $-10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
À l'instant initial, la balle est située en une position de coordonnée $z = 2{,}0$ m.



1. Exprimer la coordonnée v_z du vecteur vitesse de cette balle.

2. Exprimer la coordonnée z de son vecteur position.

Méthode

1. La coordonnée v_z de la vitesse est la primitive de celle a_z de l'accélération par rapport au temps : $v_z = -10t + C_1$.
Comme à $t_0 = 0$ s, $v_z(0) = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, il vient :
$v_z(0) = -10 \times 0 + C_1 = 0$, donc $C_1 = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
La coordonnée v_z a pour expression : $v_z = -10t$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$).

2. La coordonnée z du vecteur position est la primitive de celle v_z de la vitesse par rapport au temps : $z = -5t^2 + C_2$.
Comme à $t_0 = 0$ s, $z(0) = 2{,}0$ m, il vient :
$z(0) = -5 \times 0^2 + C_2 = 2{,}0$ m, donc $C_2 = 2{,}0$ m.
La coordonnée z a pour expression : $z = -5t^2 + 2{,}0$ (m).

À retenir !

Soit F et f deux fonctions définies sur un intervalle I.
La fonction F est une primitive de f sur I si : $\forall x \in I, F'(x) = f(x)$.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Discuter de l'influence des grandeurs physiques sur les caractéristiques du champ électrique créé par un condensateur plan.	6	31	
Établir et exploiter les équations horaires du mouvement.	18	30	36
Établir l'équation de la trajectoire.	16	30	36
Exploiter la conservation de l'énergie mécanique ou le théorème de l'énergie cinétique dans un champ uniforme.	20 24	34	36
Capacité mathématique : déterminer la primitive d'une fonction, utiliser la représentation paramétrique d'une courbe.		29 30	36

1 Des champs uniformes

2 Reconnaître un champ vectoriel uniforme (1) CORRIGÉ

Exploiter des informations.

Le tableau ci-dessous regroupe les caractéristiques de trois champs vectoriels en fonction de leur position dans l'espace.

	Champ 1	Champ 2	Champ 3
Direction	Constante	Variable	Constante
Sens	Constant	Variable	Constant
Valeur	Variable	Constante	Constante

- Lequel est un champ vectoriel uniforme ?

3 Reconnaître un champ vectoriel uniforme (2)

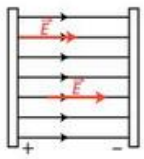
Mobiliser et organiser ses connaissances.

Voici la cartographie de quatre champs vectoriels.

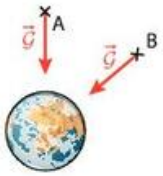
a Champ électrique dû à une charge ponctuelle



b Champ électrique entre les armatures d'un condensateur plan



c Champ gravitationnel terrestre



d Champ de pesanteur terrestre dans l'espace de la photographie



- Identifier le(s) champ(s) uniforme(s).

4 Caractériser le champ de pesanteur terrestre (1) CORRIGÉ

Mobiliser ses connaissances.

1. Donner la direction et le sens du champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$.

2. Pourquoi le champ de pesanteur terrestre est-il uniforme dans une région de l'espace de faibles dimensions ?

5 Caractériser le champ de pesanteur terrestre (2)

Exploiter une formule.

Le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ est assimilable au champ de gravitation terrestre $\vec{\mathcal{G}}$ au voisinage de la Terre.

- Calculer la valeur g du champ de pesanteur terrestre en un point situé à la surface de la Terre proche de l'équateur.

Données

- Valeur du champ de gravitation terrestre à la surface de la Terre : $\mathcal{G} = G \times \frac{M_T}{R_T^2}$.
- Rayon terrestre à l'équateur : $R_T = 6\,378$ km.
- Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.

6 Étudier le champ électrique entre les armatures d'un condensateur plan CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

Entre les plaques A et B d'un condensateur plan reliées à un générateur de tension continue, règne un champ électrique uniforme de valeur $E = 1{,}0 \times 10^4\ N \cdot C^{-1}$. Les plaques sont distantes de $d = 10{,}0$ cm.

1. Calculer la valeur absolue $|U_{AB}|$ de la tension appliquée entre les plaques.

2. Comment varie la valeur du champ électrique si la distance entre les plaques augmente ?

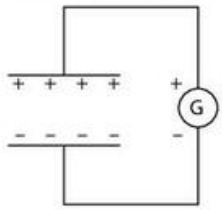
Donnée

Valeur du champ électrique $\vec{E}$: $E = \frac{|U_{AB}|}{d}$.

7 Caractériser le champ électrique entre les armatures d'un condensateur plan

| Construire des vecteurs.

On a représenté ci-dessous les armatures d'un condensateur plan reliées aux bornes d'une source de tension continue. Les plaques sont distantes de $d = 20{,}0$ cm et la source impose une tension U de 10 kV.



1. Déterminer les caractéristiques (direction, sens et valeur) du champ électrique $\vec{E}$ qui règne entre les plaques.

2. Représenter le vecteur $\vec{E}$ en différentes positions entre les armatures, sans souci d'échelle mais avec cohérence.

Donnée

Valeur du champ électrique $\vec{E}$: $E = \dfrac{|U|}{d}$.

2 Le mouvement dans un champ uniforme

VIDÉO DE COURS **Mouvement dans un champ uniforme** QR Code p. 246

8 Représenter un vecteur accélération

CORRIGÉ

| Faire un schéma adapté.

Les coordonnées cartésiennes du vecteur accélération d'un point matériel M dans un repère orthonormé $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ lié à un référentiel terrestre sont :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \\ a_y = 7{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \end{cases}$$

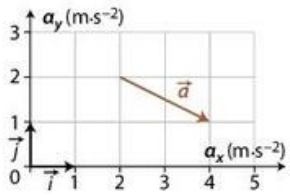
1. Représenter ce vecteur accélération dans le repère choisi.

2. Calculer la valeur a de l'accélération de M.

9 Déterminer les coordonnées d'un vecteur accélération

| Exploiter un graphique.

On a représenté ci-dessous le vecteur accélération d'un point mobile M en mouvement plan dans un champ de pesanteur uniforme.



1. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}$ de M dans le repère orthonormé $(O ; \vec{i}, \vec{j})$.

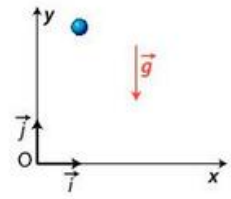
2. Calculer la valeur a de l'accélération de M.

10 Exprimer le vecteur accélération (1)

CORRIGÉ

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

On étudie le mouvement du centre de masse d'une bille dans un champ de pesanteur uniforme.



Le mouvement de cette bille, soumise uniquement à son poids, est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen auquel on associe le repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$.

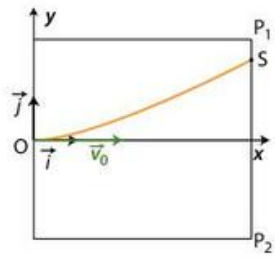
1. À l'aide de la deuxième loi de Newton, exprimer le vecteur accélération du centre de masse de la bille.

2. Déterminer ses coordonnées cartésiennes.

11 Exprimer le vecteur accélération (2)

| Exploiter un schéma.

Un positon, particule de charge e et de masse m, pénètre dans un champ électrique uniforme créé entre les deux plaques P_1 et P_2 d'un condensateur plan. On suppose que le positon n'est soumis qu'à la seule force électrique $\vec{F}$. Son mouvement est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen.



1. Représenter sur le schéma le vecteur champ électrique pour que le positon suive la trajectoire orange.

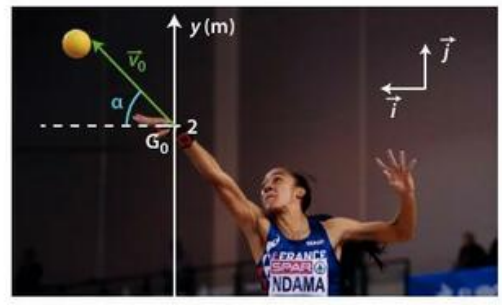
2. En appliquant la deuxième loi de Newton, exprimer le vecteur accélération du positon assimilé à un corps ponctuel et déterminer ses coordonnées cartésiennes.

12 Exprimer les conditions initiales

CORRIGÉ

| Exploiter des informations.

Une athlète lance un poids, assimilé à un point matériel, dans un champ de pesanteur uniforme. On représente ci-dessous la situation du lancer à la date $t = 0$ s.



1. Dans quel référentiel le mouvement du poids est-il étudié ?

2. Exprimer les coordonnées cartésiennes du vecteur position initiale $\overrightarrow{OG_0}$ et celles du vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$ du poids.

Utiliser le réflexe 1

Exercices — Appliquer le cours

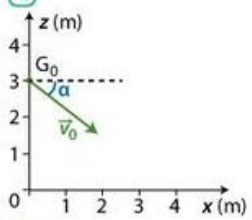
13 Identifier les conditions initiales

| Interpréter des formules.

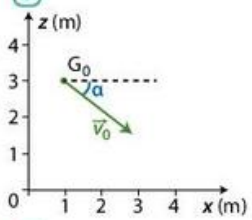
Parmi les schémas proposés ci-dessous, le(s)quel(s) tradui(sen)t les conditions initiales suivantes :

$$\vec{v}_0 \begin{cases} v_{x_0} = v_0 \times \cos\alpha \\ v_{z_0} = -v_0 \times \sin\alpha \end{cases} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{OG}_0 \begin{cases} x_0 = 1\,\text{m} \\ z_0 = 3\,\text{m} \end{cases}$$

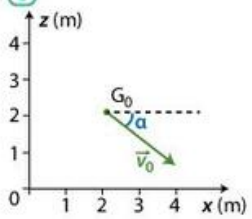
a



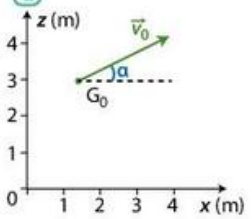
b



c



d



14 Exprimer le vecteur vitesse

CORRIGÉ

| Interpréter des équations.

Les coordonnées cartésiennes du vecteur accélération d'un point matériel M dans un repère orthonormé $(O ; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ lié à un référentiel terrestre sont :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} \\ a_y = 6{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} \\ a_z = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} \end{cases}$$

1. Déterminer les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse de M dans le cas où le vecteur vitesse initiale a pour coordonnées $\vec{v}_0 \begin{cases} v_{x_0} = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \\ v_{y_0} = 5{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \\ v_{z_0} = 7{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \end{cases}$

2. Montrer que le mouvement du point M est plan.

15 Exprimer le vecteur position

| Effectuer des calculs.

Une boule de pétanque est lancée dans un champ de pesanteur uniforme. À l'instant initial, son centre de masse P coïncide avec l'origine du repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$. Dans ce repère, les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse du point P, exprimées en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, sont :

$$\vec{v} \begin{cases} v_x = 6{,}0 \\ v_y = -9{,}81t - 6{,}0 \end{cases}$$

1. Déterminer les coordonnées cartésiennes du vecteur position $\overrightarrow{OP}_0$ à la date $t = 0$ s.

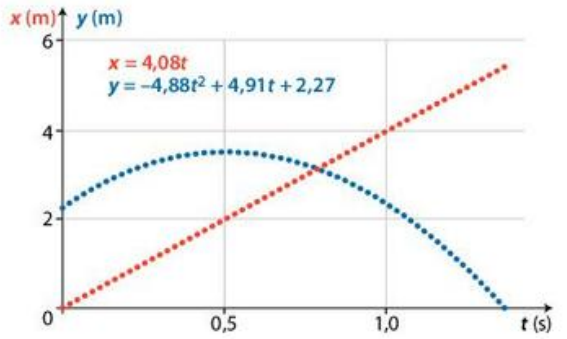
2. Établir les coordonnées cartésiennes de $\overrightarrow{OP}$.

16 Établir l'équation de la trajectoire

CORRIGÉ

| Effectuer des calculs.

Le graphique ci-dessous représente l'abscisse x et l'ordonnée y du centre de masse G d'une balle au cours du temps. Les équations horaires sont précisées sur le graphique.



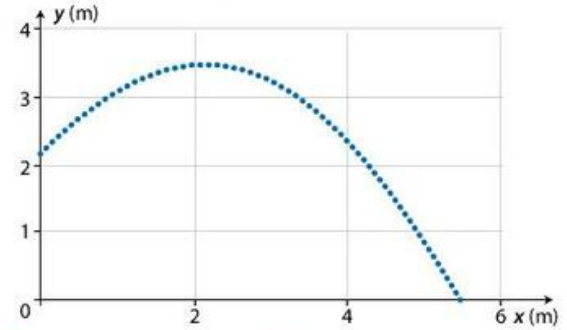
- Établir l'équation cartésienne de la trajectoire de G.

Utiliser le réflexe 3

17 Identifier l'équation d'une trajectoire

| Faire preuve d'esprit critique.

- Choisir l'équation de la trajectoire de la balle étudiée ci-dessous, avec x et y en mètre, et t en seconde.



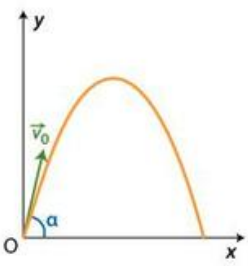
a $y = -0{,}304x^2 + 1{,}26x$ b $y = -0{,}304x^2 + 1{,}26x + 2{,}21$
c $y = -0{,}304t^2 + 1{,}26t + 2{,}21$

18 Établir les équations horaires (1)

CORRIGÉ

| Effectuer des calculs.

Au cours d'un match de rugby, un joueur réalise une chandelle.
On se place dans un référentiel terrestre supposé galiléen. On négligera toutes les actions dues à l'air.
À l'instant $t = 0$ s, le ballon, assimilé à un point matériel, est à l'origine du repère, et le vecteur vitesse initiale du ballon fait un angle α avec l'axe horizontal Ox. Le graphique ci-dessus représente la trajectoire du ballon dans le repère choisi.



Les coordonnées cartésiennes du vecteur accélération du ballon, exprimées en $m \cdot s^{-2}$, sont : $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$

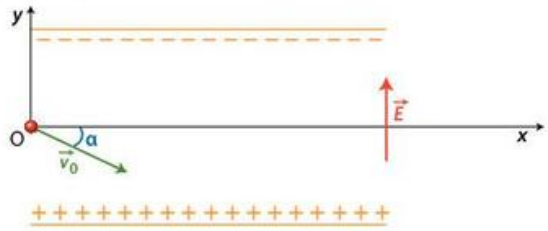
1. Établir les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{v}$ du ballon.
2. Montrer que les équations horaires du mouvement sont : $x = v_0 \times \cos\alpha \times t$ et $y = -\frac{1}{2} g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t$.

Utiliser le réflexe 2

19 Établir les équations horaires (2)

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

Un positon, particule de charge e et de masse m, pénètre, à $t = 0$ s, dans un champ électrique uniforme avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$. On assimile le positon à un corps ponctuel G soumis uniquement à la force électrique, et on étudie son mouvement dans un référentiel terrestre supposé galiléen.



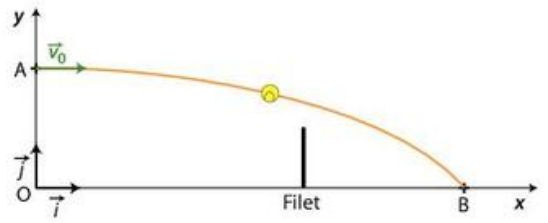
1. Exprimer les coordonnées cartésiennes du vecteur position $\overrightarrow{OG}_0$ et celles du vecteur vitesse $\vec{v}_0$ à $t = 0$ s.
2. Utiliser la deuxième loi de Newton pour exprimer le vecteur accélération $\vec{a}$ du positon.
3. En déduire les coordonnées cartésiennes des vecteurs accélération, vitesse et position du positon.

20 Appliquer la conservation de l'énergie (1)

CORRIGÉ

| Effectuer des calculs.

Pour servir au tennis, un joueur placé en O lance une balle verticalement et la frappe en A à une hauteur $H = 2{,}7$ m au-dessus du sol.
La balle part avec une vitesse horizontale de valeur $v_0 = 126$ km $\cdot$ h^{-1} dans un référentiel terrestre supposé galiléen. De masse m, elle n'est soumise qu'à son poids.



1. L'énergie mécanique de la balle est-elle constante ?
2. Montrer que l'expression de la valeur v_B de la vitesse de la balle lorsqu'elle touche le sol s'écrit :

$$v_B = \sqrt{v_0^2 + 2g \times H}$$

3. Calculer cette valeur.

Utiliser le réflexe 4

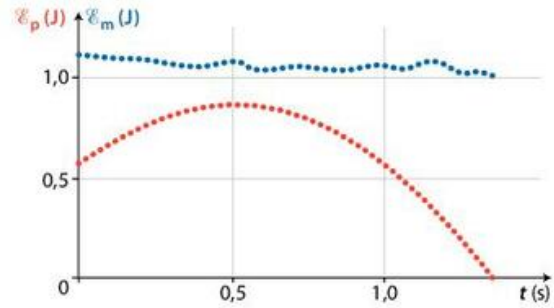
Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m $\cdot$ s^{-2}.

21 Appliquer la conservation de l'énergie (2)

| Exploiter un graphique.

L'étude énergétique de la chute libre d'une balle de masse $m = 25$ g considérée comme ponctuelle dans un champ de pesanteur conduit aux graphiques suivants :



1. Justifier que l'énergie mécanique de la balle se conserve.
2. Calculer la hauteur initiale de la balle.
3. Déterminer l'énergie cinétique de la balle à $t = 0$ s.

Données

- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m $\cdot$ s^{-2}.
- L'énergie potentielle de pesanteur est nulle au niveau du sol.

22 Utiliser les équations horaires (1)

CORRIGÉ

| Utiliser un modèle pour prévoir.

Dans un référentiel terrestre supposé galiléen, l'étude du mouvement du centre de masse G d'un projectile conduit aux coordonnées cartésiennes :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = 5{,}0 \times \cos(50°) \\ v_y = -9{,}8t + 5{,}0 \times \sin(50°) \end{cases}$$

$$\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = 5{,}0 \times \cos(50°) \times t \\ y = -\frac{1}{2} \times 9{,}8t^2 + 5{,}0 \times \sin(50°) \times t \end{cases}$$

1. Écrire les coordonnées cartésiennes des vecteurs vitesse et position de G à la date $t = 0$ s.
2. À quelle date t_S le vecteur vitesse est-il horizontal ?
3. Déterminer l'altitude atteinte par G à cette date.

23 Utiliser les équations horaires (2)

| Effectuer des calculs.

On étudie, dans un référentiel supposé galiléen, le mouvement d'un cation de masse m et de charge 2e placé entre les plaques chargées d'un condensateur plan.
On suppose que le poids du cation est négligeable devant la force électrique qu'il subit.
On obtient :

$$\overrightarrow{OG}\begin{cases} x = v_0 \times t \\ y = \frac{e}{m} \times E \times t^2 \end{cases}$$

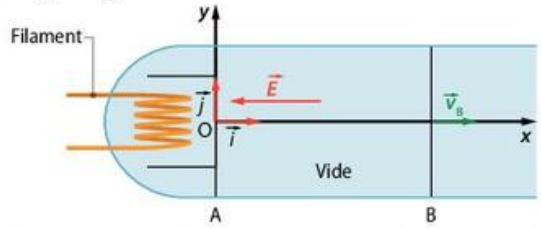
1. Établir l'équation cartésienne de la trajectoire du cation.
2. Déterminer l'ordonnée y_S du cation quand il a parcouru la distance horizontale d.

24 Utiliser le théorème de l'énergie cinétique (1)

CORRIGÉ

Interpréter une formule.

Le filament d'un canon à électrons émet des électrons avec une vitesse initiale de valeur négligeable. Ils sont ensuite accélérés à l'intérieur d'un condensateur plan dont les armatures A et B sont verticales. On néglige le poids de l'électron devant la force électrique. Le référentiel d'étude est supposé galiléen.



1. Montrer, en appliquant le théorème de l'énergie cinétique, que l'expression de la valeur v_B de la vitesse en B est $v_B = \sqrt{\dfrac{-2e \times U_{AB}}{m_e}}$.

2. Comment faut-il modifier la tension appliquée entre les plaques pour que cette valeur de la vitesse augmente ?

Donnée

Travail de la force électrique lors du déplacement d'une particule de charge q entre les positions A et B : $W_{A\to B}(\vec{F}) = q \times U_{AB}$.

25 Utiliser le théorème de l'énergie cinétique (2)

Effectuer des calculs.

Un ion Mg^{2+} est produit dans la chambre d'ionisation d'un spectromètre de masse.

Cet ion pénètre en position A, avec une vitesse initiale de valeur négligeable, dans un champ électrique uniforme entre deux armatures planes parallèles. Il est accéléré jusqu'à la position B où il atteint une vitesse de valeur $v_B = 5{,}61 \times 10^5\ m \cdot s^{-1}$.

On étudie le mouvement de cet ion assimilé à un corps ponctuel G dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen.

On néglige le poids de l'ion Mg^{2+} devant la force électrique à laquelle il est soumis entre les positions A et B du condensateur plan.

1. Exprimer la variation de l'énergie cinétique de l'ion Mg^{2+} entre les positions A et B.

2. Appliquer le théorème de l'énergie cinétique pour exprimer la masse de l'ion Mg^{2+}. La calculer.

Données

- Tension appliquée entre les deux armatures : $U = 20$ kV.
- Charge élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.
- Travail de la force électrique lors du déplacement d'une particule de charge q entre les positions A et B : $W_{A\to B}(\vec{F}) = q \times U_{AB}$

Exercices S'entraîner

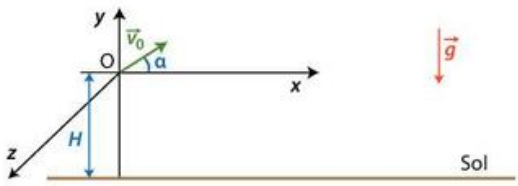
26 Vrai/Faux

Argumenter.

À chaque affirmation, répondre par vrai ou par faux en justifiant le choix à l'aide de résultats de cours.

On considère un projectile de masse m évoluant dans un champ de pesanteur uniforme. Il est lancé à la date $t = 0$ s d'une position O, origine du repère $(O ; x, y, z)$. Le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$ fait un angle α avec l'horizontale.

On se place dans un référentiel terrestre supposé galiléen. On néglige l'action de l'air.



1. Affirmation : le vecteur accélération $\vec{a}$ du centre de masse G du projectile ne dépend pas des conditions initiales.

2. Affirmation : le mouvement du projectile est plan.

3. Affirmation : la trajectoire du centre de masse G du projectile est parabolique quelle que soit la valeur de α.

4. Affirmation : pour un lancer horizontal, l'abscisse de son point de chute est $x = v_0 \times \sqrt{\dfrac{2H}{g}}$.

27 Le SLAC (Stanford Linear Accelerator Center)

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

Le plus grand accélérateur linéaire d'électrons au monde est celui de Stanford aux États-Unis.



Dans cet accélérateur, photographié ci-dessus, l'énergie communiquée aux électrons est 15,6 MeV · m^{-1}.

- Évaluer, en GeV, l'énergie acquise par un électron à la sortie du SLAC, puis la valeur de sa vitesse.

Données

- Masse d'un électron : $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg.
- 1 eV $= 1{,}6 \times 10^{-19}$ J.

28 Comment améliorer la performance d'un tir ?

Utiliser un modèle pour prévoir ; effectuer des calculs.

L'artillerie a contribué, par son développement, à la fin de la guerre de Cent Ans.

1. On étudie la trajectoire du centre de masse G d'un boulet de canon dans un référentiel terrestre considéré comme galiléen auquel on associe le repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$. L'origine des dates est choisie à l'instant où le boulet part du point O. Les actions de l'air sur le boulet sont négligées.
Le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$ est incliné d'un angle α, appelé angle de tir, par rapport à l'horizontale.

a. Déterminer l'expression du vecteur accélération du centre de masse du boulet lors du mouvement.

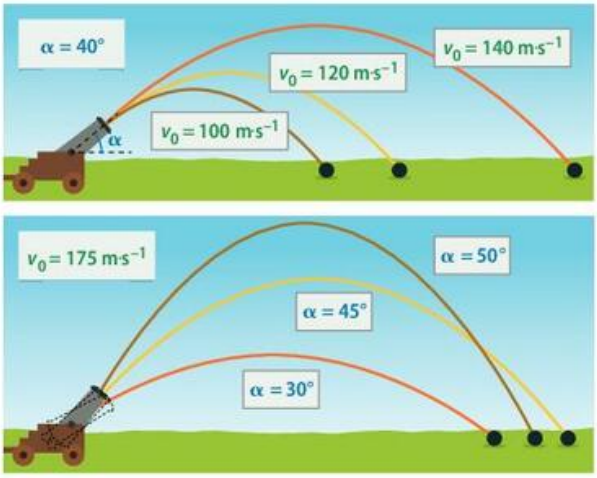
b. Montrer que les équations horaires du mouvement s'expriment sous la forme :

$$x = v_0 \times \cos\alpha \times t \text{ et } y = -\frac{1}{2} g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t$$

c. Établir l'équation de la trajectoire du boulet.

d. Quelle est l'expression de l'abscisse d du boulet, encore appelée « portée », lorsqu'il repasse par la même altitude qu'à l'instant initial ?

2. Pour améliorer la performance de son tir, un artilleur décide d'étudier l'influence de la valeur v_0 de la vitesse initiale du lancer et de l'angle de tir α. Ses résultats sont schématisés ci-dessous.



a. À partir des figures proposées, indiquer comment évolue la portée du tir en fonction des paramètres testés.

b. Dans quelles conditions, parmi celles testées, l'artilleur obtient-il la plus grande portée ?

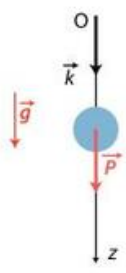
Côté maths

Côté maths 6, p. 249

29 Déterminer des primitives

CORRIGÉ

Une bille de masse $m = 3{,}00 \times 10^{-2}$ g est lâchée sans vitesse initiale. Son mouvement de chute verticale est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen. À l'instant initial, la bille est à l'origine du repère. On suppose que les actions dues à l'air sont négligées.



1. Appliquer la deuxième loi de Newton pour montrer que l'accélération de la bille a pour coordonnée $a_z = g$.

2. Déterminer la coordonnée cartésienne v_z du vecteur vitesse de la bille.

3. Déterminer la coordonnée cartésienne z du vecteur position de la bille.

30 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Service au tennis

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; interpréter des résultats.



À l'instant $t = 0$ s, Ashleigh Barty frappe une balle de tennis à une hauteur $h = 2{,}80$ m.
Elle donne à cette balle une vitesse initiale $\vec{v}_0$ orientée vers le bas, qui fait un angle α égal à 6,0° avec l'horizontale.
Le mouvement du centre de masse B de la balle de tennis est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen auquel on associe le repère $(O ; \vec{i}, \vec{j})$.
Dans l'étude qui suit, on suppose que la balle est frappée sans effet et que toutes les actions dues à l'air sont négligées.

1. Schématiser la situation.

2. Établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du centre de masse B de la balle.

3. Montrer que les équations horaires du mouvement de ce centre de masse B sont :

$$x = v_0 \times \cos\alpha \times t \text{ et } y = -\frac{1}{2} g \times t^2 - v_0 \times \sin\alpha \times t + h$$

4. Montrer que l'équation de la trajectoire du point B s'écrit :

$$y = -\frac{g}{2(v_0 \times \cos\alpha)^2} \times x^2 - \tan\alpha \times x + h$$

5. La balle passe-t-elle au-dessus du filet ?

Données

- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ m·s^{-2}.
- Distance ligne de fond de court-filet : $L = 11{,}90$ m.
- Hauteur du filet : $H = 0{,}92$ m.
- Valeur de la vitesse initiale : $v_0 = 47{,}0$ m·s^{-1}.

Critères de réussite

Rigueur dans les calculs	
J'ai respecté les notations des vecteurs (avec des flèches) et des coordonnées (sans flèche).	☐ ☐
J'ai vérifié l'homogénéité des expressions littérales.	☐ ☐
Justification des réponses	
J'ai justifié mon choix à la question 5.	☐ ☐
J'ai rédigé les réponses.	☐ ☐

31 Python

Trajectoire d'une particule chargée

Utiliser un langage de programmation.

Une particule de charge q arrive, à l'instant $t = 0$ s, en une position O dans un champ électrique $\vec{E}$ uniforme. Elle pénètre dans ce champ avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ faisant un angle α avec l'horizontale.

La particule, qui peut être un électron, un positon ou un proton, est supposée ponctuelle. Elle est soumise à la seule force électrique $\vec{F}$. Son mouvement est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen.

La valeur du champ électrique peut varier de $1{,}0 \times 10^4$ à $3{,}0 \times 10^4$ V·m^{-1}. La valeur de la vitesse initiale peut varier de $1{,}0 \times 10^7$ à $3{,}0 \times 10^7$ m·s^{-1}. L'angle α est compris entre -90 et $90°$.

Un programme en langage python permet de tracer la trajectoire d'une particule entre les plaques d'un condensateur plan chargé.

PROGRAMME Python – QR Code p. 246

1. Dans un condensateur plan, quelles grandeurs faut-il modifier pour faire varier la valeur du champ électrique ?

2. Comment la trajectoire d'un électron évolue-t-elle pour $\alpha = 0°$, lorsque la valeur :

a. de la vitesse initiale augmente ?

b. du champ électrique diminue ?

3. Quelle est l'influence du signe de la charge sur la trajectoire d'une particule ?

4. Ces observations sont-elles en accord avec l'équation de la trajectoire d'une particule donnée par la relation suivante ?

$$y = \frac{q \times E}{2m \times (v_0 \times \cos\alpha)^2} \times x^2 + \tan\alpha \times x$$

5. Quel doit être l'angle α pour qu'un proton de vitesse initiale $v_0 = 2{,}0 \times 10^7$ m·s^{-1} placé dans un champ électrique de valeur $E = 2{,}0 \times 10^4$ V·m^{-1} atteigne la plaque supérieure ?

Données

- Charge élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C.
- Pour le positon : $m_{po} = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg ; $q_{po} = +e$.
- Pour l'électron : $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ kg ; $q_e = -e$.
- Pour le proton : $m_{pr} = 1{,}7 \times 10^{-27}$ kg ; $q_{pr} = +e$.

32 Penalty in rugby

Pratiquer une langue vivante étrangère.

A rugby player attempts a penalty from 38 metres in front of the posts.

We are interested in the movement of the center of mass G of the ball.

Air friction on the ball is neglected.

At time $t = 0$ s, he gives the ball a speed v_0 of 21 m·s^{-1} with an angle $\alpha = 55°$ to the horizontal axis.



1. Determine the coordinates of the acceleration, velocity and position vectors of G.

2. Establish the equation of the ball's trajectory.

3. Does the ball pass over the cross-bar at height $h = 3.0$ metres over the ground?

Data

$g = 9.81$ m·s^{-2}.

33 À chacun son rythme

L'expérience de J. J. Thomson

Mobiliser et organiser ses connaissances ; rédiger une explication.

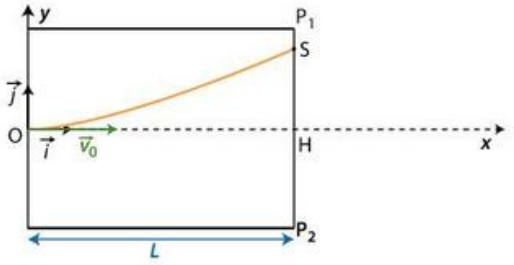
Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Au XIXe siècle, un défi pour les scientifiques est de déterminer les caractéristiques de l'électron : sa charge électrique $-e$ et sa masse m_e.

Joseph John Thomson conçoit un dispositif dans lequel un faisceau d'électrons est dévié lors de son passage entre deux plaques où règne un champ électrique. La mesure de la déviation du faisceau d'électrons lui permet alors de déterminer le rapport $\frac{e}{m_e}$.

À l'instant $t = 0$ s, l'électron arrive en un point O avec une vitesse horizontale $\vec{v}_0$.

L'électron, supposé ponctuel, est soumis à la seule force électrique $\vec{F}$. Son mouvement est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen. La trajectoire de l'électron dans un repère $(O ; x, y)$ est représentée sur le schéma ci-dessous :



À la sortie de la zone entre les plaques P_1 et P_2, l'électron a subi une déviation verticale HS comme indiqué ci-dessus.

Énoncé compact

Calculer le rapport $\frac{e}{m_e}$ à partir de l'équation de la trajectoire de l'électron.

Énoncé détaillé

1. Exprimer la force électrique qui s'applique sur l'électron.

2. En utilisant la deuxième loi de Newton, déterminer les équations horaires du mouvement de l'électron.

3. Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire de l'électron.

4. Calculer le rapport $\frac{e}{m_e}$.

Données

- Longueur des plaques : $L = 9{,}0 \times 10^{-2}$ m.
- Valeur de la vitesse initiale de l'électron : $v_0 = 2{,}4 \times 10^7$ m·s^{-1}.
- Valeur du champ électrique : $E = 1{,}6 \times 10^4$ V·m^{-1}.
- Hauteur atteinte par l'électron à la sortie des plaques : $HS = 2{,}0 \times 10^{-2}$ m.

34 CORRIGÉ Émission de rayons X par collision avec des électrons

Mobiliser et organiser ses connaissances

Les rayons X, découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm Conrad RÖNTGEN, sont des ondes électromagnétiques utilisées principalement en imagerie médicale (radiologie) et en cristallographie (étude des substances cristallines).

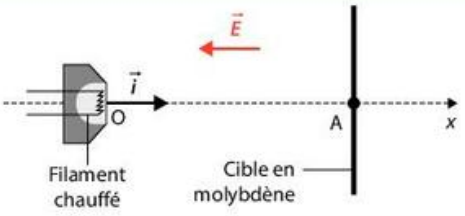
Les rayons X sont produits dans des dispositifs appelés tubes de Coolidge dont le premier exemplaire est fabriqué en 1913.

Dans ce dispositif, des électrons sont émis par un filament chauffé par effet Joule. Ils sont ensuite accélérés sous l'effet d'un champ électrique uniforme $\vec{E}$ et dirigés vers une cible de molybdène, métal de symbole Mo.

Ce champ est obtenu grâce à une tension électrique U_{OA} d'environ −50 kV imposée entre le filament chauffé et la cible.

Lorsque les électrons atteignent la cible de molybdène, ils interagissent avec le métal pour produire les rayons X. Le tube de Coolidge est complètement vidé d'air.

A Schéma simplifié d'un tube de Coolidge



On se propose d'évaluer la valeur de la vitesse atteinte par les électrons lorsqu'ils arrivent sur la cible en molybdène. On suppose pour cela qu'un électron est émis en O avec une vitesse de valeur nulle à $t = 0$ s. Il arrive en A avec une vitesse $\vec{v}_A$.

1. a. Donner l'expression vectorielle de la force électrique $\vec{F}$ subie par cet électron.

b. Comparer la direction et le sens de la force électrique $\vec{F}$ à ceux du champ électrique $\vec{E}$.

2. Montrer que, dans le cas où la tension électrique U_{OA} appliquée entre le filament et la cible vaut −50 kV, on peut négliger le poids de l'électron devant la force électrique qu'il subit.

3. Montrer que l'expression de la valeur de la vitesse de l'électron lorsqu'il arrive au point A est :

$$v_A = \sqrt{\frac{-2e \times U_{OA}}{m_e}}$$

4. Calculer la valeur de cette vitesse en A.

Données

- OA = L = 2,0 cm.
- Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ N·kg^{-1}.
- Travail de la force électrique lors du déplacement d'une particule de charge q entre les positions A et B : $W_{A\to B}(\vec{F}) = q \times U_{AB}$.
- La valeur de $\vec{E}$ est : $E = \dfrac{|U_{OA}|}{OA}$.

35 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Le MEB (microscope électronique à balayage)

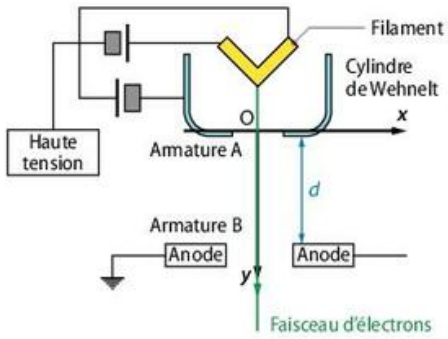
Construire les étapes d'une résolution de problème.

Le MEB est un microscope électronique (à droite sur la photographie ci-dessous) pour lequel le faisceau de lumière a été remplacé par un faisceau d'électrons, ce qui permet d'augmenter la résolution de l'appareil.

- Montrer qu'à des potentiels d'accélération de l'ordre de 10 kV, l'électron atteint à l'anode une vitesse dont la valeur est d'environ 20 % de celle de la lumière.



A Canon à électrons d'un MEB



Un canon à électrons est constitué d'un filament qui, lorsqu'il est porté à haute température, émet au point O des électrons de vitesse initiale de valeur négligeable.

Ces électrons sont ensuite accélérés à l'intérieur d'un condensateur constitué des armatures A et B, entre lesquelles règne un champ électrique uniforme de valeur E.

B Caractéristiques du canon à électrons d'un MEB

Le potentiel d'accélération, qui correspond à la tension électrique appliquée entre les armatures A et B du canon à électrons, est $U_{AB} = -10$ kV.

Les armatures sont distantes de $d = 10$ mm.

Données

- Charge de l'électron : $q_e = -e = -1{,}60 \times 10^{-19}$ C.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
- Travail de la force électrique lors du déplacement d'une particule de charge q entre les positions A et B : $W_{A\to B}(\vec{F}) = q \times U_{AB}$.

Vers le BAC

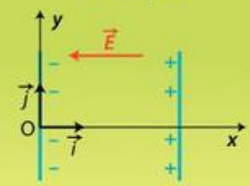
Tenir compte des conditions initiales

- Ne pas oublier les constantes d'intégration lors d'une recherche de primitive.
- Penser à utiliser les conditions initiales pour déterminer ces constantes.

Faire attention aux signes

Les coordonnées des vecteurs peuvent être négatives, mais **la valeur (norme) d'un vecteur est toujours positive !**

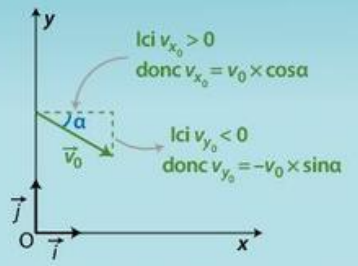
Exemple



$\vec{E} = E_x \vec{i}$

$E_x < 0$ mais $E > 0$

Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse initiale



Utiliser correctement la trigonométrie.

Ne pas confondre équation horaire et équation de trajectoire

équation horaire
du type x ou y
ou $z = f(\text{temps})$

équation de trajectoire
du type z
ou $y = g(x)$

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2, 3 et 4 sont présentés p. 248

36 CORRIGÉ — 30 min

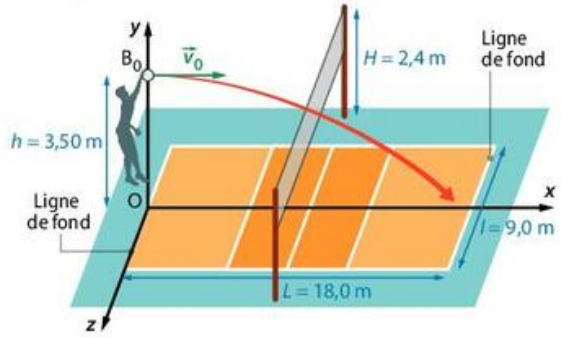
Service et réception au volley

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; faire preuve d'esprit critique et argumenter.

D'après Baccalauréat, France métropolitaine, 2018

Au volley-ball, le service smashé est le type de service le plus fréquemment pratiqué par les joueurs professionnels : le serveur doit se placer après la limite du terrain, lancer très haut son ballon, effectuer une course d'élan, puis sauter pour le frapper. Après la course d'élan, le serveur saute de façon à frapper le ballon en une position B_0 située à la hauteur h au-dessus de la ligne de fond de terrain.

A Dimensions du terrain de volley-ball et allure de la trajectoire du ballon



Le mouvement du ballon est étudié dans un référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère $(O ; x, y, z)$, et l'instant de la frappe est choisi comme origine des temps. On étudie le mouvement du centre de masse du ballon sans tenir compte de l'action de l'air.

Partie I Validité du service

Le service est effectué depuis la position B_0 à la vitesse de valeur $v_0 = 21{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Le service sera considéré comme valide à condition que le ballon franchisse le filet sans le toucher et qu'il retombe dans le terrain adverse.

1. Exprimer les coordonnées du vecteur accélération du centre de masse du ballon après la frappe.

Utiliser le réflexe 1

2. Établir que les équations horaires du mouvement du centre de masse du ballon s'écrivent :

$$x = v_0 \times t$$

et

$$y = -\frac{1}{2} g \times t^2 + h$$

Utiliser le réflexe 2

3. Montrer que le mouvement du centre de masse du ballon est plan.

4. En déduire l'équation de la trajectoire.

Utiliser le réflexe 3

5. En admettant que le ballon franchisse le filet, vérifier qu'il touche le sol avant la ligne de fond.

6. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, exprimer puis calculer la valeur v_{sol} de la vitesse du centre de masse du ballon lorsqu'il touche le sol.

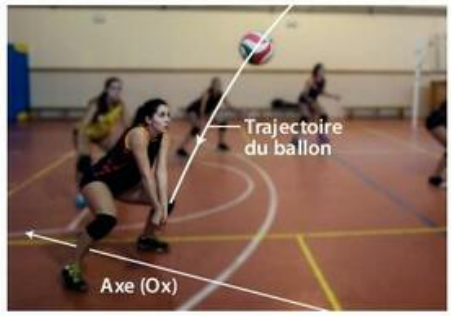
Utiliser le réflexe 4

7. En réalité, la valeur v_{sol} de la vitesse avec laquelle le ballon atteint le sol est plus faible que celle déterminée à la question **6**.
Proposer une explication.

Partie II **Réception du ballon par un joueur adverse**

Au moment où le serveur frappe le ballon ($t = 0$ s), un joueur de l'équipe adverse est placé à 1,0 m de la ligne de fond du terrain. Il débute sa course vers l'avant pour réceptionner le ballon en réalisant une « manchette » comme le montre la photographie ci-contre.
Le contact entre le ballon et le joueur se fait en R situé à une hauteur de 80 cm au-dessus du sol.

On admet que les équations horaires du mouvement du ballon établies précédemment restent valables.



- Évaluer la valeur de la vitesse moyenne minimale du déplacement de ce joueur pour qu'il réceptionne le ballon dans la position R. Ce résultat semble-t-il réaliste ?

Coup de pouce QR Code p. 246

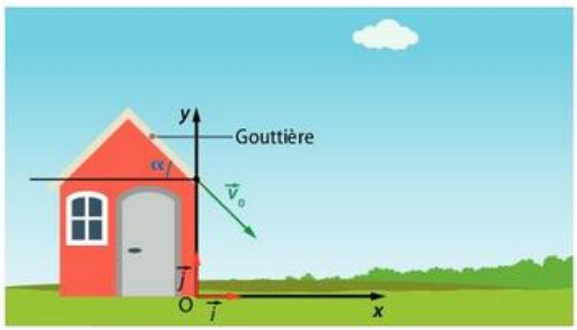
Données

- Rayon du ballon de volley-ball : $r = 10$ cm.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Préparation à l'ECE

Dispositif expérimental

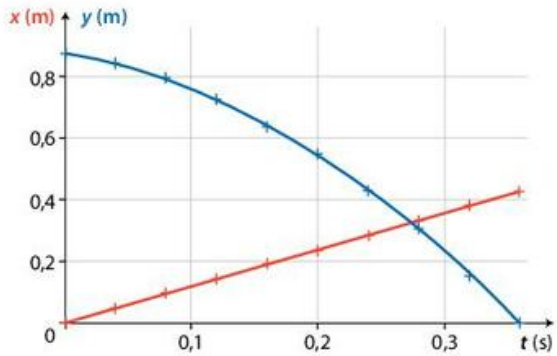
On étudie, dans un référentiel terrestre supposé galiléen, le mouvement d'une balle de masse $m = 50$ g assimilée à son centre de masse G, lâchée de la gouttière d'une cabane de jardin dont la direction fait un angle α avec l'horizontale.
Lorsqu'elle quitte la gouttière à la date $t = 0$ s, la balle a une vitesse initiale $\vec{v}_0$. Le repère d'étude $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ sera choisi comme indiqué sur la figure ci-dessous.
On suppose que l'action de l'air est négligeable.
On enregistre une vidéo de la chute de la balle.

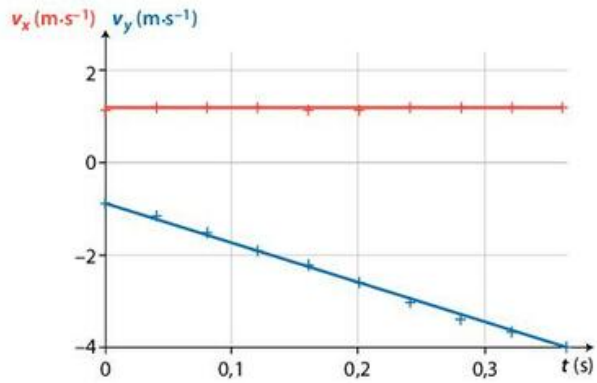


Travail à effectuer

1. ANA-RAIS En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées cartésiennes des vecteurs accélération, vitesse et position de la balle à chaque instant.

2. APP·ANA-RAIS Proposer un traitement informatique, à partir de la vidéo, permettant d'obtenir les courbes ci-après.





3. ANA-RAIS·RÉA Déduire de ces courbes :
– la hauteur h de départ ;
– la valeur v_0 de la vitesse initiale ;
– l'angle α.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Parler à une cadence convenable

Lors d'une présentation en temps limité, on peut être tenté de parler rapidement pour exposer plus d'idées de crainte de ne pas terminer à temps son exposé. Or, un débit de parole trop rapide peut nuire à la compréhension du discours. Un débit moyen de 100 à 120 mots par minute permet une communication orale satisfaisante face à un auditoire.



CHRISTOPHE STEVENS | TEDXAGROPARISTECH

- **Visionner la vidéo ci-contre et écouter le débit de parole de l'orateur.**
- **Ouvrir un texte dans un traitement de texte (Word ou Open Office par exemple) et le lire pendant une minute.**
- **Sélectionner la partie lue du texte en activant les fonctions « Statistiques » sous Word ou « Outils → Statistiques » sous Open Office pour obtenir le nombre de mots lus, puis calculer son débit de parole en mots par minute.**

À deux, c'est mieux

L'accélérateur linéaire

Un accélérateur linéaire de particules comporte une source de particules chargées, des champs électriques accélérateurs, des détecteurs ou une cible. Le plus grand accélérateur d'électrons est celui de Stanford (USA). Long de 3 km, il permet de donner aux électrons une énergie de l'ordre de 50 GeV. Le plus grand accélérateur de protons est celui de Los Alamos (USA). Long de 800 m, il permet d'obtenir des protons d'énergie égale à 8 MeV.

Source : http://ressources.univ-lemans.fr



- **Compter le nombre de mots du texte ci-dessus.**
- **Calculer la durée de lecture pour avoir un débit de 120 mots par minute.**
- **Lire le texte devant un camarade en respectant la durée calculée.**
- **Évaluer la lecture à l'aide des critères ci-contre.**

Inverser ensuite les rôles et faire de même.
Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite	😐	😊
Parler à une cadence convenable		
Le débit est convenable.	☐	☐
La ponctuation est respectée.	☐	☐
La lecture est fluide.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur Le mouvement dans un champ uniforme

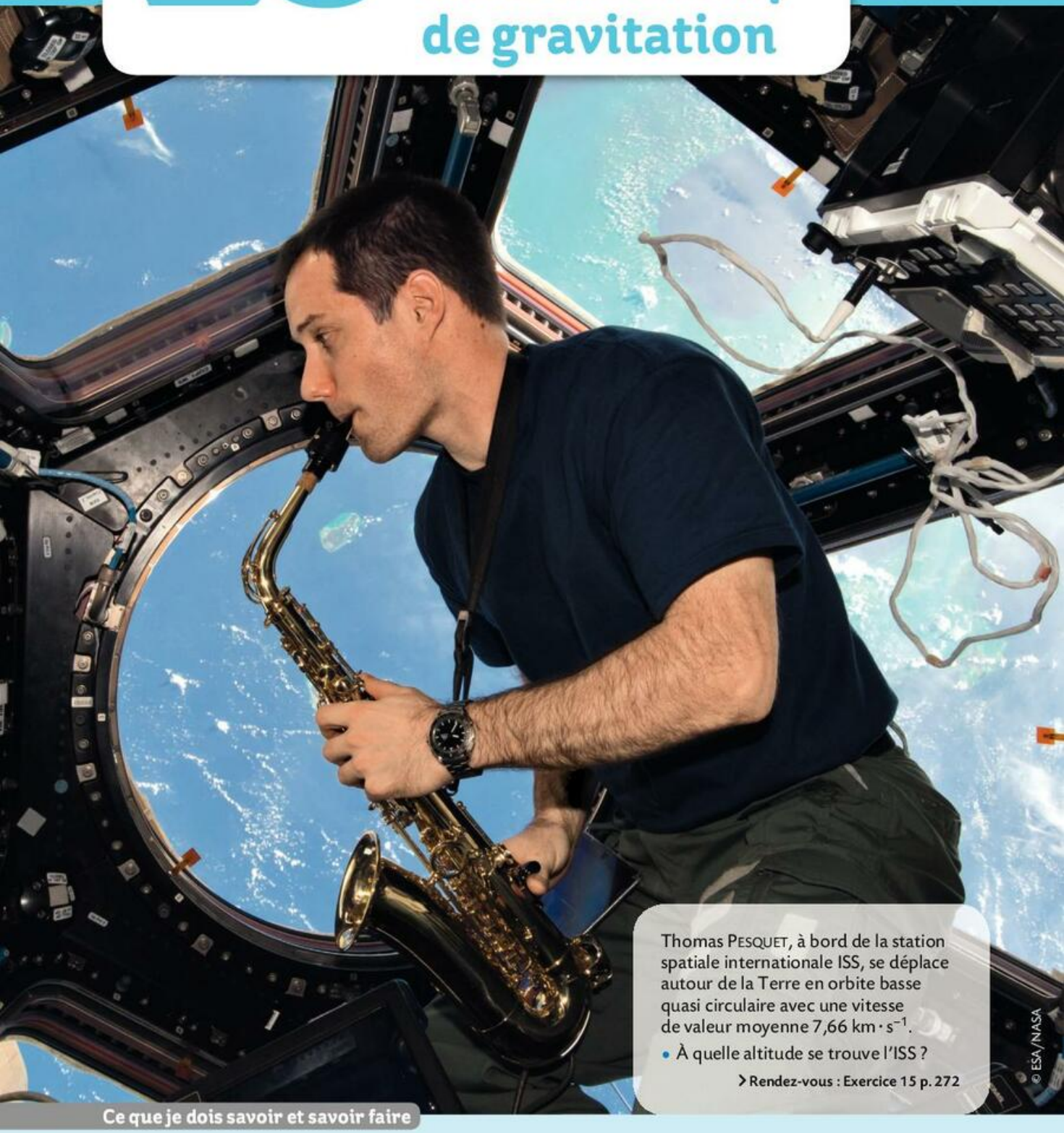
Citer quelques **champs uniformes**.

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Quelle est l'**accélération d'un système** qui chute sans frottement dans le champ de pesanteur terrestre ?

Expliquer le fonctionnement d'un **accélérateur linéaire** de particules chargées.

13 Mouvement dans un champ de gravitation



Thomas PESQUET, à bord de la station spatiale internationale ISS, se déplace autour de la Terre en orbite basse quasi circulaire avec une vitesse de valeur moyenne 7,66 km · s^{-1}.

- À quelle altitude se trouve l'ISS ?

› Rendez-vous : Exercice 15 p. 272

© ESA/NASA

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation newtonien. **Exercice 6 p. 270**
- Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire. **Activité 2 p. 263**
- **Capacité numérique** : exploiter, à l'aide d'un langage de programmation, des données astronomiques ou satellitaires pour tester les deuxième et troisième lois de Kepler. **Activité 2 p. 263**

Activité documentaire 1

Les satellites artificiels de la Terre

Notions
- Mouvement des satellites et des planètes
- Satellite géostationnaire

Les satellites artificiels lancés par l'Homme autour de la Terre sont dédiés à l'observation, aux télécommunications ou à la recherche. Thomas PESQUET a effectué, entre novembre 2016 et juin 2017, une mission à bord de la station spatiale ISS évoluant à une altitude proche de 410 km. Il a annoncé avoir vu le Soleil se lever 16 fois par 24 heures.



► Objectif de l'activité : Quelles sont les principales caractéristiques du mouvement des satellites artificiels ?

A Mouvement d'un satellite

Le mouvement d'un satellite de la Terre est étudié dans le référentiel géocentrique. Sa trajectoire dépend des conditions de son lancement. Le satellite se déplace ensuite de façon périodique sur une trajectoire appelée **orbite**.

Le mouvement d'un satellite est, entre autres, caractérisé par :
– l'inclinaison : angle entre le plan de l'orbite et celui de l'équateur terrestre ;
– la période de révolution : durée d'un tour complet.

Ces grandeurs sont choisies très précisément en fonction de la mission assignée au satellite.



L'orbite polaire

À une altitude généralement assez basse, un satellite en orbite polaire passe au-dessus des pôles à chaque révolution.



L'orbite géostationnaire



Un satellite géostationnaire est immobile pour un observateur terrestre. Sa période de révolution est égale à la période de rotation de la Terre autour de l'axe des pôles : 23 h 56 min.

B Exemples de satellites artificiels de la Terre

Les **satellites Spot** sont une famille de satellites développés dans de nombreux domaines : défense, suivi des intempéries, etc. Ils évoluent à une altitude voisine de 820 km.



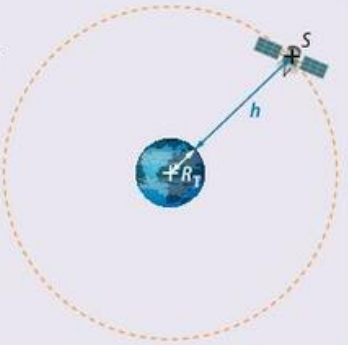
Les **satellites Météosat** forment une constellation de cinq satellites météorologiques. Chaque satellite observe constamment la même zone à la surface de la Terre.



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Dans le référentiel géocentrique et dans l'approximation des trajectoires circulaires, la période de révolution des satellites de la Terre situés à une altitude h a pour expression :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{G \times M_T}}$$



Données
- Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
- Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37 \times 10^{3}$ km.
- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N·m²·kg⁻².

On se place dans l'hypothèse d'une trajectoire circulaire.

Analyse des documents

Exploiter des informations ANA-RAIS

1 **a.** Quelle est la nature du mouvement d'un satellite géostationnaire dans le référentiel géocentrique, puis dans un référentiel terrestre ?
b. Montrer que les satellites géostationnaires évoluent à une altitude h voisine de 36 000 km.

Exploiter des informations ANA-RAIS

2 **a.** Les satellites Spot et Météosat sont-ils géostationnaires ?
b. Vérifier l'affirmation de Thomas PESQUET.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté COM

3 Quelles sont les principales caractéristiques du mouvement des satellites artificiels ?

Activité numérique 2

Les lois de Kepler à l'ère de l'informatique

Notion
Lois de Kepler



En 1705, Edmond HALLEY prévoit, en s'appuyant sur les lois de Kepler et sur les travaux d'Isaac NEWTON, le retour de la célèbre comète qui porte depuis son nom. La comète de Halley met 76 ans pour parcourir son orbite autour du Soleil dont le demi-grand axe mesure 17,9 unités astronomiques.

▶ **Objectif de l'activité : Dans quel but exploiter les lois de Kepler ?**

A Lois de Kepler

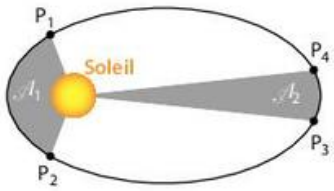
Johannes KEPLER (1571-1630) formule trois lois qui décrivent le mouvement des planètes autour du Soleil.

Première loi de Kepler

Dans le référentiel héliocentrique, la trajectoire du centre de masse d'une planète est une ellipse dont le centre de masse du Soleil est l'un des foyers.

Deuxième loi de Kepler

Le segment de droite reliant les centres de masse du Soleil et de la planète balaie des aires égales pendant des durées égales.



Troisième loi de Kepler

Le rapport entre le carré de la période de révolution T d'une planète du sytème solaire et le cube de son demi-grand axe a est constant : $\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$.

B Exploitation des données de l'IMCCE

L'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE) a pour mission de calculer la position des astres à intervalles de temps réguliers.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

python

Programme python à télécharger

Un programme en langage python, fourni en téléchargement, traite les données brutes issues du site de l'IMCCE et permet :
– de tracer la trajectoire des planètes du système solaire dans le référentiel héliocentrique ;
– d'étudier l'évolution de leur vitesse ;
– de déterminer leur période de révolution, etc.

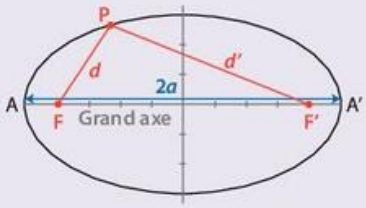
Les données de Mercure, de Vénus, de la Terre et de Mars sont stockées dans des fichiers « .csv » exploitables par le programme.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

Une ellipse est une courbe plane, définie comme l'ensemble des points P vérifiant :

$$FP + F'P = d + d' = 2a$$

F et F' sont appelés les foyers de l'ellipse.
[AA'] est le grand axe de l'ellipse avec $AA' = 2a$.



Remarque : lorsque F et F' sont confondus, l'ellipse devient un cercle de rayon a.

Donnée

Unité astronomique : 1 ua = $1{,}50 \times 10^{11}$ m.

Simulation numérique

Utiliser un langage de programmation RÉA

1 Exécuter le programme « Lois_Kepler » pour chaque planète et constater que leur trajectoire n'est pas rigoureusement circulaire.

Interpréter des résultats VAL

a. Choisir une planète et vérifier la deuxième loi de Kepler.
b. À partir de la deuxième loi de Kepler, justifier que les valeurs des vitesses aux positions A et P sont différentes.

Interpréter des résultats VAL

2 a. Relever, pour chaque planète, sa période de révolution T et le demi-grand axe a de son orbite.
b. Vérifier la troisième loi de Kepler.

Interpréter des résultats VAL

3 Justifier que la comète de Halley est en orbite autour du Soleil.

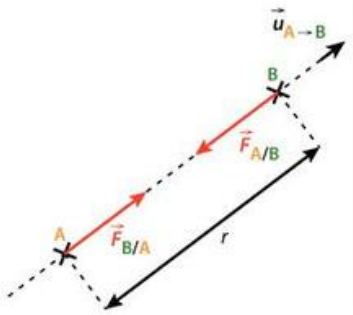
Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux COM

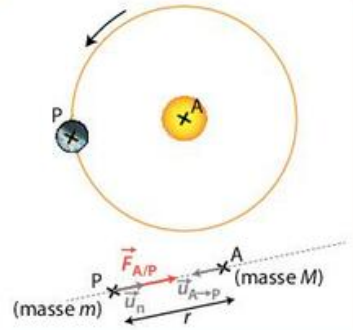
4 Dans quel but exploiter les lois de Kepler ?

Cours

A Force de gravitation



B Mouvement d'une planète autour d'un astre attracteur



C Satellite géostationnaire



> L'orbite du satellite géostationnaire est contenue dans le plan de l'équateur.
Comme l'altitude du satellite géostationnaire est 35 800 km, la valeur de sa vitesse est 3,1 km · s^{-1}.
Il est immobile dans un référentiel terrestre.

1 Le mouvement des satellites et des planètes

a. Force et champ de gravitation

La **force de gravitation** exercée par un corps A de masse m_A sur un corps B de masse m_B séparés d'une distance r (schéma A) a pour expression :

$$\vec{F}_{A/B} = -G \times \frac{m_A \times m_B}{r^2} \vec{u}_{A\to B} \text{ avec } \vec{F}_{A/B} = m_B \vec{\mathcal{G}}$$

G est la constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2}.
$\vec{\mathcal{G}}$ est le champ de gravitation newtonien dû au corps A en B à la distance r de A :

$$\vec{\mathcal{G}} = -G \times \frac{m_A}{r^2} \vec{u}_{A\to B}$$

b. Mouvement des satellites et des planètes

On s'intéresse au mouvement du centre de masse P d'une planète ou d'un satellite de masse m en orbite considérée circulaire autour d'un astre attracteur A de masse M.
L'étude se fait dans le référentiel astrocentrique considéré comme galiléen, muni du **repère de Frenet** centré sur P (schéma B).

- La planète est soumise à la force de gravitation exercée par l'astre. Dans le repère de Frenet, cette force s'exprime par :

$$\vec{F}_{A/P} = G \times \frac{m \times M}{r^2} \vec{u}_n \text{ soit } \vec{F}_{A/P} = m\vec{\mathcal{G}}$$

avec $\vec{\mathcal{G}}$ le champ de gravitation newtonien dû à l'astre attracteur en P à la distance r de A. À tout instant, $\vec{u}_n = -\vec{u}_{A\to P}$.

- La deuxième loi de Newton appliquée à la planète, qui n'est soumise qu'à la force de gravitation exercée par l'astre, s'écrit :

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a} \quad \text{soit} \quad m\vec{\mathcal{G}} = m\vec{a}$$

$$\text{donc} \quad \vec{\mathcal{G}} = \vec{a} \quad \text{d'où} \quad G \times \frac{m \times M}{r^2} \vec{u}_n = m\vec{a}$$

- L'accélération d'une planète ou d'un satellite en orbite autour d'un astre a ainsi pour expression : $\vec{a} = G \times \frac{M}{r^2} \vec{u}_n$.

- Dans le repère de Frenet centré sur P, $\vec{a} = \frac{v^2}{r}\vec{u}_n + \frac{dv}{dt}\vec{u}_t$.

Comme $\vec{a} = G \times \frac{M}{r^2} \vec{u}_n$, il vient :

$\frac{dv}{dt} = 0$	$\frac{v^2}{r} = G \times \frac{M}{r^2}$
soit : v = constante	soit : $v = \sqrt{\frac{G \times M}{r}}$ (schéma C)
Le mouvement de la planète est uniforme dans le référentiel astrocentrique.	On retrouve v = constante, car G, M et r sont des constantes.

- Le vecteur vitesse $\vec{v}$ du satellite a donc pour expression :

$$\vec{v} = \sqrt{\frac{G \times M}{r}} \vec{u}_t$$

L'application de la **deuxième loi de Newton** dans le **repère de Frenet** permet de déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

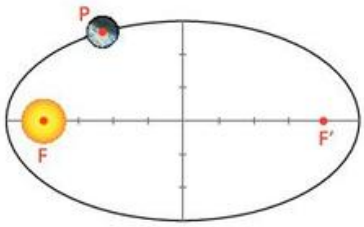


2 Les lois de Kepler

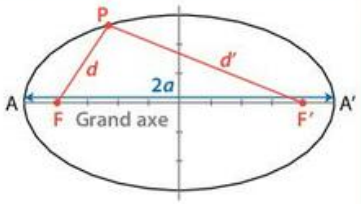
Au début du XVIIe siècle, en utilisant les résultats des observations de Tycho BRAHE (1546-1601), l'astronome Johannes KEPLER (1571-1630) formule trois lois qui décrivent le mouvement des planètes autour du Soleil.

a. Première loi de Kepler : loi des orbites

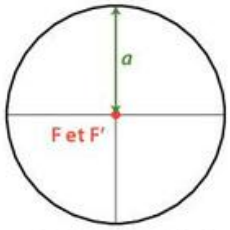
Dans le référentiel héliocentrique, la trajectoire du centre de masse d'une planète est une **ellipse** (schéma D) dont le centre de masse du Soleil est l'un des foyers.



D Ellipses



> Une ellipse est une courbe plane, définie comme l'ensemble des points P vérifiant la relation :
> $FP + F'P = d + d' = 2a$
> F et F' sont appelés les foyers de l'ellipse. [AA'] est le grand axe de l'ellipse avec $AA' = 2a$.



> Lorsque F et F' sont confondus, l'ellipse devient un cercle de rayon $r = a$.

b. Deuxième loi de Kepler : loi des aires

- Le segment de droite reliant les centres de masse du Soleil et de la planète balaie des **aires égales** pendant des **durées égales** (schéma E).
- La valeur de la vitesse d'une planète le long de sa trajectoire elliptique autour du Soleil **n'est pas constante** ; elle est maximale lorsque la planète est la plus proche du Soleil.

c. Troisième loi de Kepler : loi des périodes

- Pour toutes les planètes du système solaire, le rapport entre le carré de la **période de révolution** T et le cube de la longueur a du **demi-grand axe** est égal à une même constante : $\frac{T^2}{a^3} = \text{constante}$.
- Dans l'approximation des trajectoires circulaires, le demi-grand axe a est égal au **rayon** r de la trajectoire.

La **période de révolution** T d'une planète est la durée qu'elle met pour faire un tour autour du Soleil. Elle s'écrit : $T = \frac{2\pi \times r}{v}$.

En remplaçant v par son expression trouvée page précédente, il vient :

$$T = \frac{2\pi \times r}{\sqrt{\frac{G \times M_S}{r}}}$$

soit :

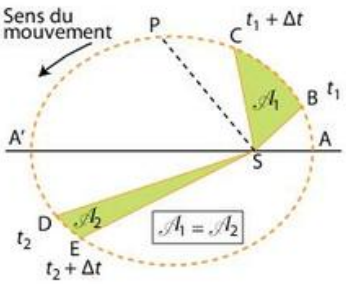
$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{r^3}{G \times M_S}}$$

$$T^2 = 4\pi^2 \times \frac{r^3}{G \times M_S}$$

On a alors $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M_S} = \textbf{constante}$, car G et M_S sont constantes.

Cette expression constitue la **troisième loi de Kepler** dans le cas d'un mouvement **circulaire**.

E Deuxième loi de Kepler



> Les aires $\mathcal{A}_1$ et $\mathcal{A}_2$, balayées pendant des durées Δt égales, sont égales. L'arc $\overset{\frown}{BC}$ est donc plus long que l'arc $\overset{\frown}{DE}$. Ces deux arcs étant parcourus pendant la même durée Δt, la valeur de la vitesse moyenne de la planète P entre B et C est supérieure à celle entre D et E.

d. Généralisation

Les trois lois de Kepler énoncées dans le cas de planètes en orbite autour du Soleil peuvent être généralisées à tout satellite ou planète en orbite autour d'un astre de masse M. Elles permettent de prévoir leur mouvement.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

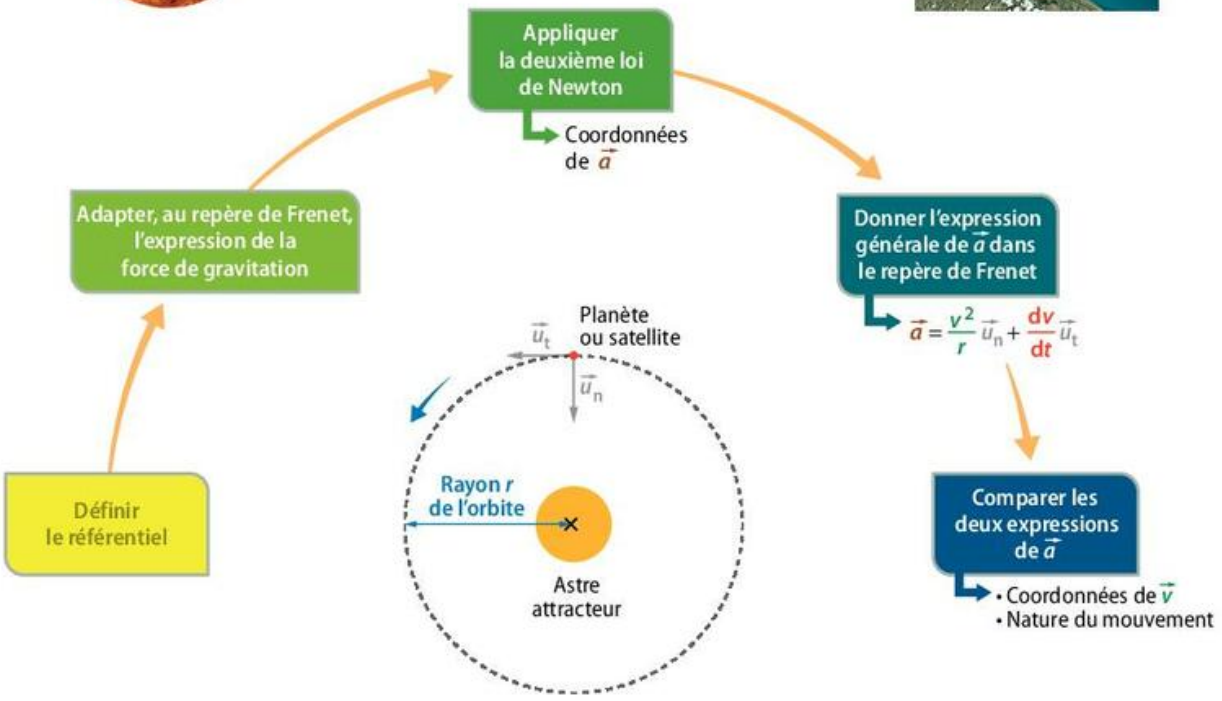
VIDÉO DE COURS
Lois de Kepler
QCM
Version interactive

1 Le mouvement des satellites et des planètes



Étude du mouvement circulaire du centre de masse d'une planète ou d'un satellite dans un référentiel astrocentrique supposé galiléen





2 Les lois de Kepler

Les trois lois de Kepler permettent d'étudier le **mouvement d'un corps autour d'un astre attracteur.**

L'application de la deuxième loi de Newton, dans le référentiel astrocentrique auquel est associé le repère de Frenet, permet de retrouver la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire et uniforme :



Expression de T, période de révolution : $T = \frac{2\pi \times r}{v}$

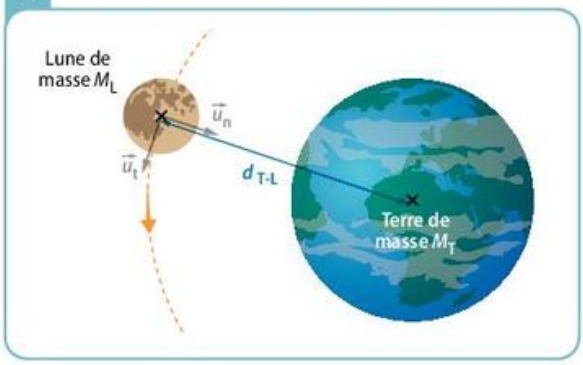
→ Remplacement de v par son expression établie à l'aide de la deuxième loi de Newton

→ Réarrangement de l'expression de T : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M} = \text{constante}$

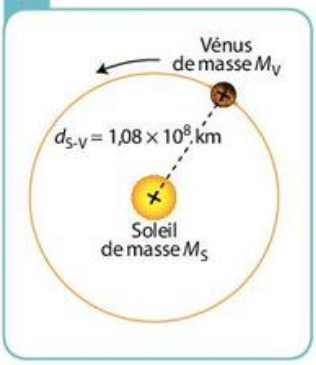
Troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire

QCM

A



B



Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

	A	B	C

1 Le mouvement des satellites et des planètes

Si erreur, revoir § 1 p. 264

1. Pour étudier le mouvement de la Lune autour de la Terre, le référentiel le plus approprié est :	le référentiel géocentrique.	un référentiel terrestre.	le référentiel héliocentrique.
2. La force de gravitation exercée par la Terre sur la Lune (schéma A) a pour expression :	$\vec{F} = -G \times \frac{M_L \times M_T}{d_{T\text{-}L}^2} \vec{u}_t$	$F = -G \times \frac{M_T}{d_{T\text{-}L}^2} \vec{u}_n$	$\vec{F} = G \times \frac{M_L \times M_T}{d_{T\text{-}L}^2} \vec{u}_n$
3. D'après la deuxième loi de Newton, le vecteur accélération de la Lune, lors de son mouvement autour de la Terre (schéma A), a pour expression :	$\vec{a} = G \times \frac{M_T}{d_{T\text{-}L}^2} \vec{u}_n$	$\vec{a} = G \times \frac{M_L}{d_{T\text{-}L}^2} \vec{u}_n$	$\vec{a} = G \times \frac{M_L \times M_T}{d_{T\text{-}L}^2} \vec{u}_n$
4. Le vecteur vitesse de la Lune lors de son mouvement circulaire autour de la Terre est :	tangent au mouvement.	normal au mouvement.	de valeur constante.

2 Les Lois de Kepler

Si erreur, revoir § 2 p. 265

5. Lorsqu'une comète sur son orbite, dans le référentiel héliocentrique, s'éloigne du Soleil, la valeur de sa vitesse :	augmente.	diminue.	reste constante.
6. D'après la troisième loi de Kepler appliquée dans le référentiel héliocentrique, pour une trajectoire circulaire de rayon r et de période de révolution T :	$T^2 = \text{cte} \times r^3$	$\frac{T^2}{r^3} = \text{cte}$	$\frac{T^3}{r^2} = \text{cte}$
7. D'après la troisième loi de Kepler appliquée dans le référentiel héliocentrique, pour une trajectoire circulaire de rayon $r_{\text{planète}}$ et de période de révolution $T_{\text{planète}}$:	$\frac{T_{\text{Vénus}}^2}{T_{\text{Neptune}}^2} = \frac{r_{\text{Vénus}}^3}{r_{\text{Neptune}}^3}$	$T_{\text{Vénus}}^2 \times r_{\text{Neptune}}^3 = T_{\text{Neptune}}^2 \times r_{\text{Vénus}}^3$	$\frac{T_{\text{Vénus}}^2}{r_{\text{Neptune}}^3} = \frac{T_{\text{Neptune}}^2}{r_{\text{Vénus}}^3}$
8. Dans le référentiel héliocentrique, et dans l'approximation des trajectoires circulaires, le rapport $\frac{T^2}{d_{S\text{-}V}^3}$ est $3{,}0 \times 10^{-19}$ s$^2 \cdot$ m^{-3}. La période de révolution de Vénus est :	$3{,}8 \times 10^{14}$ s	$2{,}3 \times 10^3$ jours	$1{,}9 \times 10^7$ s

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation.	**Réflexe 1** Ex. 4 p. 270 **Schématiser** l'astre attracteur, le système {planète} et le repère de Frenet. **Exprimer** la force de gravitation $\vec{F}_{A/P} = G \times \frac{m \times M}{r^2} \vec{u}_n$ et appliquer la deuxième loi de Newton $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$ pour obtenir le vecteur accélération $\vec{a}$. **Rappeler**, dans le repère de Frenet, l'expression du vecteur accélération : $\vec{a} = \frac{v^2}{r} \vec{u}_n + \frac{dv}{dt} \vec{u}_t$. **En déduire**, par identification des deux expressions de $\vec{a}$, les caractéristiques du vecteur vitesse $\vec{v}$.
Établir la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire.	**Réflexe 2** Ex. 8 p. 271 **Utiliser** l'expression de la période de révolution $T = \frac{2\pi \times r}{v}$. **Remplacer** la valeur v de la vitesse obtenue à partir de la deuxième loi de Newton dans l'expression de T. **Exprimer** le rapport $\frac{T^2}{r^3}$.
Exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire.	**Réflexe 3** Ex. 10 p. 271 **Énoncer** la troisième loi de Kepler. **Isoler** la grandeur recherchée. **Effectuer** les calculs en faisant attention aux unités.

1 Exercice résolu

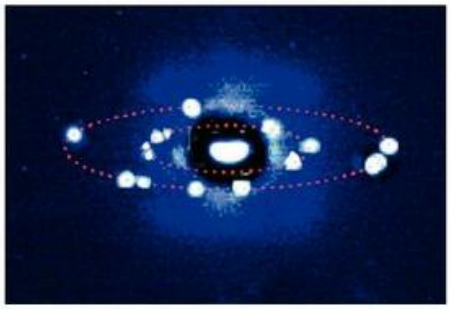
L'astéroïde Sylvia

Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; discuter un modèle.

L'astéroïde Sylvia est le premier astéroïde découvert à posséder deux satellites naturels baptisés Remus et Romulus.
On s'intéresse au mouvement du centre de masse P de l'astéroïde Sylvia qui décrit autour du Soleil une orbite assimilée à un cercle de rayon r.
L'étude se fait dans le référentiel héliocentrique considéré comme galiléen.

Donnée

Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.



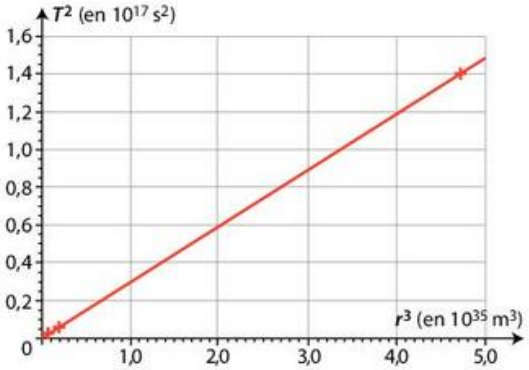
Photomontage montrant les positions de Remus et Romulus autour de Sylvia

1. a. Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, le mouvement de l'astéroïde Sylvia de masse M, autour du Soleil de masse M_S, est uniforme.
b. Établir l'expression de la valeur v de la vitesse de l'astéroïde Sylvia sur son orbite, puis donner son expression vectorielle $\vec{v}$.

2. a. Établir la troisième loi de Kepler dans le référentiel héliocentrique.
b. Le graphique ci-contre a été tracé en prenant en compte les paramètres caractéristiques de trois planètes du système solaire dont la trajectoire autour du Soleil est quasi circulaire.
Ce graphique traduit-il la troisième loi de Kepler ?

3. L'astéroïde Sylvia gravite autour du Soleil avec une période de révolution de 6,521 ans.
Déterminer le rayon r de l'orbite de l'astéroïde Sylvia.

4. Les deux satellites Romulus et Remus décrivent une orbite circulaire autour de Sylvia. La période de révolution de Romulus est 87,6 heures. Les distances entre chaque satellite et Sylvia sont 710 kilomètres pour Remus et 1 360 kilomètres pour Romulus.
En appliquant la troisième loi de Kepler, déterminer la masse de l'astéroïde Sylvia dans le cadre de l'hypothèse d'un mouvement circulaire.



Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 1.**

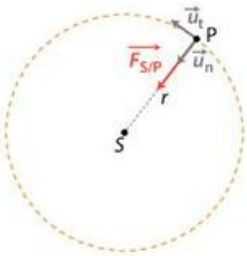
Schématisation de la situation

Expression de la force de gravitation et application de la deuxième loi de Newton

Rappel de l'expression de l'accélération dans le repère de Frenet

Déduction, par identification des expressions, des caractéristiques de la vitesse

1. a. On étudie le mouvement du système {Sylvia} modélisé par son centre de masse P dans le référentiel héliocentrique supposé galiléen.



La seule force qui s'applique sur le système est la force de gravitation exercée par le Soleil. Son expression dans le repère de Frenet est : $\vec{F}_{S/P} = G \times \frac{M_S \times M}{r^2} \vec{u}_n$.

Appliquons la deuxième loi de Newton :

$\Sigma\vec{F} = M\vec{a}$ donc $\vec{F}_{S/P} = G \times \frac{M_S \times M}{r^2} \vec{u}_n = M\vec{a}$. D'où $\vec{a} = G \times \frac{M_S}{r^2} \vec{u}_n$.

Dans le repère de Frenet, $\vec{a} = \frac{v^2}{r} \vec{u}_n + \frac{dv}{dt} \vec{u}_t$.

Par identification des accélérations tangentielles, $\frac{dv}{dt} = 0$. Il vient $v = cte$, le mouvement est uniforme.

b. Par identification des accélérations normales, $\frac{v^2}{r} = G \times \frac{M_S}{r^2}$. On en déduit que $v = \sqrt{\frac{G \times M_S}{r}}$. Le vecteur vitesse a pour expression $\vec{v} = v \times \vec{u}_t$ avec $v = \sqrt{\frac{G \times M_S}{r}}$.

- **On utilise le Réflexe 2.**

Utilisation de la définition de la période T

Remplacement de l'expression de v dans T

Expression du rapport $\frac{T^2}{r^3}$

2. a. La période de révolution de l'astéroïde est $T = \frac{2\pi \times r}{v}$,

soit $T = 2\pi \times r \times \sqrt{\frac{r}{G \times M_S}}$ d'où $T^2 = 4\pi^2 \times \frac{r^3}{G \times M_S}$.

On obtient finalement $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M_S} = \text{constante}$.

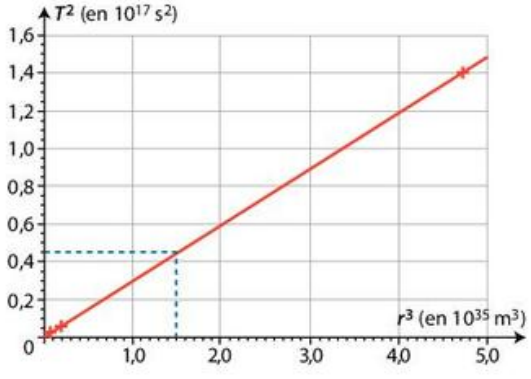
b. La représentation graphique $T^2 = f(r^3)$ est une droite qui passe par l'origine. Il y a donc proportionnalité entre T^2 et r^3 : $T^2 = k \times r^3$ où k est le coefficient de proportionnalité.

Ainsi, $\frac{T^2}{r^3} = k$, ce qui confirme la troisième loi de Kepler.

3. La période de révolution de Sylvia est 6,521 ans, soit $2{,}058 \times 10^8$ s.

On calcule : $T^2_{Sylvia} = 0{,}4235 \times 10^{17}$ s^2.

On lit graphiquement : $r^3 = 1{,}5 \times 10^{35}$ m^3, d'où $r = 5{,}3 \times 10^{11}$ m.



- **On utilise le Réflexe 3.**

Énoncé de la troisième loi de Kepler

Isolement de la grandeur recherchée

Calcul en faisant attention aux unités

4. Par application de la troisième loi de Kepler aux satellites de Sylvia, on a :

$$\left(\frac{T^2}{r^3}\right)_{Remus} = \left(\frac{T^2}{r^3}\right)_{Romulus} = \frac{4\pi^2}{G \times M}$$

Donc $M = \frac{4\pi^2}{G} \times \left(\frac{r^3}{T^2}\right)_{Romulus}$

$M = \frac{4\pi^2}{6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}} \times \frac{(1\,360 \times 10^3)^3\ \text{m}^3}{(87{,}6 \times 3\,600)^2\ \text{s}^2}$ d'où $M = 1{,}50 \times 10^{19}$ kg.

La masse de Sylvia est $1{,}50 \times 10^{19}$ kg.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Déterminer les caractéristiques des vecteurs vitesse et accélération du centre de masse d'un système en mouvement circulaire dans un champ de gravitation newtonien.	4	12	20
Établir et exploiter la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire.	8 10	14	20
Capacité numérique : exploiter, à l'aide d'un langage de programmation, des données astronomiques ou satellitaires pour tester les deuxième et troisième lois de Kepler.		18	

1 Le mouvement des satellites et des planètes

2 Donner les caractéristiques d'une force de gravitation (1) CORRIGÉ

| Construire un vecteur.

1. Exprimer la force de gravitation exercée par la Terre sur la Lune.

2. Représenter cette force en utilisant l'échelle 1 cm pour $0{,}5 \times 10^{20}$ N.

Données

- Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
- Masse de la Lune : $M_L = 7{,}36 \times 10^{22}$ kg.
- Distance moyenne entre le centre de la Terre et le centre de la Lune : $r = 3{,}84 \times 10^{5}$ km.
- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.

3 Donner les caractéristiques d'une force de gravitation (2)

| Effectuer un calcul.

Météosat est une constellation de satellites artificiels de la Terre situés à une altitude de 35 800 km.
À cette altitude, le champ de gravitation terrestre a pour valeur $\mathcal{G}_T = 2{,}23 \times 10^{-1}\ N \cdot kg^{-1}$.

- Déterminer la valeur de la force de gravitation exercée par la Terre sur un satellite Météosat de masse $m = 400$ kg.

4 Exploiter les coordonnées d'un vecteur accélération CORRIGÉ

| Mobiliser et organiser ses connaissances.



Le centre de masse P de Phobos, satellite naturel de la planète Mars, est en mouvement circulaire autour de cette planète.

1. Déterminer les coordonnées du vecteur accélération du centre de masse de Phobos dans le repère de Frenet lié au référentiel « marsocentrique ».

2. Montrer que le mouvement de P est uniforme.

Utiliser le réflexe 1

5 Caractériser le vecteur accélération du centre de masse d'une planète

| Effectuer un calcul.

Vénus a une trajectoire quasiment circulaire dans le référentiel héliocentrique.

1. Donner l'expression vectorielle de la force de gravitation exercée par le Soleil sur Vénus.

2. Par application de la deuxième loi de Newton, déterminer les caractéristiques du vecteur accélération du centre de masse V de Vénus dans le référentiel héliocentrique.

Données

- Masse du Soleil : $M_S = 1{,}99 \times 10^{30}$ kg.
- Distance moyenne entre le centre du Soleil et le centre de Vénus : $r = 1{,}08 \times 10^{8}$ km.
- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.

6 Déterminer les caractéristiques d'une vitesse CORRIGÉ

| Mobiliser et organiser ses connaissances.



Le télescope spatial Hubble a permis de nombreuses découvertes dans le domaine de l'astrophysique.
Il est placé sur une orbite quasiment circulaire à une altitude $h = 600$ km par rapport à la surface de la Terre.

1. Par application de la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées du vecteur accélération du centre de masse H de Hubble dans le repère de Frenet lié au référentiel géocentrique.

2. Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse de Hubble dans le repère de Frenet.

3. Calculer la valeur de la vitesse de Hubble dans le référentiel géocentrique.

Données

- Masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg.
- Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37 \times 10^{3}$ km.
- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.

7 Exploiter l'expression de la valeur de la vitesse d'un corps céleste

| Effectuer des calculs.



Les anneaux de Saturne sont essentiellement composés de glace et de poussière.
Si on néglige l'interaction des particules des anneaux entre elles et dans l'approximation de trajectoires circulaires, chaque constituant est animé d'un mouvement circulaire de rayon r avec une vitesse de valeur $v = \sqrt{\frac{G \times M_S}{r}}$ dans le référentiel « saturnocentrique ».

1. Comparer la valeur de la vitesse de deux constituants P et Q positionnés sur deux anneaux différents.

2. Les périodes de révolution des constituants P et Q sont-elles identiques ?

2 Les lois de Kepler

VIDÉO DE COURS **Lois de Kepler – QR Code p. 266**

8 Établir la troisième loi de Kepler (1)

CORRIGÉ

| Effectuer des calculs.

Europe est un satellite de Jupiter, de masse M_J. Son orbite, de rayon r, est supposée circulaire. Sa vitesse a pour valeur $v = \sqrt{\frac{G \times M_J}{r}}$.

1. Établir l'expression de sa période de révolution T.

2. En déduire la valeur du rapport $\frac{T^2}{r^3}$.

3. Énoncer la troisième loi de Kepler dans le référentiel « jupiterocentrique ».

Utiliser le réflexe 2

9 Établir la troisième loi de Kepler (2)

| Interpréter une formule.

La Lune est le seul satellite naturel de la Terre. Elle décrit une trajectoire circulaire de rayon r dans le référentiel géocentrique. Sa période de révolution T autour de la Terre a pour expression $T = 2\pi \times r \times \sqrt{\frac{r}{G \times M_T}}$.

• Déterminer l'expression de la constante relative à la troisième loi de Kepler.

10 Exploiter la troisième loi de Kepler (1)

CORRIGÉ

| Exploiter un tableau.

Les plus gros satellites de Jupiter, encore appelés satellites galiléens, ont été découverts par GALILÉE.
On donne les périodes de révolution T et le rayon r de la trajectoire quasi circulaire de deux de ces satellites :

Satellite	T (jours)	r (km)
Io	1,77	$4{,}22 \times 10^5$
Ganymède	7,15	$1{,}07 \times 10^6$

1. Énoncer la troisième loi de Kepler dans le référentiel « jupiterocentrique ».

2. Montrer que les données du tableau confirment que ces deux satellites sont en orbite autour de Jupiter.

Utiliser le réflexe 3

11 Exploiter la troisième loi de Kepler (2)

| Utiliser un modèle pour prévoir.

Europe est un satellite de Jupiter dont le rayon r de l'orbite est $6{,}71 \times 10^5$ km.

• Exploiter le tableau de l'exercice 10 et la troisième loi de Kepler pour calculer la période de révolution de Europe.

Exercices S'entraîner

12 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Satellite CFOSAT

| Mobiliser ses connaissances ; effectuer des calculs.



Le 29 octobre 2018, le satellite CFOSAT, de masse m, a été mis en orbite circulaire autour de la Terre à une altitude de 519 km par le CNES et son homologue chinois le CNSA, pour cartographier les vents et les vagues à la surface des océans.

1. Schématiser la situation et représenter la force de gravitation exercée par la Terre sur le satellite.

2. Montrer que le mouvement du centre de masse du satellite CFOSAT est uniforme dans le référentiel géocentrique.

3. Donner les caractéristiques du vecteur vitesse $\vec{v}$ du centre de masse du satellite dans ce référentiel.

4. Déterminer la période de révolution T du satellite.

Données

- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N·m²·kg^{-2}.
- Masse de la Terre : $M_T = 6{,}0 \times 10^{24}$ kg.
- Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}4 \times 10^3$ km.

Critères de réussite

	😐	😊
J'ai réalisé un schéma suffisamment grand et avec soin (question 1).	☐	☐
J'ai respecté les notations de l'énoncé et j'ai défini celles que j'ai introduites (question 2).	☐	☐
J'ai converti les kilomètres en mètres pour faire les calculs (questions 3 et 4).	☐	☐

13 À chacun son rythme

Satellites d'Uranus

Effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

La planète Uranus possède plusieurs satellites.
Le tableau ci-dessous donne la période de révolution T et le rayon r de la trajectoire quasi circulaire de quatre de ces satellites dans le référentiel centré sur Uranus.

Satellite	Miranda	Ariel	Umbriel	Titania
T (jours)	1,413	2,520	4,144 4	8,706
r (km)	129 780	192 240	265 970	435 840



Énoncé compact

La troisième loi de Kepler est-elle vérifiée dans le référentiel centré sur Uranus ?

Énoncé détaillé

1. Énoncer la troisième loi de Kepler dans le référentiel centré sur Uranus.
2. Déterminer, pour chaque satellite, le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ en précisant son unité.
3. La troisième loi de Kepler est-elle vérifiée dans le référentiel centré sur Uranus ?

14 Balance cosmique

COMPLET

Utiliser un modèle pour prévoir ; effectuer des calculs.

Le tableau ci-dessous donne la période de révolution de quelques planètes du système solaire, ainsi que le rayon de leur orbite assimilable à un cercle dans le référentiel héliocentrique.

Satellite	Mars	Jupiter	Saturne
T (an)	1,88	11,86	29,44
r ($\times 10^6$ km)	228	778	1 427

1. Établir l'expression de la valeur de la vitesse du centre de masse d'une de ces planètes dans le référentiel héliocentrique.
2. En déduire l'expression de sa période de révolution en fonction de G, r et M_S (masse du Soleil).
3. Donner l'expression du rapport $\frac{T^2}{r^3}$ dans le référentiel héliocentrique. La troisième loi de Kepler est-elle vérifiée ?
4. Déterminer la masse M_S du Soleil.
5. Justifier en quoi la troisième loi de Kepler est une « balance cosmique ».

Données

- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.
- 1 an = $3{,}156 \times 10^7$ s.

15 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Station spatiale internationale

Construire les étapes d'une résolution de problème.

La station spatiale internationale ISS gravite autour de la Terre à une vitesse de valeur moyenne 7,66 km·s^{-1}.
Elle évolue sur une orbite terrestre basse, zone de l'orbite terrestre allant jusqu'à 2 000 km d'altitude. On y retrouve des satellites de télédétection, des satellites de télécommunications, ainsi que quelques stations spatiales.

- Dans l'approximation des trajectoires circulaires, déterminer l'altitude h de l'ISS.

Coup de pouce QR Code p. 266



Données

- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.
- Masse de la Terre : $M_T = 6{,}0 \times 10^{24}$ kg.
- Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}4 \times 10^3$ km.

16 Éris et Dysnomia

Mobiliser ses connaissances ; effectuer des calculs.

D'après Baccalauréat Liban, 2009

Éris parcourt une orbite elliptique autour du Soleil et possède un satellite naturel baptisé Dysnomia. Le mouvement de Dysnomia autour d'Éris, de masse M_E, est supposé circulaire et uniforme.



1. Définir le référentiel permettant d'étudier le mouvement de Dysnomia autour d'Éris. Ce référentiel est considéré comme galiléen.
2. Donner les caractéristiques du vecteur accélération $\vec{a}$ du centre de masse de Dysnomia.
3. Montrer que la période de révolution T_D de Dysnomia a pour expression :

$$T_D = 2\pi \times \sqrt{\frac{r_D^3}{G \times M_E}}$$

4. Exprimer puis calculer la masse M_E d'Éris.

Données

- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.
- Rayon de l'orbite circulaire de Dysnomia : $r_D = 3{,}60 \times 10^7$ m.
- Période de révolution de Dysnomia : $T_D = 15{,}0$ jours.

17 Geostationary Satellite

Pratiquer une langue vivante étrangère.

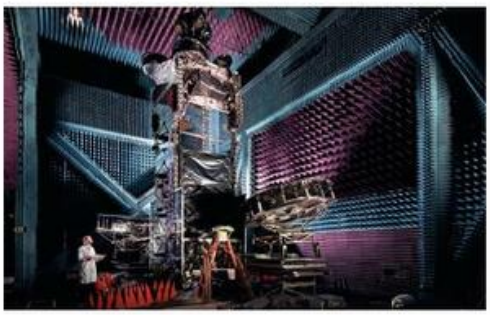


Arianespace has put the CondoSat Saudi Geostationary Satellite 1/Hellas Sat 4 in orbit for operators KACST and Hellas Sat.

This first launch of the year for Arianespace took place on Tuesday 5th February at 18:01 (Kourou time) from the Guiana Space Centre (CSG), Europe's spaceport.

This placement marks the 103rd Ariane 5 launch and brings the number of satellites placed in geostationary orbit by Arianespace to 374.

The CondoSat is in circular orbit in the equatorial plane, at altitude h, in the geocentric reference frame and is also considered to be in the Galilean reference frame.



1. Define the term geostationary.

2. a. Give the characteristics of the acceleration $\vec{a}$ and speed $\vec{v}$ of the CondoSat's center of mass in the geocentric reference frame.

b. Show that the movement of CondoSat's mass center is uniform.

3. Justify that the period of revolution of the CondoSat must be equal to that of the Earth.

4. Determine the altitude h of the geostationary orbit on which the CondoSat is located.

Data

- Universal gravitational constant: $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.
- Mass of the Earth: $M_T = 6.0 \times 10^{24}$ kg.
- Earth radius: $R_T = 6.4 \times 10^3$ km.
- Earth revolution period: $T_T = 23$ h 56 min 4 s.
- A CondoSat is a satellite that supports separate operator payloads on the same spacecraft bus.

18 Python

CORRIGÉ

Des satellites artificiels...

Utiliser un langage de programmation.

Trois systèmes de positionnement par satellites sont actuellement opérationnels : le système américain GPS, le système russe GLONASS et le système européen GALILEO. Ces satellites sont en orbite circulaire autour de la Terre à une altitude h.

On présente ci-après un extrait du programme en langage python permettant de représenter la courbe $T^2 = f(r^3)$ où T représente la période de révolution d'un satellite et r le rayon de son orbite. Ce programme est à télécharger.

PROGRAMME Python – QR Code p. 266

```
#Variables et régression linéaire
#Calcul des variables associées à la fonction
Tcarre = T**2
rcube = (r*1000)**3
#Calcul de la régression linéaire
regression = np.polyfit(rcube, Tcarre,1)
pente_moyenne=regression[0]
init_a=6.00e-14
#Variables pour la régression
rcube_regression=np.linspace(0,rcube[2]*2,5)
T_regression = init_a*rcube_regression
```

1. a. Exécuter le programme. Quelle est l'allure du nuage de points obtenu ?

b. Retrouver la ligne permettant de réaliser la modélisation mathématique de la courbe $T^2 = f(r^3)$.

c. Quelle est la valeur affectée par défaut au coefficient directeur de cette droite ?

2. Ajuster, à l'aide du curseur, la droite modélisée afin qu'elle passe au mieux par tous les points.

3. Justifier que les résultats obtenus sont en accord avec la troisième loi de Kepler.

4. Calculer la masse de la Terre.

Donnée

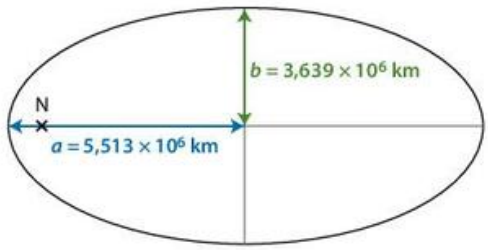
Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$.

19 Neptune et Néréide

Exploiter un schéma ; effectuer des calculs.

Neptune possède plusieurs satellites, dont les plus connus sont Triton et Néréide.

A Orbite de Néréide autour de Neptune (N)



Un cercle est un cas particulier d'une ellipse pour lequel $a = b$.

1. Justifier que le mouvement de Néréide n'est pas circulaire dans le référentiel centré sur Neptune.

2. a. Donner l'expression de la troisième loi de Kepler dans le cas du mouvement circulaire de Triton autour de Neptune.

b. Faire l'application numérique.

3. Calculer le rapport $\frac{T^2}{a^3}$ pour Néréide. Comparer ce rapport au résultat de la question **2. b.**

4. Étendre, à partir de cet exemple, la troisième loi de Kepler à un mouvement elliptique.

Données

- Période de révolution de Triton : $T_{Triton} = 5{,}877$ jours.
- Rayon de l'orbite de Triton : $r_{Triton} = 3{,}547 \times 10^5$ km.
- Période de révolution de Néréide : $T_{Néréide} = 360$ jours.

Vers le BAC

Écrire correctement la valeur de la force de gravitation

Ne pas oublier le « carré » !

$$F = G\frac{m \times M_T}{r^2}$$



Attention aux unités :
les distances s'expriment en **m** et pas en **km**.

Bien définir « géostationnaire »



Un satellite géostationnaire **est immobile** pour un observateur situé dans un **référentiel terrestre**.

Un satellite géostationnaire **n'est pas immobile** dans le **référentiel géocentrique**.

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 268

20 CORRIGÉ — 60 min

Les lunes de Saturne

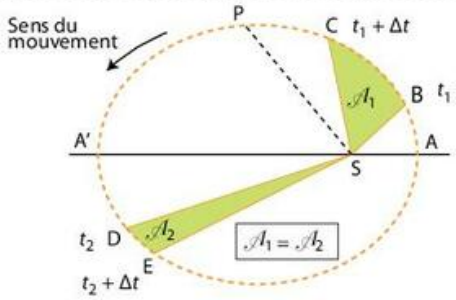
Faire un schéma adapté ; effectuer des calculs.

En 2019, vingt lunes supplémentaires de Saturne ont été découvertes. Ainsi, 82 satellites naturels connus à ce jour orbitent autour de cette planète.

A Données sur la lune S/2004 S 24

Saturne est la planète du système solaire qui détient actuellement le record du nombre de lunes.
On considère la trajectoire de la lune S/2004 S 24 comme circulaire dans le référentiel saturnocentrique.
Sa période T de révolution est 3,54 ans.
Le rayon r de son orbite est $2{,}29 \times 10^7$ km.

B Deuxième loi de Kepler dans le référentiel héliocentrique



Les aires $\mathcal{A}_1$ et $\mathcal{A}_2$, balayées pendant des durées Δt égales, sont égales. L'arc $\overset{\frown}{BC}$ est donc plus long que l'arc $\overset{\frown}{DE}$.
Ces deux arcs étant parcourus pendant la même durée Δt, la valeur de la vitesse moyenne de la planète P entre B et C est supérieure à celle entre D et E.

1. a. Faire un schéma de la lune S/2004 S 24 en orbite autour de Saturne.

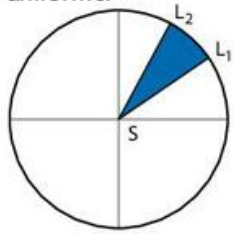
b. Représenter le repère de Frenet centré sur le système muni des vecteurs unitaires tangentiel $\vec{u}_t$ et normal $\vec{u}_n$.

c. Donner l'expression de la force de gravitation $\vec{F}_{S/L}$ exercée par Saturne (S) sur la lune (L) S/2004 S 24.

2. Par application de la deuxième loi de Newton, déterminer le vecteur accélération $\vec{a}$ du système. Utiliser le réflexe 1

3. a. Montrer que le mouvement circulaire de la lune S/2004 S 24 autour de Saturne est uniforme.

b. On a représenté ci-contre l'aire balayée par le segment [SL] pendant une durée Δt.
Reproduire et compléter ce schéma afin d'illustrer la deuxième loi de Kepler dans le cas d'un mouvement circulaire.



4. Déterminer les caractéristiques du vecteur vitesse de la lune S/2004 S 24.

5. a. Montrer que la période de révolution T de cette lune a pour expression : $T = 2\pi \times \sqrt{\frac{r^3}{G \times M_S}}$.

Utiliser le réflexe 2

b. Calculer la masse de Saturne. Utiliser le réflexe 3

6. La lune Métis a une période de révolution T de 0,295 jour et son orbite circulaire a un rayon de 128 000 km.
Métis peut-elle être une lune de Saturne ?

Coup de pouce QR Code p. 266

Données

- Constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N·m²·kg⁻².
- 1 an = $3{,}156 \times 10^7$ s.

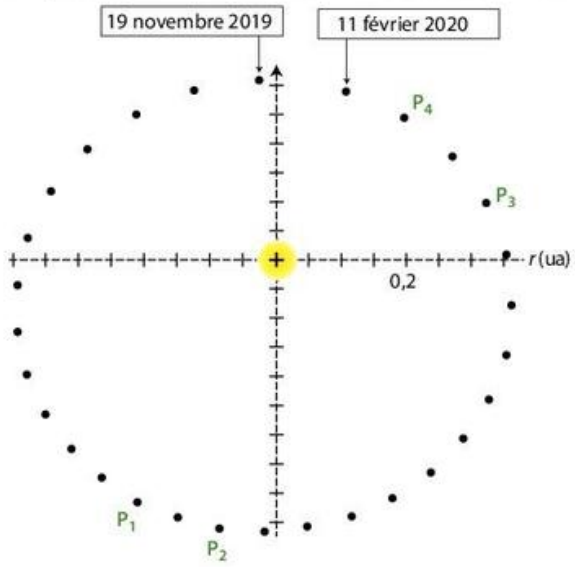
Préparation à l'ECE

On se propose de vérifier les trois lois de Kepler dans le référentiel héliocentrique à partir de la trajectoire de Mercure et de données astronomiques des autres planètes du système solaire.



A Trajectoire de Mercure dans le référentiel héliocentrique entre le 19 novembre et le 11 février 2020

Les données ayant permis de tracer cette trajectoire sont issues du site de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides situé au sein de l'Observatoire de Paris.



Deux positions consécutives de la planète sont séparées de trois jours.

B Première loi de Kepler dans le référentiel héliocentrique

Dans le référentiel héliocentrique, la trajectoire du centre de masse d'une planète est une ellipse dont le centre de masse S du Soleil est l'un des foyers.

C Deuxième loi de Kepler dans le référentiel héliocentrique

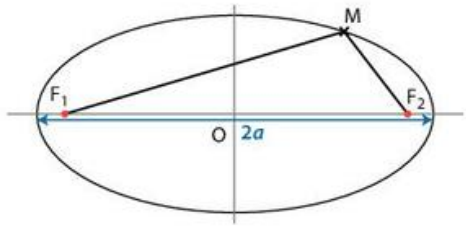
Le segment de droite reliant les centres de masse du Soleil et d'une planète balaie des aires égales pendant des durées égales.

D Propriétés d'une ellipse

Une ellipse de foyers F_1 et F_2 est l'ensemble des points M d'un plan qui vérifient la relation :

$$MF_1 + MF_2 = 2a$$

où a est le demi-grand axe de l'ellipse.



Utiliser le schéma **A** pour répondre aux questions suivantes.

Partie I Vérification de la première loi de Kepler

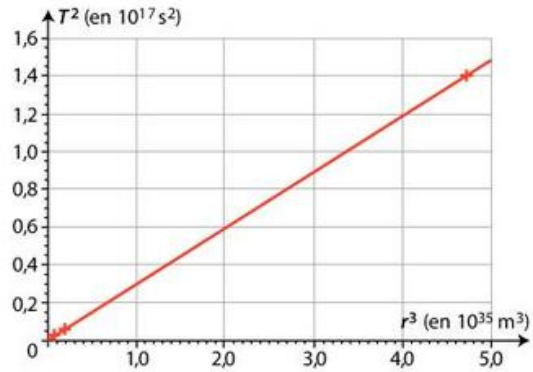
• REA Vérifier, sur deux positions choisies, que la trajectoire de Mercure dans le référentiel héliocentrique est elliptique.

Partie II Deuxième loi de Kepler

1. REA On a repéré sur la trajectoire différentes positions P_1, P_2, P_3 et P_4 de Mercure. Tracer sur le document fourni les secteurs elliptiques SP_1P_2 puis SP_3P_4.
2. REA Évaluer l'aire des surfaces ainsi délimitées.
3. VAL La deuxième loi de Kepler est-elle vérifiée ?

Partie III Troisième loi de Kepler

On se place dans l'approximation du mouvement circulaire pour toutes les planètes du système solaire.
Le graphique ci-dessous donne l'évolution du carré de la période de révolution des planètes en fonction du cube du rayon de leur orbite.



1. VAL Montrer que ce graphique est en accord avec la troisième loi de Kepler.
2. ANA-RAIS L'astéroïde Cérès fut découvert le 1er janvier 1801 par Giuseppe PIAZZI.
Avec un diamètre d'environ 950 km, Cérès est l'objet le plus grand et le plus massif de la ceinture d'astéroïdes. Sa période de révolution autour du Soleil est 4,5 ans.
Déterminer le rayon de l'orbite de Cérès.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Modifier son intonation

Lors d'un discours, l'orateur accentue certains mots.
Cela lui permet de donner plus de relief et de force à sa présentation.
L'attention de l'auditoire est également renforcée.



JOËL DUPUCH | AVEC VENTS ET MARÉES

- **Visionner la vidéo ci-contre.**
- **Repérer les mots accentués notamment après une minute de la vidéo.**

À deux, c'est mieux



Il y a 400 ans, Kepler !
Johannes Kepler (1571-1630) est un astronome célèbre qui a notamment étudié l'hypothèse de l'héliocentrisme de Nicolas Copernic.
Pour commémorer les 400 ans de l'ouvrage *Astronomia nova* écrit par Johannes Kepler, la République Tchèque a créé le timbre ci-contre.

- **Écrire quelques lignes expliquant le schéma du timbre situé sous le portrait de Kepler.**
- **Lire le texte devant un camarade en accentuant les mots importants.**
- **Évaluer la lecture à l'aide des critères ci-contre.**

Ensuite, inverser les rôles et faire de même.
Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

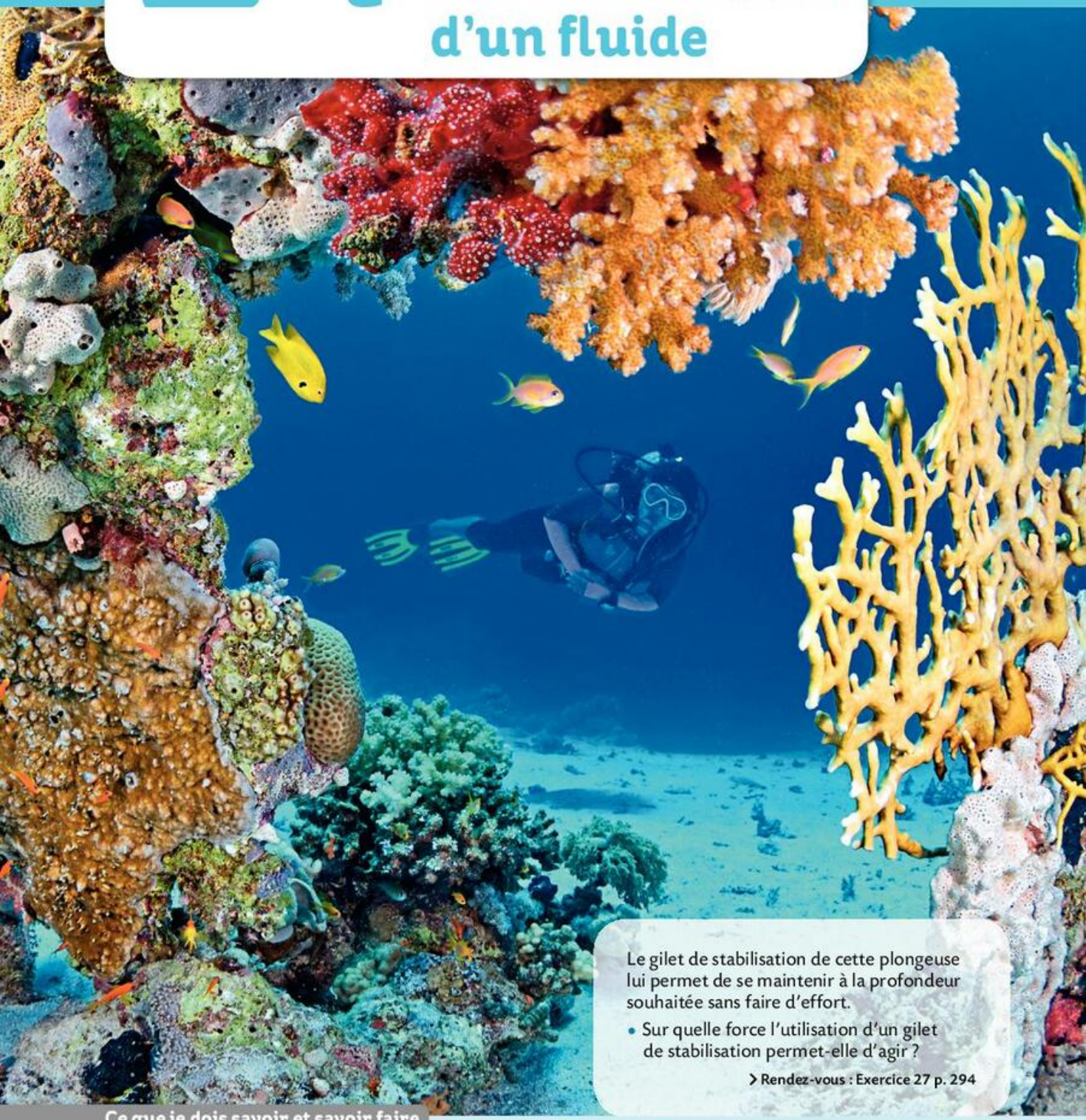
Critères de réussite	😐	😊
Modifier son intonation		
L'accentuation est convenable.	☐	☐
L'articulation est satisfaisante.	☐	☐
La lecture est fluide.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur Le mouvement dans un champ de gravitation

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

- Qu'est-ce qu'un **satellite géostationnaire** ?
- Citer la troisième **loi de Kepler**.
- Définir une **période de révolution**.

14 Modélisation de l'écoulement d'un fluide



Le gilet de stabilisation de cette plongeuse lui permet de se maintenir à la profondeur souhaitée sans faire d'effort.

- Sur quelle force l'utilisation d'un gilet de stabilisation permet-elle d'agir ?

> Rendez-vous : Exercice 27 p. 294

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Expliquer qualitativement l'origine de la poussée d'Archimède. Utiliser l'expression de la poussée d'Archimède. **Activité 1 p. 279**
- Mettre en œuvre un dispositif permettant de tester ou d'exploiter l'expression de la poussée d'Archimède. **Activité 1 p. 279**
- Exploiter la conservation du débit volumique pour déterminer la vitesse d'un fluide incompressible. **Activité 2 p. 280**
- Exploiter la relation de Bernoulli, celle-ci étant fournie, pour étudier qualitativement puis quantitativement l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent. **Activité 2 p. 280**
- Mettre en œuvre un dispositif expérimental pour étudier l'écoulement permanent d'un fluide et pour tester la relation de Bernoulli. **Activité 2 p. 280**

Vu en 1re

Le fluide au repos

FLUIDE AU REPOS

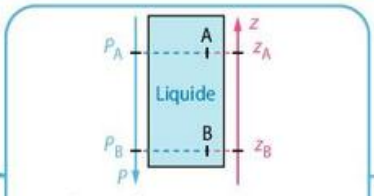
Pression et force pressante

Force pressante $\vec{F}$ exercée par le fluide sur une paroi



- **Direction de $\vec{F}$** : perpendiculaire à la paroi.
- **Sens de $\vec{F}$** : du fluide vers la paroi.
- **Valeur de $\vec{F}$** (en N) : $F = P \times S$ avec P (en Pa) la **pression du fluide**, S (en m^2) la **surface de la paroi** en contact avec le fluide.

Loi fondamentale de la statique des fluides



ρ en kg · m^{-3} ; z en m

$$P_B - P_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$$

P en Pa ; g en N·kg^{-1}

avec ρ la masse volumique du fluide

La **loi fondamentale de la statique des fluides** permet :

- de relier la différence de pression entre deux positions dans un fluide incompressible et la différence des coordonnées verticales de ces positions ;
- d'en déduire la **pression P en une position.**

Réactiver ses connaissances

VIDÉO **Pression et force pressante** – QR Code p. 284

Une plongeuse est immobile à une profondeur de 15 m. Ses coordonnées verticales sont repérées sur un axe Oz orienté vers le haut et dont l'origine est la surface de l'eau.

1. Exprimer la pression P de l'eau à 15 m de profondeur en utilisant la loi fondamentale de la statique des fluides. Cette loi s'écrit, entre deux positions A et B dans le fluide de masse volumique ρ : $P_B - P_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$.

2. Quelle est la valeur de la force pressante exercée par l'eau sur le masque de la plongeuse qui a une surface de 100 cm^2 ?



Données

- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1{,}0 \times 10^3$ kg · m^{-3}.
- Intensité de la pesanteur : $g = 10$ N · kg^{-1}.
- Pression atmosphérique : $P_{atm} = 1{,}0 \times 10^5$ Pa.

Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. La force pressante exercée par un fluide au repos sur une paroi est toujours :	verticale dirigée vers le haut.	perpendiculaire à la paroi.	verticale dirigée vers le bas.
2. Dans les unités du système international, la pression s'exprime en :	pascal (Pa).	bar (bar).	millimètre de mercure (mmHg).
3. La pression dans un liquide augmente lorsque la profondeur dans le liquide :	diminue.	augmente.	ne varie pas.
4. D'après la loi fondamentale de la statique des fluides, $P_B - P_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$, la différence de pression entre deux positions A et B dans un fluide est proportionnelle :	à la masse volumique du fluide.	à la coordonnée verticale d'une de ces positions.	à la différence des coordonnées verticales de ces deux positions.

Activité 1 expérimentale

Poussée d'Archimède

Notion
Poussée d'Archimède

La sensation de « légèreté » ressentie lors d'un bain peut s'expliquer par une force appelée poussée d'Archimède, bien plus intense dans l'eau que dans l'air.

Tâche complexe

► **Objectif de l'activité : Quelles sont les caractéristiques de la poussée d'Archimède ?**



A Poussée d'Archimède

Tout corps immergé dans un fluide, liquide ou gaz, est soumis de la part de ce fluide à une force $\vec{F}_p$ appelée poussée d'Archimède. Cette force est verticale, orientée vers le haut. Sa valeur, qui s'exprime en newton, est égale à celle du poids du fluide déplacé par le corps :

$$F_p = m_{fluide} \times g = \rho_{fluide} \times V_{im} \times g$$

avec :
- m_{fluide} la masse de fluide déplacé en kg ;
- ρ_{fluide} la masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$;
- V_{im} le volume du fluide déplacé, égal au volume immergé du corps en m^3 ;
- g l'intensité de la pesanteur en $N \cdot kg^{-1}$.

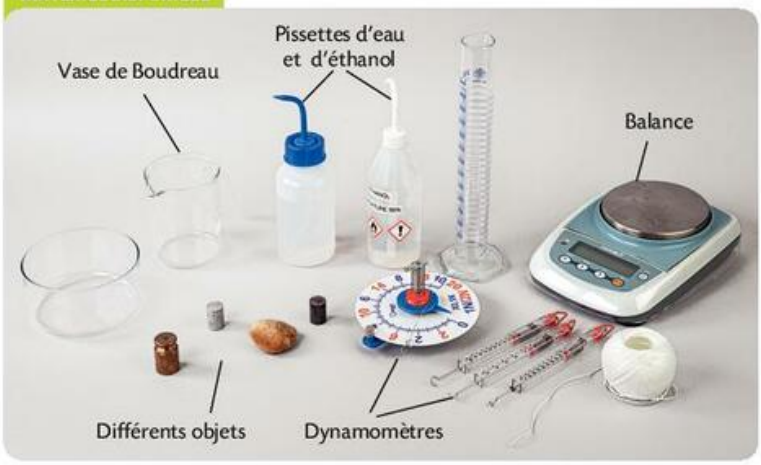
B Principe d'un dynamomètre

Un dynamomètre permet de mesurer la valeur de la force qui s'exerce sur lui.

Ci-contre, la masse marquée suspendue exerce une force sur le dynamomètre qui correspond au poids $\vec{P}$ de cette masse.



MATÉRIEL DISPONIBLE



Étapes de la démarche d'investigation

1. RELIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉMETTRE une hypothèse permettant d'y répondre.
4. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre pour valider l'hypothèse formulée.
5. NOTER les observations, les interpréter et conclure.

Données
- Masses volumiques : $\rho_{eau\ (\ell)} = 1\,000\ kg \cdot m^{-3}$; $\rho_{éthanol\ (\ell)} = 780\ kg \cdot m^{-3}$; $\rho_{air\ (g)} = 1{,}3\ kg \cdot m^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.

Investigation

ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1. Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de vérifier l'expression de la valeur de la poussée d'Archimède.

Interpréter des observations VAL

2. Justifier que la valeur de la poussée d'Archimède est bien plus intense dans l'eau que dans l'air pour un même corps immergé.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté COM

3. Quelles sont les caractéristiques de la poussée d'Archimède ?

Activité 2 expérimentale

Écoulement d'un fluide

Notions
- Débit volumique
- Relation de Bernoulli

Un château d'eau est utile pour stocker l'eau et la redistribuer au moment souhaité. Il existe une relation entre la hauteur d'eau dans le château, la vitesse de sortie de l'eau au robinet et la pression : c'est la relation de Bernoulli.



▶ **Objectif de l'activité : Comment exploiter la relation de Bernoulli ?**

A Débit volumique D_v

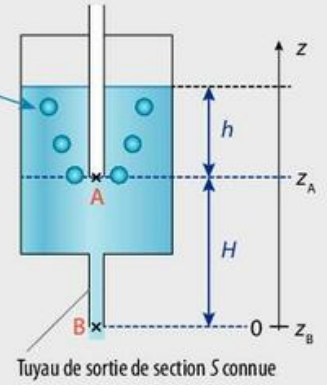
Le débit volumique D_v est égal au volume V de fluide sortant d'un réservoir, divisé par la durée Δt pendant laquelle ce volume s'écoule :

$$D_v \text{ en } m^3 \cdot s^{-1} \longrightarrow D_v = \frac{V}{\Delta t} \begin{array}{l} \longleftarrow V \text{ en } m^3 \\ \longleftarrow \Delta t \text{ en s} \end{array}$$

Dans un vase de Mariotte, le débit volumique D_v du fluide est constant pendant la vidange du vase tant que la hauteur du liquide restant ne devient pas inférieure à H. Il est égal au produit de la surface S de la section du tuyau de sortie par la valeur v de la vitesse du fluide au niveau de cette section : $D_v = S \times v$.

Matériel disponible

- Vase de Mariotte rempli d'eau avec un long tube en verre qui permet de créer un appel d'air
- Chronomètre
- Éprouvette graduée
- Récipient de récupération de l'eau
- Règle graduée



B Relation de Bernoulli

Lorsqu'un fluide s'écoule, la trajectoire d'un élément de volume de ce fluide est appelée **ligne de courant**.



En 1728, Daniel BERNOULLI est le premier à proposer une équation qui modélise l'écoulement de certains fluides. C'est la relation de Bernoulli appliquée le long d'une ligne de courant :

$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$

avec :
- ρ la masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$;
- P la pression en Pa ;
- g l'intensité de la pesanteur en $N \cdot kg^{-1}$;
- v la valeur de la vitesse du fluide en $m \cdot s^{-1}$;
- z la coordonnée verticale de la position en m.

Protocole expérimental

☑ METTRE en place le vase de Mariotte et remplir d'air le long tube en laissant couler de l'eau.
☑ RELEVER la coordonnée verticale z_A de la position A dans l'eau au niveau de l'extrémité inférieure du long tube.
☑ DÉTERMINER le débit volumique d'eau à l'aide d'une éprouvette et d'un chronomètre.

Pratique expérimentale

Mettre en œuvre un protocole RÉA

1 Mettre en œuvre le protocole expérimental fourni et noter les résultats.

Exploiter des résultats ANA-RAIS

2 Calculer la valeur v_B de la vitesse de sortie du fluide en B.

Utiliser un modèle pour prévoir RÉA

3 a. Écrire la relation de Bernoulli entre les positions A et B situées sur une même ligne de courant.

b. Les pressions aux positions A et B sont égales à la pression atmosphérique. On considère que la valeur de la vitesse en A est nulle.
La relation de Bernoulli est-elle vérifiée ?

Procéder à des analogies ANA-RAIS

4 Quelles grandeurs faut-il connaître pour calculer la valeur de la vitesse de l'eau à la base d'un château d'eau ?

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté COM

5 Comment exploiter la relation de Bernoulli ?

Rappel

- Les gaz et les liquides sont appelés des fluides.
- Les liquides sont des fluides incompressibles ; leur masse volumique ρ est considérée comme constante à une température donnée.

1 La poussée d'Archimède

a. Origine de la poussée d'Archimède

- Sur chaque portion de la surface d'un corps immergé dans un fluide, le fluide exerce une force pressante perpendiculaire à cette surface.

La **poussée d'Archimède** $\vec{F}_p$ est la somme des **forces pressantes** exercées par un fluide au repos sur la partie immergée d'un corps, solide ou fluide.

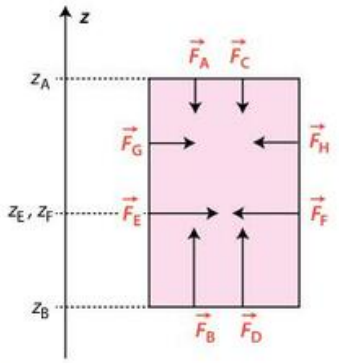
- La loi fondamentale de la statique des fluides s'écrit :

$$P_A - P_B = \rho_{fluide} \times g \times (z_B - z_A)$$

Pour le cas simple du schéma A :
– en deux positions A et B de coordonnées verticales z_A et z_B avec $z_B < z_A$, cette loi implique $P_B > P_A$. On en déduit, d'après l'expression de la valeur d'une force pressante $F = P \times S$, que pour une même surface S, $F_B > F_A$;
– en deux positions E et F de même coordonnée verticale, les forces pressantes $\vec{F}_E$ et $\vec{F}_F$ se compensent.
La somme des forces pressantes exercées sur le solide du schéma A est donc verticale vers le haut. Ce résultat se généralise quelle que soit la forme du solide et pour tout fluide.

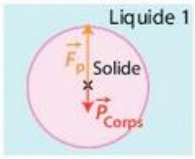
Dans un **fluide au repos**, la **différence de pression** entre les parties inférieure et supérieure d'un corps immergé, solide ou fluide, est à l'**origine de la poussée d'Archimède**.

A **Forces pressantes exercées par un fluide sur un solide immergé**

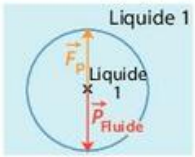


> Les forces pressantes horizontales se compensent deux à deux ; les forces pressantes verticales ne se compensent pas.

b. Expression vectorielle de la poussée d'Archimède



- Un corps immergé dans un fluide remonte si la valeur de son poids $\vec{P}_{corps}$ est inférieure à la valeur de la poussée d'Archimède $\vec{F}_p$.



- Si on retire le corps immergé, un élément de fluide de même forme et de même volume prend sa place. Cette portion de fluide est en équilibre, soumise à son poids $\vec{P}_{fluide}$ et à la **même** poussée d'Archimède $\vec{F}_p$.
- D'après le principe d'inertie, $\vec{P}_{fluide} + \vec{F}_p = \vec{0}$ soit : $\vec{F}_p = -\vec{P}_{fluide}$.

La poussée d'Archimède $\vec{F}_p$ sur cette portion de fluide est donc opposée à son poids $\vec{P}_{fluide}$.
On en déduit $\vec{F}_p = -\vec{P}_{fluide} = -m_{fluide}\vec{g} = -\rho_{fluide} \times V_{fluide}\vec{g}$.
Le volume V_{fluide} de fluide déplacé est égal au **volume immergé V_{im} du corps** (schéma B).

La **poussée d'Archimède** $\vec{F}_p$, exercée par un fluide de masse volumique ρ_{fluide}, est une **force opposée au poids du fluide déplacé** :

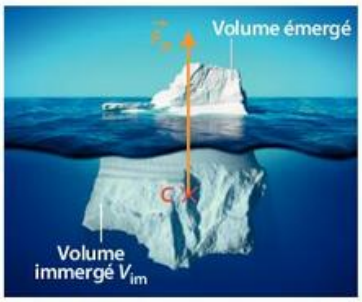
ρ_{fluide} en $kg \cdot m^{-3}$ — V_{im} en m^3

Valeur en N → $\vec{F}_p = -\rho_{fluide} \times V_{im} \times \vec{g}$ ← Valeur en $N \cdot kg^{-1}$

$\vec{F}_p$ | **Direction :** verticale.
Sens : vers le haut.
Valeur : $F_p = \rho_{fluide} \times V_{im} \times g$ avec V_{im} le volume immergé du corps et g l'intensité de la pesanteur du lieu.

On remarque que si le champ de pesanteur n'existait pas, il n'y aurait pas de poussée d'Archimède.

B **Poussée d'Archimède exercée par l'eau**



> La poussée d'Archimède exercée par l'eau s'applique au centre de masse C de la partie immergée de l'iceberg.

Cours

C **Débit volumique**



> Pour un individu au repos, le cœur humain pompe en moyenne 5,0 L de sang toutes les minutes. Le débit volumique sanguin est égal à :
$D_v = \frac{5{,}0\ \text{L}}{60\ \text{s}}$ soit $D_v = 8{,}3 \times 10^{-2}\ \text{L} \cdot \text{s}^{-1}$
ou $D_v = \frac{5{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}^3}{60\ \text{s}}$
soit $D_v = 8{,}3 \times 10^{-5}\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2 La conservation du débit volumique

a. Régime permanent indépendant du temps

Un fluide s'écoule en **régime permanent indépendant du temps** (ou régime permanent stationnaire), si la valeur v de sa vitesse en chaque position est indépendante du temps.

b. Débit volumique

En régime permanent indépendant du temps, lorsqu'un volume V de fluide s'écoule au travers d'une section pendant une durée Δt, le **débit volumique** D_v est donné par :

D_v en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ → $D_v = \frac{V}{\Delta t}$ ← V en m^3, Δt en s

- Le débit volumique D_v est une caractéristique de l'écoulement (dessin C).
- Pendant la durée Δt, le fluide qui traverse une section de surface S parcourt, dans le tube qui le contient, la distance ℓ, avec une vitesse de valeur v (schéma D). Le volume de fluide écoulé à travers cette section est :

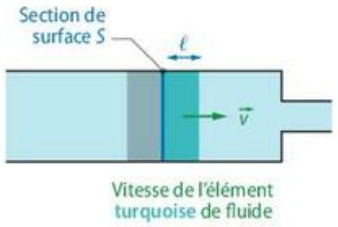
$$V = S \times \ell$$

On en déduit : $$D_v = \frac{V}{\Delta t} = \frac{S \times \ell}{\Delta t} = S \times v$$

Le débit volumique D_v est égal au **produit de la surface S** de la section du tube traversée par le fluide, **par la valeur v de la vitesse** du fluide au niveau de cette section :

D_v en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ → $D_v = S \times v$ ← S en m^2, v en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

D **Déplacement d'un fluide dans un tube pendant la durée Δt**



c. Conservation du débit volumique d'un fluide incompressible

- Un fluide incompressible s'écoule en régime permanent indépendant du temps dans une canalisation constituée de deux tubes de sections différentes (schéma E). Le volume V_A de fluide se déplaçant dans la canalisation de section S_A est identique au volume V_B de fluide se déplaçant dans la canalisation de section S_B pendant le même intervalle de temps Δt.

$V_A = V_B$ soit $\frac{V_A}{\Delta t} = \frac{V_B}{\Delta t}$: le débit volumique D_v est donc constant.

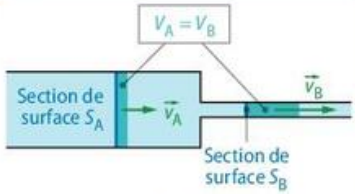
Au cours d'un écoulement en **régime permanent indépendant du temps**, le débit volumique d'un fluide incompressible **ne varie pas**, il se conserve :

$$D_v = \textbf{constante}$$

- Avec $v = \frac{D_v}{S}$ et D_v = constante, on observe que si la surface S traversée diminue, la valeur v de la vitesse du fluide incompressible augmente (schéma E).

Exemple : On pince l'extrémité d'un tuyau d'arrosage pour augmenter la valeur de la vitesse de sortie du jet.

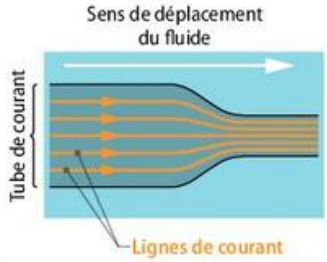
E **Conservation du débit volumique**



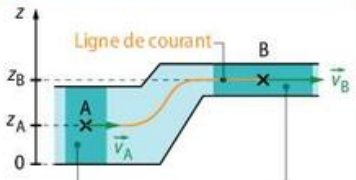
$S_A > S_B$
$v_A < v_B$

> Pour des sections différentes :
– les volumes qui s'écoulent sont identiques pendant le même intervalle de temps ;
– les valeurs de vitesse d'écoulement ne sont pas identiques.

F Lignes de courant



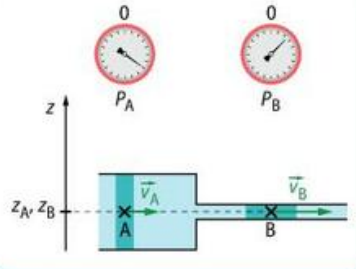
G Écoulement d'un fluide incompressible



lycee.hachette-education.com/pc/tle



H Écoulement d'un fluide dans un tube dont la section diminue



3 La relation de Bernoulli

Lorsqu'un fluide s'écoule, la trajectoire d'une particule de fluide est appelée **ligne de courant** (schéma F). Elle est orientée dans le sens de déplacement du fluide. L'ensemble des lignes de courant d'un fluide définit un tube de courant dans lequel le fluide s'écoule.

a. Énoncé de la relation de Bernoulli

• Soit un fluide incompressible qui s'écoule en régime permanent indépendant du temps. On suppose que les forces pressantes $\vec{F}$ sont les seules forces non conservatives qui s'exercent sur un élément de ce fluide se déplaçant le long d'une ligne de courant d'une position A à une position B (schéma G). On admet que le travail de ces forces est :

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = P_A \times V_A - P_B \times V_B$$

où P est la pression et V le volume d'un élément de fluide à la position considérée.

• La variation de l'énergie mécanique de cet élément de fluide de masse m s'écrit :

$$\Delta \mathscr{E}_{m_{A\to B}} = \mathscr{E}_{m_B} - \mathscr{E}_{m_A} = W_{A\to B}(\vec{F})$$

d'où $\left(\frac{1}{2}m\times v_B^2 + m\times g\times z_B\right) - \left(\frac{1}{2}m\times v_A^2 + m\times g\times z_A\right) = P_A\times V_A - P_B\times V_B$

$$\left(\frac{1}{2}m\times v_B^2 + m\times g\times z_B + P_B\times V_B\right) - \left(\frac{1}{2}m\times v_A^2 + m\times g\times z_A + P_A\times V_A\right) = 0$$

soit $\frac{1}{2}m\times v^2 + m\times g\times z + P\times V = \text{constante}$ le long d'une ligne de courant.

C'est la relation de Bernoulli. La constante est exprimée le plus souvent en énergie par unité de volume, ou densité d'énergie, ou pression, plus pratique à manipuler. En divisant l'égalité précédente par le volume V de l'élément de fluide considéré, on obtient :

$$\frac{1}{2}\rho\times v^2 + \rho\times g\times z + P = \text{constante}$$

Dans la relation de Bernoulli, la quantité $\frac{1}{2}\rho\times v^2$ permet de tenir compte des corrections dynamiques à apporter à la loi fondamentale de la statique des fluides lorsque le fluide étudié n'est plus au repos.

La relation de Bernoulli relie en toute position du fluide appartenant à une même ligne de courant, la **pression P**, la **valeur v de la vitesse** et la **coordonnée verticale z de la position**.

b. Effet Venturi

On peut appliquer la relation de Bernoulli à l'écoulement d'un fluide incompressible dans un tube dont la section se resserre ou s'évase. Dans le cas du schéma H, la section de surface S du tube diminue de A en B. Le débit volumique D_v étant conservé, la valeur de la vitesse augmente entre les positions A et B.

D'après la relation de Bernoulli :

$$\frac{1}{2}\rho\times v_A^2 + \rho\times g\times z_A + P_A = \frac{1}{2}\rho\times v_B^2 + \rho\times g\times z_B + P_B$$

Or ici $z_A = z_B$, la relation devient donc : $\frac{1}{2}\rho\times v_A^2 + P_A = \frac{1}{2}\rho\times v_B^2 + P_B$.

Une valeur de vitesse plus grande en B qu'en A implique une pression plus petite en B qu'en A : c'est l'**effet Venturi** (schéma H).

Cet effet s'applique aussi aux écoulements de gaz à faible vitesse.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

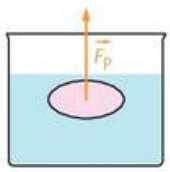
VIDÉO DE COURS
La relation de Bernoulli
QCM
Version interactive

1 La poussée d'Archimède

La poussée d'Archimède $\vec{F}_p$ est la somme des forces pressantes exercées par un fluide sur la partie immergée d'un corps, solide ou fluide.
C'est l'opposé du poids du fluide déplacé par ce corps.

ρ_{fluide} en kg·m^{-3} ; V_{im} en m^3 ; Valeur en N ; Valeur en N·kg^{-1}

$$\vec{F}_p = -\rho_{fluide} \times V_{im} \times \vec{g}$$



avec :
- ρ_{fluide} la masse volumique du fluide ;
- V_{im} le volume immergé du corps ;
- g l'intensité de la pesanteur.

2 La conservation du débit volumique

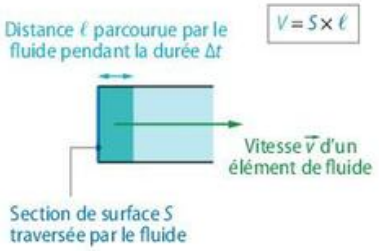
Un fluide s'écoule en **régime permanent indépendant du temps** si la valeur de la vitesse du fluide en toute position de l'écoulement est indépendante du temps.

Débit volumique D_v

V en m^3 ; S en m^2 ; D_v en m^3·s^{-1} ; Δt en s ; v en m·s^{-1}

$$D_v = \frac{V}{\Delta t} = S \times v$$

$V = S \times \ell$

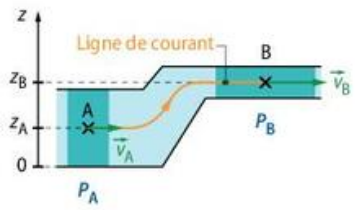


D_v = constante au cours de l'écoulement d'un fluide **incompressible** en **régime permanent indépendant du temps**

3 La relation de Bernoulli

La relation de Bernoulli est vérifiée le long d'une ligne de courant pour un fluide **incompressible** qui s'écoule en **régime permanent indépendant du temps**.

Elle relie, en toute position du fluide appartenant à une même ligne de courant, la pression P, la valeur v de la vitesse et la **coordonnée verticale z de la position**.



Elle permet de calculer P, v ou z quand les deux autres grandeurs sont connues.

QCM

Donnée

On considère que la relation de Bernoulli, $\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$, s'applique le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps.

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 La poussée d'Archimède

Si erreur, revoir § 1 p. 281

	A	B	C
1. La poussée d'Archimède exercée sur un corps immergé dans un fluide est due :	aux forces pressantes exercées par le fluide.	au poids du corps immergé.	à la forme du corps immergé.
2. La poussée d'Archimède :	est verticale.	est orientée vers le bas.	a une valeur qui s'exprime en newton.
3. La poussée d'Archimède $\vec{F}_p$ exercée sur un houlographe de volume V_{im} immergé dans l'eau a pour expression : 	$-\rho_{houlo} \times V_{im} \times \vec{g}$	$\rho_{eau} \times V_{im} \times \vec{g}$	$-\rho_{eau} \times V_{im} \times \vec{g}$
4. Dans la station ISS, spationautes et objets sont en état d'« impesanteur ». Les bulles d'une bouteille d'eau gazeuse ouverte :	montent à la surface.	restent sur place.	descendent au fond de la bouteille.

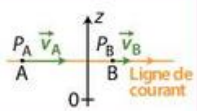
2 La conservation du débit volumique

Si erreur, revoir § 2 p. 282

5. Le débit volumique D_v d'un fluide qui traverse, pendant la durée Δt, la section S d'un tube avec une vitesse de valeur v a pour expression :	$D_v = \frac{v}{\Delta t}$	$D_v = S \times v$	$D_v = \frac{v}{S}$
6. Le débit volumique se conserve systématiquement pour :	un fluide incompressible en régime permanent indépendant du temps.	un gaz en régime permanent indépendant du temps.	un liquide en régime permanent indépendant du temps.
7. Un fluide incompressible, dont le débit volumique se conserve, a une vitesse dont la valeur diminue :	lorsque la section S du tube qu'il traverse diminue.	lorsque la section S du tube qu'il traverse augmente.	indépendamment de la section S du tube qu'il traverse.

3 La relation de Bernoulli

Si erreur, revoir § 3 p. 283

8. Dans la relation de Bernoulli donnée en haut de page :	ρ s'exprime en $kg \cdot L^{-1}$; v en $m \cdot s^{-1}$; z en m ; P en bar.	ρ s'exprime en $kg \cdot m^{-3}$; v en $km \cdot h^{-1}$; z en km ; P en bar.	ρ s'exprime en $kg \cdot m^{-3}$; v en $m \cdot s^{-1}$; z en m ; P en Pa.
9. Entre deux positions A et B, la relation de Bernoulli s'écrit :	$\frac{1}{2}\rho \times v_B^2 + \rho \times g \times z_A + P_A = \frac{1}{2}\rho \times v_A^2 + \rho \times g \times z_B + P_B$	$\rho \times \left(\frac{v_B^2}{2} - \frac{v_A^2}{2}\right) = \rho \times g \times (z_A - z_B) + (P_A - P_B)$	$\frac{1}{2}\rho \times g \times z_A + \rho \times v_A^2 + P_A = \frac{1}{2}\rho \times g \times z_B + \rho \times v_B^2 + P_B$
10. D'après ce schéma à l'échelle, on a : 	$P_A < P_B$	$P_A = P_B$	$P_A > P_B$

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...	
Calculer la valeur F_p de la poussée d'Archimède exercée par un fluide sur la partie immergée d'un corps, ou le volume immergé V_{im} d'un corps ou la masse volumique ρ_{fluide} d'un fluide.	**Réflexe 1** **Rappeler** l'expression de la valeur de la poussée d'Archimède $F_p = \rho_{fluide} \times V_{im} \times g$. **Isoler** éventuellement la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.	Ex. 5 p. 288
Calculer la valeur v de la vitesse d'un fluide incompressible qui s'écoule en régime permanent indépendant du temps.	**Réflexe 2** **Appliquer** la conservation du débit volumique de ce fluide pour deux positions. **Isoler** l'expression de la valeur de la vitesse recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.	Ex. 9 p. 288
Exploiter la relation de Bernoulli pour calculer, en une position du fluide, la pression, la valeur de sa vitesse ou sa coordonnée verticale.	**Réflexe 3** **Appliquer** la relation de Bernoulli pour deux positions A et B du fluide situées sur la ligne de courant étudiée. **Isoler** la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.	Ex. 13 p. 289

1 Exercice résolu

Technique de renflouement

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

Un plongeur souhaite renflouer, c'est-à-dire remonter à la surface, un objet archéologique en granite de volume $V_{objet} = 120{,}0$ L à l'aide d'un parachute de levage de masse négligeable devant celle de l'objet.



1. Calculer la valeur du poids de cet objet.
2. Justifier que l'objet reposait sur le fond marin.
3. Déterminer le volume minimal d'air à injecter dans le parachute de levage pour renflouer l'objet.

Données

- Masses volumiques : $\rho_{eau\ de\ mer} = 1{,}03 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3}$; $\rho_{granite} = 2{,}6 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 1.**

Rappel de l'expression de la valeur de la poussée d'Archimède

Calcul de la valeur de la poussée d'Archimède en convertissant le volume immergé V_{im} du corps en m^3

1. La valeur du poids de l'objet est : $P_{objet} = m_{objet} \times g = \rho_{granite} \times V_{objet} \times g$.

$P_{objet} = 2{,}6 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3} \times 120{,}0 \times 10^{-3}\ m^3 \times 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.

La valeur du poids de l'objet est $3{,}1 \times 10^3$ N.

2. La poussée d'Archimède a pour valeur $F_{p\,objet} = \rho_{eau} \times V_{objet} \times g$ car le volume immergé V_{im} est celui de l'objet.

$F_{p\,objet} = 1{,}03 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3} \times 120{,}0 \times 10^{-3}\ m^3 \times 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$

soit $F_{p\,objet} = 1{,}2 \times 10^3$ N.

On constate que $P_{objet} > F_{p\,objet}$, ce qui justifie que l'objet reposait sur le fond marin.

3. Pour que le système {objet et parachute} remonte, il faut que :

$F_{p\,système} > P_{système}$ soit $F_{p\,objet} + F_{p\,parachute} > P_{objet}$ où $F_{p\,parachute}$ est la valeur de la poussée d'Archimède qui s'exerce sur le parachute de levage.

Donc $F_{p\,parachute} > P_{objet} - F_{p\,objet}$.

Il vient $\rho_{eau} \times V_{parachute} \times g > P_{objet} - F_{p\,objet}$ d'où $V_{parachute} > \dfrac{P_{objet} - F_{p\,objet}}{\rho_{eau} \times g}$.

$$\frac{P_{objet} - F_{p\,objet}}{\rho_{eau} \times g} = \frac{3{,}1 \times 10^3\ N - 1{,}2 \times 10^3\ N}{1{,}03 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3} \times 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}}$$

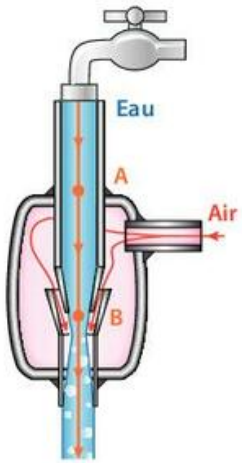
Le volume d'air injecté dans le parachute doit être supérieur à $1{,}9 \times 10^{-1}\ m^3$, c'est-à-dire $1{,}9 \times 10^2$ L, pour renflouer l'objet.

2 Exercice résolu

La trompe à eau

| Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

Une trompe à eau est un dispositif qui permet d'obtenir une dépression par effet Venturi. Elle est souvent utilisée en chimie afin de réaliser des filtrations ou des distillations sous pression réduite. La trompe se branche sur un robinet afin de faire circuler de l'eau dans une canalisation dont le diamètre diminue (voir schéma ci-contre, qui n'est pas à l'échelle).



Extrait de la notice d'une trompe à eau en laiton chromé
Consommation d'eau : 330 L/h.
Rayons intérieurs en A et B : $r_A = 1{,}0$ cm ; $r_B = 1{,}5$ mm.
Distance entre A et B : 10 cm.

1. Montrer qu'en régime permanent indépendant du temps, le débit volumique D_v de la trompe à eau est $9{,}17 \times 10^{-5}$ m$^3 \cdot$ s^{-1}.
2. Calculer la valeur v_A de la vitesse d'écoulement de l'eau en A.
3. Calculer la valeur v_B de la vitesse d'écoulement de l'eau en B.
4. Calculer la différence de pression $\Delta P = P_B - P_A$ entre A et B.
5. Justifier le sens de circulation de l'air dans la trompe à eau.

Données
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ N$\cdot$kg^{-1}.
- On considère que la relation de Bernoulli, $\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P =$ constante, peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps.

Solution rédigée

1. Le débit volumique d'eau D_v est 330 L/h, qu'il faut convertir en m$^3 \cdot$ s^{-1}, sachant que 1 h = 3 600 s et 1 L = 1×10^{-3} m^3.

$D_v = \dfrac{330 \times 10^{-3}\ \text{m}^3}{3\,600\ \text{s}}$ soit $D_v = 9{,}17 \times 10^{-5}$ m$^3 \cdot$ s^{-1}.

2. Le débit volumique en A s'écrit : $D_v = S_A \times v_A$ d'où $v_A = \dfrac{D_v}{S_A} = \dfrac{D_v}{\pi \times r_A^2}$.

$v_A = \dfrac{9{,}17 \times 10^{-5}\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{\pi \times (1{,}0 \times 10^{-2})^2\ \text{m}^2}$ soit $v_A = 0{,}29$ m$\cdot$ s^{-1}.

La valeur v_A de la vitesse d'écoulement de l'eau en A est 0,29 m$\cdot$ s^{-1}.

- **On utilise le Réflexe 2.**

Application de la conservation du débit volumique de l'eau

3. La conservation du débit volumique s'écrit : $D_v = S_A \times v_A = S_B \times v_B$.

D_v est connu, S_B se calcule comme S_A.

Isolement de v_B et calcul en convertissant le rayon en m

On a donc $v_B = \dfrac{D_v}{S_B}$.

$v_B = \dfrac{D_v}{\pi \times r_B^2}$ donc $v_B = \dfrac{9{,}17 \times 10^{-5}\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}{\pi \times (1{,}5 \times 10^{-3})^2\ \text{m}^2}$ soit $v_B = 13$ m$\cdot$ s^{-1}.

La valeur v_B de la vitesse d'écoulement de l'eau en B est 13 m$\cdot$ s^{-1}.

- **On utilise le Réflexe 3.**

Application de la relation de Bernoulli en deux positions de la ligne de courant le long de laquelle la relation s'applique

4. La relation de Bernoulli appliquée aux positions A et B s'écrit :

$$\frac{1}{2}\rho_{eau} \times v_A^2 + \rho_{eau} \times g \times z_A + P_A = \frac{1}{2}\rho_{eau} \times v_B^2 + \rho_{eau} \times g \times z_B + P_B$$

Les valeurs des vitesses, la différence des coordonnées verticales et la masse volumique du fluide étant connues, il vient :

$$\Delta P = P_B - P_A = \frac{1}{2}\rho_{eau} \times (v_A^2 - v_B^2) + \rho_{eau} \times g \times (z_A - z_B)$$

Isolement de ΔP puis calcul en utilisant ρ_{eau} en kg$\cdot$ m^{-3}

$\Delta P = \dfrac{1}{2} \times 1\,000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \times (0{,}29^2 - 13^2)\ (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2$
$+ 1\,000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1} \times (10 \times 10^{-2})\ \text{m}$

La différence de pression $\Delta P = P_B - P_A$ entre A et B est $-8{,}3 \times 10^4$ Pa.

5. La pression en B est inférieure à celle en A. Une dépression apparaît dans cette zone de la trompe à eau et permet l'aspiration de l'air.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Expliquer qualitativement l'origine de la poussée d'Archimède. Utiliser l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède.	5	18	27
Exploiter la conservation du débit volumique pour déterminer la vitesse d'un fluide incompressible.	9	17	27
Exploiter la relation de Bernoulli, celle-ci étant fournie, pour étudier qualitativement puis quantitativement l'écoulement d'un fluide incompressible en régime permanent.	11 13	17	27

1 La poussée d'Archimède

3 Expliquer l'origine de la poussée d'Archimède CORRIGÉ

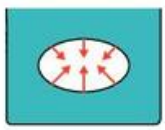
Mobiliser et organiser ses connaissances.

1. Dans quelle(s) condition(s) un corps est-il soumis à la poussée d'Archimède ?
2. À quoi est due la poussée d'Archimède ?

4 Comprendre l'origine de la poussée d'Archimède

Exploiter des informations.

Un corps est immergé dans un fluide.



1. Que représentent les flèches ?
2. À quoi la somme de ces forces correspond-elle ?

5 Utiliser l'expression vectorielle de la poussée d'Archimède CORRIGÉ

Faire un schéma adapté.

Un iceberg immobile de volume V_{ice} flotte à la surface de l'eau. Son volume immergé est V_{im}.



1. Représenter les deux forces exercées sur l'iceberg.
2. Écrire l'expression vectorielle de ces deux forces en utilisant les notations du texte et calculer leurs valeurs.

Utiliser le réflexe 1

Données

- Volumes : $V_{ice} = 7{,}0 \times 10^4\ m^3$; $V_{im} = 6{,}3 \times 10^4\ m^3$.
- Masses volumiques : $\rho_{ice} = 9{,}2 \times 10^2\ kg \cdot m^{-3}$; $\rho_{eau} = 1{,}02 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.

6 Définir la poussée d'Archimède

Mobiliser et organiser ses connaissances.

1. Quels sont la direction, le sens et la valeur de la poussée d'Archimède que subit un corps immergé dans un fluide ?
2. Exprimer vectoriellement la poussée d'Archimède en explicitant chaque grandeur et son unité.

2 La conservation du débit volumique

7 Définir le débit volumique d'un fluide CORRIGÉ

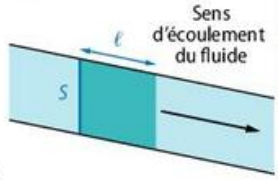
Mobiliser et organiser ses connaissances.

1. Quand dit-on qu'un fluide s'écoule en régime permanent indépendant du temps ?
2. Définir le débit volumique d'un fluide.

8 Exprimer le débit volumique d'un fluide

Exploiter des informations.

Un élément de fluide traverse une section de surface S et se déplace d'une distance ℓ pendant une durée Δt.

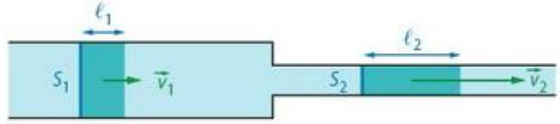


1. Que représente le volume colorié en turquoise ?
2. Exprimer le débit volumique de ce fluide à l'aide des notations du texte.

9 Traduire la conservation d'un débit volumique CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

De l'eau liquide, fluide incompressible, s'écoule en régime permanent indépendant du temps dans une canalisation.



L'eau qui traverse la section de surface S_1 parcourt la distance ℓ_1 pendant la durée Δt.
L'eau qui traverse la section de surface S_2, pendant la même durée Δt, parcourt la distance ℓ_2.

1. Comparer les débits volumiques aux deux extrémités du tube schématisées ci-dessus.
2. Exprimer la valeur v_2 de la vitesse en fonction de v_1, S_1 et S_2. La calculer.

Utiliser le réflexe 2

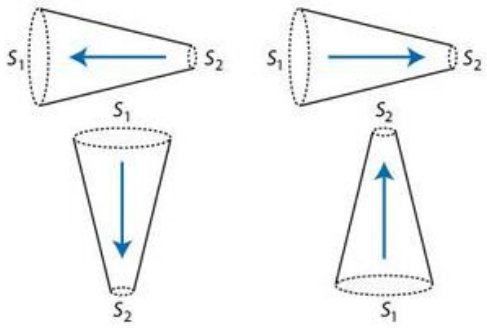
Données

- Surfaces des sections : $S_1 = 30\ cm^2$; $S_2 = 10\ cm^2$.
- Valeur de la vitesse d'écoulement du fluide : $v_1 = 2{,}2\ m \cdot s^{-1}$.

10 Comparer des valeurs de vitesse

| Utiliser un modèle pour prévoir.

On appelle v_1 et v_2 les valeurs de vitesse d'écoulement du fluide respectivement à travers les sections de surfaces S_1 et S_2. Le fluide est supposé incompressible.
Les flèches représentent le sens d'écoulement du fluide en régime permanent indépendant du temps.



• Comparer v_1 et v_2 dans les situations schématisées.

3 La relation de Bernoulli

VIDÉO DE COURS **La relation de Bernoulli – QR Code p. 284**

11 CORRIGÉ Décrire les grandeurs physiques de la relation de Bernoulli

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

1. Décrire chaque grandeur qui intervient dans la relation de Bernoulli. Préciser les unités.

2. À l'aide de cette relation, écrire une égalité faisant intervenir des grandeurs physiques en deux positions A et B d'une ligne de courant horizontale d'un fluide.

Donnée

On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :

$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$

12 Exploiter qualitativement la relation de Bernoulli

| Utiliser un modèle pour prévoir.

• À l'aide de la relation de Bernoulli, compléter les phrases suivantes, les positions A et B étant situées sur une même ligne de courant.

a. Si $v_A > v_B$ et si $z_A = z_B$, alors la pression P_A à la position A est .....

b. Si $v_A < v_B$ et si $P_A = P_B$, alors la coordonnée verticale z_A est .....

c. Si $v_A = v_B$ et si $z_A < z_B$, alors la pression P_A à la position A est .....

Donnée

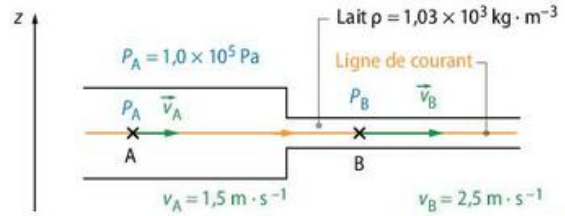
On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :

$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$

13 CORRIGÉ Exploiter la relation de Bernoulli (1)

| Exploiter des informations sur un schéma.

Un écoulement de lait est schématisé ci-dessous.



• Calculer la pression P_B en B. Utiliser le réflexe 3

Donnée

On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :

$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$

14 Exploiter la relation de Bernoulli (2)

| Effectuer des calculs.

• Sachant que $\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$, calculer la valeur v_B de la vitesse de l'eau s'écoulant entre A et B.

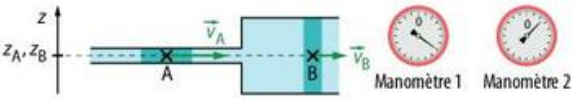
Données

- En A, $v_A = 2{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $z_A = 0{,}50\ \text{m}$ et $P_A = 1{,}20 \times 10^5\ \text{Pa}$.
- En B, $z_B = 0{,}75\ \text{m}$ et $P_B = 1{,}10 \times 10^5\ \text{Pa}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1{,}0 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

15 CORRIGÉ Appliquer la relation de Bernoulli

| Exploiter des informations.

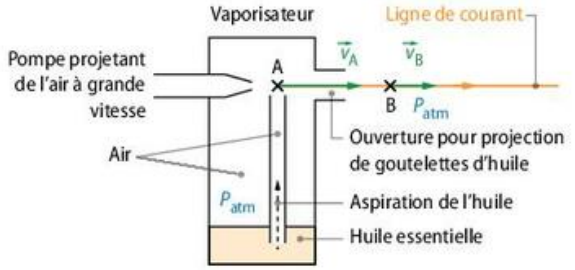
• Sachant que $\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$, associer les manomètres 1 et 2 aux positions A et B du schéma.



16 Tester la relation de Bernoulli

| Rédiger une explication.

• Justifier que l'huile essentielle du vaporisateur schématisé ci-dessous est aspirée jusqu'en A.



Donnée

On admet que la relation de Bernoulli s'applique :

$$\frac{1}{2}\rho \times v_A^2 + \rho \times g \times z_A + P_A = \frac{1}{2}\rho \times v_B^2 + \rho \times g \times z_B + P_B$$

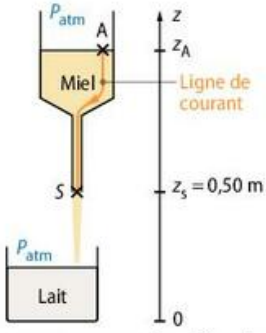
17 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Du yaourt au miel

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.

Dans une laiterie, afin d'aromatiser des yaourts, du miel s'écoule d'un réservoir dans une cuve contenant du lait à travers un tuyau de diamètre $d = 12{,}5$ mm, suivant le schéma ci-contre.



Le miel est considéré comme un liquide incompressible dont on néglige la viscosité.
Le réservoir est parallélépipédique et de grandes dimensions par rapport à celles de la cuve.

1. La durée de remplissage de la cuve d'un volume $V = 41$ L de miel est $\Delta t = 2{,}0$ min. Calculer le débit volumique D_v d'écoulement du miel dans la cuve en $m^3 \cdot s^{-1}$.

2. Calculer la valeur v_S de la vitesse d'écoulement du miel dans le tuyau.

3. La valeur de la vitesse du miel en A est considérée comme négligeable devant la valeur de la vitesse du miel dans le tuyau.
Exprimer puis calculer la coordonnée verticale z_A de la position A.

Données

- Masse volumique du miel : $\rho_{miel} = 1\,042$ kg $\cdot$ m^{-3}.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ N $\cdot$ kg^{-1}.
- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :

$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$

Critères de réussite

J'ai converti le volume, la durée et le diamètre dans les bonnes unités (questions 1 et 2).	☐ ☐
J'ai appliqué la relation de Bernoulli en respectant les notations du texte (question 3).	☐ ☐
J'ai rédigé toutes les réponses.	☐ ☐

18 Mon beau sapin

CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

Le tronc de sapin de la photographie ci-dessous a un diamètre $D = 30$ cm, une longueur $\ell = 5{,}0$ m et il est immergé d'une hauteur $h = 15$ cm.



1. Schématiser la situation.

2. Exprimer la valeur de la poussée d'Archimède s'exerçant sur le tronc supposé cylindrique.

3. Rappeler le principe d'inertie en l'appliquant au tronc dans un référentiel terrrestre considéré comme galiléen.

4. Le bois du sapin de la photographie ci-avant est-il sec ou vert ?

Données

- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ N $\cdot$ kg^{-1}.
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3$ kg $\cdot$ m^{-3}.
- Masse volumique du sapin sec : $\rho_1 = 400$ à 580 kg $\cdot$ m^{-3}.
- Masse volumique du sapin vert : $\rho_2 = 800$ à 900 kg $\cdot$ m^{-3}.

19 Assumptions[1] and Bernoulli's equation

Pratiquer une langue vivante étrangère.

Bernoulli's equation is based on the fact that any extra kinetic or potential energy gained by a fluid system is caused by external work applied by another non-viscous fluid on the system. One must assume:
– no dissipative forces, since otherwise there would be thermal energy generated;
– steady flow[2], since otherwise the trick of canceling the energies of the middle section would not work;
– incompressibility, since otherwise the volumes and masses would not necessarily be equal.
A way to write Bernoulli's equation is:

$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constant}$$

This constant is different for different fluid systems, but for a given steady state streamline[3] non-dissipative flowing fluid, the value of $\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P$ is the same at any position along the flowing fluid.

D'après un article de la Khan Academy.

Vocabulary: 1. *assumption*: hypothèse. 2. *steady flow*: écoulement en régime permanent indépendant du temps. 3. *a streamline*: une ligne de courant.

1. Which conservation law is Bernoulli's equation based on?

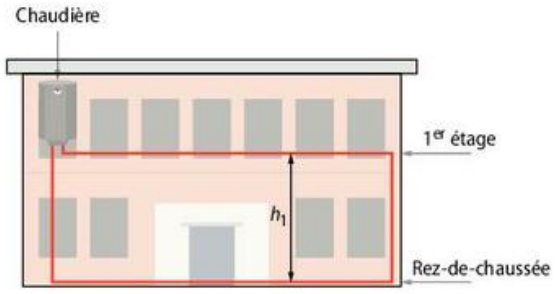
2. Quote two assumptions about the fluid that verify Bernoulli's equation.

3. Is the value of the constant in Bernoulli's equation independent from all parameter?

20 Chauffage central

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

Dans un bâtiment industriel à un étage, équipé d'une installation de chauffage central, l'eau s'écoule en circuit fermé dans les canalisations suivant le schéma ci-après. L'eau est considérée comme un fluide incompressible.
Les diamètres intérieurs des canalisations du rez-de-chaussée et du premier étage sont notés respectivement d_0 et d_1.
En hiver, quand le chauffage fonctionne, la valeur v_0 de la vitesse d'écoulement de l'eau au rez-de-chaussée est égale à $1{,}3$ m $\cdot$ s^{-1} et le débit volumique de l'eau est $D_v = 4{,}1 \times 10^{-4}$ m$^3 \cdot$ s^{-1}.



1. Calculer le diamètre d_0 de la canalisation installée au rez-de-chaussée.

2. Quel est le débit volumique au premier étage ?

3. Calculer la valeur v_1 de la vitesse de l'eau dans les canalisations du premier étage.

4. La pression de l'eau P_0 dans les canalisations au rez-de-chaussée est égale à 1,5 bar.
Calculer la pression P_1 de l'eau dans les canalisations du premier étage du bâtiment en utilisant la relation de Bernoulli.

5. En été, le chauffage est arrêté ; la pression de l'eau dans les canalisations au rez-de-chaussée est toujours P_0. La loi fondamentale de la statique des fluides incompressibles, $P_B - P_A = \rho \times g \times (z_A - z_B)$, s'applique.
Calculer la pression $P_{1,\text{été}}$ en été au premier étage.

6. Plus une canalisation est soumise à une force pressante intense, plus sa longévité diminue.
Quelle période de l'année impacte le plus la longévité des canalisations ?

Données

- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible comme l'eau en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :
$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau, supposée la même aux deux températures : $\rho_{eau} = 1{,}0 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- $d_1 = 15$ mm.
- $h_1 = 4{,}8$ m.
- 1 bar $= 1 \times 10^5$ Pa.

21 Souffle au cœur

Exploiter des informations ; mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.



L'aorte thoracique est une artère qui transporte le sang chargé de dioxygène à partir du cœur vers les organes ; l'aorte est considérée comme cylindrique de diamètre D.
Un patient présente une sténose aortique congénitale : dès sa naissance, son aorte présentait un rétrécissement anormal de diamètre d égal à un cinquième du diamètre D.
Ce patient, lors de l'auscultation, a un pouls de 70 pulsations par minute. À chaque pulsation cardiaque, le cœur du patient envoie $V = 75\ \text{cm}^3$ de sang, liquide incompressible, dans l'aorte.

1. Vérifier que le débit volumique sanguin dans l'aorte est $D_v = 8{,}8 \times 10^{-5}\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

2. La valeur v_A de la vitesse du sang dans l'aorte, mesurée lors d'une échographie Doppler, est $0{,}31\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.
Calculer le diamètre D de l'aorte.

3. Calculer la valeur v_R de la vitesse dans le rétrécissement.

4. Un souffle est entendu de façon permanente si v_R dépasse $6\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Un souffle est-il entendu lors de l'auscultation du patient présentant une sténose aortique congénitale ?

22 À chacun son rythme

Tuyau d'arrosage

Faire un schéma adapté ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.



Un particulier a placé, sur son installation d'arrosage, un réducteur de pression. Il permet de maintenir constante la pression de l'eau, au niveau de l'entrée d'un tuyau d'arrosage raccordé au réducteur, à une valeur maximale de 3,0 bar (1 bar $= 1 \times 10^5$ Pa).
Un tuyau cylindrique de diamètre d'entrée $d_E = 15$ mm est fixé à la sortie du réducteur de pression. L'autre extrémité est munie d'un embout, ou lance d'arrosage, de diamètre de sortie $d_S = 10$ mm.
L'eau est considérée comme incompressible avec $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. En écoulement permanent indépendant du temps, la vitesse de l'eau à l'entrée du tuyau a pour valeur $v_E = 7{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. La lance d'arrosage et le raccord du tuyau au réducteur sont supposés être à la même altitude. La pression atmosphérique est $P_{atm} = 1{,}01$ bar.

Énoncé compact

Montrer qu'en cycle d'arrosage, la pression à l'entrée du tuyau est compatible avec celle que le réducteur de pression peut maintenir.

Énoncé détaillé

1. Schématiser la situation en plaçant les positions E et S.

2. Quelle est la pression P_S de l'eau à la sortie du tuyau ?

3. Exprimer le débit volumique de l'eau en E, puis en S, en fonction des diamètres du tuyau et des valeurs de vitesse.

4. Calculer la valeur v_S de la vitesse de l'eau à la sortie de la lance d'arrosage.

5. À l'aide de la relation de Bernoulli, calculer la pression P_E d'entrée de l'eau dans le tuyau.

6. Montrer qu'en cycle d'arrosage, la pression à l'entrée du tuyau est compatible avec celle que le réducteur de pression peut maintenir.

Données

- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :
$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$
- Intensité de la pesanteur : $g = 10\ \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

23 Histoire des sciences

Eurêka !

Extraire et exploiter des informations ; mobiliser et organiser ses connaissances.

Le roi HIÉRON II, tyran de Syracuse au IIIe siècle avant notre ère, soupçonne l'orfèvre qui a fabriqué sa couronne, censée être en or massif, d'y avoir mis un mélange d'or et d'argent. La couronne a bien la même masse que l'or fourni à l'orfèvre pour sa réalisation, mais le roi demande tout de même à ARCHIMÈDE de vérifier s'il y a tromperie, sans abîmer la couronne.

Alors qu'ARCHIMÈDE, aux bains publics, se plonge dans un bain chaud et le fait déborder, il s'écrie soudainement : « *Eurêka, Eurêka* ! » (« J'ai trouvé ! »). Il court nu – dit la légende –, jusqu'à son habitation pour énoncer : « **Un corps plongé dans un liquide déplace un volume de ce liquide égal à son propre volume.** »



Par comparaison des volumes d'eau déplacée par la couronne et par un volume équivalent en or, il pourra trancher.

1. a. Calculer le volume V_1 d'une couronne en or massif de masse $m = 2{,}00$ kg.

b. Montrer que le volume V_2 de cette couronne est $1{,}12 \times 10^{-1}$ L si l'orfèvre a substitué 10 % de la masse d'or par de l'argent.

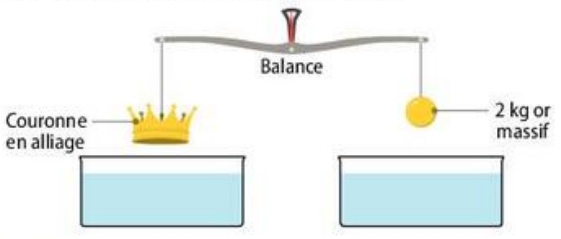
c. Justifier qu'il est peu probable qu'ARCHIMÈDE ait pu conclure en réalisant l'expérience qu'il imagine.

2. a. On conçoit une autre expérience en immergeant complètement la couronne dans un récipient contenant de l'eau. Indiquer les caractéristiques de la poussée d'Archimède $\vec{F}_p$ exercée par l'eau sur la couronne si elle est en or massif.

b. Répondre à la même question si l'orfèvre a substitué 10 % de la masse d'or par de l'argent.

3. Calculer la valeur du poids de la couronne en or massif de masse m.

4. Lors de l'expérience schématisée ci-dessous, prévoir de quel côté penche le fléau de la balance lorsque les deux objets, de même masse, sont immergés.



Données

- Masses volumiques :
$\rho_{argent} = 1{,}050 \times 10^4$ kg·m^{-3} ;
$\rho_{or} = 1{,}930 \times 10^4$ kg·m^{-3} ;
$\rho_{eau} = 1{,}000 \times 10^3$ kg·m^{-3}.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ N·kg^{-1}.

24 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Jet d'eau

Construire les étapes d'une résolution de problème.

- La hauteur théorique prévue pour le jet d'eau du roi Fahd est-elle celle observée ?

A **Un jet d'eau impressionnant**



Le jet d'eau du roi Fahd est l'emblème de la ville de Djeddah en Arabie Saoudite. L'eau est éjectée avec une vitesse de valeur 375 km·h^{-1} ; la hauteur du jet peut atteindre 312 m. L'eau liquide est supposée incompressible.

Données

- La pression atmosphérique est reliée à l'altitude z par :
$$P_{atm} = P_0 \times e^{-k \times z}$$
avec $P_0 = 1{,}01 \times 10^5$ Pa et $k = 1{,}14 \times 10^{-4}$ m^{-1}.
- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible comme l'eau en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :
$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81$ N·kg^{-1}.
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1{,}00 \times 10^3$ kg·m^{-3}.

25 Quand le vent souffle

Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; mobiliser et organiser ses connaissances.

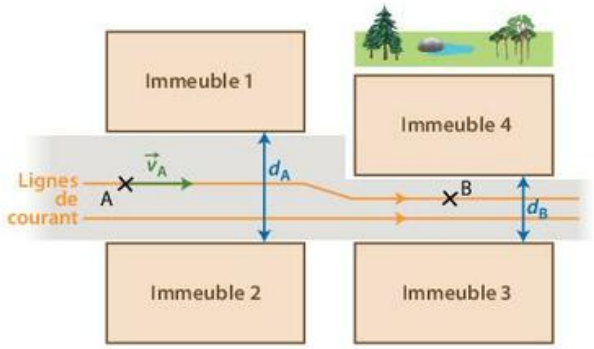


Quatre immeubles de hauteur H sont implantés au bord d'une place comprenant un rétrécissement ; la distance entre les immeubles 1 et 2 est $d_A = 80{,}0$ m, puis est réduite à $d_B = 60{,}0$ m entre les immeubles 3 et 4.

La situation est schématisée en vue aérienne ci-après.

La pression à l'intérieur de tous les immeubles est égale à la pression P_A de l'air entre les immeubles 1 et 2. Une vitre peut casser si elle est soumise à des forces pressantes de valeurs très différentes de part et d'autre du vitrage.

Un jour de tempête, la valeur v_B de la vitesse du vent est supérieure à la valeur $v_A = 100\ km \cdot h^{-1}$.
On peut considérer que dans ces conditions, l'air se comporte comme un fluide incompressible qui s'écoule en régime permanent indépendant du temps.



1. a. Indiquer l'évolution du débit volumique de l'air entre les positions A et B.
b. Exprimer la valeur v_B de la vitesse entre les bâtiments 3 et 4 en fonction de v_A, d_A et d_B. La calculer.

2. a. Calculer la différence de pression de l'air $P_A - P_B$ de part et d'autre des vitres des immeubles 3 et 4 donnant sur la place.
b. Schématiser, sans souci d'échelle mais de façon cohérente, les forces pressantes qui s'exercent sur une vitre de l'immeuble 4 donnant sur la place.
c. Calculer la différence entre les valeurs des forces pressantes qui s'exercent de part et d'autre d'une vitre de surface $S = 6{,}0\ m^2$ de l'immeuble 4 donnant sur la place.
d. Déterminer la masse d'un objet dont le poids aurait la même valeur que celle de cette somme de forces pressantes. Conclure.

Données

- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :

$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$

- Masse volumique de l'air : $\rho_{air} = 1{,}2\ kg \cdot m^{-3}$.

26 Sonde de Pitot

Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; mobiliser et organiser ses connaissances ; faire un schéma adapté.

Un hors-bord est équipé notamment d'une sonde de Pitot qui permet de déterminer la valeur v de sa vitesse.
Cette sonde, placée sur la coque du bateau, est immergée.



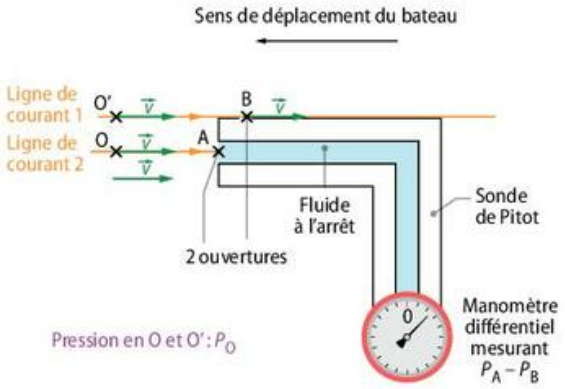
L'eau est considérée comme un fluide incompressible.

A Applications des sondes de Pitot

Une sonde de Pitot (Henri PITOT, 1695-1771) sert à mesurer la valeur de la vitesse d'un écoulement de fluide. Inventée en 1732, elle a ensuite été améliorée par Henry DARCY, puis par Ludwig PRANDTL.

Actuellement, des sondes de Pitot sont fréquemment utilisées pour mesurer la valeur de la vitesse d'un avion ou d'un bateau.

B Schéma de principe d'une sonde de Pitot



Dans un référentiel lié au bateau, l'eau se déplace à une vitesse de valeur v. Son vecteur vitesse représenté sur le schéma est orienté vers la droite.

Dans un référentiel lié à l'eau supposée immobile, le bateau se déplace à une vitesse de même valeur v. Le vecteur vitesse du bateau est, lui, orienté vers la gauche.

La différence de pression mesurée par le manomètre permet de calculer la valeur v de la vitesse du bateau.

La différence de coordonnées verticales entre O et O', ou entre A et B est négligeable.

1. a. Justifier que les pressions en O' et B sont identiques.
b. La position A est appelée point d'arrêt : la valeur de la vitesse du fluide y est nulle. Le long de la ligne de courant 2, justifier que P_A est supérieure à P_O.
c. En déduire que la valeur v de la vitesse en O est :

$$v = \sqrt{\frac{2(P_A - P_B)}{\rho_{eau}}}$$

2. La différence de pression mesurée par le manomètre différentiel est $\Delta P = 3{,}30 \times 10^3\ Pa$.
Calculer la valeur v de la vitesse du hors-bord.

3. La limitation dans la zone de navigation est 5 nœuds. Le hors-bord est-il en infraction ?

Données

- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps. Elle s'écrit :

$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$

- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.
- 1 nœud = 1 mile marin par heure = $1{,}852\ km \cdot h^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1{,}000 \times 10^3\ kg \cdot m^{-3}$.

Vers le BAC

Convertir correctement

Grandeur	Unités SI	Se rappeler que
Débit volumique D_v	$m^3 \cdot s^{-1}$	$1\ L = 1 \times 10^{-3}\ m^3$
		1 minute = 60 s
Masse volumique ρ	$kg \cdot m^{-3}$	1 gramme $= 1 \times 10^{-3}$ kg
Valeur v de la vitesse	$m \cdot s^{-1}$	$1\ km \cdot h^{-1} = \frac{1}{3,6}\ m \cdot s^{-1}$
Pression P	Pa	$1\ bar = 1 \times 10^5$ Pa
Surface S	m^2	$1\ cm^2 = (1 \times 10^{-2}\ m)^2 = 1 \times 10^{-4}\ m^2$

Le volume de fluide qui s'écoule en une seconde est plus petit que celui qui s'écoule en une minute.

La masse de fluide contenue dans un volume de 1 m^3 est plus grande que celle contenue dans 1 L.

Identifier les volumes



V_{im} peut être différent de $V_{système}$ pour le calcul de F_p.

Bien orienter l'axe z

L'axe z des coordonnées verticales est **toujours orienté vers le haut** pour l'application de la relation de Bernoulli.



Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 286

27 CORRIGÉ — 60 min

Une plongée technique

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; rédiger une argumentation.

Les parties I et II sont indépendantes.

Partie I La stabilité est de rigueur



Au cours d'une plongée, un plongeur cherche à se stabiliser afin de rester à une profondeur constante. Pour cela, il dispose d'un gilet de stabilisation et d'un ordinateur de plongée.

A Le gilet de stabilisation

Le gilet de stabilisation est un dispositif dont on peut faire varier le volume en injectant ou en évacuant de l'air. La valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'eau est alors modifiée, de façon à ce qu'elle compense exactement le poids du plongeur équipé.

L'air injecté provient de la bouteille d'air comprimé qui fait partie de l'équipement du plongeur ; cette injection d'air n'a donc aucune incidence sur la masse m du système {plongeur équipé}.

Lors de l'évacuation de l'air, on considère que la masse d'air expulsé est négligeable devant celle du système.

Le plongeur équipé, situé à une profondeur de 20 m en Méditerranée occupe un volume $V = 0,088\ m^3$. On suppose qu'il ne fait aucun geste.

1. Calculer la valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur le plongeur équipé. Utiliser le réflexe 1

2. Qu'arrive-t-il au plongeur équipé à la profondeur de 20 m s'il n'agit pas sur le gilet stabilisateur ?

3. Pour répondre à la question 2, il suffit de comparer les masses volumiques du plongeur équipé et de l'eau salée. Justifier cette affirmation.

4. Quel volume d'air le plongeur doit-il injecter dans son gilet ou évacuer afin d'être stabilisé ?

Partie II Les courants sous-marins et les ordinateurs de plongée

Le plongeur équipé entre dans une cavité modélisable par un cylindre de diamètre $d_1 = 6,0$ m, dans laquelle l'eau se déplace à une vitesse de valeur $v_1 = 0,30\ m \cdot s^{-1}$. La cavité est prolongée par un passage également cylindrique de diamètre $d_2 = 3,0$ m. La situation est schématisée ci-dessous :



On suppose que le volume du plongeur est négligeable devant celui de la cavité. L'eau est considérée comme un fluide incompressible qui s'écoule en régime permanent indépendant du temps.

1. Quelle est la valeur v_2 de la vitesse de l'eau dans le passage de diamètre d_2 ? Utiliser le réflexe 2

2. Calculer la différence de pression $\Delta P = P_2 - P_1$ entre les deux passages cylindriques de la cavité. Utiliser le réflexe 3

3. L'ordinateur de plongée indique notamment la profondeur à laquelle se trouve le plongeur. Il la calcule en fonction de la pression locale qu'il mesure, en appliquant la relation fondamentale de la statique des fluides selon laquelle la pression dans l'eau augmente de 1 bar lorsque la profondeur augmente de 10 m.

Quelle différence de profondeur, entre les deux passages cylindriques de la cavité, l'ordinateur va-t-il indiquer alors que le plongeur se déplace horizontalement ?

Coup de pouce QR Code p. 284

Données

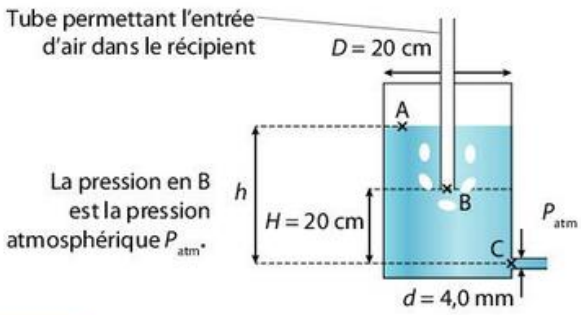
- On considère que la relation de Bernoulli peut s'appliquer le long d'une ligne de courant d'un fluide incompressible en écoulement permanent indépendant du temps.
Elle s'écrit :
$$\frac{1}{2}\rho \times v^2 + \rho \times g \times z + P = \text{constante}$$
- Masse volumique de l'eau en mer Méditerranée : $\rho_{\text{eau salée}} = 1{,}03 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- Pression atmosphérique : $P_{atm} = 1{,}013 \times 10^5$ Pa.
- 1 bar = 1×10^5 Pa.
- Masse du plongeur équipé : m = 92 kg.

Préparation à l'ECE

La loi de Torricelli

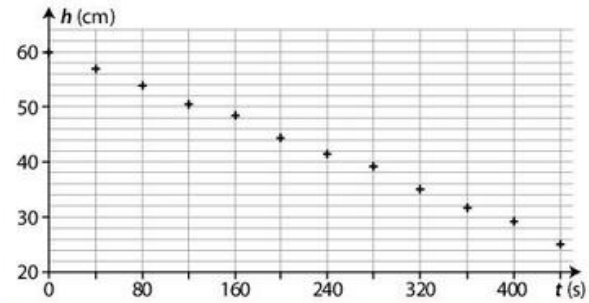
On dispose d'un vase de Mariotte, photographié ci-contre, rempli d'eau supposée incompressible.
Il contient, à l'instant $t = 0$ s, une hauteur h_0 d'eau.
On relève la hauteur h d'eau dans le vase cylindrique à chaque instant t jusqu'à la vidange presque complète.
La situation est schématisée ci-dessous :





Partie I **Première phase de la vidange**

Tant que la hauteur h mesurée entre les positions A et C est supérieure à la hauteur H mesurée entre B et C, le vase de Mariotte permet d'obtenir un débit volumique constant.
La valeur v_B de la vitesse en B est considérée comme nulle.
Pour $h > H$, on obtient le graphique ci-dessous :



1. RÉA Calculer, à partir du graphique, la valeur v_A de la vitesse en A.

2. a. ANA-RAIS Montrer que si la valeur v_A de la vitesse en A est constante, alors le débit volumique D_v de l'eau sortant du vase de Mariotte est constant comme annoncé. Le calculer.

b. RÉA En déduire la valeur v_C de la vitesse de sortie de l'eau en C.

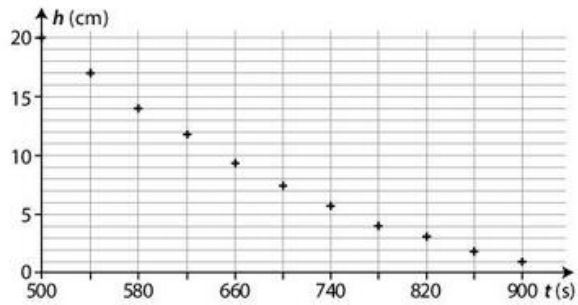
c. ANA-RAIS · COM Proposer un protocole permettant de mesurer le débit volumique en C.

3. a. RÉA Pour $h > H$, la loi de Torricelli prévoit la valeur de la vitesse d'écoulement de l'eau en C dans le vase de Mariotte : $v_{C\,Torr} = \sqrt{2g \times H}$.
Calculer la valeur $v_{C\,Torr}$ de la vitesse prévue par la loi de Torricelli en C.

b. VAL La valeur calculée à la question **2. b.** est-elle en accord avec celle obtenue par cette loi ?

Partie II **Deuxième phase de la vidange**

Pour $h < H$, on obtient le graphique ci-dessous :



- APP · ANA-RAIS Comment évolue alors le débit volumique en C ?

Donnée

Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Gérer le ton en fin de phrase

Parler avec un ton descendant est important lors d'une présentation. Cela induit, pour l'auditoire, l'impression que l'orateur maîtrise son sujet.



JOUER AVEC LES INTONATIONS DE VOIX

- **Visualiser la vidéo ci-contre.**
- **Vérifier le ton descendant à chaque fin de phrase.**
- **S'entraîner en s'enregistrant grâce au dictaphone de son smartphone à prononcer les phrases suivantes en baissant le ton après chaque virgule et à la fin de chaque phrase. Attention, il faut veiller à être toujours audible à quelques mètres.**

« Bonjour ! Je m'appelle [votre prénom – votre nom]. Je suis élève de Terminale.
Ayant choisi la spécialité physique, cette année, mon exposé traitera donc de sciences physiques. »

À deux, c'est mieux



Le lac de Garde, en Italie du Nord, est un spot de windsurf réputé.
Ce lac, tout en longueur, est situé entre deux montagnes et grâce à un effet Venturi, le vent souffle assez fort.

- **À l'aide de ses connaissances, écrire un texte de plusieurs phrases simples expliquant pourquoi la valeur de la vitesse du vent est importante sur le lac.**
- **Lire le texte à un camarade.**
- **Évaluer la lecture à l'aide des critères ci-contre.**

Ensuite, inverser les rôles et faire de même. Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite	😐	😊
Gérer le ton en fin de phrase		
La voix baisse en fin de phrase.	☐	☐
Le débit est convenable.	☐	☐
L'articulation est satisfaisante.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur La modélisation de l'écoulement d'un fluide

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

- Quelles sont les caractéristiques de la **poussée d'Archimède** ?
- Qu'est-ce que le **débit volumique** ?
- Qu'est-ce qu'un **régime permanent indépendant du temps** ?

Une pénalité au rugby

Utiliser un langage de programmation ; utiliser un modèle pour prévoir ; discuter un modèle.



A Situation

Au rugby, une faute peut être sanctionnée par une pénalité qui amène un joueur à tenter de faire passer le ballon entre les poteaux au-dessus d'une barre horizontale située à 3,40 m du sol.

Un joueur est placé à 35 mètres en face des poteaux. Il shoote le ballon de rugby de masse $m_b = 450$ g avec une vitesse initiale de valeur $v_0 = 25$ m·s^{-1} faisant un angle $\alpha = 40°$ avec l'horizontale. On néglige l'action de l'air.

B Modélisation avec un langage de programmation

Le programme suivant permet de modéliser les positions du ballon lors de cette pénalité.

```
v0=25
alpha=40*np.pi/180
g=9.81
tmax=2.2*v0*np.sin(alpha)/g
t=np.linspace(0,tmax,10)
x=v0*np.cos(alpha)*t
y=-1/2*g*x**2/(v0**2*(np.cos(alpha))**2)+\
                x*np.tan(alpha)
```

Un extrait du programme permettant de calculer les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse est donné ci-dessous :

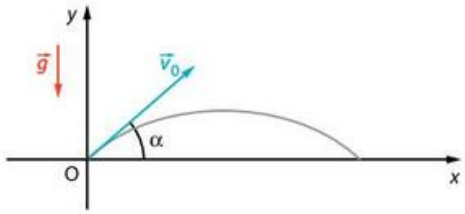
```
vx=[]
for i in range(len(x)-1) :
    vx=vx+[(x[i+1]-x[i])/(t[i+1]-t[i])]

vy=[]
for i in range(len(y)-1) :
    vy=vy+[(y[i+1]-y[i])/(t[i+1]-t[i])]
```

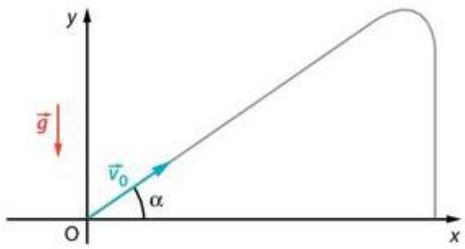
C Modèles de trajectoire

Deux modèles de trajectoire sont proposés, le modèle de la chute libre et celui de Tartaglia.

Dans le cas de la chute libre, la trajectoire est parabolique, d'équation : $y = a \times x^2 + b \times x + c$



Dans le modèle de Tartaglia, l'équation est plus complexe, la trajectoire n'est plus parabolique.



1. On souhaite dans un premier temps retrouver l'équation de la trajectoire du centre de masse du ballon, dans un référentiel terrestre. On se place dans un repère cartésien $(O ; \vec{i}, \vec{j})$ dont l'origine est au niveau du sol et coïncide avec la position initiale du ballon.

a. Faire l'inventaire des forces s'exerçant sur le centre de masse du ballon.

b. Par application de la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées cartésiennes du vecteur accélération.

2. a. On souhaite vérifier, en s'aidant du programme fourni, le résultat de la question **1.b.** Pour cela, proposer les commandes permettant de calculer les coordonnées cartésiennes a_x et a_y du vecteur accélération.

b. Quel résultat attend-on à l'exécution du programme pour les coordonnées cartésiennes a_x et a_y du vecteur accélération ?

3. a. Déterminer les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse et du vecteur position.

b. Montrer que l'équation de la trajectoire du centre de masse du ballon est conforme au programme **B** :

$$y = -\frac{1}{2} \times \frac{g \times x^2}{v_0^2 \times \cos^2 \alpha} + x \times \tan \alpha$$

4. Compte-tenu des conditions initiales, la pénalité est-elle marquée, en théorie ?

5. En réalité, la trajectoire du ballon n'est pas une parabole. Elle est alors mieux décrite par le modèle de Tartaglia que par le modèle de chute libre. Dans ces conditions, la distance maximale parcourue par le ballon est plus petite. Proposer une explication.



La géothermie est exploitée en Islande pour le chauffage, mais également pour la production d'électricité ou les bains publics, comme ici à Svartsengi.



L'énergie : conversions et transferts

CHAPITRE 15 **Premier principe de la thermodynamique et bilan énergétique**

CHAPITRE 16 **Transferts thermiques**

Métiers et formations

Des idées de métiers pour découvrir la variété des parcours de formation après le Bac

Les formations évoluent régulièrement, consultez les sites de l'Onisep et du CIDJ.



Économe de flux

L'économe de flux a pour mission de faire baisser la facture de l'entreprise ou de la collectivité qui l'emploie, dans les domaines de la climatisation, de l'électricité ou de la consommation d'eau. Pour cela, il lui faut repérer les causes de surconsommation et proposer des solutions pour effectuer, notamment, des économies d'énergie. Son rôle est également de sensibiliser les publics sur leur mode de consommation et de promouvoir des énergies en rapport avec le développement durable.

Exemples de formations

Au niveau Bac + 3

Licence pro Maîtrise de l'énergie, électricité, développement durable

Licence pro Métiers de l'énergétique, de l'environnement et du génie climatique

Licence pro Performance énergétique et environnementale des bâtiments

Licence pro Valorisation des énergies renouvelables et techniques énergétiques

Au niveau Bac + 5

Mastère spécialisé Éco-conseiller (INSA Strasbourg)



Frigoriste

Ce métier peut concerner une grande diversité d'installations : appareils de climatisation, systèmes de réfrigération, pompes à chaleur, chambres froides, enceintes thermiques et climatiques...

Il consiste, au niveau technicien ou technicienne, à les installer ou à effectuer leur maintenance.

Au niveau de l'ingénieur(e), il s'agit de concevoir ces équipements frigorifiques ou de climatisation pour l'industrie agroalimentaire, les milieux hospitaliers, l'hôtellerie-restauration... La mise en conformité avec les normes, la prise en compte des contraintes énergétiques font partie de ses attributions.

Exemples de formations

Au niveau Bac + 2

DUT GTE (Génie Thermique et Énergie)

BTS FED (Fluides Énergies Domotique), option froid et conditionnement d'air

Au niveau Bac + 5

Master Thermique, énergétique

Diplôme d'ingénieur spécialisé en énergie, génie électrique ou génie mécanique

15 Premier principe de la thermodynamique et bilan énergétique



Les frères MONTGOLFIER inventent en 1782 un ballon gonflé à l'air chaud qu'ils nomment montgolfière. Le 21 novembre 1783 à Paris, Pilâtre de ROZIER et le marquis d'ARLANDES réalisent le premier vol en montgolfière.

- Comment une montgolfière peut-elle s'élever dans les airs ?

› Rendez-vous : exercice 31 p. 318

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Relier qualitativement les valeurs des grandeurs macroscopiques mesurées aux propriétés du système à l'échelle microscopique. **Exercice 4 p. 312**
- Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz. **Exercice 23 p. 315**
- Identifier quelques limites du modèle du gaz parfait. **Exercice 4 p. 312**
- Citer les différentes contributions microscopiques à l'énergie interne d'un système. **Activité 1 p. 303**
- Prévoir le sens d'un transfert thermique. **Activité 1 p. 303**
- Distinguer, dans un bilan d'énergie, la variation de l'énergie du système et les transferts d'énergie entre le système et l'extérieur. **Activité 1 p. 303**
- Exploiter l'expression de la variation d'énergie interne d'un système incompressible en fonction de sa capacité thermique et de la variation de sa température pour effectuer un bilan énergétique. **Activité 2 p. 304**

Vu en 1re

L'énergie d'un système et le transfert d'énergie

Énergie d'un système

Énergie cinétique

Liée à la vitesse du système

$\mathscr{E}_c = \frac{1}{2} m \times v^2$

(m en kg ; v en m·s^{-1} ; $\mathscr{E}_c$ en J)

+

Énergie potentielle de pesanteur

Liée à la position du système

$\mathscr{E}_p = m \times g \times z$

(m en kg ; g en N·kg^{-1} ; z en m ; $\mathscr{E}_p$ en J)

À l'altitude $z = 0$ m choisie comme référence, $\mathscr{E}_p = 0$ J.

=

Énergie mécanique

$\mathscr{E}_m$, $\mathscr{E}_c$ et $\mathscr{E}_p$ en J

$\mathscr{E}_m = \mathscr{E}_c + \mathscr{E}_p$

Variation de l'énergie mécanique d'un système en mouvement de A à B et travail des forces non conservatives (NC)

$\Delta\mathscr{E}_{m\,A\to B} = \mathscr{E}_{m_B} - \mathscr{E}_{m_A} = \sum_i W_{A\to B}(\vec{F}_{NC,i})$

($\mathscr{E}_m$ en J ; W en J)

- Si $\sum_i W_{A\to B}(\vec{F}_{NC,i}) = 0$, $\mathscr{E}_m$ = constante
  → l'énergie mécanique est conservée
- Si $\sum_i W_{A\to B}(\vec{F}_{NC,i}) \neq 0$, $\mathscr{E}_m \neq$ constante
  → l'énergie mécanique n'est pas conservée

Transfert d'énergie

Travail W

Énergie transférée :
- électrique ;
- mécanique.

Transfert thermique Q

Énergie transférée :
- au cours d'une transformation chimique (combustion par exemple) ;
- au cours d'un changement d'état.

Réactiver ses connaissances

VIDÉO Variation de l'énergie mécanique – QR Code p. 308

Au cours de son concert, un chanteur de masse $m = 70$ kg effectue un saut vertical, ou *jump*, qui lui permet de s'élever d'une hauteur $h = 20$ cm au-dessus du sol.

1. Calculer l'énergie potentielle de pesanteur $\mathscr{E}_p$ du chanteur au sommet de son saut.
2. En déduire l'énergie mécanique $\mathscr{E}_m$ du chanteur au sommet de son saut.
3. On néglige les forces de frottement. Quelle est la variation de l'énergie mécanique du chanteur entre le sommet de son saut et le sol ?
4. Calculer la valeur de la vitesse du chanteur juste avant son impact sur le sol.

Données

- Intensité de la pesanteur : $g = 10$ N·kg^{-1}.
- L'axe des z est vertical, orienté vers le haut ; à l'altitude $z = 0$ m choisie comme référence, $\mathscr{E}_p = 0$ J.



Rappeur Scarlxrd

Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Quelle que soit son altitude, un système au repos a :	une énergie cinétique nulle.	une énergie potentielle de pesanteur nulle.	une énergie mécanique nulle.
2. Un objet de masse $m = 100$ g est situé à une altitude de 2,0 m et animé d'une vitesse de valeur $v = 4{,}0$ m·s^{-1} ($g = 10$ N·kg^{-1}). Son énergie mécanique $\mathscr{E}_m$ est égale à :	1,0 J	2,8 J	10 J
3. L'énergie transférée lors d'un changement d'état est :	toujours positive.	toujours nulle.	positive ou négative.

Activité 1 expérimentale

Premier principe de la thermodynamique

Notions
- Variation d'énergie interne
- Transferts d'énergie

La documentation technique d'une bouilloire indique : « Puissance électrique : 1 200 W ». Cette bouilloire peut chauffer 200 g d'eau de 20 à 40 °C en moins de 30 secondes. Le premier principe de la thermodynamique permet d'expliquer ce transfert d'énergie entre la bouilloire et l'eau.



▶ **Objectif de l'activité : Comment le premier principe de la thermodynamique s'énonce-t-il et quelles informations fournit-il ?**

A Énergie électrique transférée $W_{élec}$

L'énergie électrique transférée est liée à la durée de fonctionnement de l'appareil et à sa puissance :

$$W_{élec} = \mathcal{P}_{élec} \times \Delta t = U \times I \times \Delta t$$

$W_{élec}$ en J ; $\mathcal{P}_{élec}$ en W ; U en V ; I en A ; Δt en s

Rappel

Le calorimètre est une enceinte thermiquement isolée. Il n'y a pas de transfert thermique Q entre l'intérieur du calorimètre et l'extérieur.

Matériel disponible



Complément scientifique

- **Énergie interne**

L'énergie interne U d'un système macroscopique est égale à la somme de ses énergies microscopiques :
– l'énergie cinétique microscopique, liée à l'agitation thermique des particules qui constituent le système. Elle augmente avec la température du système ;
– l'énergie potentielle microscopique, liée aux interactions entre les particules qui constituent le système.

- **Premier principe de la thermodynamique**

La variation $\Delta U_{i\to f}$ de l'énergie interne d'un système **au repos macroscopique**, qui n'échange pas de matière avec l'extérieur et qui évolue d'un état initial i à un état final f, est égale à la somme des énergies échangées par le système avec l'extérieur, par transfert thermique Q ou par travail W.

$$\Delta U_{i\to f} = Q + W$$

$\Delta U_{i\to f}$ en J ; W en J ; Q en J

Pratique expérimentale

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

1 Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant d'élever de 5 °C la température de 200 g d'eau dans un calorimètre, en transférant de l'énergie, que l'on déterminera, grâce à un conducteur ohmique.

Exploiter des résultats ANA-RAIS

2 Indiquer pour le système {eau et calorimètre} :
– s'il a reçu ou cédé de l'énergie microscopique, (potentielle ou cinétique) ;
– si son énergie interne augmente ou pas ;
– si un transfert d'énergie a eu lieu par travail, ou par transfert thermique, de l'extérieur vers le système.

Utiliser un modèle pour décrire RÉA

3 On admet que toute l'énergie reçue par travail électrique $W_{élec}$ par le conducteur ohmique est intégralement restituée par transfert thermique Q_1 à l'eau de masse m et au calorimètre.

Déduire du premier principe de la thermodynamique :
a. que la variation d'énergie interne ΔU_1 du conducteur ohmique est nulle ;
b. la valeur expérimentale de la variation ΔU_2 d'énergie interne du système {eau et calorimètre} de l'état initial à l'état final.

Utiliser un modèle pour prévoir RÉA

4 On admet que la durée de chauffage est proportionnelle à la masse d'eau à chauffer et à son élévation de température dans une bouilloire.
Estimer la durée maximale nécessaire pour chauffer 400 g d'eau de 20 à 50 °C avec la bouilloire décrite dans l'introduction.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit COM

5 Comment le premier principe de la thermodynamique s'énonce-t-il et quelles informations fournit-il ?

Activité expérimentale 2

Variation d'énergie interne d'un système incompressible

Notions
- Variation d'énergie interne
- Capacité thermique d'un système incompressible

Dans un scooter, le liquide de refroidissement est un mélange d'eau et d'un antigel, l'éthylène glycol. La capacité de ce liquide incompressible à absorber de l'énergie est élevée mais inférieure à celle de l'eau. Ce liquide ne gèle cependant qu'à partir de températures inférieures à –25 °C.



Tâche complexe

▶ Objectif de l'activité : De quels paramètres la variation d'énergie interne d'un système incompressible dépend-elle ?

A Méthode des mélanges

Un corps chaud est placé dans un liquide froid contenu dans un calorimètre, dans le but de déterminer la capacité thermique du corps ou du liquide.

Un calorimètre est une enceinte thermiquement isolée de l'extérieur, mais à l'intérieur de laquelle il peut y avoir des transferts thermiques qui se compensent : ΣQ intérieurs = 0 J.

Variation d'énergie interne d'un calorimètre :

ΔU_{cal} en J ; T en K

$$\Delta U_{cal} = C \times (T_f - T_i) = C \times (\theta_f - \theta_i)$$

C en J·K^{-1} ou J·°C^{-1} ; θ en °C

avec C la capacité thermique du calorimètre.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- **Capacité thermique massique c d'un système incompressible**

La capacité thermique massique c d'un système incompressible est l'énergie absorbée par 1 kg de ce système pour élever sa température de 1 °C ou 1 K. Elle s'exprime en joule par kilogramme et par degré Celsius (J·kg^{-1}·°C^{-1}) ou en joule par kilogramme et par kelvin (J·kg^{-1}·K^{-1}).

- **Variation d'énergie interne d'un système incompressible**

Lorsqu'un système incompressible de masse m passe d'une température initiale T_i à une température finale T_f, sa variation d'énergie interne $\Delta U_{i\to f}$ a pour expression :

$\Delta U_{i\to f}$ en J ; m en kg ; T en K

$$\Delta U_{i\to f} = m \times c \times (T_f - T_i) = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$$

c en J·kg^{-1}·K^{-1} ou J·kg^{-1}·°C^{-1} ; θ en °C

Cette variation $\Delta U_{i\to f}$ d'énergie interne est positive si le corps s'échauffe et négative si le corps se refroidit.

MATÉRIEL ET PRODUITS DISPONIBLES



Étapes de la démarche d'investigation

1. RELIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉMETTRE une hypothèse permettant d'y répondre.
4. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre pour valider l'hypothèse formulée.
5. NOTER les observations, les interpréter et conclure.

Donnée

Capacité thermique massique : $c_{cuivre} = 385$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.

Investigation

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1 Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de justifier que l'eau serait un meilleur liquide de refroidissement que le liquide proposé, dans le cas du scooter de la photographie.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit COM

2 De quels paramètres la variation d'énergie interne ΔU d'un système incompressible dépend-elle ?

1 Le modèle du gaz parfait et quelques limites

a. Modèle du gaz parfait

Le modèle du gaz parfait et l'équation d'état du gaz parfait ont été décrits p. 34 du chapitre 2. Les grandeurs **macroscopiques** de description du gaz parfait reflètent le comportement **microscopique** des entités (atomes, ions, molécules) qui le constituent (schéma A).

GAZ PARFAIT	
À l'échelle **macroscopique**	Comportement à l'échelle **microscopique**
Le gaz parfait est au repos à la **température** T (en K).	• Mouvement incessant et désordonné des **entités du gaz, assimilées à des points matériels** • **Pas d'interaction entre elles**
La **pression** P (en Pa) est faible.	• Pas de chocs entre les entités du gaz • Chocs seulement entre les entités du gaz et la paroi
La **masse volumique** $\rho = \frac{m}{V}$ (en $kg \cdot m^{-3}$) est très faible.	Entités du gaz très éloignées les unes des autres

L'**équation d'état du gaz parfait** relie différentes grandeurs macroscopiques qui permettent de le décrire (doc. B et C) :

Quantité de matière n en mol

P en Pa → $P \times V = n \times R \times T$ ← T en K

V en m^3

Constante des gaz parfaits en $Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$

b. Quelques limites du modèle du gaz parfait

Si la pression et la masse volumique du gaz sont trop importantes, alors le modèle du gaz parfait n'est plus adapté (schéma D).

Le modèle du gaz parfait est adapté aux gaz à faible pression. Lorsque les entités ne sont pas ponctuelles et interagissent entre elles, le gaz **n'est pas modélisable** par un gaz parfait.

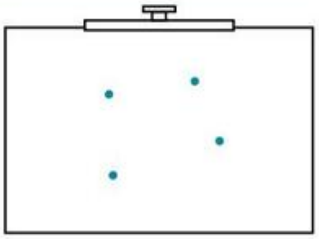
2 L'énergie interne et les modes de transfert de l'énergie

a. Énergie interne d'un système

Tout système macroscopique est composé d'un grand nombre d'entités microscopiques en mouvement et en interaction entre elles. Chacune possède une **énergie cinétique microscopique** liée à l'agitation thermique et une **énergie potentielle microscopique** liée à ses interactions avec les autres.

L'**énergie interne** U d'un système macroscopique est égale à la somme des énergies microscopiques (cinétique et potentielle) de toutes les entités microscopiques qui constituent le système.

A Comportement d'un gaz parfait



> Il n'y a pas d'interaction entre les entités éloignées ponctuelles.

B Volume du gaz parfait

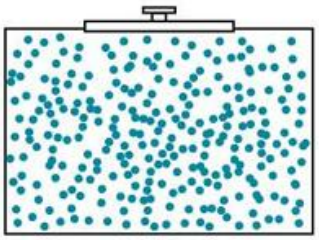
$$V = \frac{n \times R \times T}{P}$$

> Si la pression P du gaz parfait tend vers zéro, le volume V tend vers l'infini.

C Masse volumique du gaz parfait

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{n \times M}{V} = \frac{P \times M}{R \times T}$$

D Comportement d'un gaz non modélisable par un gaz parfait



> Il existe de nombreuses interactions entre entités. Les entités ayant un volume propre non négligeable, le volume dont dispose le gaz est inférieur à celui de l'enceinte.

b. Énergie totale d'un système

Info

* Le système est ici réduit à un objet macroscopique de taille raisonnable, ce qui exclut des systèmes définis à l'échelle astronomique.

- L'énergie totale $\mathscr{E}_{tot}$ d'un système* est la somme de ses énergies macroscopiques (cinétique $\mathscr{E}_c$ et potentielle d'interaction $\mathscr{E}_p$) et de son énergie interne U : $\mathscr{E}_{tot} = \mathscr{E}_c + \mathscr{E}_p + U$
- La variation d'énergie totale de ce système est la somme de la variation de son énergie interne et de la variation de son énergie mécanique :

$$\Delta\mathscr{E}_{tot} = \Delta\mathscr{E}_m + \Delta U$$

Lorsqu'un système est au repos macroscopique dans le référentiel d'étude, son énergie mécanique est constante. La **variation d'énergie totale** du système est alors égale à sa **variation d'énergie interne** :

$\Delta\mathscr{E}_{tot}$ en J → $\boldsymbol{\Delta\mathscr{E}_{tot} = \Delta U}$ ← ΔU en J

c. Deux modes de transfert de l'énergie

- Le travail W et le transfert thermique Q sont les deux modes de transfert de l'énergie entre le système et le milieu extérieur.

Le **travail** W est un transfert d'énergie qui s'effectue macroscopiquement de manière ordonnée ; il est lié au déplacement du point d'application d'une force s'exerçant sur le système.

Rappel

Le transfert thermique Q lors du changement d'état d'un système de masse m est $Q = m \times L$ avec L la chaleur latente de changement d'état en $J \cdot kg^{-1}$.

Le **transfert thermique** Q est un transfert d'énergie qui s'effectue microscopiquement de manière désordonnée entre le système et l'extérieur. Lorsqu'il existe une différence de température entre eux, ce transfert d'énergie se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.
Un transfert thermique a pour conséquence macroscopique une modification de la température ou un changement d'état physique du système.

E Bain-marie



Le bain-marie permet d'amener l'eau à la température souhaitée grâce à un chauffage homogène. Certains bains-marie peuvent porter l'eau à ébullition.

- Le travail et le transfert thermique sont des grandeurs **algébriques**.

Par convention, le travail et le transfert thermique sont comptés :
– positivement s'ils sont reçus par le système ;
– négativement s'ils sont cédés par le système.

Exemple : Le système étudié est le conducteur ohmique du bain-marie de la photographie E. Il est alimenté par une source de tension, donc il reçoit de l'énergie sous forme de travail électrique compté positivement. Il cède de l'énergie au milieu extérieur (l'eau) sous forme de transfert thermique compté négativement. On peut illustrer ces transferts par une chaîne énergétique.



3 Le premier principe de la thermodynamique

a. Énoncé

L'énergie mécanique d'un système au repos macroscopique dans le référentiel d'étude est constante. Le premier principe de la thermodynamique relie alors la variation d'énergie interne aux transferts d'énergie.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Du premier principe au bilan d'énergie

VIDÉO DE COURS

Le premier principe de la thermodynamique énonce que la **variation $\Delta U_{i\to f}$ d'énergie interne d'un système**, qui n'échange pas de matière avec l'extérieur, au repos macroscopique, et qui évolue d'un état initial à un état final, est égale à la somme des énergies échangées par le système avec l'extérieur, par **travail W** et/ou par **transfert thermique Q** :

$$\Delta U_{i\to f} = W + Q$$

($\Delta U_{i\to f}$ en J ; W en J ; Q en J)

b. Étude énergétique d'un système thermodynamique

Le premier principe de la thermodynamique permet d'établir le **bilan énergétique d'un système** qui n'échange pas de matière avec l'extérieur.

Pour établir un bilan d'énergie, il faut :
- **définir le système** au repos macroscopique, l'extérieur est alors le reste de l'Univers, et écrire le premier principe ;
- **relever tous les transferts d'énergie** ayant lieu entre le système et l'extérieur en repérant leur sens ; leur attribuer un signe positif si l'énergie entre dans le système et un signe négatif si elle en sort ;
- **effectuer la somme de tous ces transferts** : si la somme est positive, l'énergie interne du système a augmenté ; si elle est négative, l'énergie interne du système a diminué.

Vocabulaire

Un système est **incompressible** si sa masse volumique reste constante.

c. Énergie interne d'un système incompressible

- Plus la température d'un système incompressible augmente, plus l'énergie cinétique microscopique des entités qui le composent augmente, donc plus son énergie interne augmente.

- La capacité thermique d'un système est le produit de sa masse m et de sa capacité thermique massique c.

La **capacité thermique massique** c d'un système incompressible est l'énergie absorbée par 1 kg de ce système pour élever sa température de 1 °C, c'est-à-dire aussi de 1 K.

Elle dépend de la nature du système et de son état physique (tableau F).

F Quelques capacités thermiques massiques

Matériau	c ($J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$)
Aluminium $A\ell$ (s)	897
Eau H_2O (s)	$2{,}06 \times 10^3$
Éthanol C_2H_5OH (ℓ)	$2{,}44 \times 10^3$
Eau H_2O (ℓ)	$4{,}18 \times 10^3$

> Le transfert thermique nécessaire pour élever de 1 °C la température de 1 kg d'eau est plus élevé pour l'eau liquide que pour l'eau solide.

- Si l'on connaît la température initiale et la température finale d'un système incompressible, on peut calculer sa variation d'énergie interne.

Lorsqu'un système incompressible de masse m et de capacité thermique massique c passe d'une température initiale T_i à une température finale T_f, sa **variation d'énergie interne** $\Delta U_{i\to f}$ a pour expression :

$$\Delta U_{i\to f} = m \times c \times (T_f - T_i) = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$$

($\Delta U_{i\to f}$ en J ; m en kg ; c en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ou $J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$; T en K ; θ en °C)

La variation ΔU d'énergie interne est positive si le système s'échauffe et négative si le système se refroidit (photographie G).

G Un thé chaud



> Lorsque le système {liquide et tasse} se refroidit au contact de l'air et de la soucoupe, sa température diminue. Ainsi, son énergie interne diminue.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Du premier principe au bilan d'énergie
QCM
Version interactive

1 Le modèle du gaz parfait et quelques limites

- Ce modèle est limité à des gaz à faible pression et dont les entités ponctuelles n'interagissent pas.
- Le volume V du gaz, sa pression P, sa température T et sa quantité de matière n sont liés par l'**équation d'état** :

$$P \times V = n \times R \times T$$

(n en mol, T en K, P en Pa, V en m^3, R : constante des gaz parfaits en $Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)

Grandeur macroscopique	Propriété microscopique
Température T (en K)	Agitation des entités du gaz
Pression P (en Pa) faible	Peu de chocs et uniquement entre entités et parois
Masse volumique $\rho = \frac{m}{V}$ (en $kg \cdot m^{-3}$) faible	Entités éloignées les unes des autres

2 L'énergie interne et les modes de transfert de l'énergie

Les entités microscopiques qui constituent un système possèdent de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle.

Deux modes de transfert de l'énergie :
– le travail W
– le transfert thermique Q



3 Le premier principe de la thermodynamique

Énoncé du premier principe

Variation d'énergie interne d'un système qui n'échange pas de matière avec l'extérieur, au repos macroscopique ($\Delta \mathscr{E}_m = 0$) = **Somme des transferts d'énergie** entre système et milieu extérieur par travail W et/ou transfert thermique Q

$$\Delta U_{i \to f} = W + Q$$

($\Delta U_{i \to f}$ en J ; W et Q en J)

Variation d'énergie interne $\Delta U_{i \to f}$

Pour un système incompressible de masse m et de capacité thermique massique c, dont la température varie :

$$\Delta U_{i \to f} = m \times c \times (T_f - T_i) = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$$

($\Delta U_{i \to f}$ en J ; m en kg ; c en $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ou $J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$; T en K ; θ en °C)

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 Le modèle du gaz parfait et quelques limites

Si erreur, revoir § 1 p. 305

	A	B	C
1. La masse volumique d'un gaz de masse m et de volume V s'écrit :	$m \times V$	$\frac{m}{V}$	$\frac{V}{m}$
2. Les entités d'un gaz considéré comme parfait :	sont ponctuelles.	sont en interaction.	ne sont pas en interaction.
3. Les entités d'un gaz qui ne peut être considéré comme parfait :	sont ponctuelles.	ont un volume propre.	ne sont pas en interaction.

2 L'énergie interne et les modes de transfert de l'énergie

Si erreur, revoir § 2 p. 305

4. L'énergie interne U d'un système macroscopique est égale à la somme des énergies :	cinétique et potentielle, de toutes les entités microscopiques qui constituent le système.	cinétiques de toutes les entités microscopiques qui constituent le système.	potentielles de toutes les entités microscopiques qui constituent le système.
5. L'énergie totale d'un système est égale à :	son énergie interne.	la somme de ses énergies mécanique et interne.	son énergie mécanique.
6. L'énergie peut être transférée par :	travail.	transfert thermique.	travail et transfert thermique.
7. Pour le système {cornet de glace}, le transfert thermique Q avec l'extérieur : 	est positif.	est négatif.	s'effectue du cornet vers l'extérieur.

3 Le premier principe de la thermodynamique

Si erreur, revoir § 3 p. 306

8. La variation ΔU d'énergie interne d'un système au repos macroscopique est :	$W + Q$	$W - Q$	$W \times Q$
9. L'ampoule électrique étant le système étudié, on attribue : 	un signe positif à l'énergie qui sort du système.	un signe négatif à l'énergie qui sort du système.	la valeur 0 J à l'énergie qui sort du système.
10. La variation ΔU d'énergie interne d'un système incompressible de masse m, de capacité thermique massique c, qui passe d'une température initiale T_i à une température finale T_f s'écrit :	$\Delta U = m \times c \times (T_f - T_i)$	$\Delta U = m \times c \times (T_i - T_f)$	$\Delta U = m \times c \times (T_f + T_i)$
11. Si la température d'un système incompressible augmente, alors son énergie interne :	augmente.	diminue.	ne varie pas.

QCM version interactive

Les bons réflexes

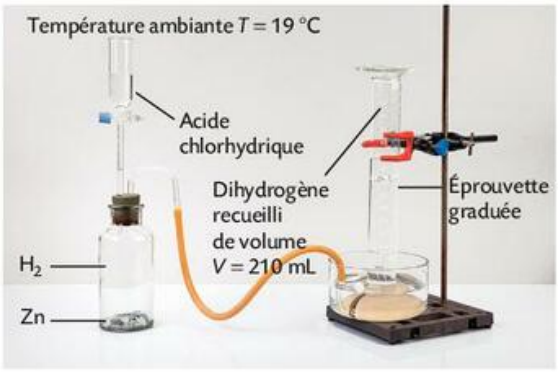
Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Calculer la pression d'un gaz, son volume, sa température ou sa quantité de matière.	**Réflexe 1** Ex. 5 p. 312 **Vérifier** que le gaz est modélisable par un gaz parfait. **Écrire** l'équation d'état des gaz parfaits. **Isoler** la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.
Calculer la variation ΔU d'énergie interne d'un système ou effectuer son bilan énergétique.	**Réflexe 2** Ex. 19 p. 314 **Définir** le système, au repos macroscopique, qui n'échange pas de matière avec l'extérieur. **Repérer** les états initial et final du système. **Identifier** tous les transferts d'énergie entre le système et l'extérieur, repérer leur sens et signe. **Effectuer** la somme de ces transferts. **Écrire** le premier principe de la thermodynamique. **Interpréter** le signe de cette somme.
Exploiter la variation d'énergie interne d'un système incompressible dont la température varie.	**Réflexe 3** Ex. 21 p. 314 **Écrire** la relation $\Delta U_{i\to f} = m \times c \times (T_f - T_i)$ ou $\Delta U_{i\to f} = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$. **Rechercher** les données fournies dans le texte concernant le système. **Exploiter** la relation précédente pour déterminer la grandeur recherchée.

1 Exercice résolu

Production de dihydrogène

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

La production de dihydrogène au laboratoire de chimie se fait par l'action de l'acide chlorhydrique sur le métal zinc, comme indiqué sur la photographie ci-contre. Le dihydrogène produit est recueilli dans une éprouvette graduée retournée sur une cuve à eau.



1. Rappeler les conditions nécessaires pour qu'un gaz soit modélisable par un gaz parfait.

2. Dans les conditions de l'expérience, le dihydrogène est modélisé par un gaz parfait à la pression de $9{,}90 \times 10^4$ Pa.
Calculer la masse volumique du dihydrogène.

Données

- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314$ Pa · m^3 · mol^{-1} · K^{-1}.
- $M(H_2) = 2{,}016$ g · mol^{-1}.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1{,}000 \times 10^3$ kg · m^{-3}.
- Conversion des températures : T(K) = θ (°C) + 273.

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 1.**

Vérification de la validité du modèle du gaz parfait

1. Les conditions nécessaires pour qu'un gaz soit modélisable par un gaz parfait sont une masse volumique et une pression faibles.

2. La masse volumique ρ du dihydrogène, modélisable par un gaz parfait d'après l'énoncé, est donnée par la relation $\rho = \frac{m}{V}$.

Écriture de l'équation d'état des gaz parfaits

L'équation d'état des gaz parfaits permet de déterminer le nombre de moles de dihydrogène produit :

$$P \times V = n \times R \times T$$

soit :

$$n = \frac{P \times V}{R \times T}$$

Or $m = n \times M$. On obtient $m = \frac{P \times V}{R \times T} \times M$, soit $\rho = \frac{P \times V}{R \times T \times V} \times M = \frac{P}{R \times T} \times M$.

Isolement de la grandeur recherchée et calcul en faisant attention aux unités

La température doit être exprimée en kelvin : $T = 19\ °C + 273 = 292$ K.

La masse molaire du dihydrogène H_2 doit être exprimée en kg · mol^{-1}, donc $M(H_2) = 2{,}016 \times 10^{-3}$ kg · mol^{-1}.

$$\rho = \frac{9{,}90 \times 10^4\ \text{Pa} \times 2{,}016 \times 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}}{8{,}314\ \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 292\ \text{K}}, \text{ soit } \rho = 8{,}22 \times 10^{-2}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

La masse volumique du dihydrogène est $8{,}22 \times 10^{-2}$ kg · m^{-3}.

2 Exercice résolu

Cuisseur solaire

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.



Pour réaliser un œuf poché avec un cuiseur solaire, on chauffe, de 20 à 95 °C, 250 g d'eau dans un récipient pesant 500 g. On considère le système {eau et son récipient}.

1. a. Quels sont les signes des transferts d'énergie entre le système et l'enveloppe métallique du cuiseur solaire, le système et le Soleil qui l'éclaire, le système et l'air environnant ?

b. Seul le transfert thermique entre le cuiseur solaire et le système est pris en compte, les autres transferts étant négligés, car très faibles d'un point de vue énergétique. Exprimer la variation d'énergie interne du système.

2. Calculer la variation d'énergie interne du système.

Données

- Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c = 4{,}18\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1}$.
- Capacité thermique massique du récipient : $c_r = 445\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 2.**

Définition du système au repos macroscopique, qui n'échange pas de matière avec l'extérieur

1. a. Le système au repos macroscopique étudié est l'eau et son récipient. Grâce au couvercle, il n'y a pas d'échange de matière avec le reste de l'Univers, qui est le milieu extérieur.

Repérage des états initial et final

Le système est dans l'état initial à 20 °C, dans l'état final à 95 °C.

Identification de tous les transferts d'énergie entre le système et l'extérieur et repérage de leur signe et sens

Les transferts d'énergie entre le système et le milieu extérieur sont des transferts thermiques.

Le transfert thermique Q_1, entre le cuiseur solaire et le système, et le transfert thermique Q_2, entre le Soleil et le système, permettent au système d'augmenter son énergie interne : ils sont comptés positivement.

Le transfert thermique Q_3, entre l'air environnant et le système, diminue l'énergie interne du système : il est compté négativement.

Écriture du premier principe de la thermodynamique

b. Par définition, $\Delta U_{i\to f} = W + Q$, donc $\Delta U_{i\to f} = Q_1$ car $W = 0$ J.

Interprétation du signe de la somme

Q_1 est positif, donc l'énergie interne du système augmente.

- **On utilise le Réflexe 3.**

Écriture de la variation de l'énergie interne en fonction de la variation de température

2. La variation ΔU d'énergie interne est donnée par la relation :

$$\Delta U_{i\to f} = (m_{eau} \times c + m_r \times c_r) \times (\theta_f - \theta_i)$$

Recherche des données dans le texte

Les données nécessaires aux calculs sont :
$m_r = 500$ g ; $c_r = 445\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1}$; $m_{eau} = 0{,}250$ kg ; $c = 4{,}18\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1}$; $\theta_i = 20$ °C et $\theta_f = 95$ °C.

Exploitation de la relation précédente pour déterminer la grandeur recherchée

$$\Delta U = (0{,}250\ \text{kg} \times 4{,}18 \times 10^3\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1} + 0{,}500\ \text{kg} \times 445\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot{}^{\circ}\text{C}^{-1}) \times (95\ {}^{\circ}\text{C} - 20\ {}^{\circ}\text{C}).$$

$$\Delta U = 9{,}5 \times 10^4\ \text{J}.$$

La variation ΔU d'énergie interne du système {eau et son récipient} est $9{,}5 \times 10^4$ J.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Exploiter l'équation d'état du gaz parfait pour décrire le comportement d'un gaz.	7	23	31
Identifier quelques limites du modèle du gaz parfait.	7	29	31
Citer les différentes contributions microscopiques à l'énergie interne d'un système.	13	26	32
Prévoir le sens d'un transfert thermique.	17	26	32
Distinguer, dans un bilan d'énergie, la variation de l'énergie du système et les transferts d'énergie entre le système et l'extérieur.	19	26	32
Exploiter l'expression de la variation d'énergie interne d'un système incompressible en fonction de sa capacité thermique et de la variation de sa température pour effectuer un bilan énergétique.	21	26	32

1 Le modèle du gaz parfait et quelques limites

3 CORRIGÉ Connaître le modèle du gaz parfait

Faire preuve d'esprit critique.

• Corriger l'affirmation suivante :
« Dans le modèle du gaz parfait, les entités microscopiques qui constituent le gaz interagissent entre elles ; la pression du gaz est relativement élevée et sa masse volumique est grande. »

4 Connaître les limites du modèle du gaz parfait

Mobiliser ses connaissances.

• Répondre par Vrai ou Faux pour chaque proposition ci-dessous.
Un gaz est parfait :
a si la distance qui sépare deux molécules du gaz est en moyenne très petite.
b s'il est fortement comprimé.
c si le volume qu'il occupe est très grand par rapport au nombre de particules présentes.
d si le nombre de chocs entre particules du gaz est élevé.

5 CORRIGÉ Déterminer un volume molaire

Effectuer des calculs.

1. Exprimer le volume molaire V_m d'un gaz parfait en fonction des données littérales de l'équation d'état.
2. Calculer le volume molaire V_m d'un gaz parfait :
a. dans les conditions normales de température et de pression : $T_a = 273$ K et $P_a = 1{,}013 \times 10^5$ Pa ;
b. dans les conditions standard de température et de pression : $T_b = 298$ K et $P_b = 1{,}00 \times 10^5$ Pa.

Utiliser le réflexe 1

Données
- Équation d'état du gaz parfait : $P \times V = n \times R \times T$.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314$ Pa · m³ · mol⁻¹ · K⁻¹.

6 Utiliser le volume molaire

Utiliser un modèle pour prévoir.

• Calculer la pression d'un gaz parfait dont le volume molaire est égal à 23,0 L · mol⁻¹ à 15,0 °C.

Données
- Équation d'état du gaz parfait : $P \times V = n \times R \times T$.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314$ Pa · m³ · mol⁻¹ · K⁻¹.
- Conversion des températures : $T(K) = \theta(°C) + 273$.

7 CORRIGÉ Exprimer une masse volumique

Utiliser un modèle pour prévoir.

1. a. Rappeler l'expression de la masse volumique ρ d'un corps, puis l'exprimer en faisant apparaître la quantité de matière n et la masse molaire M de ce corps.
b. Donner l'expression de la quantité de matière n d'un gaz parfait en fonction des données littérales de l'équation d'état.
2. Exprimer la masse volumique ρ d'un gaz parfait en fonction de sa masse molaire M et des grandeurs de la question 1. b.
3. L'expression de la question 1. b est-elle toujours valide si la pression devient très grande ?

Donnée
- Équation d'état du gaz parfait : $P \times V = n \times R \times T$.

8 Calculer une masse volumique

Mobiliser et organiser ses connaissances.

La masse volumique de l'air assimilé à un gaz parfait dans les conditions normales de température et de pression ($T_1 = 273$ K et $P_1 = 1{,}013 \times 10^5$ Pa) est 1,293 g · L⁻¹.

• Calculer la masse volumique de l'air dans les conditions standard de température et de pression ($T_2 = 298$ K et $P_2 = 1{,}000 \times 10^5$ Pa).

Données
- Équation d'état du gaz parfait : $P \times V = n \times R \times T$.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314$ Pa · m³ · mol⁻¹ · K⁻¹.

2 L'énergie interne et les modes de transfert de l'énergie

9 Définir l'énergie interne

CORRIGÉ

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

On étudie l'échauffement d'une plaquette de frein lors d'un freinage.

1. Proposer un système d'étude et identifier alors le milieu extérieur.

2. Définir l'énergie interne du système.

10 Citer les différentes contributions à l'énergie interne

| Faire preuve d'esprit critique.

• L'affirmation suivante est-elle correcte ?

« Lorsqu'un solide cristallin au repos macroscopique s'échauffe, son énergie cinétique microscopique augmente, son énergie potentielle microscopique augmente, donc son énergie interne augmente. »

11 Connaître l'énergie microscopique (1)

CORRIGÉ

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

De l'eau est maintenue à ébullition dans une casserole.

• Relier le début et la fin des phrases.

L'énergie potentielle microscopique de l'eau	•	• est modifiée.
L'énergie cinétique microscopique de l'eau	•	• reste constante.

12 Connaître l'énergie microscopique (2)

| Rédiger une explication.



Le dérèglement climatique entraîne la fonte de la banquise et la destruction de l'habitat des ours polaires. Celui de la photographie ci-contre est en équilibre sur la partie émergée d'un iceberg qui fond lentement.

1. Indiquer comment évolue l'énergie cinétique microscopique des pattes de l'ours.

2. L'énergie potentielle microscopique de l'iceberg est-elle modifiée lors de sa fonte?

13 Distinguer des variations d'énergie (1)

CORRIGÉ

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

Une météorite se dirige vers la Terre à grande vitesse et pénètre dans l'atmosphère en s'échauffant et en fondant partiellement. À cause des interactions avec les molécules de la haute atmosphère, elle atteint une vitesse limite.



1. Expliquer pourquoi l'énergie mécanique $\mathscr{E}_m$ de la météorite diminue.

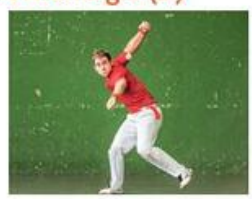
2. Justifier le fait que toutes les formes d'énergie de la météorite sont modifiées.

Donnée

Énergie potentielle de la météorite en interaction avec la Terre : $\mathscr{E}_p = -G \times \frac{m_{météorite} \times M_{Terre}}{r}$ avec $\mathscr{E}_p = 0$ si la distance r entre les deux corps est infinie.

14 Distinguer des variations d'énergie (2)

| Rédiger une explication.



En pelote à main nue, lors d'un engagement, la balle en cuir appelée pelote s'échauffe.

• Relier le début et la fin des phrases.

L'énergie cinétique macroscopique de la pelote	•	• est liée à son état physique.
L'énergie cinétique microscopique de la pelote	•	• est liée à son altitude.
L'énergie potentielle macroscopique de la pelote	•	• est liée à sa température.
L'énergie potentielle microscopique de la pelote	•	• est liée à sa vitesse.

15 Reconnaître le mode de transfert de l'énergie (1)

CORRIGÉ

| Rédiger une explication.



Lors d'une descente, les skis sont soumis à des forces de frottement exercées par la piste.

1. Le transfert d'énergie de la piste sur le système {skis} s'effectue-t-il par travail ou par transfert thermique ?

2. Préciser le signe de ce transfert.

16 Reconnaître le mode de transfert de l'énergie (2)

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

Un glaçon, placé dans un verre d'eau, fond.

1. Schématiser la situation.

2. Sur le schéma, indiquer par des flèches le sens et le mode de transfert d'énergie (travail W ou transfert thermique Q) entre le système {glaçon} et l'eau.

3. Préciser le signe de ce transfert.

Exercices — Appliquer le cours

3 Le premier principe de la thermodynamique

VIDÉO DE COURS Du premier principe au bilan d'énergie
QR Code p. 308

17 Connaître le premier principe

CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

Le premier principe, pour un système au repos macroscopique échangeant de l'énergie mais pas de matière avec l'extérieur et qui évolue d'un état initial à un état final, s'écrit : $\Delta U_{i\to f} = W + Q$.

1. Indiquer le nom et l'unité de chaque grandeur.
2. Préciser la convention qui détermine leur signe.

18 Énoncer le premier principe

Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux.

L'eau de la théière ci-contre est chauffée jusqu'à la température de 80 °C. On néglige tout échange par le bec verseur.



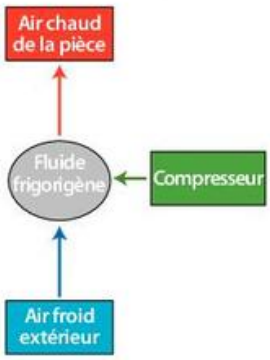
1. Identifier les transferts d'énergie entre le système {eau et théière} et le milieu extérieur.
2. Énoncer puis écrire le premier principe pour ce système.

19 Utiliser le premier principe (1)

CORRIGÉ

Exploiter des informations.

Le fluide frigorigène d'une pompe à chaleur prend de l'énergie à l'air froid extérieur et en transfère à l'air de la pièce à chauffer. Pour cela, un compresseur transfère de l'énergie par travail mécanique au fluide frigorigène.



1. Reproduire le schéma ci-dessus et le compléter avec les trois transferts d'énergie ayant lieu entre le système {fluide frigorigène} et le milieu extérieur.
2. Écrire le premier principe pour ce système.

Utiliser le réflexe 2

20 Utiliser le premier principe (2)

Mobiliser et organiser ses connaissances.

Pour préparer un cocktail sans alcool, une barmaid mélange dans un shaker 35 cL de jus d'orange et 5 cL de jus de citron vert. On admettra que le shaker est un récipient hermétique qui n'échange pas d'énergie avec le milieu extérieur pendant la durée de préparation du cocktail.
Le shaker et le jus de citron sont à 20 °C initialement. Le jus d'orange est à 5 °C.



1. Écrire le premier principe pour le système {shaker, jus de citron vert et jus d'orange} entre le moment où les ingrédients sont introduits et la fin du mélange.
2. Le cocktail est versé dans un verre en terrasse où la température est égale à 30 °C. Identifier le corps duquel le cocktail reçoit de l'énergie par transfert thermique.

21 Prévoir l'évolution d'une énergie interne

CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

On souhaite refroidir de 5 °C une masse m de jus de fruit considéré comme incompressible.

1. Donner l'expression de la variation d'énergie interne $\Delta U_{i\to f}$ du système {jus de fruit} en fonction notamment de la masse du système et de sa variation de température entre l'état initial et l'état final.
2. Prévoir le signe de la variation d'énergie interne de ce système.

Utiliser le réflexe 3

22 Calculer une variation d'énergie interne

Effectuer des calculs.

Pour préparer une soupe « miso » instantanée, on verse sur le contenu du sachet une masse m d'eau de 150 g initialement à la température $\theta_i = 20$ °C. Le système {eau} est considéré comme incompressible.



On néglige l'influence du contenu du sachet.
On chauffe l'eau pour l'amener à la température finale souhaitée θ_f.

1. Exprimer la variation d'énergie interne $\Delta U_{i\to f}$ de l'eau, en fonction notamment de sa masse et de sa variation de température entre l'état initial et l'état final.
2. La variation d'énergie interne $\Delta U_{i\to f}$ de l'eau à obtenir, pour que la température de l'eau atteigne la valeur finale souhaitée θ_f, est égale à $4{,}2 \times 10^4$ J. Calculer θ_f.

Donnée

Capacité thermique massique de l'eau :
$c_{eau} = 4{,}18 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$

23 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Pression d'un gaz

Effectuer des calculs.



Les appareils respiratoires contenant une bouteille d'air comprimé permettent aux sapeurs-pompiers de travailler dans des atmosphères toxiques lors d'un incendie. L'air contenu dans une bouteille d'air comprimé de volume $V_1 = 6{,}0$ L est à la pression $P_1 = 300$ bar et à la température $T_1 = 290$ K. Pour simplifier l'étude, on considère que, dans ces conditions de température et de pression, cet air peut être assimilé à un gaz parfait.

1. Exprimer la quantité de matière n d'air contenu dans la bouteille.

2. On souhaite calculer le volume V_2 d'air que cette bouteille peut libérer à la température $T_2 = 320$ K et à la pression atmosphérique $P_{atm} = 1{,}013 \times 10^5$ Pa.

a. Exprimer la quantité de matière n d'air en fonction des données de la question **2.**

b. Calculer le volume V_2.

3. En opération, le volume d'air inspiré par un pompier peut atteindre 90 L par minute. Quelle peut être la durée de l'intervention ?

Donnée

1 bar = 1×10^5 Pa.

Critères de réussite

J'ai respecté les notations de l'énoncé (questions 1 et 2. a.).	☐
J'ai exprimé les pressions dans la même unité (question 2. b.).	☐
J'ai effectué le calcul littéral puis l'application numérique (question 2. b.).	☐
J'ai rédigé toutes les réponses.	☐

24 Aluminium, toujours !

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.



L'aluminium est l'élément métallique le plus abondant dans l'écorce terrestre. Pour réaliser des bâtiments, il est utilisé en alliage avec du magnésium. L'alliage est composé de 90 % en masse d'aluminium et 10 % en masse de magnésium.

Pour améliorer sa résistance mécanique, une pièce d'alliage de masse $m = 10$ kg subit une trempe thermique. Pour cela, elle est portée à haute température $\theta_1 = 540$ °C, puis refroidie rapidement dans un bain d'eau de masse $m_{eau} = 1{,}00$ tonne et de température initiale $\theta_2 = 19$ °C. Lors de la trempe thermique, il est nécessaire de prévoir l'élévation maximale de la température du bain. L'eau et l'alliage sont supposés incompressibles.

1. La capacité thermique massique d'un alliage est égale à la somme des capacités thermiques massiques de ses constituants coefficientées par leur pourcentage massique. Montrer que la capacité thermique massique de l'alliage d'aluminium est $c = 909$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.

2. a. Quelle est la forme d'énergie du système 1 {pièce d'alliage} qui est modifiée lorsqu'il vient au contact de l'eau ?

b. Exprimer la variation d'énergie interne ΔU_1 du système 1, puis ΔU_2 du système 2 {eau du bain} au cours de la trempe.

3. On néglige tout échange avec l'air ou la cuve contenant l'eau.

a. Écrire le premier principe pour le système 1, puis pour le système 2.

b. En déduire que $\Delta U_1 = -\Delta U_2$.

4. À l'aide des réponses précédentes, calculer la température finale du bain θ_f.

Données

Capacités thermiques massiques :
- de l'aluminium : $c_{Al(s)} = 897$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.
- du magnésium : $c_{Mg(s)} = 1{,}02 \times 10^3$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.
- de l'eau : $c_{eau(l)} = 4{,}18 \times 10^3$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.

25 Rugby ball

Pratiquer une langue vivante étrangère.



In a room where the temperature is $T_1 = 293$ K, a rugby ball has been inflated[1] to a final pressure of $P_1 = 168$ kPa. The rugby ball is then taken to the field, where the temperature is $T_2 = 278$ K.

The air follows the ideal gas[2] law.

The rugby ball volume V does not change in the room and on the field.

Vocabulary: 1. *to inflate*: gonfler ; 2. *ideal gaz*: gaz parfait.

1. Write the ideal gas law for the rugby ball:

a. in the room;

b. on the field.

2. a. What will the ball's pressure P_F be when its temperature becomes equal to the temperature of the air on the field?

b. In a rugby ball, the air pressure at the beginning of the game must be between 65,71 kPa and 68,75 kPa above atmospheric pressure. Should we then inflate or deflate the rugby ball?

Data

Atmospheric presssure: $P_{atmospheric} = 101$ kPa.

26 Il y a film et film...

CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.



Une alternative aux films plastiques alimentaires est le film à la cire d'abeille. Une couche fine de cire d'abeille, d'huile de jojoba et de résine de pin est déposée sur un tissu en coton biologique. Chaque film est lavable et réutilisable environ 120 fois.

Pour fabriquer la couche de cire, on utilise une cuve en aluminium de masse $m_0 = 0{,}250$ kg, chauffée par un conducteur ohmique. La puissance électrique $\mathcal{P}_{élec}$ de l'appareil est 200 W.

La cuve contient $m_1 = 100$ g de cire solide. L'ensemble est initialement à la température ambiante $\theta_a = 19$ °C.

La température de l'ensemble est maintenue constante une fois la fusion de la cire obtenue. Les pertes thermiques avec l'air ambiant sont négligées.

La cire est supposée incompressible.

1. a. Calculer la variation d'énergie interne ΔU_1 du système {cuve et cire} nécessaire pour atteindre la température de fusion de la cire.

b. Quelles formes d'énergie de la cire sont modifiées lors du chauffage ?

2. a. Rappeler le premier principe pour le système et en déduire le transfert thermique Q_1 à apporter au système par l'appareil pour atteindre la température de fusion.

b. Indiquer le signe de Q_1.

c. Calculer la durée Δt_1 de chauffage nécessaire pour réaliser ce transfert thermique.

3. Il faut encore attendre une durée $\Delta t_2 = 6$ minutes pour que la cire fonde totalement. Calculer le transfert thermique Q_2 correspondant.

4. En déduire le transfert thermique Q_{tot} nécessaire à la fusion de 100 g de cette cire.

Données

- Température de fusion de la cire : $\theta_f = 64$ °C.
- Capacités thermiques massiques :
  - de l'aluminium : $c_{Al(s)} = 897\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$;
  - de la cire : $c_{cire} = 3{,}4 \times 10^3\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$.

27 À chacun son rythme

Info ou intox ?

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Un ballon d'eau chaude contient un volume V d'eau de 80 L. Lors du premier remplissage, l'eau initialement à 17,0 °C est chauffée jusqu'à $\theta_f = 65{,}0$ °C. Les pertes thermiques sont négligées. L'eau est supposée incompressible.

A Extrait de la notice d'un chauffe-eau électrique

Emplacement	Vertical ou horizontal
Capacité	80 litres
Alimentation	230 V monophasé
Temps de chauffe réel à 50 °C	3 h 00
Classe énergétique	B
Puissance nominale	1 500 W



Énoncé compact

La durée de chauffe annoncée est-elle correcte ?

Énoncé détaillé

1. Calculer la variation d'énergie interne ΔU_1 du système {eau contenue dans le ballon}.

2. Rappeler le premier principe pour ce système, et en déduire le transfert thermique Q_1 apporté au système par le conducteur ohmique chauffant.

3. Exprimer le transfert thermique minimal Q_1 en fonction de la puissance électrique et de la durée de chauffe minimale Δt_1. On rappelle que le conducteur ohmique restitue intégralement à l'eau, par transfert thermique, l'énergie qu'il reçoit par travail électrique.

4. Calculer Δt_1.

5. La durée de chauffe annoncée est-elle correcte ?

Données

- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4{,}18 \times 10^3\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{eau} = 1\ 000\ kg \cdot m^{-3}$.

28 Musique !

Extraire et exploiter des informations ; effectuer des calculs.

On souhaite déterminer la capacité thermique massique c_2 d'un laiton.

A Laiton

Le laiton est un alliage de cuivre et de zinc, utilisé notamment pour fabriquer des instruments de musique.

Lors de cette fabrication, on recherche du laiton ayant un pourcentage massique de 80 % en cuivre et 20 % en zinc.



B Capacités thermiques

Pourcentage massique en cuivre	Pourcentage massique en zinc	Capacité thermique massique du laiton ($J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$)
90	10	386
80	20	388
70	30	390

C Calorimètre



Un calorimètre est une enceinte dans laquelle il n'y a pas de transfert thermique Q entre l'extérieur et l'intérieur.
À l'intérieur du calorimètre, $\Sigma Q = 0$ J.

Le laiton, le calorimètre et l'eau liquide sont incompressibles. Les pertes thermiques sont négligées.
On dispose d'un calorimètre de capacité thermique $C = 225\ \text{J}\cdot\text{°C}^{-1}$ et contenant une masse d'eau $m_1 = 300$ g. L'ensemble est à la température $\theta_1 = 18{,}0$ °C.
L'échantillon de laiton de masse $m_2 = 100$ g est placé dans une étuve à une température fixée $\theta_2 = 92{,}0$ °C.
On le plonge ensuite rapidement dans le calorimètre et l'eau. La température finale de l'ensemble est $\theta_f = 19{,}9$ °C.

1. Schématiser la situation initiale et indiquer, à l'aide de flèches, le sens des transferts thermiques entre le sous-système 1 {calorimètre et eau} et le sous-système 2 {laiton}.

2. Calculer la variation d'énergie interne ΔU_1 du sous-système 1.

3. Exprimer la variation d'énergie interne ΔU_2 du sous-système 2.

4. a. Montrer que $\Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$ J.
b. À l'aide des réponses précédentes, exprimer puis calculer la capacité thermique massique c_2 du laiton.

5. a. Cet échantillon de laiton est-il utilisable pour la fabrication d'un instrument de musique ?
b. Le pronostic émis à l'issue de cette expérience est-il sûr ?

Donnée

Capacité thermique massique de l'eau :
$c_{eau} = 4{,}18 \times 10^3\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$

29 Équation de Van der Waals

CORRIGÉ

Discuter un modèle, un résultat

Un gaz ne peut pas être assimilé à un gaz parfait lorsque sa pression devient trop importante. On parle alors de « gaz réel ». L'équation de Van der Waals permet de mieux décrire un gaz réel que l'équation d'état des gaz parfaits :

$$\left(P + \frac{n^2 \times a}{V^2}\right) \times (V - n \times b) = n \times R \times T$$

Une correction est effectuée dans l'équation de Van der Waals sur la pression et le volume, à l'aide de deux coefficients a et b qui dépendent de la nature du gaz.

1. Montrer que, lorsque le volume V de gaz réel est très grand, l'équation d'état des gaz parfaits devient une très bonne approximation de l'équation de Van der Waals.

2. On veut comparer le modèle du gaz parfait à celui du gaz réel de Van der Waals pour deux exemples, le néon Ne et le dioxyde de carbone CO_2.
Chacun de ces gaz occupe une enceinte close de volume $V = 5{,}00$ L, à une température $T = 300{,}0$ K, avec la même quantité de matière $n = 1{,}00$ mol.
a. Calculer la pression P de chacun de ces gaz dans le cadre du modèle du gaz parfait.
b. Calculer de même la pression P' de chacun de ces gaz dans le cadre du modèle du gaz réel de Van der Waals.
c. Comparer pour chaque gaz P' à P. Lequel de ces gaz se rapproche le plus du gaz parfait ? Interpréter.

Données

- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ \text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.
- Pour le néon :
  $a = 0{,}021\ 35\ \text{Pa}^2\cdot\text{m}^6\cdot\text{mol}^{-2}$ et $b = 1{,}71 \times 10^{-5}\ \text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$.
- Pour le dioxyde de carbone :
  $a = 0{,}364\ \text{Pa}^2\cdot\text{m}^6\cdot\text{mol}^{-2}$ et $b = 4{,}267 \times 10^{-5}\ \text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$.

30 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Pompe à chaleur

Construire les étapes d'une résolution de problème.

Un particulier souhaite acheter une pompe à chaleur (PAC) pour chauffer, en hiver, la pièce principale de son habitation de volume $V = 100\ \text{m}^3$, et passer d'une température $\theta_i = 15$ °C à une température de confort $\theta_f = 19$ °C.
On suppose que seul l'air de la pièce absorbe l'énergie transférée par la pompe à chaleur. Pour simplifier l'étude, on considère que toutes les pertes thermiques peuvent être négligées entre l'intérieur et l'extérieur de la pièce d'habitation.

- Pendant combien de temps le particulier devra-t-il faire fonctionner sa PAC pour obtenir la température de confort souhaitée dans sa pièce d'habitation ?

A Pompe à chaleur (PAC)



Une PAC air/air est un système de chauffage qui effectue un transfert thermique Q depuis l'air l'extérieur de la maison vers l'air intérieur de la pièce d'habitation. Pour cela, elle comprend un compresseur qui consomme de l'énergie transférée par travail électrique $W_{élec}$.

B Coefficient de performance d'une PAC

Le COP, ou coefficient de performance, d'une pompe à chaleur quantifie son efficacité. Il représente le rapport entre le transfert thermique Q effectué et le travail électrique nécessaire.

C Extrait de la notice technique de la PAC étudiée

POMPE À CHALEUR AIR-AIR

- Température de fonctionnement :
  9 °C mini – 35 °C maxi
- Puissance consommée par la PAC en mode chauffage :
  $P_e = 750$ W
- COP = 4.

Données

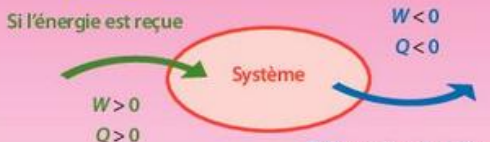
- Capacité thermique massique de l'air :
  $c = 1{,}004 \times 10^3\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$.
- Masse volumique de l'air supposée constante dans ces conditions : $\rho = 1{,}2\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Vers le BAC

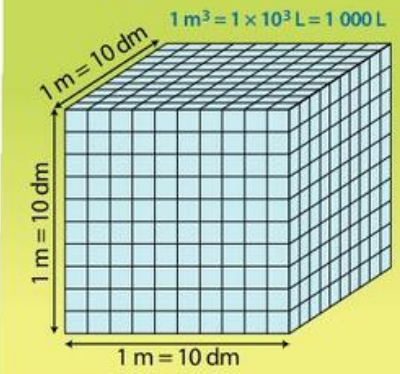
Bien choisir les unités dans l'équation d'état des gaz parfaits

NON	OUI
bar (bar)	pascal (Pa)
litre (L)	mètre cube (m^3)
degré Celsius (°C)	kelvin (K)

Faire attention aux signes lors des transferts d'énergie



Bien convertir les unités de volume



$1\ L = 1\ dm^3 = 1 \times 10^{-3}\ m^3$



Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 310

31 — 30 min — Le principe d'une montgolfière

Discuter un modèle ; mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.

On modélise une montgolfière par un ballon rigide dont le volume est constant. Une ouverture est placée à la base du ballon, permettant à l'air de rentrer ou de s'échapper. Ce ballon de volume $V = 10$ L contient de l'air à 20 °C et à une pression $P = 1{,}013 \times 10^5$ Pa.



1. L'air, assimilé à un gaz parfait, est composé en volume de 80 % de diazote N_2 et de 20 % de dioxygène O_2. La masse molaire M de l'air est égale à la somme des masses molaires du diazote et du dioxygène coefficientées par leurs pourcentages volumiques.
Montrer que la masse molaire M de l'air est égale à $28{,}8\ g \cdot mol^{-1}$.

2. a. Rappeler à quelles conditions un gaz peut être assimilé à un gaz parfait.

b. Calculer la quantité de matière d'air présente dans le ballon. Utiliser le réflexe 1

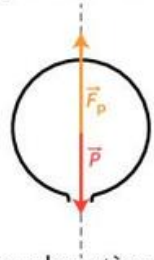
c. Calculer la masse de l'air compris dans le ballon.

3. L'air à l'intérieur du ballon est chauffé à 90 °C.

a. Quelle est alors la pression de l'air dans le ballon ?

b. Calculer la masse de l'air qui s'est échappé du ballon.

4. On suppose que le ballon est soumis à deux forces, son poids et la poussée d'Archimède, comme le montre le schéma ci-contre.



La valeur de la poussée d'Archimède $\vec{F}_p$ exercée sur le ballon est égale à la valeur du poids $\vec{P}$ du volume d'air extérieur déplacé par le ballon.

a. Exprimer la deuxième loi de Newton pour le système {ballon et air intérieur} au moment où il décolle.
La projeter sur l'axe vertical d'un repère d'espace $(O ; \vec{k})$ où O est pris au niveau du sol et où $\vec{k}$ est un vecteur unitaire orienté de bas en haut.

b. À quelle condition le ballon peut-il décoller ?

c. Montrer qu'il faut chauffer l'air intérieur du ballon pour que le décollage ait lieu.

On appellera m_b la masse de l'enveloppe du ballon.

Coup de pouce QR Code p. 308

Données

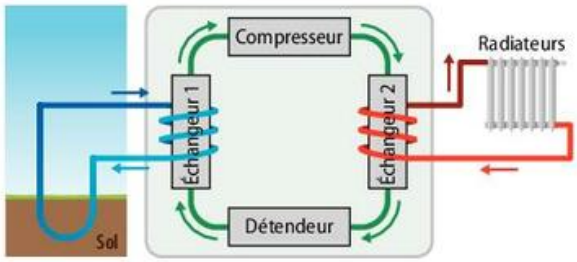
- Masses molaires : $M(O) = 16{,}0\ g \cdot mol^{-1}$, $M(N) = 14{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}314\ Pa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$.
- Conversion des températures : $T(K) = \theta(°C) + 273$

32 — 50 min — CORRIGÉ — Géothermie

Faire un schéma adapté ; mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; faire preuve d'esprit critique et argumenter.

A Fonctionnement d'une PAC (pompe à chaleur géothermique)

Une PAC géothermique est un système de chauffage qui capte, sous forme d'un transfert thermique Q_1, de l'« énergie géothermique » par prélèvement depuis un réseau enfoui dans le sol, pour en céder une quantité Q_2 au circuit d'eau alimentant les radiateurs du logement. Elle comprend :
– un détendeur qui ne consomme pas d'énergie ;
– un compresseur qui consomme de l'énergie électrique $W_{élec}$ et qui permet à un fluide spécifique de récupérer Q_1 à travers un premier échangeur et de restituer Q_2 à travers un second échangeur.



Circuit d'eau du réseau de captage dans le sol
Circuit du fluide spécifique dans la PAC
Circuit d'eau alimentant les radiateurs

B Consommation de la PAC

Une pompe à chaleur géothermique fonctionne pendant 4 h sur une journée pour élever la température de l'eau des radiateurs d'une maison de $\theta_i = 12\ °C$ à $\theta_f = 20\ °C$. Le débit massique D_m de l'eau dans les radiateurs est de $145\ kg \cdot h^{-1}$. Pendant la durée du chauffage, le transfert d'énergie électrique vers le moteur du compresseur est de $4{,}82 \times 10^6$ J.

1. Schématiser les différents transferts d'énergie entre le système {fluide spécifique} et le milieu extérieur au cours du fonctionnement de la PAC.

2. a. Calculer la variation d'énergie interne ΔU_2 de l'eau des radiateurs lorsque sa température évolue.

Utiliser le réflexe 3

b. En déduire le transfert thermique Q_2 entre le système {fluide spécifique} et l'eau des radiateurs.

3. Le fluide spécifique effectue des cycles dans la PAC. Au cours d'un cycle, les énergies mécanique et interne du système ne varient pas.
a. Écrire le premier principe pour le système {fluide spécifique}.

Utiliser le réflexe 2

b. En déduire le transfert thermique Q_1.

4. Calculer le rapport entre l'énergie utile donnée par la PAC à l'eau des radiateurs et l'énergie facturée qu'elle consomme.

Donnée

Capacité thermique massique de l'eau :
$$c_{eau} = 4{,}18 \times 10^3\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$$

Préparation à l'ECE

On souhaite identifier un échantillon métallique de masse m_1, en déterminant sa capacité thermique c.

PROTOCOLE

☑ PESER l'échantillon métallique (m_1). Le placer suspendu par une ficelle dans un bain-marie à la température de 81 °C environ. Noter la température initiale θ_i de l'échantillon.
☑ PRÉLEVER un gros morceau de glace fondante (sa température est alors 0 °C).
☑ L'ESSUYER avec un chiffon propre et sec, puis **rapidement** :
– le placer dans un cristallisoir ;
– déposer l'échantillon de métal sur le morceau de glace ;
– lorsque l'échantillon de métal ne fait plus fondre le morceau de glace, recueillir l'eau liquide dans un bécher préalablement taré et la peser (m_2).

Résultats expérimentaux :

$\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ (°C)	m_1 (g)	m_2 (g)
$-81{,}0 \pm 0{,}1$	105 ± 1	$9{,}8 \pm 0{,}1$

1. a. ANA-RAIS La température finale de l'échantillon métallique est $\theta_f = 0$ °C. Justifier cette valeur.
b. CON Exprimer la variation d'énergie interne ΔU_1 de l'échantillon de métal au cours de l'expérience.

2. On néglige tout échange autre que celui entre l'échantillon de métal et la glace.
a. ANA-RAIS Écrire le premier principe appliqué au système {échantillon métallique}.
b. ANA-RAIS Pourquoi faut-il essuyer rapidement le morceau de glace fondante ?
c. RÉA Le transfert thermique Q reçu par l'eau au cours de la fusion est égal à $m_2 \times L_{fus}$. On en déduit la capacité thermique de l'échantillon métallique $c = -\dfrac{m_2 \times L_{fus}}{m_1 \times (\theta_f - \theta_i)}$. Calculer c.

3. a. ANA-RAIS · RÉA Évaluer l'incertitude-type de mesure :
$$u(c) = c \times \sqrt{\left(\frac{u(m_1)}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{u(m_2)}{m_2}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta\theta)}{\Delta\theta}\right)^2}$$
Exprimer le résultat sous la forme $c \pm u(c)$.
b. Identifier le métal de l'échantillon.

Données

- Chaleur latente de fusion de l'eau : $L_{fus} = 334\ kJ \cdot kg^{-1}$.
- Capacités thermiques massiques :
– de l'aluminium : $c_{aluminium} = 895\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$;
– du cuivre : $c_{cuivre} = 385\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$;
– du fer : $c_{fer} = 450\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Maîtriser le ton du discours

Lors d'une présentation orale, il peut arriver que l'on force sa voix. En effet, on a l'impression ainsi d'être plus audible. Il n'en est rien et c'est même désagréable.
L'application **Vocal'iz**, téléchargeable sur smartphone, permet d'effectuer des exercices pour connaître le ton ou la qualité sonore de sa voix et pour parler sans la forcer.



AVOIR UNE VOIX PUISSANTE SANS FORCER

- **Visionner la vidéo ci-contre en notant comment parler sans forcer sa voix.**
- **Analyser sa voix à l'aide de l'application et s'exercer à déterminer le ton de sa voix.**

À deux, c'est mieux



L'autocuiseur
Un autocuiseur est un récipient hermétique qui permet de cuire les aliments à une température supérieure à 100 °C. En effet, la température d'ébullition de l'eau dépend de la pression. Plus la pression des gaz dans l'autocuiseur est importante, plus la température d'ébullition de l'eau est élevée.

- **À l'aide de ses connaissances, écrire un texte de quelques lignes expliquant la nécessité de la soupape sur l'autocuiseur.**
- **Lire le texte à un camarade.**
- **Évaluer la lecture à l'aide des critères ci-contre.**

Inverser ensuite les rôles et faire de même.
Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite	😐	😊
Maîtriser le ton du discours		
La voix n'est pas forcée.	☐	☐
Le ton est agréable.	☐	☐
La voix n'est pas trop aiguë.	☐	☐
L'intensité sonore de la voix est suffisante.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur

Le premier principe de la thermodynamique

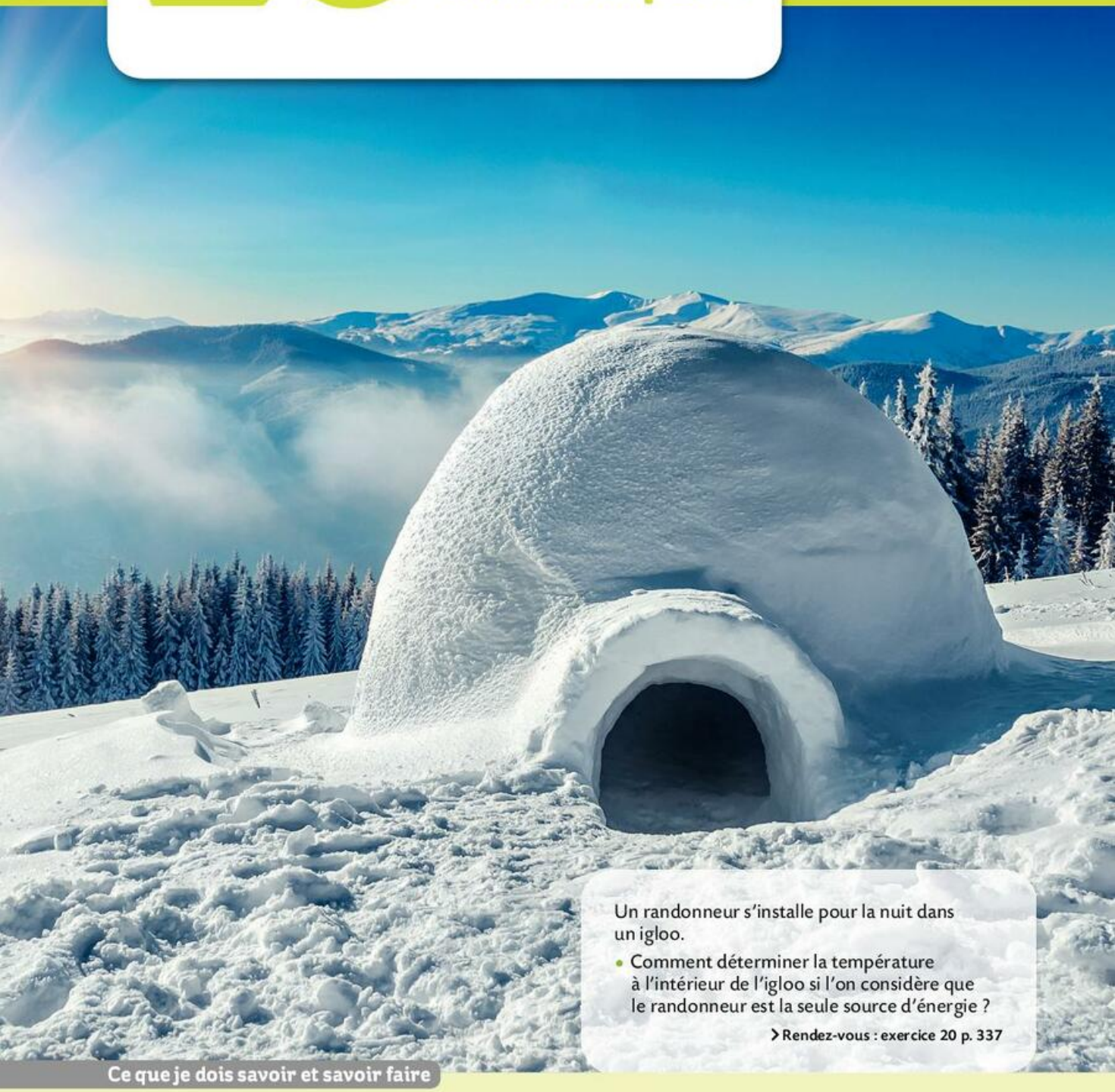
Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

De quoi l'**énergie interne** d'un système macroscopique dépend-elle ?

Citer deux **modes de transfert de l'énergie**.

Que signifie un système au **repos macroscopique ?**

16 Transferts thermiques



Un randonneur s'installe pour la nuit dans un igloo.

- Comment déterminer la température à l'intérieur de l'igloo si l'on considère que le randonneur est la seule source d'énergie ?

> Rendez-vous : exercice 20 p. 337

Ce que je dois savoir et savoir faire

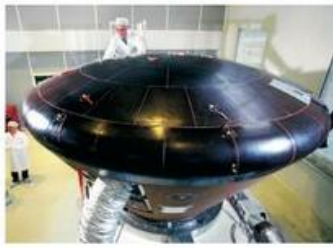
- Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique : convection, conduction, rayonnement. **Exercice 2 p. 334**
- Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température, l'expression de la résistance thermique étant donnée. **Activité 1 p. 322**
- Effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour estimer la température terrestre moyenne, la loi de Stefan-Boltzmann étant donnée. Discuter qualitativement l'effet de serre sur la température terrestre moyenne. **Activité 3 p. 324**
- Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible échangeant de l'énergie par un transfert thermique modélisé à l'aide de la loi de Newton fournie. Établir l'expression de la température du système en fonction du temps. **Exercice 16 p. 336**
- Suivre et modéliser l'évolution de la température d'un système incompressible. **Activité 2 p. 323**
- **Capacité mathématique :** résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant. **Exercice 14 p. 335**

Activité expérimentale 1

Résistance thermique de conduction d'un matériau

Notions
- Flux thermique
- Résistance thermique

Un bouclier en matériau composite PICA a protégé la sonde Mars Science Laboratory lors de la plus rapide rentrée atmosphérique de l'histoire d'une sonde spatiale. Pouvant supporter des températures de 2 000 °C, ce bouclier est constitué de « briques élémentaires ». Il pourrait presque être tenu sans se brûler par la face opposée à celle chauffée à plus de 1 000 °C.



Tâche complexe

► Objectif de l'activité : Comment déterminer, à partir du flux thermique, la résistance thermique d'un matériau lors d'un transfert thermique par conduction ?

A Dispositif expérimental pour la mesure d'une résistance thermique de conduction

L'échantillon à tester est positionné entre les deux plaques d'aluminium d'un appareil de mesure de résistance thermique.

Une des plaques est maintenue à la température ambiante θ_1 par une source chaude.

L'autre plaque est maintenue à la température $\theta_2 = \theta_1 - 10$ °C par une source froide.

On maintient cette différence de température $\Delta\theta = 10$ °C entre les deux faces du matériau jusqu'à ce que le flux thermique qui le traverse devienne constant.

L'appareil affiche alors le flux thermique Φ et la résistance thermique R_{th} du matériau.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- **Flux thermique Φ**

Si le transfert thermique Q entre un système et le milieu extérieur a pour durée Δt, le flux thermique Φ traversant ce système a pour expression :

$$\Phi \text{ en W} \rightarrow \Phi = \frac{Q}{\Delta t} \leftarrow \begin{matrix} Q \text{ en J} \\ \Delta t \text{ en s} \end{matrix}$$

- **Résistance thermique R_{th}**

La résistance thermique R_{th} caractérise l'opposition d'un milieu au transfert thermique entre deux points A et B.
En régime permanent indépendant du temps, le flux thermique Φ orienté du point A vers le point B, la différence de température $\theta_A - \theta_B$ entre ces points et la résistance thermique R_{th} du (ou des) milieu(x) traversé(s) sont liés par :

$$R_{th} \text{ en } °C \cdot W^{-1} \rightarrow R_{th} = \frac{\theta_A - \theta_B}{\Phi} \leftarrow \begin{matrix} \theta \text{ en } °C \\ \Phi \text{ en W} \end{matrix}$$

MATÉRIEL DISPONIBLE



Étapes de la démarche d'investigation

1. RELIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉMETTRE une hypothèse permettant d'y répondre.
4. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre pour valider l'hypothèse formulée.
5. NOTER les observations, les interpréter et conclure.

Investigation

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1 Identifier les paramètres ayant une influence sur l'efficacité d'un bouclier thermique.

Utiliser un modèle pour expliquer RÉA

2 Expliquer pourquoi il serait quasiment possible de tenir la face d'une brique de bouclier thermique dont l'autre face a été chauffée à 1 200 °C, sans se brûler.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté COM

3 Comment déterminer, à partir du flux thermique, la résistance thermique d'un matériau lors d'un transfert thermique par conduction ?

Activité 2 expérimentale

Température d'un système incompressible au cours du temps

Notion

- Modélisation de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat

La température idéale d'extraction pour la réalisation d'un café expresso est 85 °C. Les experts conseillent une dégustation du café à 65 °C. L'abaissement de la température entre l'extraction et la dégustation est lié aux transferts thermiques convectifs entre le café dans la tasse et le milieu extérieur.



► **Objectif de l'activité : Quelle fonction mathématique modélise l'évolution de la température d'un système incompressible en fonction du temps ?**

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- Un système incompressible à la température θ effectue un transfert thermique par convection avec un milieu extérieur de température constante θ_e. Le système ou le milieu extérieur est un fluide.
- La dérivée de la température de ce système par rapport au temps, notée $\frac{d\theta}{dt}$, est proportionnelle à la différence de température entre le système et le milieu extérieur :

$$\frac{d\theta}{dt} = a \times (\theta - \theta_e)$$

θ en °C ; a en s^{-1} ; t en s ; θ en °C

Dans cette relation, a est une constante négative relative au système et au milieu extérieur, qui dépend de leur surface de contact S.

MATÉRIEL DISPONIBLE



Pratique expérimentale

On admet que la température est uniforme en chaque point du système étudié et que le transfert thermique par rayonnement entre le système et le milieu extérieur est négligeable.

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

1 Proposer et mettre en œuvre un protocole pour suivre l'évolution de la température du système {eau et bécher}.

Tracer un graphique RÉA

2 Tracer le graphique de l'évolution de la température θ du système en fonction du temps t.

Exploiter des résultats ANA-RAIS

3 a. Utiliser les outils du logiciel tableur-grapheur pour vérifier que l'équation de la courbe tracée à la question 2 peut être modélisée par la fonction :

$$\theta = (\theta_i - \theta_e) \times e^{a \times t} + \theta_e$$

avec θ_i la température initiale du système.

Discuter un modèle VAL

b. Vérifier que la relation $\theta = (\theta_i - \theta_e) \times e^{a \times t} + \theta_e$ est la solution de l'équation différentielle :

$$\frac{d\theta}{dt} = a \times \theta - a \times \theta_e$$

Effectuer des calculs RÉA

4 Pour le système incompressible {café et tasse}, la constante a est égale à $-0{,}20\ min^{-1}$ et on néglige les échanges de matière entre ce système et le milieu extérieur.
Estimer la durée idéale au bout de laquelle un café peut être dégusté si la température de l'air environnant est constante et égale à 25 °C.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté COM

5 Quelle fonction mathématique modélise l'évolution de la température d'un système incompressible en fonction du temps ?

Activité documentaire 3

Température terrestre moyenne

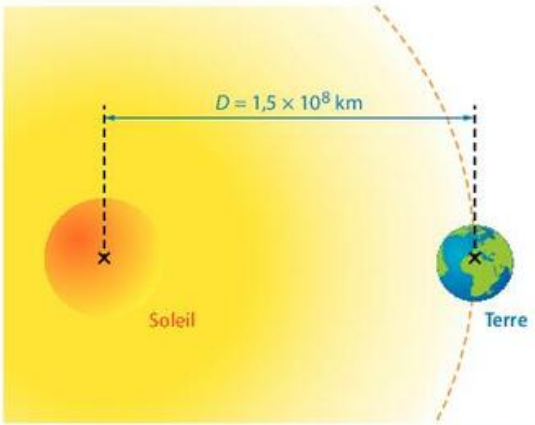
Notions
- Bilan thermique du système {Terre et atmosphère}
- Effet de serre
- Loi de Stefan-Boltzmann

Le rayonnement solaire est la principale source d'énergie de la Terre. Cette énergie est reçue sous forme de radiations ultraviolettes, visibles et infrarouges.
La Terre, du fait de la température de sa surface, perd de l'énergie sous forme de radiations infrarouges émises vers l'espace.

► **Objectif de l'activité : De quoi la température moyenne de la surface terrestre dépend-elle ?**

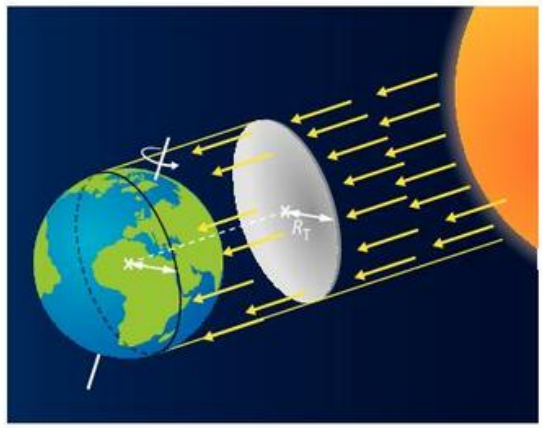
A Puissance solaire surfacique reçue par le système {Terre et atmosphère}

Le rayonnement solaire qui se propage dans le vide n'est pas absorbé. À une distance D du Soleil, la puissance totale qu'il émet se répartit sur une sphère de rayon D. On peut alors déterminer la puissance solaire surfacique à cette distance.

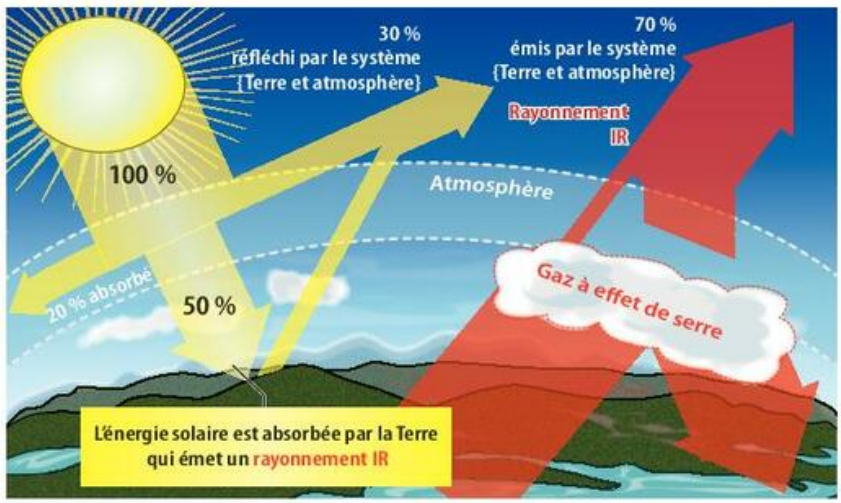


B Puissance solaire reçue par le système {Terre et atmosphère}

Au niveau de la Terre, la puissance solaire surfacique s'étale sur un disque de rayon R_T.
Comme la Terre tourne sur elle-même, cette puissance se répartit sur l'ensemble de la surface du globe terrestre.



C Bilan radiatif du système {Terre et atmosphère}



D Choix réfléchi de couleurs



> Recouvrir les murs de chaux blanche, comme en Grèce, permet de mieux supporter les épisodes de forte chaleur.

Données

- Rayon du Soleil : $R_S = 6{,}96 \times 10^8$ m.
- Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37 \times 10^6$ m.
- Surface d'une sphère de rayon R : $S = 4\pi \times R^2$.
- Température moyenne de surface du Soleil : $T = 5\,778$ K.
- Albédo du système {Terre et atmosphère} : $\alpha \approx 0{,}30$.

Complément scientifique

• Puissance surfacique

La puissance surfacique p est la puissance par unité de surface.

$$p \text{ en W} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow p = \frac{\mathcal{P}}{S} \leftarrow \begin{matrix} \mathcal{P} \text{ en W} \\ S \text{ en m}^2 \end{matrix}$$

• Loi de Stefan-Boltzmann

Un corps noir de température constante réemet tout le rayonnement qu'il absorbe.

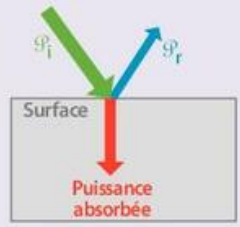
La puissance surfacique p émise par un corps noir est liée à sa température par la relation :

$$p \text{ en W} \cdot \text{m}^{-2} \rightarrow p = \sigma \times T^4 \leftarrow \begin{matrix} T \text{ en K} \\ \sigma \text{ en W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \end{matrix}$$

avec $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}$ W · m^{-2} · K^{-4}, la constante de Stefan-Boltzmann.

• Albédo

L'albédo α d'une surface est une grandeur sans unité qui caractérise son aptitude à renvoyer par diffusion et/ou réflexion le rayonnement qui lui parvient.



$$\alpha = \frac{|\mathcal{P}_r|}{\mathcal{P}_i} = \frac{|p_r|}{p_i}$$

avec $\mathcal{P}_r$ la puissance renvoyée par la surface et $\mathcal{P}_i$ la puissance incidente sur cette même surface.

• Conversion des températures

$$T \text{ en K} \rightarrow T = \theta + 273{,}15 \leftarrow \theta \text{ en °C}$$

Analyse des documents

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

1 **a.** En utilisant la loi de Stefan-Boltzmann, déterminer la puissance solaire surfacique p_S émise au niveau de la surface du Soleil considéré comme un corps noir.

b. Montrer que la puissance solaire surfacique p'_S à la distance D entre la Terre et le Soleil est $1{,}36 \times 10^3$ W · m^{-2}.

c. Exprimer la puissance solaire incidente interceptée par la Terre $\mathcal{P}_T$.

d. En déduire la puissance solaire incidente surfacique p_T reçue en moyenne par le système {Terre et atmosphère}.

Confronter un modèle à des résultats expérimentaux VAL

2 **a.** Évaluer la puissance solaire surfacique moyenne $p_{T(abs)}$ absorbée par le système {Terre et atmosphère}.

b. On considère que le système {Terre et atmosphère} réémet toute la puissance qu'il reçoit.
En déduire la température moyenne théorique du système.

c. Retrouver que la température terrestre moyenne théorique au niveau du sol en absence d'albédo est voisine de 5 °C.

d. En réalité, la température terrestre moyenne au niveau du sol est voisine de 15 °C.
À partir du schéma C, proposer une explication à l'écart entre cette température et celle calculée en 2 b.

Faire preuve d'esprit critique et argumenter VAL

3 Proposer une explication scientifique aux observations décrites dans le document D.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté COM

4 De quoi la température moyenne de la surface terrestre dépend-elle ?

Cours

1 Le transfert thermique

Un transfert thermique s'effectue entre un système et le milieu extérieur lorsqu'il existe une **différence de température** entre eux.
Dans les situations étudiées, le régime est considéré comme permanent indépendant du temps (régime permanent stationnaire).

a. Modes de transfert thermique

- Au niveau macroscopique, la température et l'état physique d'un corps peuvent être modifiés par transfert thermique.
- Au niveau microscopique, le transfert thermique s'effectue par chocs entre particules de manière désordonnée : les particules les plus agitées transmettent leur énergie cinétique aux particules les moins agitées.
- Trois modes de transfert thermique peuvent avoir lieu, séparément ou simultanément (dessins A).

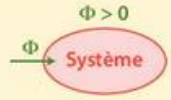
Conduction thermique	Elle se produit principalement dans les **solides**. L'agitation thermique se transmet de proche en proche dans la matière, **sans** déplacement d'ensemble de celle-ci.
Convection thermique	Elle se produit dans les **fluides**. L'agitation thermique se transmet de proche en proche dans le fluide, **avec** déplacement d'ensemble de celui-ci : des courants de fluide circulent.
Rayonnement thermique	Il se produit dans **tout milieu matériel** ou dans le **vide**. L'absorption et l'émission d'**ondes électromagnétiques** par la matière en modifient l'agitation thermique.

b. Flux thermique

Si le transfert thermique Q entre un système et l'extérieur a pour durée Δt, alors le flux thermique noté Φ est défini par :

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

(Φ en W ; Q en J ; Δt en s)



Par convention, le flux thermique est compté :
– **positivement** s'il est **reçu** par le système ;
– **négativement** s'il est **cédé** par le système.



Le flux thermique Φ est aussi appelé puissance thermique, notée $\mathcal{P}_{th}$.

c. Résistance thermique

La résistance thermique R_{th} caractérise l'opposition d'un milieu au transfert thermique entre deux points.

Exemple : Le cuisinier du dessin A peut tenir la casserole métallique chaude, sans se brûler, à l'aide d'un torchon. Le tissu du torchon s'oppose au transfert thermique de la casserole vers la main, d'autant plus efficacement que son épaisseur est grande.

Le flux thermique Φ orienté d'un point A vers un point B, la différence de température $T_A - T_B = \theta_A - \theta_B$ entre ces points et la résistance thermique R_{th} du (ou des) milieu(x) traversé(s) sont liés par :

$$\Phi = \frac{T_A - T_B}{R_{th}} = \frac{\theta_A - \theta_B}{R_{th}}$$

(T en K ; θ en °C ; Φ en W ; R_{th} en $K \cdot W^{-1}$ ou $°C \cdot W^{-1}$)

A Modes de transfert thermique



> **Conduction thermique** entre la casserole et le système {cuisinier}.



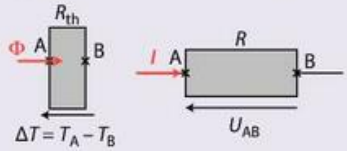
> **Convection thermique** entre l'air chauffé par les braises et le système {cuisinier}.



> **Rayonnement thermique** entre les lampes infrarouges et le système {plat}.

INFO

Analogie entre résistance thermique R_{th} et résistance électrique R



Vocabulaire

Un **corps noir** de température constante réémet tout le rayonnement qu'il absorbe.

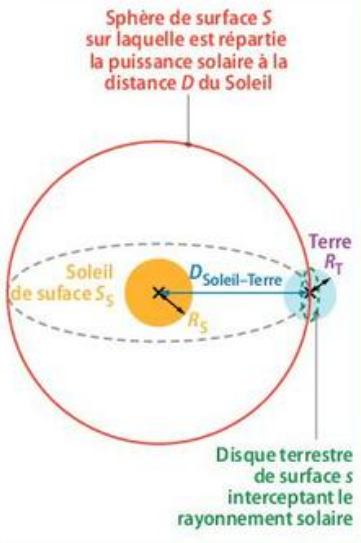
2 La température terrestre moyenne

La température moyenne de la surface terrestre, conséquence des transferts d'énergie entre la Terre, son atmosphère et l'extérieur, peut être déterminée à l'aide d'un bilan d'énergie du système **{Terre et atmosphère}** et du premier principe de la thermodynamique.

a. Bilan quantitatif d'énergie du système {Terre et atmosphère}

- Le Soleil et la Terre sont assimilés à des **corps noirs** sphériques, incompressibles, échangeant de l'énergie par rayonnement et sans échange de matière avec l'extérieur. L'effet de la Lune est négligé.
- Dans le référentiel héliocentrique (schéma B), la distance $D_{\text{Soleil-Terre}}$ et la vitesse du système **{Terre et atmosphère}** sont considérées comme constantes. Donc la somme des énergies macroscopiques du système (potentielle d'interaction avec le Soleil et cinétique) est constante, et le système n'échange aucune énergie par travail de force non conservative : $W = 0$.
- De plus, en régime permanent indépendant du temps, le système est à l'équilibre thermique, car sa température est également supposée constante : quels que soient les états initial et final, $\Delta U_{i\to f} = 0$.
- Les transferts thermiques avec l'extérieur sont : Q_T, reçu de la part du Soleil par le système ; Q_R et Q_E, renvoyés et émis par le système.

B Répartition du rayonnement solaire



b. Application du premier principe de la thermodynamique au système {Terre et atmosphère}

- Entre un état initial et un état final, le premier principe de la thermodynamique s'écrit : $\Delta U_{i\to f} = Q_T + Q_R + Q_E$
  Or $\Delta U_{i\to f} = 0$, d'où : $Q_T + Q_R + Q_E = 0$
- En divisant par la durée Δt, il vient le bilan de flux ou de puissances thermiques : $\mathcal{P}_T + \mathcal{P}_R + \mathcal{P}_E = 0$.



On divise ce bilan par la surface du système pour obtenir un bilan de puissances thermiques surfaciques : $p_T + p_R + p_E = 0$.

- On considère le système {Terre et atmosphère} comme un corps noir et on utilise la loi de Stefan-Boltzmann (loi C) pour exprimer la puissance émise par le système en fonction de la température :

$$-p_E = \sigma \times T_T^4 \quad \text{avec } p_E < 0$$

On isole la température moyenne de la Terre $T_T = \left(\frac{-p_E}{\sigma}\right)^{\frac{1}{4}}$ d'où :

$$T_T = \left(\frac{p_T + p_R}{\sigma}\right)^{\frac{1}{4}}$$

Pour déterminer la température moyenne de la Terre, il faut écrire le **bilan de puissance** du système {Terre et atmosphère}, issu du **premier principe de la thermodynamique**.

C Loi de Stefan-Boltzmann

La puissance par unité de surface ou puissance surfacique p émise par un corps noir est liée à sa température par la relation :

$$p = \sigma \times T^4$$

(T en K ; p en $W \cdot m^{-2}$)

avec $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ la constante de Stefan-Boltzmann, et **p comptée ici positivement.**

c. Albédo et effet de serre

L'**albédo** α est une grandeur sans unité qui caractérise l'aptitude d'une surface à renvoyer, par diffusion et/ou réflexion, le rayonnement qui lui parvient :

$$\alpha = \frac{|\mathcal{P}_r|}{\mathcal{P}_i}$$

$\mathcal{P}_r$: puissance renvoyée par la surface S en W

$\mathcal{P}_i$: puissance incidente sur cette même surface en W

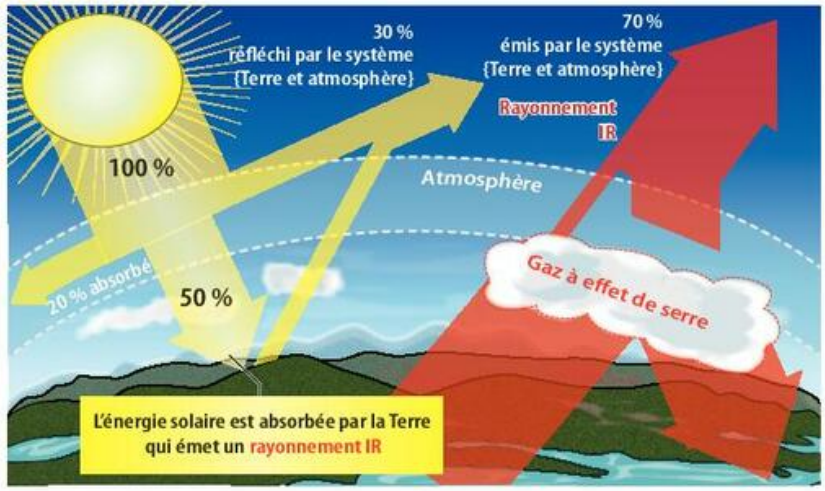
D **Température terrestre moyenne calculée**

	T_T (°C)
Sans albédo et sans effet de serre	5
Avec albédo et sans effet de serre	−18
Avec albédo et avec effet de serre	15

> Avec les notations du paragraphe 2 b, $\alpha = \frac{|\mathcal{P}_R|}{\mathcal{P}_T}$ pour le système {Terre et atmosphère}.

La température terrestre moyenne actuelle est 15 °C. L'albédo et l'effet de serre ont une grande influence sur cette température (tableau D).

Une diminution de l'albédo du système **{Terre et atmosphère}** entraîne une élévation de la température terrestre moyenne.
Une augmentation de l'effet de serre entraîne une élévation de la température terrestre moyenne.



L'effet de serre est dû aux gaz de l'atmosphère (principalement l'eau et le dioxyde de carbone) qui absorbent et renvoient vers la Terre une partie des radiations infrarouges qu'elle émet.

CONVENTION

La température $T(t)$ ou $\theta(t)$ sera notée T ou θ afin d'alléger les notations.

3 La loi de Newton

a. Modèle de la loi de Newton

• Considérons un système incompressible en contact avec le milieu extérieur sans échange de matière, le système ou le milieu extérieur étant fluide. L'évolution de la température de ce système est difficile à modéliser, car plusieurs modes de transfert thermique interviennent.

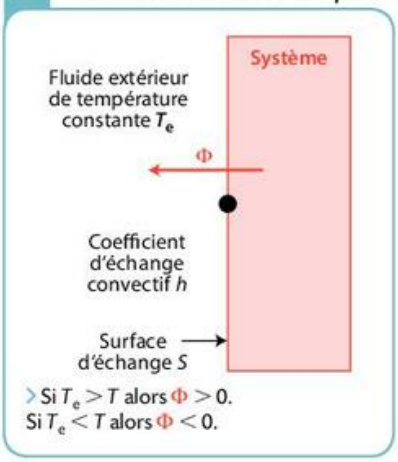
Lorsque le principal mode de transfert thermique est la **convection** dans le fluide, la **loi de Newton** modélise le flux thermique Φ à partir d'observations expérimentales. Elle relie le flux thermique convectif Φ et la différence de température $(T_e - T)$ entre :
– le système dont la surface d'échange S avec le milieu extérieur a pour température T supposée uniforme ;
– le milieu extérieur de température T_e constante, appelé **thermostat**.

lycee.hachette-education.com/pc/tle



VIDÉO DE COURS

E Fluide en contact avec une paroi



• Cette loi, avec les notations du schéma **E**, s'écrit :

$$\Phi \text{ en W} \rightarrow \Phi = h \times S \times (T_e - T) = h \times S \times (\theta_e - \theta) \leftarrow \theta \text{ en °C}$$

(S en m² ; h en W·m^{-2}·K^{-1} ou W·m^{-2}·°C^{-1} ; T en K)

h est le coefficient d'échange convectif entre le système incompressible et le milieu extérieur, l'un des deux étant fluide. Il dépend notamment de la nature du fluide.

b. Bilan d'énergie d'un système incompressible

• Le système incompressible étudié à la température θ échange de l'énergie **uniquement par transfert thermique convectif** avec le **thermostat** ou milieu extérieur à la température θ_e **constante**, l'un des deux étant fluide.

• Ce système est au repos macroscopique sans échange de matière avec l'extérieur.

• θ_i est la température du système dans l'état initial.

Établissement de l'équation différentielle vérifiée par la température θ du système

• D'après le **premier principe de la thermodynamique**, entre un état initial i et un état final f :

$$\Delta U_{i \to f} = Q$$

• Or pour une durée Δt suffisamment courte :

$$Q = \Phi \times \Delta t$$

• De plus, d'après la loi de Newton, $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$ d'où :

$$Q = h \times S \times (\theta_e - \theta) \times \Delta t$$

• On a également, pour un système incompressible de masse m dont la variation de température est $\Delta\theta$:

$$\Delta U_{i \to f} = m \times c \times \Delta\theta$$

avec c la capacité thermique massique du système.

• La relation devient $m \times c \times \Delta\theta = h \times S \times (\theta_e - \theta) \times \Delta t$ soit :

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{h \times S}{m \times c} \times (\theta_e - \theta)$$

• Lorsque Δt tend vers zéro, la limite de $\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right)$ est égale à la dérivée de θ par rapport au temps t notée $\frac{d\theta}{dt}$.

Il vient :

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{h \times S}{m \times c} \times \theta + \frac{h \times S}{m \times c} \times \theta_e$$

C'est l'**équation différentielle** vérifiée par la température T du système.

Détermination de la solution de l'équation différentielle vérifiée par la température θ du système

En mathématiques, les solutions d'une équation $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$) sont de la forme $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$ avec K une **constante d'intégration** réelle.

Pour résoudre l'équation différentielle, il faut remplacer la fonction y par θ, la variable x par le temps t, la constante a par $-\frac{h \times S}{m \times c}$ et la constante b par $\frac{h \times S}{m \times c} \times \theta_e$.

• Les solutions de l'équation différentielle sont de la forme :

$$\theta = K \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + \theta_e$$

• Pour déterminer la constante K, il faut utiliser les conditions initiales sur la température.

À $t = 0$ s, la température du système est $\theta = \theta_i$ donc :

$$\theta_i = K \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times 0} + \theta_e$$

Or $e^0 = 1$, ce qui conduit à : $K = \theta_i - \theta_e$.

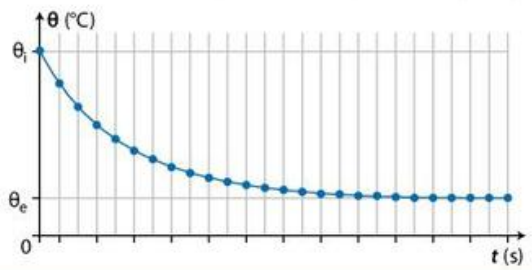
• La **solution de l'équation différentielle** est donc :

$$\theta = (\theta_i - \theta_e) \times e^{a \times t} + \theta_e \text{ avec } a = -\frac{h \times S}{m \times c}$$

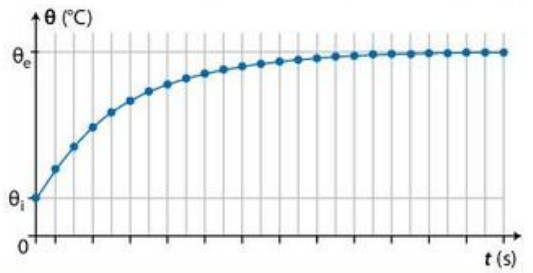
$\tau = -\frac{1}{a}$ est appelé temps caractéristique de l'évolution de la température du système, exprimé en seconde.

Allure de la courbe donnant la température d'un système en contact avec un thermostat, en fonction du temps

Refroidissement du système incompressible : $\theta_i > \theta_e$



Réchauffement du système incompressible : $\theta_e > \theta_i$



Toutes ces équations gardent la même forme lorsque la température θ (°C) est remplacée par la température T (K).

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Loi de Newton
QCM
Version interactive

1 Le transfert thermique

	Modes de transfert thermique		
	Conduction	**Convection**	**Rayonnement**
Milieu(x)	Surtout les solides	Surtout les fluides	Tous, y compris le vide
Transfert	De proche en proche	Via des courants de fluide	Via l'émission, l'absorption de photons

Flux Φ ou puissance $\mathcal{P}_{th}$ thermique

Φ et $\mathcal{P}_{th}$ en W

$$\Phi = \mathcal{P}_{th} = \frac{Q}{\Delta t}$$

Q en J

Δt en s

Résistance thermique R_{th}

Positive, elle caractérise l'opposition d'un milieu au transfert thermique entre deux points A et B respectivement à la température T_A (ou θ_A) et T_B (ou θ_B).

T en K

θ en °C

$$\Phi = \frac{T_A - T_B}{R_{th}} = \frac{\theta_A - \theta_B}{R_{th}}$$

R_{th} en $K \cdot W^{-1}$

R_{th} en $°C \cdot W^{-1}$

2 La température terrestre moyenne

Bilan radiatif terrestre issu du premier principe de la thermodynamique

$\mathcal{P}$ en W → $\mathcal{P}_T + \mathcal{P}_R + \mathcal{P}_E = 0$



Albédo α

$\mathcal{P}_r$: puissance renvoyée par la surface S en W

$$\alpha = \frac{|\mathcal{P}_r|}{\mathcal{P}_i}$$

$\mathcal{P}_i$: puissance incidente sur cette même surface en W

La température terrestre moyenne :
- augmente avec l'effet de serre ;
- diminue avec l'albédo.

3 La loi de Newton

Évolution de la température θ (ou T) d'un système incompressible en fonction du temps

Le système incompressible échange uniquement par transfert thermique convectif Q avec un milieu extérieur de température constante (thermostat), le système ou le milieu extérieur étant fluide.

Établissement de l'équation différentielle

Application du premier principe de la thermodynamique $\Delta U_{i \to f} = Q$ → Utilisation de la relation entre Q et le flux thermique Φ associé à ce transfert convectif → Utilisation de l'expression de Φ donnée par la loi de Newton fournie → Expression de $\Delta U_{i \to f}$ en fonction des températures initiale et finale → Expression de $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$, puis lorsque Δt tend vers zéro, identification de $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ à $\frac{d\theta}{dt}$

Résolution de l'équation différentielle

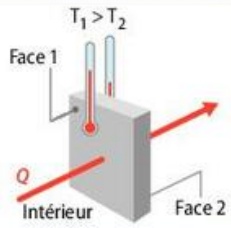
Présentation de l'équation différentielle sous la forme : $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$) → Rappel de la forme des solutions de l'équation différentielle → Utilisation des conditions initiales pour trouver la constante d'intégration

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 Le transfert thermique

Si erreur, revoir § 1 p. 326

	A	B	C
1. Dans un fluide, le transfert thermique a lieu principalement par :	convection.	conduction.	travail.
2. Les trois modes de transfert thermique entre un système et le milieu extérieur :	peuvent avoir lieu simultanément.	nécessitent tous un milieu matériel.	contribuent à la variation d'énergie interne du système.
3. Q étant le transfert thermique échangé par le système {air intérieur}, le flux thermique Φ est : 	négatif.	positif.	nul.
4. Plus la résistance thermique R_{th} du matériau constituant la cloison de la question 3 est grande :	plus la cloison favorise le transfert thermique.	plus le flux thermique traversant la cloison est petit, $(T_2 - T_1)$ étant fixé.	plus le flux thermique traversant la cloison est grand, $(T_2 - T_1)$ étant fixé.

2 La température terrestre moyenne

Si erreur, revoir § 2 p. 327

5. Pour déterminer la température terrestre moyenne, il est nécessaire :	d'utiliser la loi de Stefan-Boltzmann.	d'utiliser le premier principe de la thermodynamique.	de considérer la Terre comme un corps noir.
6. Si l'albédo de la Terre augmente :	la puissance renvoyée par la Terre augmente.	la puissance absorbée par la Terre augmente.	la température terrestre moyenne augmente.
7. Une photographie illustrant l'effet de serre est :			

3 La loi de Newton

Si erreur, revoir § 3 p. 328

8. La loi de Newton s'écrit $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$ avec h le coefficient d'échange convectif et S la surface d'échange entre le système à la température θ et l'extérieur à la température θ_e. Elle s'applique pour :	la convection entre un système incompressible et le milieu extérieur, l'un des deux étant fluide.	la conduction entre un système incompressible et le milieu extérieur, l'un des deux étant fluide.	tous les transferts thermiques entre un système incompressible et le milieu extérieur, l'un des deux étant fluide.
9. Dans la loi de Newton rappelée question 8, le flux convectif est :	reçu par le système si $\theta > \theta_e$.	proportionnel à θ.	cédé par le système si $\theta > \theta_e$.
10. L'équation différentielle $\frac{d\theta}{dt} = -\frac{h \times S}{m \times c} \times \theta + \frac{h \times S}{m \times c} \times \theta_e$ a pour solutions :	$\theta = K \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} - \theta_e$	$\theta = K \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + \theta_e$	$\theta = K \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t}$

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Établir l'équation différentielle vérifiée par la température θ (ou T) d'un système au contact d'un thermostat.	Réflexe 1 — Ex. 12 p. 335 • **Rappeler** le premier principe de la thermodynamique. • **Utiliser** la définition du flux thermique supposé constant pour exprimer le transfert thermique Q pendant un intervalle de temps Δt. • **Utiliser** la loi de Newton fournie pour exprimer le flux thermique Φ convectif transféré du système vers le milieu extérieur (ou thermostat) puis Q pendant Δt. • **Exprimer** la variation d'énergie interne $\Delta U_{i\to f}$ du système incompressible dont la température varie. • **Exprimer** $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ puis, lorsque Δt tend vers zéro, identifier $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ à $\frac{d\theta}{dt}$ afin d'établir une relation en fonction de θ (ou T).
Résoudre l'équation différentielle vérifiée par la température θ (ou T) d'un système au contact d'un thermostat.	Réflexe 2 — Ex. 14 p. 335 • **Écrire** l'équation différentielle vérifiée par la température sous la forme : $\frac{d\theta}{dt} = a\times\theta + b$ (ou $\frac{dT}{dt} = a\times T + b$). • **Rappeler** la forme générale des solutions de l'équation différentielle. • **Utiliser** les conditions initiales pour déterminer la constante d'intégration de la solution.

1 Exercice résolu

La gourde du randonneur : du passé au présent

Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; discuter un modèle.



Avant l'arrivée des bouteilles isothermes en acier, les gourdes étaient souvent de simples bouteilles en aluminium anodisé. Un randonneur remplit une telle gourde, de masse $m_1 = 172$ g, d'une boisson chaude de masse $m_2 = 750$ g à la température $\theta_i = 50$ °C. La température de l'air extérieur est $\theta_e = 5$ °C, supposée constante : l'air extérieur est un thermostat. On considère le système {boisson et gourde} comme un système incompressible de température uniforme, de surface $S = 4{,}0\times10^{-2}$ m^2. Par conduction thermique, la surface externe de la gourde atteint très rapidement la température initiale de la boisson sans prélèvement d'énergie.

1. Identifier le fluide qui échange de l'énergie par convection avec le système, puis effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour ce système.

2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la température θ du système.

3. Résoudre cette équation différentielle et montrer que l'évolution de la température au cours du temps est donnée par la relation : $\theta = (\theta_i - \theta_e)\times e^{-\frac{h\times S}{(m_1+m_2)\times c}\times t} + \theta_e$, avec t en seconde et θ en degré Celsius

4. En ne considérant que le seul transfert thermique par convection, calculer la température de la boisson dans la bouteille au bout de 2 heures, le flux étant supposé constant. Conclure.

5. Les gourdes isothermes actuelles, en acier, peuvent désormais maintenir les boissons chaudes pendant 12 heures dans des conditions hivernales. Ce type de gourde comporte une double enveloppe d'acier comprenant une épaisseur vide d'air. Expliquer pourquoi il est possible de maintenir ainsi la température d'une boisson chaude au cours d'une durée si importante.

Données

- Loi de Newton : $\Phi = h\times S\times(\theta_e - \theta)$ avec Φ le flux convectif entre le milieu extérieur et le système, et h le coefficient d'échange convectif dans l'air ($h = 10$ W· m^{-2}· °C^{-1}).
- Capacité thermique massique du système étudié : $c = 3{,}6\times10^3$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.
- On néglige tout transfert thermique autre que convectif.

Solution rédigée

1. L'air extérieur est le fluide qui échange avec le système {boisson et gourde} supposé incompressible et au repos macroscopique. Le système est dans l'état initial à 50 °C, dans l'état final à la température θ.
Le seul transfert d'énergie entre le système et l'air extérieur est un transfert thermique Q, car $W = 0$ J.

- **On utilise le** Réflexe 1.

Rappel du premier principe de la thermodynamique

D'après le premier principe de la thermodynamique, $\Delta U_{i\to f} = W + Q$, donc :
$$\Delta U_{i\to f} = Q$$

Définition du flux thermique pour exprimer le transfert thermique Q

Utilisation de la loi de Newton pour exprimer Φ puis Q pendant Δt

Expression de la variation d'énergie interne $\Delta U_{i\to f}$ d'un système incompressible

Expression de $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ puis identification de $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ à $\frac{d\theta}{dt}$

2. Puisque Φ est constant pour un intervalle de temps Δt court : $Q = \Phi \times \Delta t$.

De plus, d'après la loi de Newton, $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$, d'où :

$$Q = h \times S \times (\theta_e - \theta) \times \Delta t$$

Pour le système incompressible, $\Delta U_{i\to f} = (m_1 + m_2) \times c \times \Delta\theta$ et $\Delta U_{i\to f} = Q$.

Soit $\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{h \times S}{(m_1 + m_2) \times c} \times (\theta_e - \theta)$; lorsque Δt tend vers zéro, la limite de $\left(\frac{\Delta\theta}{\Delta t}\right)$ est égale à la dérivée de θ par rapport au temps t notée $\frac{d\theta}{dt}$.

Ceci s'écrit : $\frac{d\theta}{dt} = -\frac{h \times S}{(m_1 + m_2) \times c} \times \theta + \frac{h \times S}{(m_1 + m_2) \times c} \times \theta_e$.

C'est l'équation différentielle vérifiée par la température θ du système.

• **On utilise le** Réflexe 2.

Écriture de l'équation différentielle sous la forme $\frac{d\theta}{dt} = a \times \theta + b$

Rappel de la forme générale des solutions de l'équation différentielle

Utilisation des conditions initiales pour déterminer la constante d'intégration

3. Les solutions générales de l'équation différentielle $y' = ay + b$ ont pour forme : $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$ avec K un réel et $a \neq 0$.

Ici, les solutions sont donc de la forme $\theta = K \times e^{-\frac{h \times S}{(m_1 + m_2) \times c} \times t} + \theta_e$.

Initialement, $\theta(0) = \theta_i$; d'après la solution, $\theta(0) = K + \theta_e$.

On en déduit : $K = \theta_i - \theta_e = 50 - 5 = 45$ °C.

De plus, $\frac{h \times S}{(m_1 + m_2) \times c} = \frac{10\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1} \times 4{,}0 \times 10^{-2}\ \text{m}^2}{0{,}922\ \text{kg} \times 3{,}6 \times 10^3\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}}$

soit $-1{,}2 \times 10^{-4}\ \text{s}^{-1}$.

L'unique solution de l'équation vérifiant $\theta(0) = \theta_i = 50$ °C est donc : $\theta = 45 \times e^{-1{,}2 \times 10^{-4} t} + 5$ avec θ en degré Celsius et t en seconde.

4. Au bout de 2 heures, $\theta = 45\ {}^\circ\text{C} \times e^{-1{,}2 \times 10^{-4}\ \text{s}^{-1} \times 2 \times 3\,600\ \text{s}} + 5\ {}^\circ\text{C}$ soit $\theta = 24$ °C ; la température du système a diminué de 21 °C. Cette gourde n'a pas l'efficacité recherchée par le randonneur.

5. Une double enveloppe d'acier comprenant du vide empêche pratiquement les transferts thermiques par conduction ou rayonnement de la gourde. La température de la boisson reste constante pendant une durée importante.

Côté maths 7 : Résoudre une équation différentielle de second membre constant et non nul

Côté maths

Résoudre sur $\mathbb{R}$ l'équation différentielle suivante : $y' = -4y + 8$ avec la condition $y(0) = 4$.

Méthode

Pour une équation différentielle $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$), les solutions sont de la forme $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$ avec $K \in \mathbb{R}$.

Les solutions de cette équation sont donc :

$y = K \times e^{-4x} - \frac{8}{(-4)} = K \times e^{-4x} + 2$ avec $K \in \mathbb{R}$.

Or, $y(0) = 4$, donc $4 = K + 2$, soit $K = 2$.

L'unique solution de cette équation différentielle avec la condition $y(0) = 4$ est donc : $y = 2e^{-4x} + 2$.

Côté physique & chimie

Déterminer la solution de l'équation différentielle : $\frac{d\theta}{dt} = -\frac{h \times S}{m \times c} \times \theta + \frac{h \times S}{m \times c} \times \theta_e$ avec $\theta(0) = \theta_i$

Méthode

Les solutions d'une équation différentielle de la forme $y' = ay + b$ s'écrivent $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$ avec $K \in \mathbb{R}$ et $a \neq 0$.

Par analogie, les solutions de l'équation différentielle proposée sont : $\theta = K \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + \theta_e$.

Sachant que $\theta(0) = \theta_i$ on trouve $K = \theta_i - \theta_e$.

L'unique solution de cette équation différentielle vérifiant $\theta(0) = \theta_i$ est donc : $\theta = (\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + \theta_e$.

À retenir !

Théorème – Les solutions d'une équation différentielle de la forme $y' = ay + b$ s'écrivent :

$$y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a} \text{ avec } K \in \mathbb{R} \text{ et } a \neq 0$$

Exercices Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Caractériser qualitativement les trois modes de transfert thermique.	2	15	26
Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température.	4	19	26
Effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour estimer la température terrestre moyenne. Discuter qualitativement de l'influence de l'albédo et de l'effet de serre sur la température terrestre moyenne.	8	23	27
Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible échangeant de l'énergie par transfert thermique.	12	15	26
Établir l'expression de la température d'un système incompressible en fonction du temps.	14	15	26
Capacité mathématique : résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants et avec un second membre constant.	14	15	26

1 Le transfert thermique

2 Identifier le mode de transfert thermique (1) CORRIGÉ

Exploiter des informations.

Un jour d'été très chaud, la température de l'eau du lac de Lacanau en Gironde est 23 °C, la température de l'air est 30 °C et celle du sable 25 °C.

1. Identifier le mode de transfert thermique principal entre l'eau et le Soleil, l'eau et le sable, l'eau et l'air.
2. Indiquer le sens de ces transferts et leur signe si le système étudié est l'eau du lac.

3 Identifier le mode de transfert thermique (2)

Mobiliser et organiser ses connaissances.

Lors d'une découpe au laser, la focalisation du faisceau sur une zone réduite du matériau provoque son échauffement jusqu'à la fusion.

- Identifier le principal mode de transfert thermique mis en jeu lors de la découpe.

4 Déterminer un flux thermique CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

En été, un flux thermique Φ s'effectue à travers le pare-brise séparant l'habitacle d'une voiture, de l'air extérieur.



1. Déterminer le sens du flux thermique Φ traversant le pare-brise.
2. Calculer Φ.

Données

- Résistance thermique du verre d'un pare-brise : $R_{th} = 3{,}0 \times 10^{-3}\ °C \cdot W^{-1}$.
- La résistance thermique R_{th} et le flux Φ orienté d'un point A à un point B sont liés par : $\Phi = \dfrac{(\theta_A - \theta_B)}{R_{th}}$.

5 Déterminer une résistance thermique

Faire un schéma adapté.

Le flux thermique Φ à travers le mur d'une habitation est égal à 30 W. La température intérieure de l'habitation est $\theta_i = 19\ °C$ et la température extérieure $\theta_e = 10\ °C$.

1. Schématiser la situation en faisant apparaître Φ.
2. Calculer la résistance thermique R_{th} du mur extérieur.

2 La température terrestre moyenne

6 Comprendre la loi de Stefan-Boltzmann CORRIGÉ

Effectuer une analyse dimensionnelle.

La puissance surfacique p émise par un corps noir s'exprime par : $p = \sigma \times T^4$.

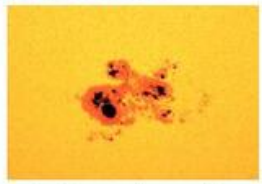
1. Que représente la grandeur T dans cette loi ?
2. Préciser les unités de p et de T.

Donnée

Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$.

7 Exploiter la loi de Stefan-Boltzmann

Effectuer des calculs.



La photosphère est la surface visible du Soleil. Sa température moyenne est 5 778 K. Les taches solaires (*sunspot*) sont des zones de température plus faible. La puissance surfacique émise au niveau d'une des taches solaires est voisine de $1{,}18 \times 10^7\ W \cdot m^{-2}$.

1. Déterminer la puissance surfacique moyenne émise par la photosphère considérée comme un corps noir.
2. Calculer la température de surface au niveau de la tache solaire évoquée.

Donnée

Loi de Stefan-Boltzmann : la puissance surfacique émise par un corps noir est $p = \sigma \times T^4$ avec $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$.

8 Discuter de l'influence de l'albédo (1)

CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

• Compléter les affirmations suivantes avec certains des termes ci-dessous :

absorbé(e) | 70 % | inférieur(e) | 30 % | supérieur(e) | renvoyé(e)

a. L'albédo est le pourcentage de la puissance solaire qui est ..... par le système {Terre et atmosphère}.

b. L'albédo de la glace est ..... à celui des forêts.

c. Sans albédo, la température terrestre moyenne serait ..... à celle avec albédo.

9 Discuter de l'influence de l'albédo (2)

Effectuer des calculs.



La puissance solaire incidente surfacique p_T reçue en moyenne par le système {Terre et atmosphère} est 344 $W \cdot m^{-2}$. La puissance solaire surfacique moyenne $p_{T(abs)}$ absorbée par le système est 241 $W \cdot m^{-2}$.

1. Calculer l'albédo α de ce système.

2. Calculer la puissance surfacique solaire p_a absorbée par le désert du Sahara et par la neige de la banquise.

Données

Albédo du sable : 0,32 ; albédo de la neige : 0,90.

12 Effectuer un bilan d'énergie (1)

CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

1. À partir de la loi de Newton, exprimer le transfert thermique Q effectué par convection entre un système incompressible à la température θ et le milieu extérieur à la température constante θ_e (ou thermostat) pendant la durée Δt. Le système ou le milieu extérieur est fluide.

2. Exprimer Q en fonction de la masse m du système, de sa capacité thermique massique c et de la variation de température $\Delta\theta$.

3. Déduire des relations précédentes l'équation différentielle vérifiée par la température θ. Utiliser le réflexe 1

Donnée

Loi de Newton : $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$.

13 Effectuer un bilan d'énergie (2)

Faire un schéma adapté.

Une tasse de café est réchauffée dans un four à micro-ondes.

1. Schématiser la situation en faisant apparaître tous les flux thermiques échangés entre le système {tasse et café} et le milieu extérieur.

2. Identifier le fluide qui échange de l'énergie par convection avec le système.

3. Effectuer le bilan d'énergie pour ce système incompressible, puis comparer les flux mis en jeu.

Donnée

On néglige tout transfert sous forme de travail et de transfert thermique avec le plateau support.

3 La loi de Newton

VIDÉO DE COURS Loi de Newton – QR Code p. 330

10 Comprendre la loi de Newton

CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

Le flux thermique transféré entre un système en convection et un thermostat, milieu extérieur à température constante, est modélisé par la loi de Newton :

$$\Phi = h \times S \times (T_e - T)$$

• Indiquer ce que représentent les grandeurs S, T_e et T dans cette loi et préciser les unités de h et Φ.

11 Exploiter la loi de Newton

Effectuer des calculs.

La paroi d'un système incompressible à la température $T = 323$ K est mise en contact avec un fluide à la température constante $T_e = 293$ K.
On suppose ici que le coefficient d'échange convectif h du fluide est 10 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

• Calculer le flux convectif Φ entre le système et l'extérieur à travers une paroi dont la surface est $S = 1{,}0$ m^2.

Donnée

Loi de Newton : $\Phi = h \times S \times (T_e - T)$.

Côté maths

Côté maths 7, p. 333

14 Résoudre une équation différentielle

CORRIGÉ



À la sortie du four, un gâteau dans son moule est à la température $\theta_i = 180$ °C. Le système {gâteau et moule} est laissé à la température ambiante constante de $\theta_e = 20$ °C.

L'équation différentielle vérifiée par la température du système est : $\dfrac{d\theta}{dt} = a \times (\theta - \theta_e)$.

Dans cette relation, a est une constante négative qui dépend du système et du fluide étudiés.

1. Montrer, en résolvant l'équation différentielle, que $\theta = \theta_e + (\theta_i - \theta_e) \times e^{a \times t}$. Utiliser le réflexe 2

2. Quelle sera la température du gâteau une heure après sa sortie du four ?

Données

• On considère que le système {gâteau et moule} est un système incompressible.
• On néglige les échanges de matière entre le système et le milieu extérieur ; le seul transfert thermique est convectif.
• Dans la situation étudiée, $a = -3{,}8 \times 10^{-4}$ s^{-1}.

15 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Un biberon à la bonne température

Utiliser un modèle pour prévoir ; effectuer des calculs.



On trouve sur la notice d'un chauffe-biberon : « Chauffe un biberon sorti du réfrigérateur en moins de trois minutes. Le lait est constamment mélangé pendant qu'il chauffe, afin d'éviter la formation de points chauds. »
On étudie le transfert thermique convectif Q entre le lait et un chauffe-biberon maintenant les parois du biberon à la température constante $\theta_e = 50$ °C.

1. À l'aide de la loi de Newton, exprimer le transfert thermique Q effectué par convection entre le système {lait} et le milieu extérieur constituant un thermostat, pendant la durée Δt.

2. Donner l'expression de Q en fonction de la masse m du système, de sa capacité thermique massique c et de sa variation de température $\Delta\theta$.

3. Déduire des relations précédentes l'équation différentielle vérifiée par la température θ du lait.

4. Montrer que l'expression $\theta = (\theta_i - \theta_e) \times e^{a \times t} + \theta_e$ est solution de l'équation différentielle avec $a = \dfrac{h \times S}{m \times c}$ et θ_i la température initiale du lait.

5. Un biberon contenant du lait à la température $\theta_i = 5$ °C est placé dans le chauffe-biberon.

a. Au bout de quelle durée peut-il être donné à la température de 30 °C au nourrisson ?

b. La durée obtenue est-elle conforme aux données du fabricant ?

Données

- On néglige tout transfert thermique autre que convectif entre le système et le milieu extérieur.
- Surface d'échange du lait dans le biberon : $S = 270$ cm^2.
- Coefficient d'échange convectif du lait dans les conditions d'utilisation du chauffe-biberon : $h = 300$ W·m^{-2}·°C^{-1}.
- Capacité thermique massique du lait : $c = 4{,}2 \times 10^3$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.
- Masse du lait dans le biberon : $m = 350$ g.
- Loi de Newton : $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$.

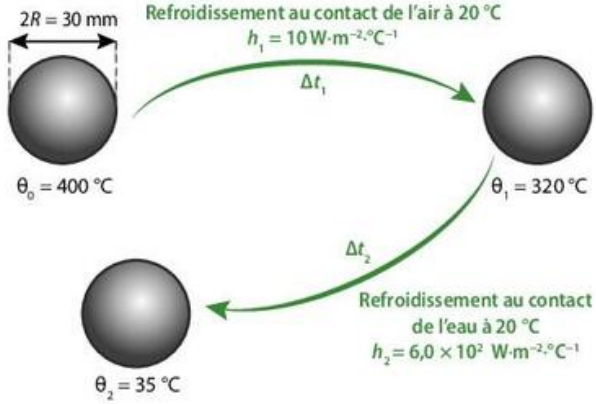
Critères de réussite

Présentation des réponses	
J'ai respecté les notations de l'énoncé (questions 1 et 2).	☐ ☐
J'ai justifié la réponse en résolvant l'équation différentielle (question 4).	☐ ☐
Conduite des calculs	
J'ai écrit l'équation différentielle sous la forme utilisée en mathématiques $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$) (question 3).	☐ ☐
J'ai converti les grandeurs fournies en des unités cohérentes entre elles (question 5).	☐ ☐

16 Un métal bien trempé

Utiliser un modèle pour prévoir ; effectuer des calculs.

Pour améliorer la dureté de métaux, on leur fait subir une trempe : le métal est initialement porté à haute température, puis refroidi au contact d'un fluide de température constante, en deux étapes de durées respectives Δt_1 et Δt_2.



1. Par application du premier principe de la thermodynamique au système {bille}, établir l'équation différentielle vérifiée par la température de la bille métallique étudiée lors de chacun des deux transferts thermiques convectifs.

2. a. Donner l'expression de l'évolution de la température θ de la bille en fonction du temps lors de l'étape 1.

b. Déterminer la durée Δt_1 de la première étape.

3. Procéder de même pour l'étape 2.

4. Quel fluide assure le refroidissement le plus rapide ?

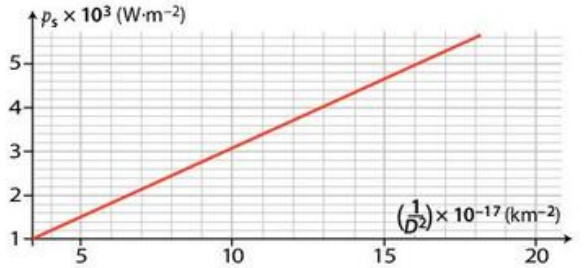
Données

- Masse volumique de la bille : $\rho = 3\,000$ kg·m^{-3}.
- Surface d'une sphère : $S = 4\pi \times R^2$.
- Volume d'une sphère : $V = \dfrac{4}{3}\pi \times R^3$.
- Capacité thermique massique de la bille : $c = 1{,}00 \times 10^3$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.
- Loi de Newton : $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$.
- On considère que le seul transfert thermique est convectif.

17 Puissance surfacique du rayonnement solaire

Exploiter un graphique.

On étudie, à l'aide du graphique ci-dessous, la relation entre la puissance solaire surfacique p_S et la distance D au Soleil.



1. Déterminer la relation entre p_S et D.

2. En déduire la puissance solaire surfacique p_S dans le cas de la Terre et dans celui de Vénus.

Données

- Distance Terre-Soleil : $D_{T\text{-}S} = 1{,}50 \times 10^{11}$ m.
- Distance Vénus-Soleil : $D_{V\text{-}S} = 1{,}08 \times 10^{11}$ m.

18 À chacun son rythme

Fer à repasser

Utiliser un modèle pour prévoir ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Un fer à repasser électrique est constitué d'une semelle métallique de masse $m = 500$ g et de surface $S = 0{,}025$ m^2 chauffée par un conducteur ohmique. Le tableau suivant donne la température de repassage de différents tissus :

Acrylique	Polyester	Coton
110 °C	150 °C	210 °C

La semelle d'un fer est initialement portée à 210 °C pour le repassage d'un pantalon en coton. La température de la pièce dans laquelle le repassage est effectué est $\theta_e = 25$ °C, considérée comme constante.
La température est supposée uniforme en tout point de la semelle.

Énoncé compact

Déterminer la durée Δt nécessaire à l'abaissement de la température de la semelle du fer pour le repassage d'un tee-shirt en polyester après celui d'un pantalon en coton.

Énoncé détaillé

1. Par application du premier principe de la thermodynamique au système {semelle}, établir l'équation différentielle vérifiée par la température de la semelle du fer lors du transfert thermique convectif avec le milieu extérieur.

2. En déduire l'expression de l'évolution de la température θ de la semelle en fonction du temps.

3. Déterminer la durée Δt nécessaire à l'abaissement de la température de la semelle du fer pour le repassage d'un tee-shirt en polyester après celui d'un pantalon en coton.

Données

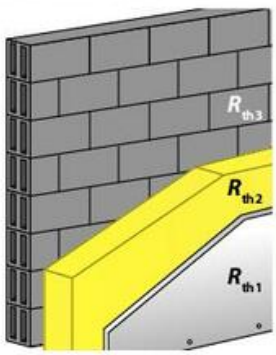
- On néglige tout transfert thermique autre que convectif.
- Loi de Newton : $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$.
- Capacité thermique massique de la semelle : $c = 450$ J·kg^{-1}·°C^{-1}.
- Coefficient d'échange convectif de l'air humide dans les conditions du repassage : $h = 50$ W·m^{-2}·°C^{-1}.

19 Pertes thermiques

CORRIGÉ

Effectuer des calculs ; faire un schéma adapté.

Un mur est constitué d'une cloison de plâtre de résistance thermique R_{th1} collée à une couche de laine de verre de résistance thermique R_{th2}.
L'ensemble est fixé à une paroi de béton de résistance thermique R_{th3}.
La surface S du mur est 20 m^2.
La température à l'intérieur de la pièce est 20 °C ; celle du milieu extérieur est 5 °C.



1. Schématiser la situation en indiquant par une flèche le sens des transferts thermiques à travers le mur.

2. Indiquer le mode de transfert thermique mis en jeu.

3. Calculer la résistance thermique totale du mur R_{th}.

4. Calculer le flux thermique Φ traversant le mur.

5. Comparer Φ avec le flux thermique traversant une simple paroi de béton pour une même différence de température.

Données

- Résistances thermiques en °C·W^{-1} pour $S = 20$ m^2 :

Plâtre	Laine de verre	Béton
0,039	0,125	0,013

- La résistance totale d'un mur constitué de couches accolées est égale à la somme des résistances thermiques de chacune des couches.

20 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Info, intox ou igloo ?

Construire les étapes d'une résolution de problème.



Lors d'une sortie dans les Pyrénées, un randonneur a construit son igloo et s'y installe pour la nuit. Chaque heure de son sommeil, il fournit par convection et rayonnement le transfert thermique $Q_1 = 0{,}50$ MJ à l'air intérieur supposé incompressible. La température est alors maintenue constante dans l'igloo.
Le randonneur est considéré comme la seule source d'énergie à l'intérieur de l'igloo.

- Le commentaire publié par le randonneur est-il réaliste ?

A Données concernant l'igloo

L'igloo est constitué d'un mur de neige d'épaisseur $e = 30$ cm et de surface totale $S = 14$ m^2.

La température intérieure θ est constante, et la température extérieure θ_e est égale à –15 °C.

B Résistance et conductivité thermiques

On considère ici que la résistance thermique R_{th} est proportionnelle à l'épaisseur de matériau e, inversement proportionnelle à sa conductivité thermique λ et à sa surface d'échange S :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

avec e en m, S en m^2 et λ en W·m^{-1}·°C^{-1}.

C Conductivité thermique de différents matériaux

Matériau	Neige fraîche	Neige compactée
Conductivité λ (W·m^{-1}·°C^{-1})	0,05	0,25

D Commentaire du randonneur sur un réseau social

« J'ai dormi à –10 °C dans mon igloo cette nuit. »

21 Eau chaude sanitaire

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs ; faire preuve d'esprit critique.

D'après Baccalauréat Antilles, 2019



La part de la consommation d'électricité liée à l'eau chaude sanitaire est en passe de devenir la plus importante dans les bâtiments résidentiels neufs.
L'objectif de cet exercice est d'étudier les performances thermiques d'un ballon d'eau chaude sanitaire.

A Caractéristiques techniques d'un ballon d'eau chaude sanitaire

Capacité	Tension	Puissance
200 L	230 V	2 200 W

- Durée nécessaire pour chauffer toute l'eau du ballon de 15 à 65 °C : 5 h 17 min.
- Surface d'échange thermique du ballon avec le milieu extérieur : 2,9 m^2.
- Le ballon est isolé avec de la laine de roche d'épaisseur $e = 70$ mm et de conductivité thermique $\lambda = 0{,}036\ W \cdot m^{-1} \cdot °C^{-1}$.
- Coefficient de refroidissement C_r du ballon pour de l'eau à 65 °C et une température ambiante à 20 °C : $C_r = 0{,}18\ W \cdot h \cdot jour^{-1} \cdot °C^{-1} \cdot L^{-1}$.

B Coefficient de refroidissement

Selon la réglementation thermique RT 2012, les chauffe-eau à accumulation doivent avoir un coefficient de refroidissement C_r inférieur ou égal à $2 \times V^{-0,4}$ avec V le volume (en litre) du ballon.

1. a. Calculer la durée nécessaire pour chauffer toute l'eau du ballon de 15 à 65 °C (on néglige les pertes thermiques).

b. Vérifier que la valeur de cette durée est cohérente avec les caractéristiques fournies par le fabricant.

2. a. Montrer que le flux thermique à travers les parois du ballon entre l'eau à 65 °C et l'air extérieur à 20 °C est $\Phi = 67$ W.

b. En déduire l'énergie perdue par le ballon en une journée. Exprimer le résultat en wattheure.

3. En utilisant le résultat précédent, évaluer le coefficient de refroidissement C_r du ballon d'eau chaude sanitaire étudié. Le résultat est-il cohérent avec la donnée du fabricant ?

4. La réglementation thermique RT2012 concernant C_r est-elle respectée pour ce ballon ?

Données

- On considère pour simplifier ici que la résistance thermique R_{th} d'une paroi d'épaisseur e et de surface S est liée à la conductivité thermique λ par :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4180\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$.
- Masse volumique de l'eau liquide : $\rho = 1\,000\ kg \cdot m^{-3}$.

22 Bivouac à la belle étoile en montagne

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs ; argumenter.

D'après Baccalauréat Polynésie, 2017



On lit dans une documentation sur les matelas de sol en mousse : « Une fois allongé, vous écrasez votre sac de couchage, ce qui le rend inefficace. En contact avec un sol plus froid que votre corps, vous perdez de l'énergie par transfert thermique. L'utilisation d'un matelas de sol, qui conserve son épaisseur et sa capacité d'isolation même soumis à des forces pressantes, limite ce phénomène. »
Avant d'acquérir un matelas de sol, un randonneur a hésité entre deux modèles : le « Sleepy » et le « Randy ».

A Caractéristiques du matelas de sol « Sleepy »

- Conductivité thermique : $\lambda = 0{,}03\ W \cdot m^{-1} \cdot °C^{-1}$.
- Dimensions (longueur × largeur × épaisseur) : 193 cm × 62 cm × 1,1 cm.

1. a. Indiquer dans quel sens se fait le transfert thermique à travers le matelas lorsque le randonneur est allongé.

b. Décrire le phénomène de transfert thermique par conduction à l'échelle microscopique.

2. Le randonneur souhaite comparer les capacités d'isolation thermique des deux matelas de sol, en se plaçant dans les mêmes conditions d'utilisation. Les résistances thermiques des vêtements et du sac de couchage sont négligeables devant celle du matelas. On considère que le seul flux thermique est celui qui traverse l'interface du matelas en contact avec le randonneur et du sol.

a. Parmi les surfaces S de contact randonneur-matelas proposées, laquelle semble correctement estimée ? 0,005 m^2 ; 0,05 m^2 ; 0,5 m^2 ; 5 m^2.

b. Calculer le flux thermique Φ à travers la partie inférieure du matelas « Sleepy » en contact avec le sol.

c. Le flux thermique à travers le matelas « Randy », dans les mêmes conditions d'utilisation, est 80 W. Quel matelas possède les meilleures capacités d'isolation thermique ?

Données

- La résistance thermique R_{th} d'une paroi d'épaisseur e et de surface S est liée à la conductivité thermique λ par la relation :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

- Température de l'air et du sol : 3 °C ; de la peau : 33 °C.

23 Température des planètes du système solaire

CORRIGÉ

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Différents facteurs influent sur la température de surface d'une planète :
– la puissance solaire surfacique reçue ;
– la présence ou non d'une atmosphère ;
– l'albédo de la planète ;
– la nature des gaz présents dans l'atmosphère.

A **Quelques caractéristiques de quatre planètes**

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars
Distance au Soleil ($\times 10^9$ m)	58	108	150	228
Albédo α	0,12	0,75	0,30	0,25
Température moyenne de surface (°C)	169	470	15	– 63

B **Puissance solaire surfacique p_S' à une distance D entre une planète et le Soleil**

$$p_S' = p_S \times \frac{R_S^2}{D^2}$$

avec $p_S = 6{,}32 \times 10^7\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ la puissance surfacique émise par le Soleil à sa surface et $R_S = 6{,}96 \times 10^8$ m le rayon solaire.

1. Calculer p_S' pour chacune des planètes du tableau **A**.

2. Justifier que la puissance solaire incidente surfacique p_P reçue en moyenne par le système {planète et atmosphère} s'écrit $p_P = \frac{p_S'}{4}$.

3. Évaluer la puissance solaire surfacique moyenne $p_{P(abs)}$ absorbée par chaque planète.

4. On considère que les planètes réémettent intégralement la puissance qu'elles ont absorbée. Calculer la température de surface des quatre planètes considérées comme des corps noirs.

5. Comparer les résultats à ceux du tableau **A** et proposer une explication aux différences observées.

Données

- Loi de Stefan-Boltzmann : la puissance surfacique émise par un corps noir est $p = \sigma \times T^4$ avec σ la constante de Stefan-Boltzmann de valeur $5{,}67 \times 10^{-8}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ et T la température exprimée en kelvin.
- Conversion des températures : $T\,(\text{K}) = \theta\,(°\text{C}) + 273$.

24 De la glace sur le sol lunaire

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

L'essentiel de la puissance reçue par la Lune, considérée comme un corps noir, provient du Soleil.
La température du sol lunaire varie entre −170 °C et 120 °C.
La Lune n'a pas d'atmosphère. L'albédo de la Lune est voisin de 0,11.

1. Exprimer la puissance solaire incidente surfacique p_L reçue en moyenne par la Lune.

2. a. Évaluer la puissance solaire surfacique moyenne $p_{L(abs)}$ absorbée par le sol lunaire et la comparer à celle absorbée par le système {Terre et atmosphère} $p_{T(abs)}$.
b. Justifier l'écart entre ces deux puissances, alors même que les distances Terre-Soleil et Lune-Soleil sont très voisines.

3. On considère que la Lune réémet toute la puissance qu'elle a absorbée.
Déterminer la valeur moyenne de la température du sol lunaire dans ce cas.

4. Expliquer les grandes fluctuations de la température du sol lunaire.

5. Les images ci-dessous des zones polaires lunaires montrent que de la glace a été découverte dans les parties marquées en bleu. Les résultats précédents sont-ils compatibles avec ces observations ?



Données

- Loi de Stefan-Boltzmann : la puissance surfacique émise par un corps noir est $p = \sigma \times T^4$ avec σ la constante de Stefan-Boltzmann de valeur $5{,}67 \times 10^{-8}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ et T la température exprimée en kelvin.
- Conversion des températures : $T\,(\text{K}) = \theta\,(°\text{C}) + 273$.
- Puissance surfacique émise par le Soleil à sa surface : $p_S = 6{,}32 \times 10^7\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.
- Distance Terre-Soleil et distance Lune-Soleil : $D = 1{,}50 \times 10^{11}$ m.
- Rayon solaire : $R_S = 6{,}96 \times 10^8$ m.
- Albédo du système {Terre et atmosphère} : $\alpha = 0{,}30$.

25 The Space Solar Power Initiative

Pratiquer une langue vivante étrangère.

The Space Solar Power Initiative (SSPI) project, led by the California Institute of Technology, proposes to put 2 500 satellites equipped with solar panels into geostationary orbit to capture solar energy and return it to Earth.

This project involves sending satellites equipped with 900 solar panels made of tiles forming a huge carpet that could be folded to fit in little space at launch. But once in orbit, they could unfold and would then cover two-thirds of a football field. The total area of the unfolded solar panels would be 9 km^2.

The energy recovered by the panels would be sent by microwaves to on-land receivers installed on sparsely populated areas[1] (agricultural areas, lakes, deserts...).

Vocabulary: 1. *Sparsely populated areas*: zones de faible densité de population.

1. Determine the Sun's surface power density p_S' on the panels, at a distance D.

2. Calculate the power $\mathcal{P}$ received by all the panels considering that they are fully illuminated and perpendicular to the Sun's rays.

Data

- Surface power density emitted by the Sun on its surface: $p_S = 6.32 \times 10^7\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.
- Earth-Sun Distance: $D = 1.50 \times 10^{11}$ m.
- Altitude of the geostationary orbit: $h = 36\,000$ km.
- Radius of the Sun: $R_S = 6.96 \times 10^8$ m.
- Radius of the Earth: $R_T = 6.37 \times 10^6$ m.

Vers le BAC

Utiliser la bonne unité

Transfert thermique Q	Joule (J)
Flux thermique Φ ou puissance $\mathcal{P}_{th}$	Watt (W)
Résistance thermique R_{th}	$K \cdot W^{-1}$ ou $°C \cdot W^{-1}$
Albédo α	Sans unité

Ne pas confondre...

- La température T donnée en kelvin, la température θ donnée en degré Celsius et le temps t.
- L'intervalle Δt de temps et la variation ΔT de température.
- La puissance surfacique p et la puissance $\mathcal{P}$:

p en $W \cdot m^{-2}$ → $p = \frac{\mathcal{P}}{S}$ ← $\mathcal{P}$ en W, S en m^{-2}

Prendre garde !



Le flux thermique Φ est une puissance et non une énergie.

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1 et 2 sont présentés p. 332

26 CORRIGÉ 60 min

Vitrage

Exploiter l'information ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Les parties I et II sont indépendantes.



Une pièce d'habitation possède une baie vitrée de surface $S = 8{,}0\ m^2$ en contact avec l'air extérieur. On considère que les transferts thermiques avec l'extérieur de la pièce se font à travers la surface de la baie vitrée. La température de l'air extérieur $T_e = 273$ K est constante. La pièce est chauffée par un radiateur électrique alimenté par le secteur.

A Caractéristiques du radiateur électrique

Le radiateur électrique convertit intégralement le travail électrique qu'il reçoit en transfert thermique Q qu'il évacue dans la pièce. La tension d'alimentation est $U = 230$ V et la résistance $R = 25{,}0\ \Omega$.

B Caractéristiques de vitrages

Vitrage de surface S	Résistance thermique R_{th} ($K \cdot W^{-1}$)
Simple : 1 couche de verre	6×10^{-4}
Double : 2 couches de verre et 1 d'argon	0,10
Triple : 3 couches de verre et 2 couches d'argon	0,16

Partie I Constitution du vitrage de la baie vitrée

On souhaite effectuer un bilan d'énergie de la pièce pendant une durée de référence $\Delta t_{réf}$.
Le radiateur électrique qui chauffe la pièce ne fonctionne que pendant 10 % de la durée de référence. On obtient une température $T_1 = 293$ K constante en tout point de la pièce.

1. a. Quels modes de transfert thermique peuvent être mis en jeu entre le radiateur électrique et la pièce ?
b. Exprimer le transfert thermique Q fourni par le radiateur à la pièce pendant la durée de référence $\Delta t_{réf}$ en fonction de la tension d'alimentation U du radiateur et de sa résistance R.

2. En déduire, en effectuant le bilan d'énergie du système {pièce et baie vitrée}, le flux thermique Φ traversant la baie vitrée et échangé avec le milieu extérieur.

3. Quel type de vitrage est utilisé pour cette baie vitrée ?

Coup de pouce QR Code p. 330

Partie II Simple vitrage

Il s'agit d'un simple vitrage. On stoppe le chauffage. On considère que le système {pièce et baie vitrée} effectue un transfert thermique par convection avec l'air extérieur et qu'il est incompressible, de capacité thermique totale $C = m \times c = 100\ kJ \cdot K^{-1}$, avec c la capacité thermique massique du système. La température initiale du système T_1 est 293 K.

1. Effectuer un bilan quantitatif d'énergie pour le système {pièce et baie vitrée} pendant une durée Δt au cours de laquelle la variation de température du système est ΔT. Retrouver la relation $C \times \Delta T = \Phi \times \Delta t$ où Φ est le flux thermique convectif échangé entre le système {pièce et baie vitrée} et l'air extérieur. Φ est considéré constant.

2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la température T du système. Utiliser le réflexe 1

3. Résoudre cette équation différentielle. Utiliser le réflexe 2

4. Déterminer la durée au bout de laquelle la température du système aura atteint la température limite de 289 K.

Données

- Loi de Newton : $\Phi = h \times S \times (T_e - T)$.
- Coefficient d'échange convectif dans la situation étudiée : $h = 10\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

27 Extinction Permien-Trias SVT

15 min

Exploiter l'information ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.



Il y a 252 millions années, 95 % des espèces marines et 70 % des espèces vivant sur terre ont disparu. Une des explications données par certains scientifiques à cette extinction massive est l'apparition de nombreuses éruptions volcaniques intenses.

1. Dans un premier temps, pendant une dizaine d'années, des poussières et du dioxyde de soufre sont rejetés dans l'atmosphère. p_R est la partie renvoyée de la puissance solaire incidente surfacique $p_T = 3{,}5 \times 10^2\ W \cdot m^{-2}$, reçue en moyenne par le système {Terre et atmosphère}.
La température terrestre moyenne chute de 5 °C environ, et l'albédo augmente de $\alpha_1 = 0{,}32$ à $\alpha_2 = 0{,}36$.

a. Justifier l'augmentation de l'albédo.

b. Schématiser qualitativement le bilan de puissances pour le système {Terre et atmosphère} en faisant apparaître la puissance solaire incidente $\mathcal{P}_T$, la puissance solaire renvoyée $\mathcal{P}_R$ et la puissance émise $\mathcal{P}_E$ par le système.

c. On considère que la somme des transferts thermiques entre le système et l'extérieur est nulle. La Terre, considérée comme un corps noir, a une température de surface $T_T = \left(\frac{p_T + p_R}{\sigma}\right)^{\frac{1}{4}}$ en ne tenant compte que de l'albédo. Vérifier la chute de température indiquée.

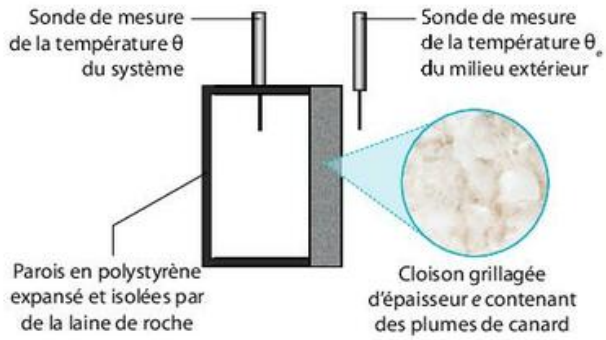
2. Dans un second temps, le ciel se découvre, mais le dioxyde de carbone également rejeté s'accumule dans l'atmosphère. La température terrestre moyenne s'élève alors d'une dizaine de kelvins, éradiquant les espèces.
Expliquer cette élévation de température.

Donnée

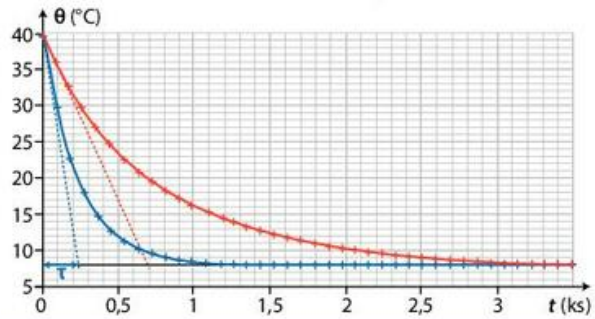
Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$.

Préparation à l'ECE

Pour évaluer les propriétés isolantes du plumage des canards, un groupe d'élèves réalise le montage expérimental ci-après et effectue deux expériences.



L'**expérience A** est la suivante :
– la cloison est remplie de 4,5 g de plumes de duvet ;
– la boîte est chauffée à l'étuve jusqu'à stabilisation de la température interne du système à $\theta_i = 40$ °C ;
– la boîte est placée à l'extérieur du laboratoire, où la température est $\theta_e = 8$ °C, constante ; la température interne θ est mesurée au cours du temps ;
– l'acquisition informatisée des mesures est alors réalisée sur une durée d'une heure.
L'**expérience B** est similaire, mais en laissant la cloison sans plume. Les courbes obtenues sont reproduites ci-dessous :



1. APP Indiquer le mode de transfert thermique entre l'intérieur de la boîte et le milieu extérieur.

2. ANA-RAIS Identifier la courbe correspondant à la cloison munie de plumes et à la cloison sans plumes.

3. RÉA Le système {boîte et cloison} est assimilé à un système incompressible. L'équation différentielle vérifiée par la température θ est $\frac{d\theta}{dt} = \frac{\theta_e - \theta}{\tau}$ où τ est le temps caractéristique du système. Donner la solution de cette équation différentielle en fonction de *t* et des constantes τ, θ_i et θ_e.

4. RÉA Le temps caractéristique τ est déterminé en traçant la tangente à l'origine sur la courbe $\theta = f(t)$. Lire graphiquement τ dans les deux expériences.

5. RÉA Pour s'assurer de la validité de leurs résultats, les élèves reproduisent plusieurs fois l'expérience A dans les mêmes conditions. Ils rassemblent la valeur expérimentale du temps caractéristique dans le tableau ci-dessous :

Numéro de l'expérience	1	2	3	4	5	6
τ (s)	695	789	701	734	688	686

a. Déterminer la moyenne $\bar{\tau}$ de la série de mesures, ainsi que l'incertitude-type $u(\tau)$ par une approche statistique.
b. Écrire τ sous la forme d'un encadrement.

6. VAL Justifier que l'expérience réalisée par le groupe d'élèves confirme que le plumage constitue une couche isolante qui minimise le flux thermique traversant la paroi du milieu intérieur vers le milieu extérieur.

Données

- Pour l'expérience B sans plumes de canard : $\tau_B = (238 \pm 15)$ s.
- *n* est le nombre de fois où l'expérience a été effectuée dans les mêmes conditions.
- Incertitude-type : $u = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$. L'écart type σ_{n-1} peut être calculé à l'aide d'un tableur ou d'une calculatrice.

Vers l'oral

Fiche Méthode — S'écouter pour mieux s'exprimer

Chaque exercice des chapitres précédents a permis de travailler une compétence de communication verbale. Il s'agit maintenant de maîtriser toutes ces compétences à la fois, pour avoir une expression orale de qualité.

- **Rechercher les compétences travaillées précédemment dans les chapitres 11 à 15.**
- **Rappeler brièvement à quoi elles correspondent.**

À deux, c'est mieux

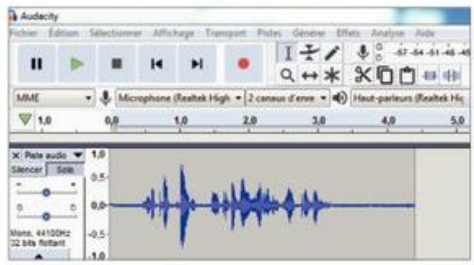


Douche solaire
L'eau contenue dans le réservoir d'une douche s'échauffe grâce au Soleil.

- **Écrire un texte de quelques lignes afin de préciser les modes de transfert thermique :**
  – entre le Soleil et le réservoir ;
  – entre le réservoir et l'eau ;
  – dans l'eau du réservoir.
- **Lire le texte devant un camarade en mettant en œuvre les compétences travaillées précédemment tout en s'enregistrant avec le logiciel *Audacity*.**

  Penser à l'articulation, au débit, à l'intonation, à la baisse de volume sonore à la fin de chaque phrase et à la tonalité.
  Il est possible de modifier le **débit** (Effet Tempo) et la **tonalité** (Effet hauteur) dans le logiciel Audacity en réfléchissant à ce qui rend une présentation orale satisfaisante.
- **Évaluer la lecture à l'aide des critères ci-contre.**

Inverser ensuite les rôles et faire de même. Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.



Critères de réussite

S'écouter pour mieux s'exprimer	😐	😊
Le ton est agréable.	☐	☐
La voix baisse en fin de phrase.	☐	☐
L'accentuation est convenable.	☐	☐
Le débit est correct.	☐	☐
L'articulation est satisfaisante.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur — Les transferts thermiques

Quels sont les points positifs de l'**effet de serre** ?

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Quels sont les trois **modes de transfert thermique** ?

Quels sont les points négatifs de l'**effet de serre** ?

Isolation d'une maison

Utiliser un modèle pour prévoir ; effectuer des calculs ; interpréter des observations.



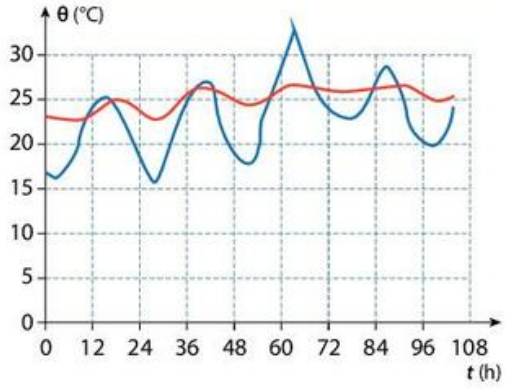
Une chambre située au dernier étage d'une maison comporte un plafond de surface $S_1 = 14\ m^2$ et constitué d'un assemblage de briquettes alvéolées d'épaisseur $e_1 = 5{,}0$ cm. Afin d'améliorer l'isolation thermique de cette chambre, depuis les combles, le propriétaire envisage de recouvrir le plafond de plaques de laine de roche d'épaisseur $e_2 = 200$ mm.

A Résistances thermiques

Matériau de surface S	Résistance thermique R_{th} ($°C \cdot W^{-1}$)
Couche de briquette alvéolée d'épaisseur e_1	$7{,}1 \times 10^{-3}$
Plaque de laine de roche d'épaisseur e_2	$4{,}1 \times 10^{-1}$

La résistance totale d'un assemblage constitué de deux couches accolées est égale à la somme des résistances thermiques de chacune des couches.

B Relevés de température de l'air à l'intérieur de la chambre et de l'air extérieur



Données

- Masse de l'air dans la chambre : $m = 39$ kg.
- Loi de Newton : $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$.
- Pour l'air, dans la situation étudiée :
  - coefficient d'échange convectif $h = 10\ W \cdot m^{-2} \cdot °C^{-1}$;
  - $c = 1{,}0 \times 10^3\ J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$.

1. Indiquer les modes de transferts thermiques présents entre le logement et l'extérieur.

2. Un jour d'hiver, dans les combles de la maison, la température est $\theta_{combles} = 5$ °C ; celle de l'air dans la chambre située en-dessous est maintenue à $\theta_c = 18$ °C par le chauffage.

a. Calculer le flux thermique Φ_1 à travers le plafond de la chambre constitué des seules briquettes.

b. Quel serait le flux thermique Φ_2 à travers le plafond de la chambre en présence de laine de roche ?

c. La couche de laine de roche supplémentaire serait-elle efficace ?

3. Le plafond est maintenant isolé. On relève en été (graphique B) les températures θ de l'air à l'intérieur de la chambre et θ_e de l'air à l'extérieur durant quelques jours pendant lesquels la maison est inoccupée, fenêtres et volets fermés et sans climatiseur. Une bonne isolation permet de réduire les fluctuations de température au sein de l'habitation par rapport à celles de l'air extérieur. Les relevés confirment-ils la conclusion sur l'efficacité de la couche de laine de roche de la question 2.c. ?

4. Un matin d'été, l'air intérieur de la chambre est initialement à la température $\theta_i = 24$ °C. La fenêtre de surface $S = 2{,}0\ m^2$ est fermée mais les volets sont restés ouverts.

Dans cette question, on étudie uniquement le transfert thermique convectif entre l'air intérieur de la chambre supposé incompressible et la face intérieure de la vitre. Le temps de l'étude, la température de cette face de la vitre est $\theta_{vitre} = 28$ °C et est considérée constante.

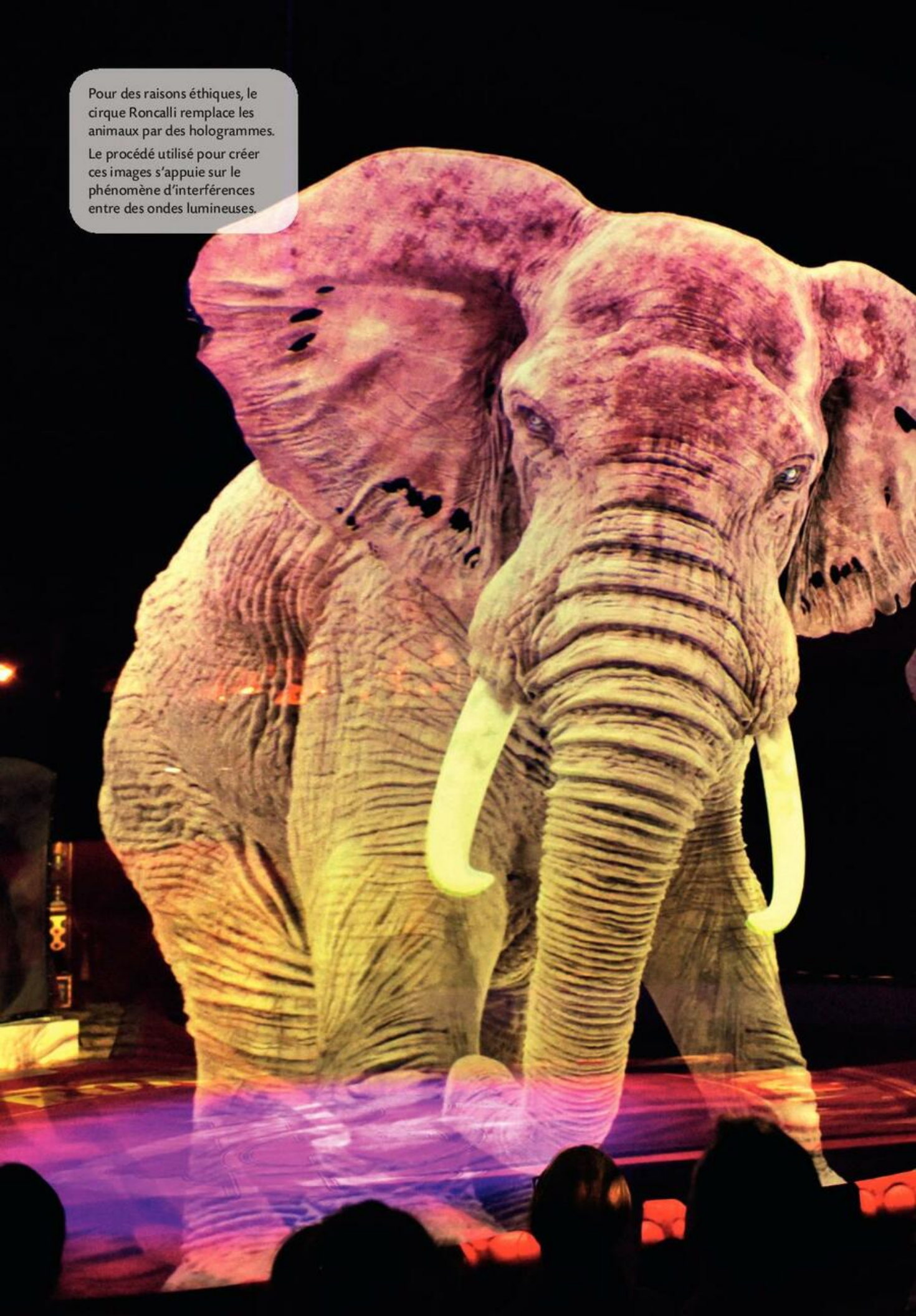
a. Exprimer le transfert thermique Q entre le système {air intérieur} et la vitre constituant un thermostat, en fonction du flux thermique Φ supposé constant pendant une durée très courte Δt.

b. En appliquant le premier principe de la thermodynamique, établir l'expression de Q en fonction de la masse m du système, de sa capacité thermique massique c et de sa variation de température $\Delta\theta$.

c. Établir l'équation différentielle vérifiée par la température θ du système et montrer que cette température est donnée par :

$$\theta = (\theta_i - \theta_{vitre}) \times e^{a \times t} + \theta_{vitre} \text{ avec } a = -\frac{h \times S}{m \times c}.$$

d. Au bout d'une heure, calculer la température de l'air intérieur de la chambre et conclure sur la nécessité de faire poser une vitre isolant plus efficacement la chambre de l'air extérieur.



Pour des raisons éthiques, le cirque Roncalli remplace les animaux par des hologrammes.

Le procédé utilisé pour créer ces images s'appuie sur le phénomène d'interférences entre des ondes lumineuses.



Ondes et signaux

CHAPITRE 17 **Sons et effet Doppler**

CHAPITRE 18 **Diffraction et interférences**

CHAPITRE 19 **Lunette astronomique**

CHAPITRE 20 **La lumière : un flux de photons**

CHAPITRE 21 **Dynamique du dipôle *RC***

Métiers et formations

Des idées de métiers pour découvrir la variété des parcours de formation après le Bac

Les formations évoluent régulièrement, consultez les sites de l'Onisep et du CIDJ.



Ingénieur(e) du son

Concerts, radio, télévision, cinéma... nombreux sont les champs d'intervention des ingénieurs du son.

La maîtrise de ce métier, de l'enregistrement au mixage, exige de solides connaissances scientifiques, des qualités techniques et une bonne fibre artistique.

Les formations qui y préparent vont de Bac +2 à Bac +5 et correspondent à des niveaux de qualification et de responsabilité très variés.

Exemples de formations

Au niveau Bac + 2

BTS Métiers de l'audiovisuel, option métiers du son

Au niveau Bac + 3

Licence Musique et métiers du son

Diplôme national MADE mention spectacle spécialité régie son

Au niveau Bac + 5

Diplôme de l'École nationale supérieure Louis Lumière section son

Diplôme de l'École nationale supérieure des métiers de l'image et du son (FÉMIS) spécialisation son

Diplôme de Musicien-ingénieur du son (CNSMD)

Master Ingénierie de l'image, ingénierie du son



Astrophysicien / Astrophysicienne

Son champ de recherche s'étend à l'Univers tout entier. Ses instruments extrêmement perfectionnés, télescopes terrestres ou satellites, captent tout type de rayonnement émis par les astres.

Mener des observations, analyser et interpréter ses données, les confronter à la théorie, constitue la base de son travail de recherche qui peut être associé également à une pratique de l'enseignement. La contribution à la mise au point des instruments et des programmes informatiques associés complète ces différentes missions.

Exemples de formations

Au niveau Bac + 8

Le recrutement se fait à un niveau doctorat (Bac +8), qui peut être précédé d'un Master spécialisé (Bac +5) :

Master Astronomie et astrophysique

Master Astronomie, astrophysique et ingénierie spatiale

17 Sons et effet Doppler



Lors d'une course automobile, les spectateurs perçoivent différemment, avant et après passage devant les gradins, un son émis par un bolide.

- Pourquoi la perception du son est-elle différente ?

> Rendez-vous : activité 2 p. 350

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal. **Activité 1 p. 349**
- Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption. **Activité 1 p. 349**
- Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler. **Exercice 11 p. 359**
- Établir l'expression du décalage Doppler dans le cas d'un observateur fixe, d'un émetteur mobile et dans une configuration à une dimension. **Exercice 24 p. 362**
- Exploiter l'expression du décalage Doppler dans des situations variées utilisant des ondes acoustiques ou des ondes électromagnétiques. **Exercice 14 p. 359**
- Exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique pour déterminer une vitesse. **Activité 2 p. 350**
- **Capacité mathématique** : utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque. **Exercice 5 p. 358**

Vu en 1re

Les ondes sonores

Intensité et niveau sonores

Intensité sonore I
- Puissance sonore par unité de surface
- Exprimée en $W \cdot m^{-2}$

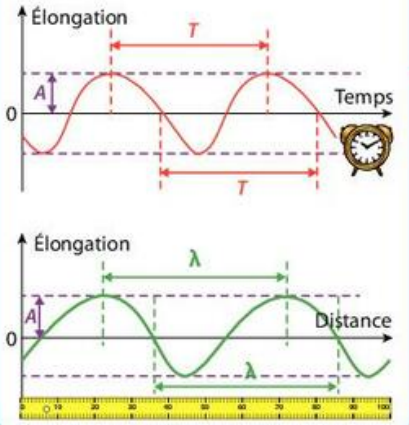
Niveau d'intensité sonore L
Exprimé en décibel (dB) selon une échelle logarithmique

Intensité sonore I ($W \cdot m^{-2}$)	Niveau d'intensité sonore L (dB)
10^{-4}	80
10^{-5}	70
10^{-6}	60
10^{-7}	50
10^{-8}	40
10^{-9}	30
10^{-10}	20
10^{-11}	10
10^{-12}	0

I et L varient dans le même sens.

Onde mécanique progressive périodique

Double périodicité



Période T
(période temporelle)
Plus petite durée au bout de laquelle la perturbation se répète en un point donné du milieu matériel.

Longueur d'onde λ
(période spatiale)
Distance parcourue par l'onde pendant la durée T.

Fréquence f
Nombre de répétitions de la perturbation par seconde.

f en Hz → $f = \frac{1}{T}$ ← T en s

Relation entre période T, longueur d'onde λ et célérité v

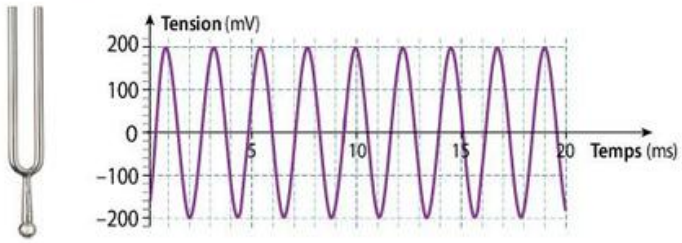
v en $m \cdot s^{-1}$ → $v = \frac{\lambda}{T}$ ← λ en m, T en s

Réactiver ses connaissances

VIDÉO Double périodicité des ondes mécaniques – QR Code p. 354

La courbe ci-contre correspond à l'enregistrement du son émis par un diapason. Le son se propage dans l'air avec une célérité de 345 $m \cdot s^{-1}$.

1. Déterminer la fréquence du son produit par ce diapason.
2. Déterminer la longueur d'onde correspondante.



Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. La fréquence f, la longueur d'onde λ et la célérité v d'une onde sont liées par la relation :	$f = \frac{\lambda}{v}$	$f = \lambda \times v$	$f = \frac{v}{\lambda}$
2. Une onde périodique, de longueur d'onde 30 cm et se propageant dans l'air avec une célérité de 345 $m \cdot s^{-1}$, a une fréquence de l'ordre de :	10^1 Hz	10^2 Hz	10^3 Hz
3. L'intensité sonore I est exprimée en $W \cdot m^{-2}$. Pour une puissance sonore P répartie sur une surface S, I a pour expression :	$I = \frac{P}{S}$	$I = \frac{S}{P}$	$I = P \times S$

Activité expérimentale 1

Atténuation des sons

Notions
- Atténuation (en dB)
- Intensité sonore
- Niveau d'intensité sonore

Au bord de certaines routes, en particulier dans les zones très urbanisées, des murs antibruit ont pour fonction de diminuer les nuisances sonores liées à la circulation.

Tâche complexe

▶ Objectif de l'activité : Comment lutter contre les nuisances sonores ?



A Niveau d'intensité sonore

Le niveau d'intensité sonore, noté L, se mesure avec un sonomètre. Son unité est le décibel (dB).

De nombreuses applications « sonomètre » pour smartphone permettent aussi la mesure du niveau d'intensité sonore.

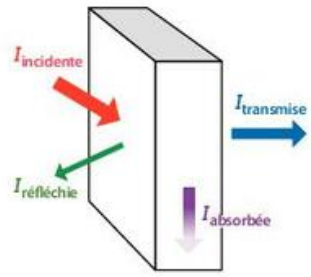




CNRS & Ifsttar/Noise-Planet (www.noise-planet.org)

B Atténuation sonore

- Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi, seule une partie de l'énergie incidente est transmise. Le reste de l'énergie est réfléchi et/ou absorbé.



Puisque l'énergie se conserve, les intensités sonores sont liées par :

$$I_{incidente} = I_{réfléchie} + I_{transmise} + I_{absorbée}$$

- L'atténuation sonore A d'un mur antibruit est liée aux niveaux d'intensité sonore L des ondes incidente et transmise :

$$A = L_{incident} - L_{transmis}$$

L'atténuation s'exprime en décibel (dB).

MATÉRIEL DISPONIBLE



Étapes de la démarche d'investigation

1. RELIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER, si besoin, le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉMETTRE une hypothèse permettant d'y répondre.
4. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre pour valider l'hypothèse formulée.
5. NOTER les observations, les interpréter et conclure.

Investigation

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1. À l'aide d'une série de mesures, individuelles ou collectives, déterminer comment varie le niveau d'intensité sonore en un point lorsque la distance entre ce point et la source sonore double.

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

2. Proposer et mettre en œuvre un protocole, à l'aide du matériel disponible, pour optimiser la conception d'un mur antibruit.

Un pas vers le cours

Présenter sous une forme appropriée COM

3. Comment lutter contre les nuisances sonores ?

Activité 2 expérimentale

Effet Doppler et vitesse d'un véhicule

Notion
- Décalage Doppler



Dans les gradins d'un circuit de course automobile, un spectateur perçoit une modification de la hauteur du son émis par la voiture lors de son passage : la fréquence du son perçu n'est pas la même lorsque la voiture s'approche et lorsqu'elle s'éloigne. C'est l'effet Doppler. Il est possible de mesurer la valeur de la vitesse de la voiture grâce à ce phénomène.

► **Objectif de l'activité : Comment mesurer la valeur de la vitesse d'un objet à partir de l'effet Doppler ?**

A Effet Doppler

L'effet Doppler correspond au décalage de la fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique reçue par un observateur, par rapport à la fréquence de l'onde émise, lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

- Lorsque le véhicule est à l'arrêt, la fréquence de l'onde sonore perçue par l'observateur est la même que celle de l'onde émise par le véhicule. Elle est notée f_0.



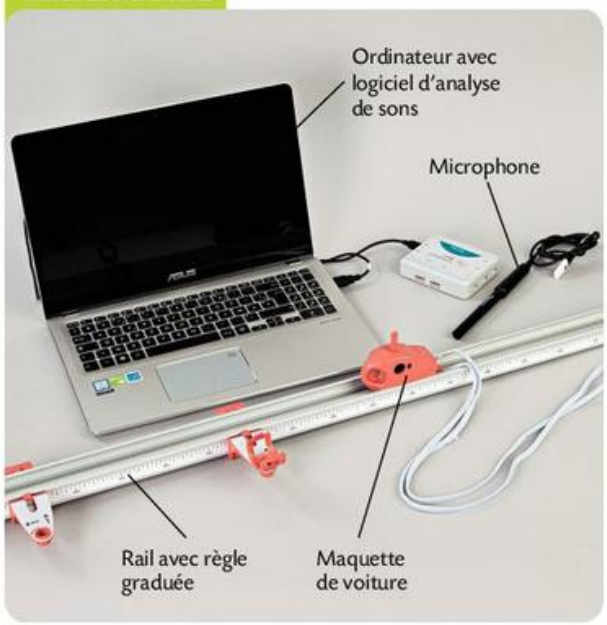
- Lorsque le même véhicule se rapproche à une vitesse de valeur constante v, la fréquence f_1 de l'onde perçue est différente de la fréquence f_0 de l'onde émise.



Dans cette situation, et avec v très inférieure à v_{onde}, le décalage Doppler a pour expression :

$$\Delta f = f_1 - f_0 = \frac{v}{v_{son}} \times f_0$$

MATÉRIEL DISPONIBLE



Pratique expérimentale

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS-RÉA

1 À l'aide du matériel disponible, proposer puis mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de déterminer la valeur de la vitesse d'un objet mobile.

Estimer une incertitude de mesure VAL

2 a. Répéter plusieurs fois la mesure et consigner les résultats dans un tableau.

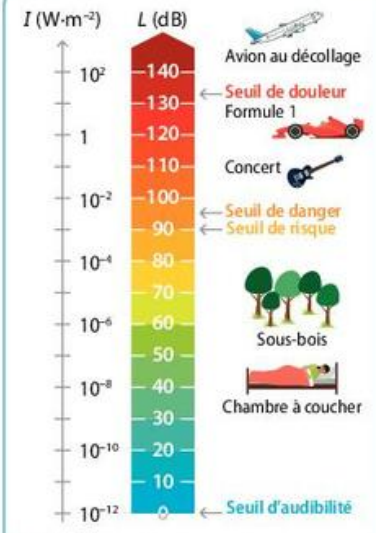
b. Évaluer la moyenne de la grandeur mesurée, ainsi que l'incertitude-type (Fiche 2 p. 453). Identifier des causes possibles expliquant la dispersion des résultats obtenus.

Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique adapté et rigoureux COM

3 Comment déterminer la valeur de la vitesse d'un objet à partir de l'effet Doppler ?

A **Échelle d'intensité sonore I et de niveau d'intensité sonore L**



> Par convention, les seuils correspondent aux moyennes calculées sur la population pour des sons de fréquence 1 000 Hz.

B **Sonomètre mesurant un niveau d'intensité sonore**



Point maths Côté maths 8 p. 357

- La fonction $x \mapsto \log x$ est appelée logarithme décimal de x.
- Les fonctions $x \mapsto \log x$ (pour $x > 0$) et $x \mapsto 10^x$ sont disponibles sur une calculatrice.
- Propriétés de la fonction $x \mapsto 10^x$:

$$10^{(a+b)} = 10^a \times 10^b$$
$$10^{(a-b)} = \frac{10^a}{10^b}$$
$$10^{\log a} = a \text{ pour tout } a > 0$$

- Propriétés de la fonction $x \mapsto \log x$ pour tout $a > 0$ et $b > 0$:

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$
$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b$$
$$\log(10^a) = a$$

1 Le niveau d'intensité sonore

a. Intensité sonore

- Nous percevons les sons de manière plus ou moins intense.

L'**intensité sonore** I est la puissance P par unité de surface S transportée par une onde sonore.

$$I \text{ en W} \cdot \text{m}^{-2} \quad I = \frac{P}{S} \quad \begin{matrix} P \text{ en W} \\ S \text{ en m}^2 \end{matrix}$$

- L'oreille humaine perçoit des signaux sonores dont l'intensité sonore est comprise entre une valeur minimale (seuil d'audibilité) et une valeur maximale (seuil de douleur) (échelle A). Ces seuils dépendent de la fréquence du son perçu et varient d'un individu à un autre.

b. Niveau d'intensité sonore

- L'écart, de l'ordre de 10^{14} W · m^{-2}, entre les intensités sonores extrêmes rend peu pratique l'utilisation de cette grandeur. C'est pourquoi on définit le **niveau d'intensité sonore** L, plus facilement exploitable, à partir de l'intensité associée au seuil d'audibilité (échelle A).

Le **niveau d'intensité sonore** L est défini par :

$$L \text{ en dB} \quad L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad I \text{ et } I_0 \text{ en W} \cdot \text{m}^{-2}$$

I_0 est l'**intensité sonore de référence**.

Le **niveau d'intensité sonore** noté L, comme *level* qui signifie « niveau » en anglais, a pour unité le décibel (dB). Il est mesuré à l'aide d'un sonomètre (photographie B).
L'**intensité sonore de référence** choisie, notée I_0, correspond au seuil d'audibilité moyenne à 1 kHz : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W · m^{-2} (échelle A).

- Lorsque plusieurs instruments de musique jouent ensemble, les intensités sonores I des sons de chaque instrument s'ajoutent. En revanche, les niveaux d'intensité sonore L ne s'ajoutent pas.

Exemple : Lorsque l'intensité sonore I est multipliée par 2 et devient $I' = 2I$, alors le niveau d'intensité sonore L devient L'.

$$L' = 10 \log\left(\frac{I'}{I_0}\right) \text{ d'où } L' = 10 \log\left(\frac{2I}{I_0}\right)$$
$$L' = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) + 10 \log(2) \text{ soit } L' = L + 3$$

Lorsque l'intensité sonore I est multipliée par 2, le niveau d'intensité sonore L augmente de 3 dB.

La fonction $x \mapsto 10^x$ est la réciproque de la fonction logarithme décimal de x : $x \mapsto \log x$ (pour $x > 0$). Elle permet de **calculer I à partir de L.**

- En partant de la définition du niveau d'intensité sonore $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$, on obtient :

$$\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10} \text{ soit } \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$$
$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

Il est donc possible de calculer une intensité sonore à partir du niveau d'intensité sonore correspondant.

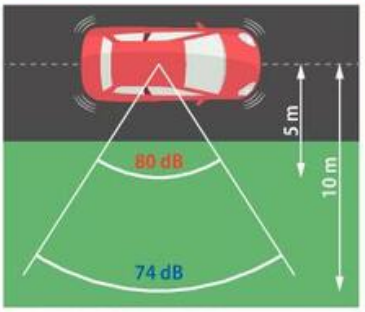
c. Atténuation géométrique

L'intensité sonore est égale à la puissance de l'onde par unité de surface. Lorsqu'une onde se propage à partir d'une source ponctuelle, l'énergie transportée par l'onde se répartit sur une surface de plus en plus grande. L'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore diminuent donc.

Exemple : Lorsque la distance à la source est multipliée par 2, le niveau d'intensité sonore est atténué de 6 dB (dessin C).

L'**atténuation géométrique** A, en décibel (dB), est la diminution du niveau d'intensité sonore L lorsque la distance à la source sonore augmente : $A = L_{\text{proche}} - L_{\text{éloigné}}$

C Atténuation géométrique



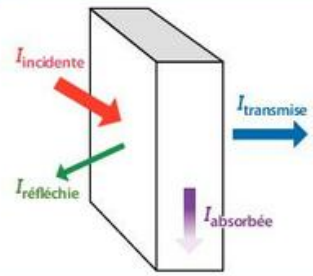
Quand la distance à la source est multipliée par 2, l'onde se répartit sur une surface $2^2 = 4$ fois plus grande. Alors, le niveau d'intensité sonore diminue de 6 dB.

d. Atténuation par absorption

Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi, elle peut être transmise, réfléchie ou absorbée (schéma D).

L'**atténuation par absorption** A, en décibel (dB), évalue l'efficacité d'un matériau à lutter contre la transmission de bruit : $A = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}}$

D Interactions entre une onde sonore et une paroi



2 L'effet Doppler

a. Présentation de l'effet Doppler

• Le son émis par un véhicule est perçu plus aigu quand le véhicule s'approche d'un observateur, et plus grave quand il s'en éloigne.

L'**effet Doppler** est l'existence d'un décalage entre la fréquence f_E d'une onde électromagnétique ou mécanique émise et la fréquence f_R de l'onde reçue lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie. Le **décalage Doppler** est $\Delta f = f_R - f_E$.

• La fréquence f d'une onde, sa période T et sa longueur d'onde λ sont liées les unes aux autres, l'effet Doppler correspond donc aussi à un décalage de période ou de longueur d'onde.

Le **signe du décalage Doppler** dépend du sens d'évolution de la distance entre l'émetteur E et le récepteur R.

Rapprochement de E et R	Distance constante entre E et R	Éloignement de E et R
		
Lorsque l'émetteur (Samu) s'approche du récepteur (brancardier), celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R < \lambda_E$. Alors $T_R < T_E$ et $f_R > f_E$ donc $\Delta f > 0$	Lorsque l'émetteur est immobile par rapport au récepteur, celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R = \lambda_E$. Alors $T_R = T_E$ et $f_R = f_E$ donc $\Delta f = 0$	Lorsque l'émetteur s'éloigne du récepteur, celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R > \lambda_E$. Alors $T_R > T_E$ et $f_R < f_E$ donc $\Delta f < 0$

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Le décalage Doppler

VIDÉO DE COURS

E Radar routier utilisant l'effet Doppler

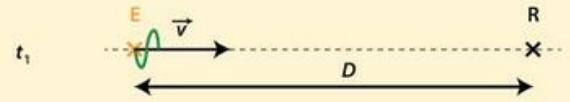


b. Expression du décalage Doppler

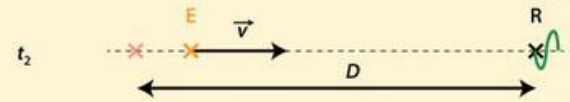
• L'expression du décalage Doppler dépend du type d'onde, de la nature du mouvement de l'émetteur par rapport au récepteur et de la présence éventuelle d'une réflexion des ondes (photographie E).

Considérons un émetteur d'ondes sonores E, qui se rapproche d'un récepteur fixe R avec une vitesse de valeur v. E émet avec une période T_E une succession de signaux qui se propagent à la célérité $v_{onde} > v$.

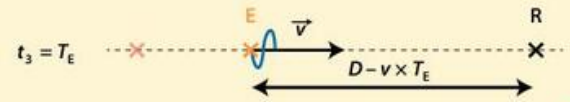
• À une date $t_1 = 0$ s, un signal est émis par E, alors que la distance entre E et R est égale à D.



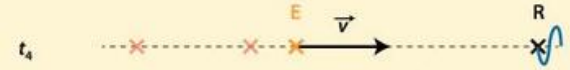
• Ce signal émis à la date t_1 est reçu par R à la date $t_2 = \frac{D}{v_{onde}}$.



• À la date $t_3 = T_E$, donc 1 période après la première émission, un autre signal est émis, alors que l'émetteur E se trouve à une distance $D - v \times T_E$ de R.



• Ce signal émis à la date t_3 est reçu par R à la date $t_4 = T_E + \frac{D - v \times T_E}{v_{onde}}$.



Les signaux émis par E avec une période $T_E = t_3 - t_1$ sont reçus par R avec une période $T_R = t_4 - t_2$.

Donc $T_R = T_E + \frac{D - v \times T_E}{v_{onde}} - \frac{D}{v_{onde}} = T_E - \frac{v \times T_E}{v_{onde}} = T_E \times \left(1 - \frac{v}{v_{onde}}\right)$.

Comme $f = \frac{1}{T}$, cela conduit à $f_R = f_E \times \frac{v_{onde}}{v_{onde} - v}$.

Quand un **émetteur se rapproche d'un récepteur fixe**, le décalage Doppler $\Delta f = f_R - f_E$ est donc : $\Delta f = f_E \times \frac{v_{onde}}{v_{onde} - v} - f_E = f_E \times \frac{v}{v_{onde} - v}$.

COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

L'expression du décalage Doppler peut être simplifiée si la valeur de la vitesse de déplacement est très inférieure à celle de propagation de l'onde.

Pour un rapprochement :

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{onde} - v} \approx f_E \times \frac{v}{v_{onde}} > 0$$

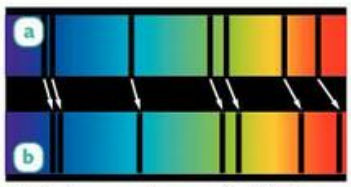
Pour un éloignement :

$$\Delta f = -f_E \times \frac{v}{v_{onde} + v} \approx -f_E \times \frac{v}{v_{onde}} < 0$$

• Des démonstrations de ce type peuvent être menées pour d'autres situations et permettent de relier Δf et v.

L'effet Doppler constitue une **méthode de mesure de valeurs de vitesse**.

F Effet Doppler-Fizeau pour un éloignement



Décalage vers le rouge (*redshift*) des raies entre le spectre obtenu pour une source et un observateur immobiles (a) et celui obtenu pour un éloignement entre la source et l'observateur (b).

c. Effet Doppler-Fizeau

Les raies visibles dans le spectre de la lumière venant d'une galaxie sont souvent décalées par rapport à celles mesurées pour une source immobile sur Terre (spectres F).

Le **décalage de longueur d'onde** dû à l'effet Doppler-Fizeau permet de calculer la valeur de la vitesse d'éloignement ou de rapprochement d'une galaxie par rapport à la Terre.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Le décalage Doppler
QCM
Version interactive

1 Le niveau d'intensité sonore

Calcul de I à partir de L

On utilise la fonction logarithme décimal $x \mapsto \log x$ (pour $x > 0$) qui est la réciproque de la fonction $x \mapsto 10^x$:

Niveau d'intensité sonore L en dB

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Intensité sonore I en $W \cdot m^{-2}$: puissance par unité de surface transportée par une onde sonore

Intensité sonore de référence I_0 en $W \cdot m^{-2}$

Atténuation A en décibel (dB)

Atténuation géométrique liée à la distance parcourue par l'onde sonore
$A = L_{proche} - L_{éloigné}$

Atténuation par absorption liée à la paroi traversée par l'onde sonore
$A = L_{incident} - L_{transmis}$

$A > 0$

2 L'effet Doppler

Effet Doppler

Existence d'un décalage entre la fréquence f_E d'une onde émise et la fréquence f_R de l'onde reçue lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie.

Décalage Doppler

$$\Delta f = f_R - f_E$$

Rapprochement de E et R

$\lambda_R < \lambda_E$; $T_R < T_E$

$f_R > f_E$ donc $\Delta f > 0$



Distance constante entre E et R

$\lambda_R = \lambda_E$; $T_R = T_E$

$f_R = f_E$ donc $\Delta f = 0$



Éloignement de E et R

$\lambda_R > \lambda_E$; $T_R > T_E$

$f_R < f_E$ donc $\Delta f < 0$



Établissement de l'expression du décalage Doppler

Chronologie de deux émissions consécutives de signaux et de leurs deux réceptions consécutives → Expression de T_R en fonction de T_E → Expression de f_R en fonction de f_E, puis de Δf

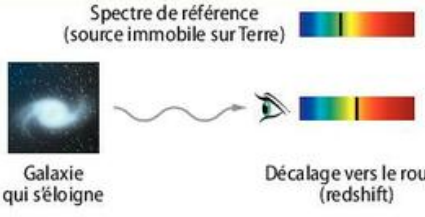
Détermination de valeurs de vitesse et de sens de déplacement



Vitesse d'un véhicule



Vitesse d'écoulement du sang



Vitesse d'éloignement d'une galaxie

QCM

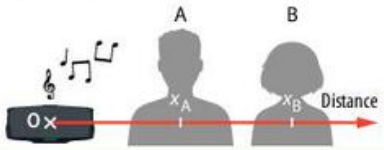
Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 10^{-12}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

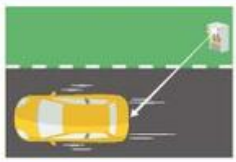
1 Le niveau d'intensité sonore

Si erreur, revoir § 1 p. 351

	A	B	C
1. Le niveau d'intensité sonore se mesure en :	W	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	dB
2. Quel est le niveau d'intensité sonore correspondant à cette situation ?  $I = 1{,}0 \times 10^{-7}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	50 dB	70 dB	77 dB
3. L'intensité sonore correspondant à l'affichage ci-dessous est : 	$1{,}0 \times 10^{43}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	$3{,}2 \times 10^{-7}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	$3{,}2 \times 10^{5}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
4. L'atténuation d'un son se mesure en :	m	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$	dB
5. Dans cette situation : 	$I_A > I_B$	$I_A < I_B$	$L_A > L_B$

2 L'effet Doppler

Si erreur, revoir § 2 p. 352

6. Lorsqu'un émetteur d'ondes est en mouvement par rapport à un récepteur :	la fréquence de l'onde reçue est égale à celle de l'onde émise.	la fréquence de l'onde reçue est différente de celle de l'onde émise.	la longueur d'onde de l'onde reçue est différente de celle de l'onde émise.
7. Un émetteur d'ondes se rapproche d'un récepteur fixe. La fréquence f_E de l'onde émise et celle f_R de l'onde reçue sont telles que :	$f_R < f_E$	$f_R > f_E$	$f_R = f_E$
8. Avec les notations de la question précédente, le décalage Doppler est :	$f_R - f_E$	$f_E - f_R$	$f_E + f_R$
9. L'effet Doppler est utilisé pour mesurer :	une durée.	une distance.	une valeur de vitesse.
10. Un radar installé sur le bord d'une route est utilisé pour mesurer la valeur de la vitesse des véhicules. Quelle situation correspond à un décalage Doppler positif ?			

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...	
Calculer une intensité sonore ou un niveau d'intensité sonore à partir de l'autre grandeur.	Réflexe 1 **Rappeler** la relation $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$. **Isoler** la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.	Ex. 5 p. 358
Calculer une atténuation ou montrer son existence.	Réflexe 2 **Pour calculer** une atténuation, soustraire le niveau d'intensité sonore mesuré après atténuation de celui mesuré avant atténuation. **Pour montrer** l'existence d'une atténuation, comparer deux niveaux d'intensité sonore ou deux intensités sonores.	Ex. 6 p. 358
Décrire et interpréter qualitativement des observations au sujet de l'effet Doppler.	Réflexe 3 **Comparer** la fréquence (ou la période ou la longueur d'onde) de l'onde reçue à celle de l'onde émise. **En déduire** le sens du mouvement relatif du récepteur par rapport à l'émetteur. ou **Observer** le sens du mouvement relatif du récepteur par rapport à l'émetteur. **Comparer** la fréquence (ou la période ou la longueur d'onde) de l'onde reçue à celle de l'onde émise.	Ex. 10 p. 359
Exploiter l'expression du décalage Doppler.	Réflexe 4 **Relever** l'expression du décalage fournie ou démontrée précédemment. **Isoler** la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.	Ex. 14 p. 359

1 Exercice résolu

Effet Doppler et astrophysique

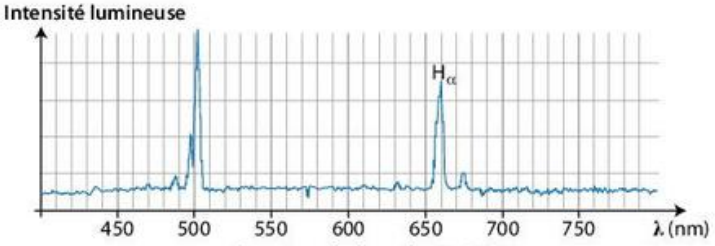
Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; interpréter des résultats.

La valeur v de la vitesse d'un astre par rapport à la Terre est donnée par la formule de Doppler-Fizeau :

$$v = c \times \frac{|\lambda_{spectre} - \lambda_{référence}|}{\lambda_{référence}}$$ avec
- c : célérité de la lumière dans le vide ($c = 3{,}00 \times 10^8$ m·s^{-1})
- $\lambda_{spectre}$: longueur d'onde d'une raie du spectre de la lumière venant de l'astre
- $\lambda_{référence}$: longueur d'onde de la même raie dans un spectre de référence (spectre obtenu sur Terre)

1. a. Sachant que la longueur d'onde de la raie H_α mesurée sur Terre pour une source au repos est 656,3 nm, calculer le décalage de longueur d'onde pour la raie H_α de la galaxie nommée M77.
b. Préciser si la galaxie M77 s'éloigne ou se rapproche de la Terre.

2. Calculer la valeur de la vitesse de la galaxie M77 par rapport à la Terre.



Spectre de la galaxie M77

Solution rédigée

- **On utilise le Réflexe 3.**

Comparaison des longueurs d'onde

1. a. Le spectre de la galaxie M77 permet de trouver la longueur d'onde de la raie H_α. Elle vaut $\lambda_{spectre} = 660$ nm.
Le décalage de longueur d'onde est donc :

$$\Delta\lambda = |\lambda_{spectre} - \lambda_{référence}| = 660 \text{ nm} - 656{,}3 \text{ nm} = 4 \text{ nm}.$$

Déduction du sens du mouvement relatif

b. Comme $\lambda_{spectre} > \lambda_{référence}$, la raie H_α est décalée vers les grandes longueurs d'onde. La galaxie s'éloigne de la Terre.

- **On utilise le Réflexe 4.**

Relevé de la formule de décalage fournie

2. La valeur de la vitesse v de la galaxie M77 par rapport à la Terre est :

$$v = c \times \frac{|\lambda_{spectre} - \lambda_{référence}|}{\lambda_{référence}}$$

Calcul de v

$$v = 3{,}00 \times 10^8 \text{ m·s}^{-1} \times \frac{|660 \text{ nm} - 656{,}3 \text{ nm}|}{656{,}3 \text{ nm}} \text{ soit } v = 1{,}7 \times 10^6 \text{ m·s}^{-1}.$$

2 Exercice résolu



Sirène d'alarme

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

1. La notice d'une sirène d'alarme indique que l'intensité sonore à 20 m de la sirène est $1{,}5 \times 10^{-4}$ W·m^{-2}. Calculer le niveau d'intensité sonore prévisible à 20 m de la sirène.

2. Un voisin constate qu'à 30 m de la sirène, le niveau d'intensité sonore est 78 dB. Calculer l'atténuation correspondante.

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.

Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 1.**

Rappel de la définition

Calcul

1. Le niveau d'intensité sonore est donné par $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

Donc $L = 10\log\left(\frac{1{,}5 \times 10^{-4}\ \text{W·m}^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W·m}^{-2}}\right) = 82$ dB.

À 20 m de la sirène, le niveau d'intensité sonore sera 82 dB.

• **On utilise le Réflexe 2.**

Calcul de l'atténuation

2. En passant de 20 m à 30 m de la sirène, le niveau d'intensité sonore a diminué de 82 dB à 78 dB. L'atténuation est donc : $A = 82\ \text{dB} - 78\ \text{dB} = 4$ dB.

Côté maths 8 : Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque

Côté maths

1. En arrondissant au centième, montrer que, pour tout $a > 0$:

$$\log(2a) \approx \log a + 0{,}30$$

2. Montrer que, pour $b \neq 0$ et $c > 0$:

$$a = b \times \log c \Leftrightarrow c = 10^{\frac{a}{b}}$$

Méthode

1. Vérification de $\log(2a) \approx \log a + 0{,}30$

• J'utilise la propriété du log pour $a > 0$ et $b > 0$:

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$

En remplaçant b par 2, il vient :

$$\log(a \times 2) = \log a + \log 2$$

• J'utilise la calculatrice en arrondissant au centième :

$$\log 2 \approx 0{,}30$$

Donc $\log(2a) \approx \log a + 0{,}30$.

2. Vérification de $a = b \times \log c \Leftrightarrow c = 10^{\frac{a}{b}}$

• Je divise la première équation par b (pour $b \neq 0$ et $c > 0$) :

$$\log c = \frac{a}{b}$$

• J'utilise la propriété $\log c = d \Leftrightarrow c = 10^d$.

Comme $\log c = \frac{a}{b}$, alors il vient $c = 10^{\frac{a}{b}}$.

Donc $a = b \times \log c \Leftrightarrow c = 10^{\frac{a}{b}}$.

Côté physique & chimie

1. Montrer que lorsque l'intensité sonore est multipliée par 2, alors le niveau d'intensité sonore augmente de 3 dB.

2. Calculer l'intensité sonore correspondant à un niveau d'intensité sonore de 75 dB.

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.

Méthode

1. Le niveau d'intensité sonore est : $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

• En utilisant la propriété du log pour $a > 0$ et $b > 0$:

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$

En notant L' le niveau d'intensité sonore obtenu, il vient :

$$L' = 10\log\left(\frac{I \times 2}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) + 10\log 2 = L + 10\log 2$$

• Or $10\log 2 \approx 3$. Donc $L' = L + 3$.

2. La relation $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ s'écrit aussi $\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10}$.

• En utilisant la propriété du log pour $c > 0$:

$\log c = d \Leftrightarrow c = 10^d$, il vient $\frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$ et donc $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$.

• $I = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W·m}^{-2} \times 10^{\frac{75\ \text{dB}}{10\ \text{dB}}} = 3{,}2 \times 10^{-5}\ \text{W·m}^{-2}$.

À retenir !

• Pour tous réels a et b strictement positifs, on a : $\log(a \times b) = \log a + \log b$ et $\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b$.

• Pour tous réels c et d avec c strictement positif, on a : $\log c = d \Leftrightarrow c = 10^d$.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal.	3	19	29
Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler.	10 12	23	28
Établir l'expression du décalage Doppler dans le cas d'un observateur fixe et d'un émetteur mobile.		24	28
Exploiter l'expression du décalage Doppler dans des situations variées.	14	23	28
Capacité mathématique : utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.	5		

1 Le niveau d'intensité sonore

3 Calculer un niveau d'intensité sonore CORRIGÉ

| Effectuer des calculs.

Calculer le niveau d'intensité sonore correspondant à chacune des intensités sonores suivantes.

1. $1{,}2 \times 10^{-7}$ W·m^{-2} 2. $7{,}3 \times 10^{-5}$ W·m^{-2}
3. $2{,}3 \times 10^{-3}$ W·m^{-2}

Données
- $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.
- $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.

4 Relier L et I

| Mobiliser ses connaissances.

1. Sans calcul, relier chaque niveau d'intensité sonore à l'intensité sonore correspondante.

$3{,}2 \times 10^{-4}$ W·m^{-2}	48 dB
$6{,}3 \times 10^{-8}$ W·m^{-2}	85 dB
$6{,}5 \times 10^{-3}$ W·m^{-2}	98 dB

2. Par le calcul, retrouver L pour $I = 3{,}2 \times 10^{-4}$ W·m^{-2}.

Données
- $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.
- $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.

Côté maths Côté maths 8 p. 357

5 Utiliser le logarithme décimal CORRIGÉ

1. Établir l'expression de l'intensité sonore en fonction du niveau d'intensité sonore.
2. Recopier et compléter sans calculatrice ce tableau.

I (W·m^{-2})	L (dB)
1×10^{-5}	
2×10^{-5}	
	60

Utiliser le réflexe 1

Données
- $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.
- $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.
- $\log(2) = 0{,}3$.

6 Mettre en évidence une atténuation CORRIGÉ

| Mobiliser ses connaissances.

Un niveau d'intensité sonore moyen de 78 dB est enregistré dans un jardin bordant une route. Après construction d'un mur anti-bruit, le niveau d'intensité sonore moyen dans ce jardin est 67 dB.

1. Quel phénomène est mis en évidence ?
2. Calculer la grandeur correspondante.

Utiliser le réflexe 2

7 Exploiter une atténuation

| Rédiger une explication.

Casque antibruit $A = 33$ dB DELTAPLUS®



Bouchons d'oreilles $A = 26$ dB



- Quel sera le niveau d'intensité sonore ressenti par un utilisateur de chacun de ces dispositifs si le niveau d'intensité sonore ambiant est 95 dB ?

2 L'effet Doppler

VIDÉO DE COURS Le décalage Doppler – QR Code p. 354

8 Reconnaître l'effet Doppler CORRIGÉ

| Décrire des phénomènes.

- Parmi les situations suivantes, repérer celles qui sont la conséquence de l'effet Doppler.

a. Fréquence d'une note de musique modifiée lorsqu'un musicien accorde son instrument.
b. Niveau sonore de la sirène d'un camion de pompier qui augmente lorsque ce camion se rapproche.
c. Fréquence du son de la sirène modifiée lors du passage d'une ambulance.

9 Illustrer l'effet Doppler

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

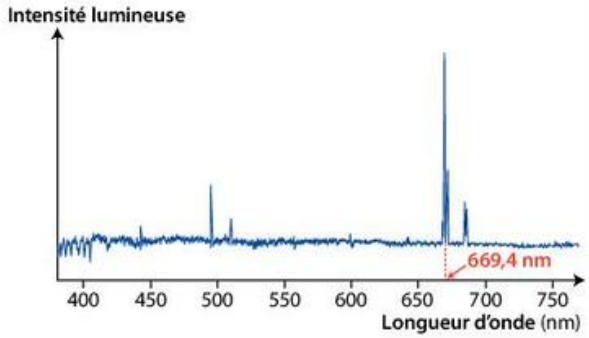
- Citer deux situations mettant en jeu l'effet Doppler.

10 Exploiter qualitativement l'effet Doppler

CORRIGÉ

Interpréter des observations.

Le spectre de la lumière d'une étoile montre une raie de longueur d'onde égale à 669,4 nm.



Avec une source et un capteur immobiles sur Terre, cette raie a une longueur d'onde égale à 656,3 nm.

- Interpréter cette observation. Utiliser le réflexe 3

11 Connaître l'effet Doppler

Restituer ses connaissances.

- Associer chaque élément de la colonne de gauche à un élément de la colonne de droite pour comparer les caractéristiques des ondes émises par un émetteur (E) et reçues par un récepteur (R) en mouvement l'un par rapport à l'autre à une vitesse de valeur inférieure à celle de propagation des ondes.

L'émetteur et le récepteur se rapprochent l'un de l'autre.	•	• $f_R > f_E$
		• $f_R < f_E$
		• $T_R > T_E$
		• $T_R < T_E$
L'émetteur et le récepteur s'éloignent l'un de l'autre.	•	• $\lambda_R > \lambda_E$
		• $\lambda_R < \lambda_E$

12 Identifier une expression (1)

CORRIGÉ

Faire preuve d'esprit critique.

Un émetteur d'ondes sonores s'éloigne d'un récepteur avec une vitesse de valeur $v < v_{son}$. On note f_E la fréquence des ondes émises et f_R la fréquence des ondes reçues.

1. Rappeler l'unité et le signe du décalage Doppler $\Delta f = f_R - f_E$ dans le cas où l'émetteur et le récepteur s'éloignent l'un de l'autre.

2. Parmi les relations suivantes, identifier celle qui donne le décalage Doppler en expliquant pourquoi les trois autres sont incorrectes.

a $\Delta f = -f_E \times \dfrac{v}{v_{son} + v}$ b $\Delta f = f_E \times \dfrac{v}{v_{son} - v}$

c $\Delta f = \dfrac{v - v_{son}}{f_E}$ d $\Delta f = \dfrac{f_E}{f_R}(v - v_{son})$

13 Identifier une expression (2)

Discuter une formule.

Une étoile s'approche de la Terre avec une vitesse de valeur v telle que $0 < v < c$. Le spectre de la lumière de cette étoile comporte une raie de longueur d'onde λ. La même raie obtenue avec une source et un capteur immobiles sur Terre a une longueur d'onde λ_0.

- Parmi les relations ci-dessous, identifier celle qui donne la valeur de la vitesse de l'étoile par rapport à la Terre en expliquant pourquoi les deux autres sont incorrectes.

a $v = c \times \dfrac{\lambda_0}{\lambda_0 - \lambda}$ b $v = c \times \dfrac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0}$ c $v = c \times \dfrac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$

14 Calculer une valeur de vitesse

CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

A **Fonctionnement d'un radar**



Lors du passage d'une voiture, le radar a mesuré un décalage Doppler $\Delta f = 6{,}451 \times 10^3$ Hz. Pour ce radar, le décalage Doppler est :

$$\Delta f = \frac{2v \times \cos\alpha}{c} \times f_E$$

Dans cette expression, α est l'angle entre la direction de déplacement du véhicule et l'axe de visée du radar.

- Calculer la valeur de la vitesse du véhicule.

Utiliser le réflexe 4

Données

- Célérité de la lumière : $c = 3{,}00 \times 10^8$ m·s^{-1}.
- $\alpha = 20°$.

15 Calculer un décalage Doppler

Utiliser un modèle pour prévoir.

Une voiture passe en klaxonnant. Le son produit a une fréquence $f_E = 435$ Hz. Elle s'éloigne d'un piéton avec une vitesse de valeur $v = 80$ km·h^{-1}.

Dans une telle situation, la valeur absolue du décalage Doppler est donnée par :

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{son} - v}$$

- Calculer le décalage Doppler perçu par le piéton.

Donnée

Célérité du son : $v_{son} = 345$ m·s^{-1}.

16 Avant le spectacle

Effectuer des calculs.

Des mesures réalisées pendant un concert de trois guitaristes sont rassemblées ci-dessous :

	Intensité sonore I ($W \cdot m^{-2}$)	Niveau sonore L (dB)
Guitariste 1	$1{,}0 \times 10^{-4}$	
Guitariste 2		70
Guitariste 3		
Guitaristes 1 et 3		83

1. Compléter le tableau.

2. Que deviennent l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore si les trois guitaristes jouent en même temps ?

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2}$.

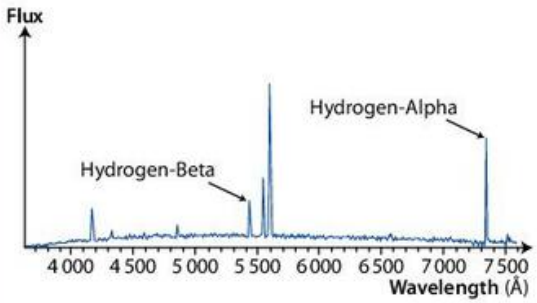
17 The Speed of the Galaxy Q2125-431

Pratiquer une langue vivante étrangère.

The Doppler Shift[1] is an important physical phenomenon that astronomers use to measure the radial speeds of distant stars and galaxies. The basic formula for slow-speed motion (speeds much slower than the speed of light) is: speed $= 299\,792 \times \frac{\lambda_0 - \lambda_r}{\lambda_r}$.

We consider that this formula is valid here.

The speed of the object in km/s can be found by measuring the observed wavelength of the object's signal (λ_0), and by knowing that the rest wavelength[2] of the signal is λ_r, with wavelengths measured in Angstroms, Å (1 Å $= 1 \times 10^{-10}$ m).



This is a small part of the spectrum of Seyfert galaxy Q2125-431 in the Microscopium constellation. An astronomer has identified the spectral lines for Hydrogen Alpha ($\lambda_{r\alpha} = 6\,563$ Å), and Beta ($\lambda_{r\beta} = 5\,007$ Å). http://www.nasa.gov

Vocabulary : 1. *shift* : décalage ; 2. *rest wavelength* : longueur d'onde au repos.

1. Calculate the wavelength shift due to the Doppler-Fizeau for rays Hydrogen-Alpha and Hydrogen-Beta.

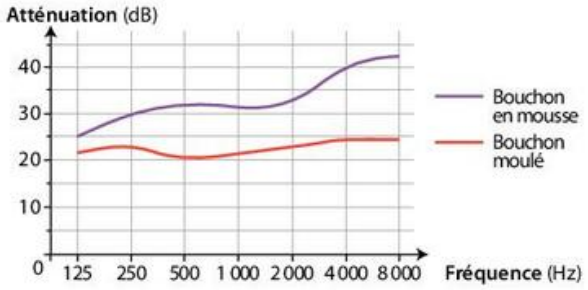
2. Is Seyfert galaxy Q2125-431 getting closer or further away from Earth?

3. Determine the speed at which galaxy Q2125-431 is moving away or closer to Earth.

18 Le petit bouchon en mousse

Exploiter des informations.

Les bouchons anti-bruit sont utilisés pour limiter le niveau d'intensité sonore tout en gardant la qualité du son. Le graphique ci-dessous représente les courbes d'atténuation d'un bouchon en mousse et d'un bouchon moulé.



1. Pour quel type de bouchon la fréquence a-t-elle le plus d'influence sur l'atténuation ?

2. a. Pourquoi dit-on qu'avec des bouchons en mousse, le son perçu est plus grave que le son émis ?

b. Cet effet est-il aussi marqué pour un bouchon moulé ?

3. Indiquer, pour les deux situations suivantes, le type de bouchon antibruit le mieux adapté.

a. Le son d'un avion au décollage est perçu avec un niveau d'intensité sonore de 140 dB.

b. Lors d'un concert, le niveau d'intensité sonore perçu est égal à 100 dB.

19 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Au son de la corne de brume

Effectuer des calculs.



Les cornes de brume sont utilisées dans le domaine maritime pour signaler un obstacle ou un danger.

Elles peuvent produire un son dont le niveau d'intensité sonore peut atteindre 115 dB.

1. Déterminer l'intensité sonore maximale du son émis par une corne de brume.

2. À 50 m de la corne de brume, l'intensité sonore est égale à $1{,}0 \times 10^{-4}\ W \cdot m^{-2}$.

a. Déterminer le niveau d'intensité sonore correspondant.

b. En déduire l'atténuation géométrique du signal.

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2}$.

Critères de réussite

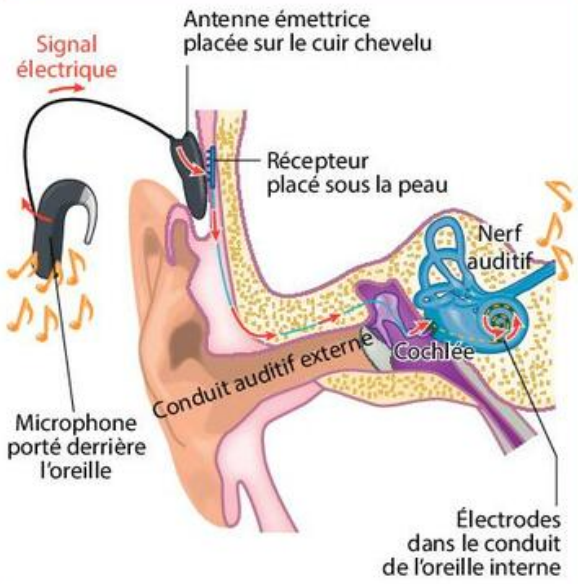
	😐	😊
J'ai utilisé l'expression littérale de L pour en déduire celle de I (question 1).	☐	☐
J'ai donné le résultat avec l'unité adaptée (questions 1 et 2).	☐	☐
J'ai correctement exploité la définition de l'atténuation (question 2. b).	☐	☐

20 L'implant cochléaire

Exploiter des informations ; rédiger une explication ; effectuer des calculs.

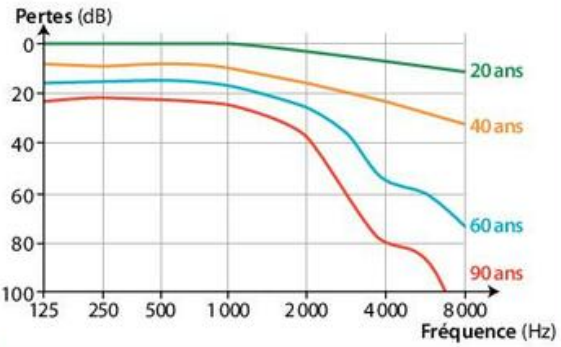
Un médecin ORL propose à son patient, âgé de 20 ans et atteint d'une surdité profonde, de réaliser une implantation cochléaire de manière à améliorer ses performances auditives en parallèle d'une rééducation active.
Son audiogramme actuel, qui correspond à celui d'une personne de 90 ans, pourrait devenir similaire à celui d'une personne de 60 ans.

A Implant cochléaire



B Diagramme d'audiométrie tonale

L'audiométrie tonale est un examen permettant d'évaluer la perte auditive d'un individu, exprimée en décibel (dB), pour l'ensemble des sons dont les fréquences sont comprises entre 125 Hz et 8 000 Hz.



1. Expliquer en quelques lignes le principe de fonctionnement d'un implant cochléaire.

2. Quel serait le gain auditif, en dB, du patient équipé d'un implant, pour un son de fréquence égale à 4 000 Hz ?

3. Le gain serait-il le même pour un son de fréquence égale à 1 000 Hz ?

21 Enceinte Bluetooth

Effectuer des calculs.



Une enceinte Bluetooth a une puissance sonore de 0,12 W. On fait l'hypothèse que la puissance sonore émise se répartit de manière homogène sur une demi-sphère de rayon r centrée sur l'enceinte Bluetooth.

1. Déterminer l'intensité sonore I du son perçu par une personne située à 1,0 m de l'enceinte.

2. Déterminer le niveau d'intensité sonore L correspondant.

3. Déterminer le niveau d'intensité sonore L' pour une personne située à 2,0 m de l'enceinte.

Données

- Intensité sonore pour une puissance sonore P répartie sur une surface S : $I = \frac{P}{S}$.
- Surface d'une sphère de rayon r : $S = 4 \times \pi \times r^2$.
- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

22 Expérience historique

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

En 1845, afin de vérifier expérimentalement la théorie de Christian Doppler, le scientifique Christoph Buys-Ballot a réalisé l'expérience suivante : des musiciens à bord d'un train jouent un *La* de fréquence f_E. Des auditeurs, convenablement disposés le long de la voie ferrée, ont pu reconnaître la note jouée par les musiciens lors de l'approche du train.



1. a. Quel est le phénomène à l'origine du décalage des fréquences entre l'onde émise et l'onde perçue ?
b. Quelle est la fréquence f_R de la note entendue par les auditeurs situés au bord de la voie ferrée ?

2. Dans cette situation, on a :

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{onde} - v}$$

$v_{onde} = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ étant la célérité du son dans les conditions de température du jour de l'observation.
Calculer la valeur de la vitesse de déplacement du train.

Données

Les définitions des notes de musique ont évolué depuis le XIXe siècle. Les fréquences actuelles sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Note	*Fa*	*Fa*♯	*Sol*	*La*♭	*La*	*La*♯	*Si*
f (Hz)	349	370	393	415	440	464	494

23 À chacun son rythme

CORRIGÉ

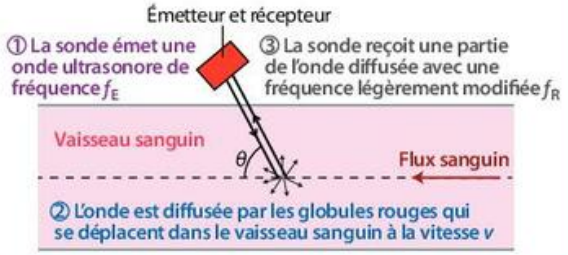
Vitesse d'écoulement sanguin

Effectuer des calculs ; rédiger une explication.

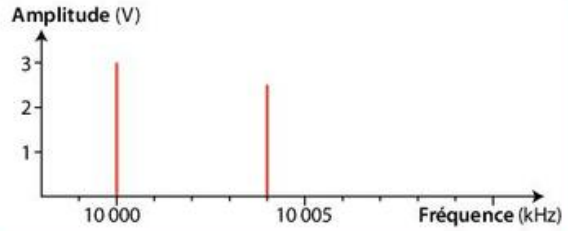
Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

La vélocimétrie est une technique qui permet de mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins.

A Principe de la vélocimétrie



B Spectre obtenu après enregistrement simultané de l'onde émise et de l'onde reçue



La relation entre le décalage Doppler et la vitesse v est :

$$\Delta f = 2 \times \cos\theta \times f_E \times \frac{v}{v_{ultrason}}$$

Énoncé compact

Déterminer la valeur de la vitesse des globules rouges dans le vaisseau sanguin.

Énoncé détaillé

1. À partir du sens de déplacement des globules rouges, déterminer la fréquence des ondes émises par la sonde.
2. Déterminer le décalage Doppler.
3. Calculer la valeur de la vitesse v des globules rouges.

Données

- Vitesse des ultrasons dans le corps : $v_{ultrason} = 1\,500\ m \cdot s^{-1}$.
- $\theta = 45°$.

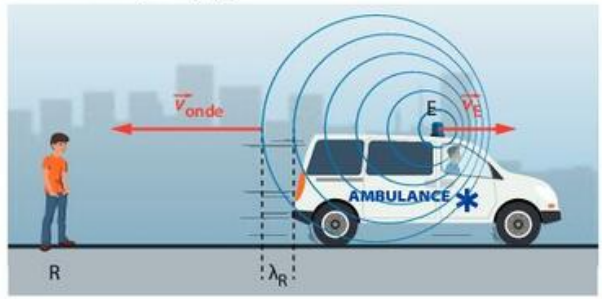
24 Détermination par effet Doppler de la vitesse d'éloignement d'un émetteur

CORRIGÉ

Effectuer des calculs ; interpréter des résultats.

L'effet Doppler permet de mesurer la valeur de la vitesse d'un émetteur E s'éloignant d'un observateur immobile R. On se propose de relier :
– la fréquence f_E d'émission des signaux par E ;
– la fréquence f_R de réception des signaux par R ;
– la valeur v_{onde} de la célérité de l'onde émise par E ;
– la valeur v_E de la vitesse de l'émetteur.

Les valeurs des vitesses sont mesurées dans un référentiel terrestre et $v_E < v_{onde}$.



1. À l'instant initial $t_1 = 0$ s, E est à la distance d de R et émet une onde sonore se propageant à la célérité v_{onde}. Exprimer littéralement la date t_2 au bout de laquelle ce signal est reçu par R.

2. a. Déterminer l'expression de la distance d_E parcourue par l'émetteur pendant une durée égale à une période T_E du signal émis.
b. À la date $t_3 = T_E$, quelle est la distance qui sépare E et R ?
c. À la date $t_3 = T_E$, l'émetteur émet de nouveau un signal. À quelle date t_4 le récepteur R reçoit-il ce signal ?

3. Quelle est la durée, notée T_R, séparant la réception par R de deux signaux consécutifs ? Que représente cette durée T_R ?

4. a. Exprimer la relation entre les fréquences f_R et f_E, la célérité v_{onde} du signal et la valeur v_E de la vitesse de E.
b. Quelle est l'expression littérale de la valeur de la vitesse v_E de l'émetteur ?

25 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Au concert

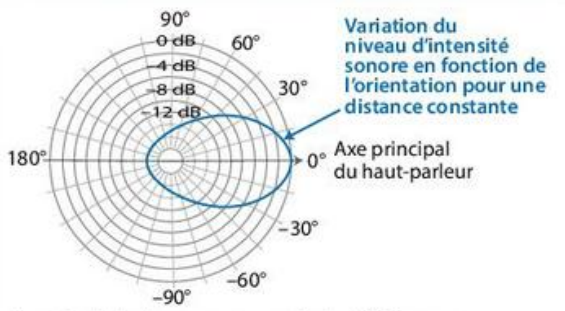
Construire les étapes d'une résolution de problème.

D'après Baccalauréat Centres étrangers, 2019

La sonorisation d'un concert est assurée par un haut-parleur posé sur la scène. Le niveau d'intensité sonore mesuré à 2,0 m du haut-parleur, sur son axe principal, est 110 dB. C'est le niveau crête (niveau maximal) qui est fixé pour toute la durée du concert.

• L'auditeur positionné sur le schéma **B** de la salle peut-il écouter un concert de deux heures en toute sécurité ?

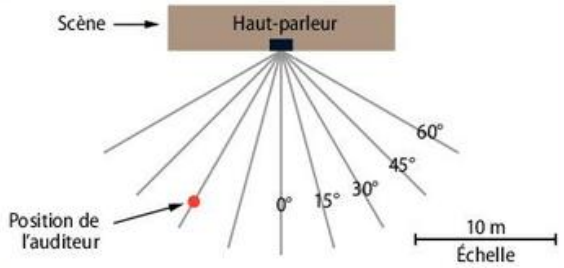
A Diagramme d'émission du haut-parleur



Exemple de lecture : pour un angle de 15°, il y a une diminution de 2 dB par rapport à la direction 0°.

On suppose que ce diagramme est utilisable pour toutes les fréquences audibles par les spectateurs lors du concert.

B **Schématisation de la salle de concert**



C **Les dangers des sons**

Les seuils de dangerosité pour l'oreille dépendent du niveau d'intensité sonore et de la durée d'exposition aux sons.

Les normes internationales définissent le seuil : 85 dB pendant 8 heures. Ce seuil augmente de 3 dB à chaque fois que la durée d'exposition est divisée par 2.

D'après le site www.hcsp.fr

Donnée

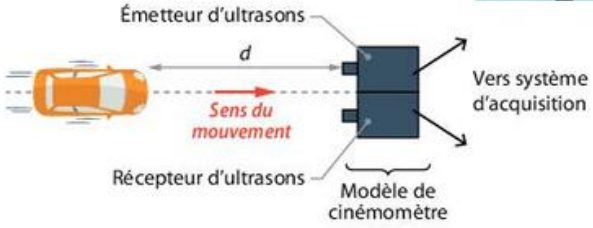
L'intensité sonore I (en $W \cdot m^{-2}$) est inversement proportionnelle au carré de la distance d (en m) à la source : $I = \frac{k}{d^2}$ où k est une constante caractéristique du haut-parleur.

26 Contrôle de vitesse

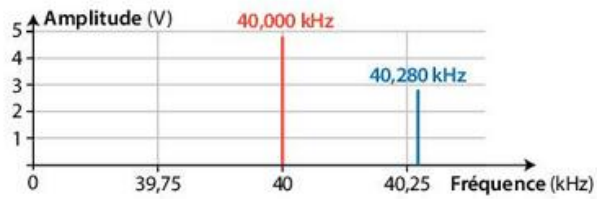
Exploiter des graphiques et schémas ; effectuer des calculs.



Un radar pédagogique contrôle par effet Doppler la valeur de la vitesse instantanée des véhicules automobiles. Un élève cherche à modéliser le principe de la mesure. Son expérience est représentée ci-dessous.



1. a. Donner le principe de fonctionnement de ce dispositif.
b. On note f_E la fréquence de l'onde émise et f_R celle de l'onde reçue par le récepteur. Lors d'un tel mouvement, f_E est-elle supérieure ou inférieure à f_R ?
2. On réalise l'acquisition informatisée des signaux émis et reçus. Le logiciel permet de repérer les fréquences de chacun des signaux. Déterminer f_E et f_R.



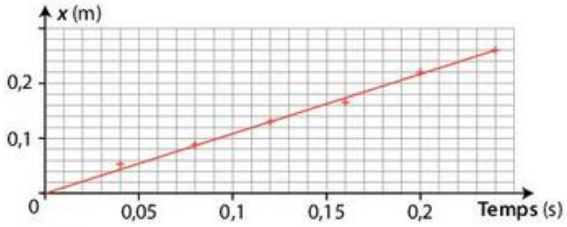
3. Déterminer, parmi les relations ci-dessous, celle qui donne la valeur de la vitesse v de la voiture, mesurée par rapport au sol et inférieure à celle de l'onde notée v_S.

a $f_R = f_E \times \left(2v + \frac{v}{v_S}\right)$ **b** $f_R = v \times \left(f_E - \frac{2v}{v_S}\right)$

c $f_R = f_E \times \left(1 - \frac{2v}{v_S}\right)$ **d** $f_R = f_E \times \left(\frac{2v}{v_S} + 1\right)$

4. La célérité des ondes ultrasonores v_S est égale à $340\ m \cdot s^{-1}$. Calculer la valeur de la vitesse v de la voiture.

5. Le déplacement de la voiture a été filmé, puis on a représenté l'évolution de sa position x en fonction du temps.



a. En déduire la valeur $v_{vidéo}$ de la vitesse de la voiture.
b. Conclure en comparant les valeurs v et $v_{vidéo}$.

27 Avion de chasse

Tracer un graphique ; effectuer des calculs.



Un avion se déplace à basse altitude à la vitesse subsonique $v = 200\ m \cdot s^{-1}$, selon une trajectoire rectiligne horizontale. À chaque instant, il émet une onde sphérique acoustique qui se propage à la célérité $v_s = 340\ m \cdot s^{-1}$.

À l'instant $t_0 = 0$ s, un point de l'avion est à la position M_0 de sa trajectoire. À $t_1 = 0{,}1$ s, il est en M_1 ; à $t_2 = 0{,}2$ s, il est en M_2, etc.

1. Placer le point M_0 au centre d'une feuille de papier millimétré. Porter, à l'échelle 1 cm pour 20 m, les positions successives de M_0 à M_6 de l'avion sur sa trajectoire.

2. On analyse le phénomène à la date $t_6 = 0{,}6$ s : l'avion est en M_6.
a. Si, aux positions $M_5, M_4, \ldots, M_0$ ont été créées des ondes sphériques acoustiques, quelles distances $d_5, d_4, \ldots, d_0$ ont été franchies par ces ondes à la date $t_6 = 0{,}6$ s ?
b. À cette date t_6, tracer au compas les limites circulaires atteintes par ces ondes sphériques (placer chaque fois le centre du cercle à tracer sur la position M_i considérée).

3. Montrer que cette construction met en évidence, pour un observateur terrestre, deux séries d'ondes, une en avant et une autre en arrière de l'avion, dont on comparera les longueurs d'onde apparentes respectives λ' et λ''.

4. En déduire qu'il en résulte deux sons, de fréquences f' et f'', dont l'un est plus aigu que l'autre.

5. On note λ la longueur d'onde acoustique dans le référentiel du pilote et f la fréquence correspondante.
Calculer le rapport $\frac{f'}{f''}$.

Données

$\lambda' = \lambda - \frac{v}{f}$ et $\lambda'' = \lambda + \frac{v}{f}$.

Vers le BAC

Ne pas confondre I et L

Intensité sonore en $W \cdot m^{-2}$: $I \neq L$: Niveau d'intensité sonore en dB

Manipuler les puissances de 10

$$10^{(a+b)} = 10^a \times 10^b$$
$$10^{(a-b)} = \frac{10^a}{10^b}$$
$$10^{\log a} = \log(10^a) = a$$

Utiliser la bonne touche

Sur la calculatrice, pour le logarithme décimal :

oui → log — ln ← non

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2, 3 et 4 sont présentés p. 356

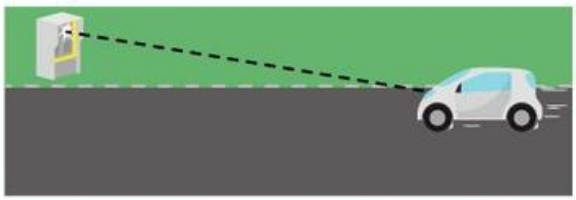
28 — 50 min — COMMUN

Effet Doppler et contrôle de vitesse

Exploiter des mesures ; effectuer des calculs ; estimer une incertitude de mesure ; proposer d'éventuelles améliorations de la démarche.

Les ondes émises par un radar se réfléchissent sur le véhicule dont on souhaite mesurer la valeur de la vitesse. Les ondes réfléchies sont captées par le récepteur. L'analyse des ondes émises et reçues fournit la valeur de la vitesse de déplacement du véhicule par rapport au radar.

A Principe de la mesure



Le radar émet une onde électromagnétique de fréquence f_E de l'ordre de 10^{10} Hz et de célérité c. On note v la valeur de la vitesse du véhicule, en direction du radar. Pour simplifier l'étude de la situation, on considère que le radar est positionné en face de la voiture. Dans la réalité, il est toujours décalé puisqu'il est sur le bord de la route.

Partie I Effet Doppler et détermination de vitesse à partir de la fréquence de l'onde reçue

1. La fréquence f_1 des ondes reçues par le véhicule en mouvement a pour expression $f_1 = f_E \times \frac{c+v}{c}$.

a. Vérifier que cette expression est homogène.

b. Exprimer le décalage Doppler et montrer que son signe est en accord avec la situation étudiée.

Utiliser le réflexe 3

2. Le véhicule en mouvement réfléchit ensuite l'onde. Il se comporte alors comme un émetteur d'ondes de fréquence f_1 se déplaçant à une vitesse de valeur v.
Le radar capte l'onde réfléchie.

a. Établir l'expression de la fréquence f_R des ondes reçues par le radar en fonction de v, c et f_1.

b. En déduire l'expression de f_R en fonction de v, c et f_E.

c. Dans le cas où v est très inférieure à c, montrer que le décalage Doppler est donné par : $\Delta f = 2 f_E \times \frac{v}{c}$.

3. Le radar est prévu pour mesurer des valeurs de vitesses de l'ordre de 10^1 m · s^{-1}.

a. Quel est l'ordre de grandeur de Δf pour cette vitesse ?

Utiliser le réflexe 4

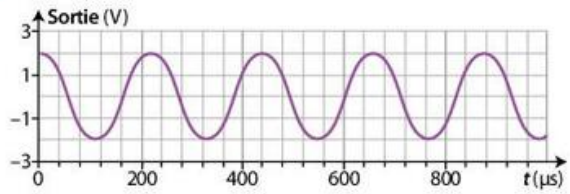
b. La mesure de v doit être réalisée avec une incertitude-type de l'ordre de 0,1 m · s^{-1}. La fréquence f_E est supposée connue précisément.
Quel est l'ordre de grandeur de la précision nécessaire sur Δf ?

c. Dans le cas où Δf serait mesuré directement à partir des fréquences f_E et f_R, expliquer pourquoi il ne serait pas possible d'obtenir une détermination de la valeur de la vitesse à 0,1 m · s^{-1} près.

Partie II Décalage Doppler et détermination de vitesse

Pour déterminer avec précision la valeur de la vitesse de déplacement, le radar combine électroniquement les ondes émises (de fréquence f_E connue précisément) et celles reçues. Le signal obtenu en sortie du dispositif a une fréquence égale à la valeur absolue du décalage Doppler.

B Signal obtenu



1. a. Déterminer la période du signal obtenu.

b. L'incertitude-type sur T est estimée à 10 µs. Déterminer la valeur absolue du décalage Doppler et évaluer son incertitude-type.

2. À partir du document **A**, déterminer le signe de Δf.

3. a. En déduire la valeur v de la vitesse du véhicule et son incertitude-type si $f_E = 3{,}0 \times 10^{10}$ Hz.

b. Dans la liste ci-dessous, identifier les méthodes possibles pour améliorer la précision de la détermination de la valeur de la vitesse d'un véhicule.

Augmenter f_E	Diminuer f_E
Augmenter $u(\Delta f)$	Diminuer $u(\Delta f)$

Donnée

Lorsque $A = k \times B$ avec k connu précisément, alors :

$$\frac{u(A)}{A} = \frac{u(B)}{B}$$

29 CORRIGÉ 40 min Niveau sonore et scène de concert

Effectuer des calculs ; construire les étapes d'une résolution de problème.

Pour contrôler le niveau d'intensité sonore lors d'un concert, un technicien a placé une première enceinte au bord de la scène. Un son est produit avec une puissance sonore égale à $4{,}0 \times 10^{-1}$ W. On fait l'hypothèse que le son est uniformément réparti sur une demi-sphère de rayon r centrée sur l'enceinte.

1. a. Déterminer l'intensité sonore du son reçu par un spectateur placé à 1,0 m de l'enceinte.

b. Que devient cette intensité si le spectateur est placé à 4,0 m de l'enceinte ?

2. a. Déterminer le niveau d'intensité sonore dans les deux cas et comparer ces deux niveaux entre eux.

Utiliser le réflexe 1

b. Déterminer l'atténuation géométrique correspondante.

Utiliser le réflexe 2

3. Le technicien place ensuite une deuxième enceinte identique à la première à côté de celle-ci. Les deux enceintes sont à 4,0 m du spectateur.

a. Déterminer le niveau sonore du son reçu par le spectateur dans cette nouvelle situation.

b. Pour la durée d'un concert, le seuil de danger est estimé à 90 dB. À quelle distance doit se positionner le spectateur pour éviter tout souci auditif ?

Coup de pouce QR Code p. 354

Données

- Intensité sonore pour une puissance sonore P répartie sur une surface S :

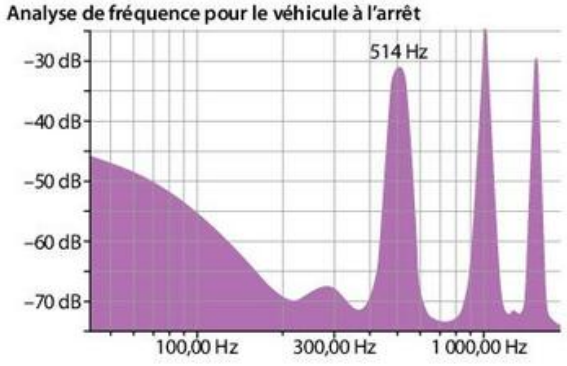
$$I = \frac{P}{S}$$

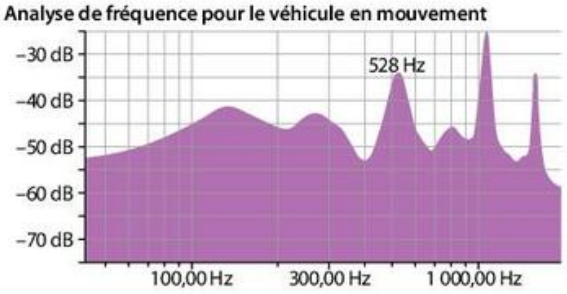
- Surface d'une sphère de rayon r : $S = 4 \times \pi \times r^2$.
- Intensité de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.

Préparation à l'ECE

Un élève, positionné au bord de la route, a enregistré l'émission sonore d'un véhicule muni d'une sirène et se dirigeant vers lui. Il a également enregistré le signal lorsque le véhicule était à l'arrêt.

A Spectres obtenus





B Décalage Doppler

Dans le cas d'un récepteur fixe et d'un émetteur en mouvement vers le récepteur, le décalage Doppler entre la fréquence f_R de l'onde reçue et la fréquence f_E de l'onde émise est :

$$f_R - f_E = \frac{v}{v_{son}} \times f_E$$

Dans cette relation, v_{son} est la valeur de la vitesse de l'onde et v est la valeur de la vitesse de déplacement du véhicule, telle que $v << v_{son}$.

1. REA · VAL Comparer les valeurs des fréquences mesurées lorsque le véhicule est à l'arrêt puis en mouvement. En déduire le décalage Doppler et discuter son signe.

2. REA Déterminer la valeur de la vitesse de déplacement du véhicule en m·s^{-1}.

3. a. VAL Citer quelques sources d'erreurs possibles lors de cette détermination.

b. VAL · COM La zone est limitée à 30 km·h^{-1}. La personne conduisant le véhicule peut-elle être verbalisée ?

Donnée

Vitesse du son : $v_{son} = 343$ m·s^{-1} dans les conditions de l'expérience.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Maîtriser son regard

Le regard, lors d'une prestation orale ou d'un échange avec un jury, peut être un allié mais également trahir les sentiments, les émotions de celui qui s'exprime.

- Promener le regard sur une personne à la fois (environ 5 secondes) au lieu de regarder globalement tout l'auditoire ou au-dessus de l'auditoire.
- Regarder son interlocuteur quand le propos est important. Ouvrir grand les yeux ; hausser les sourcils.
- Toujours regarder son interlocuteur lorsqu'il parle afin de montrer l'intérêt qu'on lui porte.
- Si le nombre d'auditeurs est important, penser à utiliser la technique du M, c'est-à-dire à balayer l'auditoire du regard en effectuant un « M ».



CHRISTOPHE GALFARD | UNIVERS PARALLÈLES ET RÉVOLUTION QUANTIQUE

- **Visionner la vidéo ci-contre en observant le regard du conférencier.**

À deux, c'est mieux



Sésame, ouvre-toi !
Les portes de nombreux magasins s'ouvrent sans que nous ayons besoin de les manœuvrer. C'est dû à l'effet Doppler. En effet, une onde électromagnétique est émise depuis la porte, puis est réfléchie par la personne qui s'approche de la porte. Un dispositif électronique commande ensuite l'ouverture ou la fermeture de la porte.

- **À l'aide de ses connaissances, écrire un texte de quelques lignes expliquant le principe de manœuvre de ces portes.**
- **Mémoriser le texte, puis le présenter à un groupe de camarades en veillant à maîtriser son regard.**
- **Évaluer la présentation à l'aide des critères ci-contre.**

Ensuite, inverser les rôles et faire de même.
Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite	😐	😊
Maîtriser son regard		
Le visage est expressif.	☐	☐
Les yeux sont bien ouverts.	☐	☐
Le regard est promené de personne en personne.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur

Les sons et l'effet Doppler

Quel est l'intérêt de l'**échelle de niveau d'intensité sonore** ?

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Citer quelques utilisations de l'**effet Doppler**.

Qu'est-ce que l'**effet Doppler** ?

18 Diffraction et interférences



Les couleurs d'une plume de paon dépendent de sa structure finement divisée.

- Comment expliquer les variations des couleurs selon l'incidence de la lumière ?

> Rendez-vous : exercice 25 p. 382

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes. **Activité 1 p. 368**
- Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture. **Activité 2 p. 369**
- Exploiter la relation donnant l'angle caractéristique de diffraction en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image. **Activité 2 p. 369**
- Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes. **Activité 3 p. 370 et exercice 9 p. 378**
- Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène. **Exercice 23 p. 381**
- Tester les conditions d'interférences constructives ou destructives à la surface de l'eau dans le cas de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase. **Exercice 23 p. 381**
- Prévoir les lieux d'interférences constructives et les lieux d'interférences destructives dans le cas des trous d'Young, l'expression linéarisée de la différence de chemin optique étant donnée. Établir l'expression de l'interfrange. **Exercice 26 p. 383**
- Exploiter l'expression donnée de l'interfrange dans le cas des interférences de deux ondes lumineuses, en utilisant éventuellement un logiciel de traitement d'image. **Activité 3 p. 370**
- **Capacité numérique** : représenter, à l'aide d'un langage de programmation, la somme de deux signaux sinusoïdaux périodiques synchrones en faisant varier la phase à l'origine de l'un des deux. **Exercice 22 p. 381**

Activité 1 expérimentale

Le phénomène de diffraction

Notions
- Diffraction
- Angle caractéristique de diffraction

Derrière un mur insonorisé, à proximité d'une porte ouverte, il est possible de suivre un discours sans voir l'orateur. C'est une conséquence du phénomène de diffraction.

▶ Objectif de l'activité : Qu'est-ce que le phénomène de diffraction ?



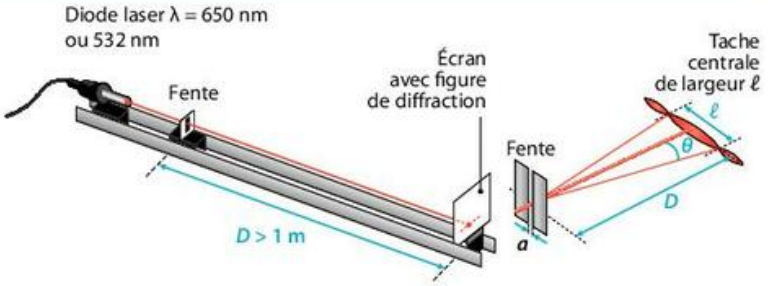
A Phénomène de diffraction

- Le phénomène de diffraction se manifeste lorsqu'une onde mécanique ou électromagnétique passe au travers d'une ouverture de petite dimension.
- L'importance de ce phénomène est déterminée par l'angle caractéristique de diffraction θ. Cet angle est lié à la taille a de l'ouverture et à la longueur d'onde λ de l'onde incidente.

B Onde lumineuse

La lumière de longueur d'onde λ issue d'un laser peut subir un changement de direction de propagation après avoir rencontré une fente de largeur a.

Le phénomène de diffraction se manifeste avec des dimensions de l'ouverture diffractante pouvant aller jusqu'à 100 fois la longueur d'onde de l'onde incidente.



C Onde mécanique



La houle peut subir un changement de direction de propagation après avoir rencontré une ouverture, entre des digues par exemple.

Le phénomène de diffraction se manifeste lorsque les dimensions de l'ouverture diffractante sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de l'onde incidente.

MATÉRIEL DISPONIBLE



Pratique expérimentale

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

1 À partir du matériel disponible, proposer et mettre en œuvre un protocole pour déterminer comment varie l'angle caractéristique de diffraction θ quand :
a. la taille de l'ouverture augmente.
b. la longueur d'onde augmente.

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

2 À partir des observations expérimentales, choisir parmi les propositions ci-dessous celle qui convient :

(a) $\sin\theta = \lambda \times a$ (b) $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$ (c) $\sin\theta = \frac{a}{\lambda}$

Rédiger une explication COM

3 Un son produit par l'orateur cité en introduction a une fréquence égale à 800 Hz. L'ouverture de la porte mesure 1,0 m. Justifier qu'il est possible d'entendre ce son sans voir l'orateur. On prendra $v_{son} = 345\ m \cdot s^{-1}$.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

4 Qu'est-ce que le phénomène de diffraction ?

Activité 2 expérimentale

La diffraction d'une lumière monochromatique

Notion
- Angle caractéristique de diffraction

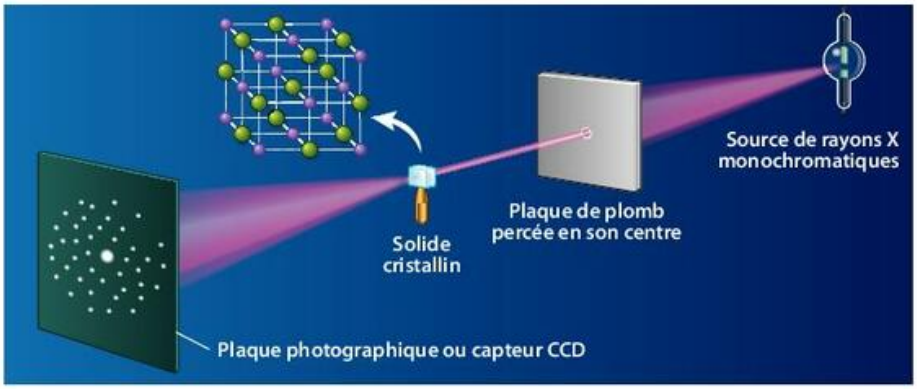
Un diffractomètre, comme son nom l'indique, utilise le phénomène de diffraction pour notamment mesurer des distances à l'échelle microscopique.



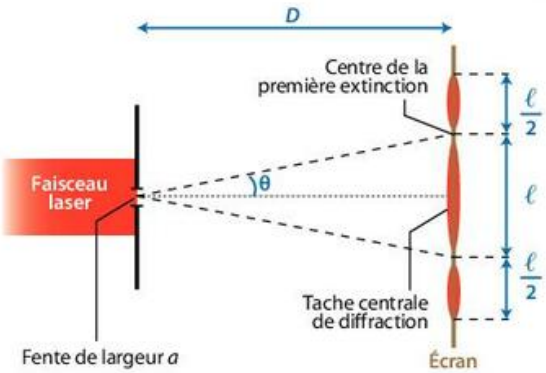
► **Objectif de l'activité : Comment déterminer une distance à partir du phénomène de diffraction ?**

A Cristallographie

La cristallographie aux rayons X est une technique adaptée à la détermination de la structure des cristaux et de la distance entre les atomes. Cette technique repose sur le phénomène de diffraction.



B Schématisation de la diffraction de la lumière par une fente



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- L'angle caractéristique de diffraction θ est lié à la taille a de l'ouverture et à la longueur d'onde λ de la radiation. C'est un angle aigu et positif, l'expression de son sinus est :

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$$

λ et a étant exprimées dans la même unité de longueur.
- Pour de petits angles, exprimés en radian, on peut utiliser l'approximation $\sin\theta = \theta$.
L'expression de θ s'écrit alors :

$$\theta \text{ en rad} \rightarrow \theta = \frac{\lambda}{a} \leftarrow \begin{matrix}\lambda \text{ en m} \\ a \text{ en m}\end{matrix}$$

- Pour de petits angles, exprimés en radian, on peut aussi utiliser l'approximation $\tan\theta = \theta$.
- La distance D séparant la fente de l'écran est choisie très grande pour améliorer la précision des mesures.

Pratique expérimentale

Extraire et organiser l'information APP

1. À l'aide du schéma B et du COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE, exprimer l'angle caractéristique de diffraction θ en fonction des grandeurs ℓ et D.

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

2. Proposer, puis mettre en œuvre, un protocole expérimental pour déterminer la largeur d'une fente.

Mettre en lien des phénomènes et des concepts VAL

3. Quel est l'objet diffractant dans l'étude de la cristallographie aux rayons X ?

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

4. Comment déterminer une distance à partir du phénomène de diffraction ?

Activité 3 expérimentale

Les interférences lumineuses

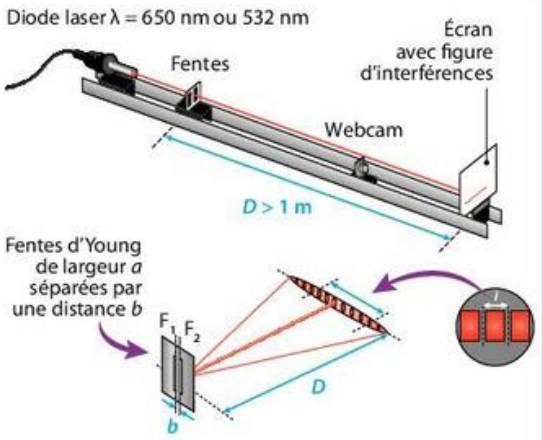
Notions
- Interférences de deux ondes lumineuses
- Interfrange

En 1803, Thomas YOUNG fait passer un faisceau lumineux à travers deux fines fentes très proches taillées dans un cache placé à proximité d'un écran. Il observe sur cet écran une succession de raies sombres et brillantes : c'est la signature d'un phénomène d'interférences lumineuses.

Tâche complexe

► Objectif de l'activité : Comment exploiter le phénomène d'interférences pour déterminer la longueur d'onde d'une radiation ?

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

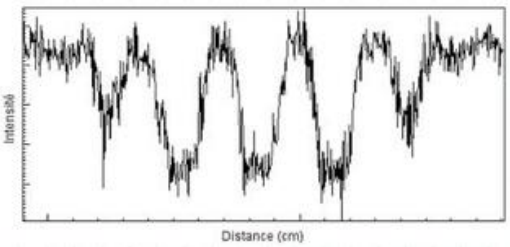


PROTOCOLE

☑ RÉALISER une photographie de la figure obtenue sur un écran quadrillé.



☑ UTILISER un logiciel de traitement d'images pour mesurer l'interfrange :



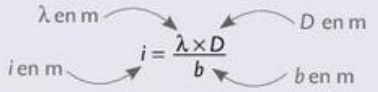
Les zones éclairées différemment correspondent à des intensités différentes après analyse par le logiciel.

MATÉRIEL DISPONIBLE



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

On appelle interfrange *i* la distance séparant les centres de deux franges brillantes consécutives ou les centres de deux franges sombres consécutives (voir DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL). *i* est lié aux grandeurs expérimentales par la relation :



Étapes de la démarche de résolution

1. RELIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉMETTRE une hypothèse permettant d'y répondre.
4. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre pour valider l'hypothèse formulée.
5. NOTER les observations, les interpréter et conclure.

Investigation

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1 À partir du matériel proposé, identifier l'indication de l'étiquette du laser disponible que l'on peut contrôler. Procéder à ce contrôle.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

2 Comment exploiter le phénomène d'interférences pour déterminer la longueur d'onde d'une radiation ?

A Phénomène de diffraction de la houle

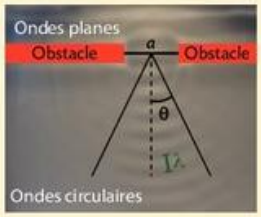


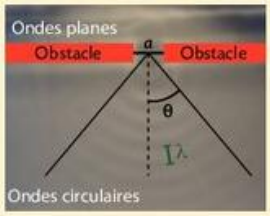
1 La diffraction

a. Conditions d'observation et caractéristiques

• Lorsqu'une onde mécanique ou lumineuse rencontre une ouverture sans changer de milieu, on peut observer un changement de direction de propagation de l'onde (photographie A) : c'est le phénomène de diffraction. La longueur d'onde reste inchangée si le milieu est homogène.

Le **phénomène de diffraction**, changement de direction de propagation d'une onde, s'observe lorsque les dimensions de l'ouverture sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde pour une onde mécanique, voire de plusieurs dizaines de longueurs d'onde pour une onde lumineuse.





L'importance du phénomène de diffraction peut être mesurée à l'aide de l'**angle caractéristique de diffraction θ**.

• Sur la figure de diffraction d'ondes lumineuses monochromatiques par une fente, l'angle qui caractérise ce phénomène est pointé du centre de la tache centrale, la plus lumineuse, au centre de la première raie sombre (ou extinction) observée (schéma B).

• Dans le cas d'une ouverture rectangulaire de largeur a, le sinus de l'angle caractéristique de diffraction θ, aigu et positif, a pour expression :

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$$ (λ en m, a en m)

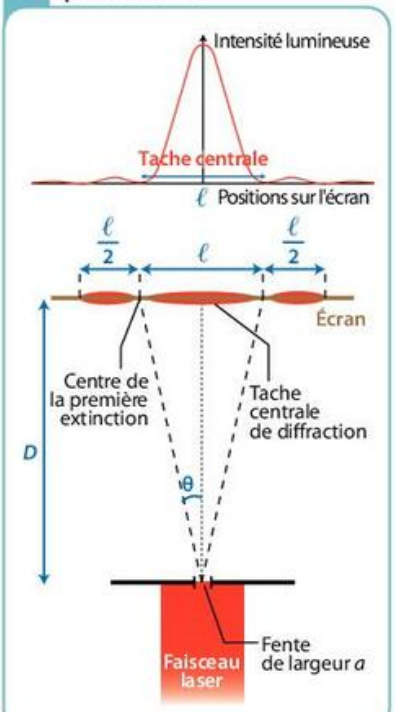
Si le rapport $\frac{\lambda}{a}$ est petit, on fait l'approximation $\sin\theta = \theta$ (θ en radian) :

$$\theta \text{ en rad} \rightarrow \theta = \frac{\lambda}{a}$$ (λ en m, a en m)

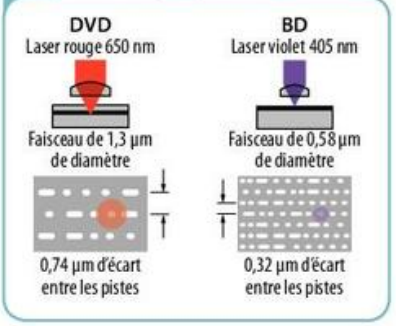
• Pour les ondes lumineuses, dans le cas d'une ouverture circulaire de diamètre d et d'un rapport $\frac{\lambda}{d}$ petit :

$$\theta \text{ en rad} \rightarrow \theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$$ (λ en m, d en m)

B Diffraction de la lumière par une fente



C Lecture optique et diffraction



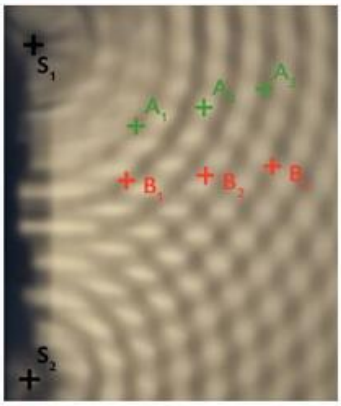
b. Situations de diffraction

Le phénomène de diffraction intervient dans de nombreuses situations physiques : lecture optique, cristallographie, astronomie, acoustique...

• Sur un Blu-ray Disc (BD), l'augmentation de la capacité de stockage, par rapport à un DVD, nécessite des pistes plus serrées. Or le faisceau laser qui permet la lecture est élargi par diffraction et peut déborder sur deux pistes attenantes. Il faut donc utiliser une radiation avec la plus petite longueur d'onde possible (schémas C).

• En astronomie, la monture des objectifs diffracte la lumière reçue : pour une bonne résolution, il faut augmenter leur diamètre.

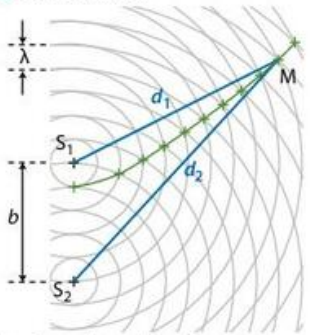
D Interférences à la surface de l'eau d'une cuve à ondes



› Interférences constructives (A_1, A_2, A_3) et destructives (B_1, B_2, B_3).

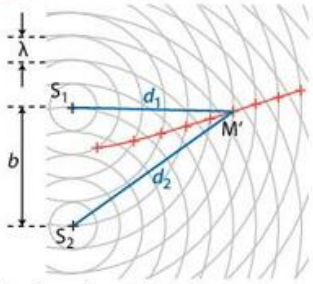
E Interférences

a Constructives



› Les lieux des points tels que $d_2 - d_1 = \lambda$, $d_2 - d_1 = 2\lambda$, etc. ou $d_2 - d_1 = -\lambda$, $d_2 - d_1 = -2\lambda$, etc. constituent les franges de forte amplitude.

b Destructives



› Les lieux des points tels que $d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2}$, $d_2 - d_1 = \frac{3\lambda}{2}$, etc. ou $d_2 - d_1 = -\frac{\lambda}{2}$, $d_2 - d_1 = -\frac{3\lambda}{2}$, etc. constituent les franges d'amplitude nulle.

c **Ni constructives, ni destructives.** En d'autres points où les interférences ne sont ni constructives ni destructives, on observe des ondes d'amplitude intermédiaire.

2 Les interférences

a. Conditions d'observation

• Deux vibreurs, jouant le rôle de sources ponctuelles, oscillent au-dessus de la surface de l'eau d'une cuve à ondes (schéma D), de manière synchrone, avec la même fréquence f et un déphasage (différence de phase) constant. Il en résulte la propagation de deux ondes progressives circulaires qui se superposent pour donner une figure d'interférences.

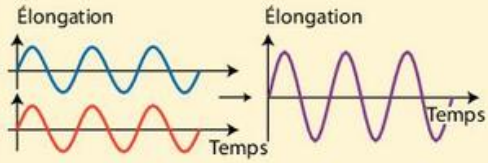
• On observe des zones fortement agitées (points A_1, A_2 et A_3) et d'autres zones peu agitées (points B_1, B_2 et B_3). C'est le **phénomène d'interférences**.

Des **interférences** s'obtiennent avec des **ondes** de **même fréquence** et présentant un **déphasage constant**. Les sources qui émettent ces ondes sont des **sources ponctuelles en phase**.

b. Interférences constructives et destructives

• À la surface de l'eau, les interférences constructives correspondent à la superposition de deux ondes en phase, c'est-à-dire d'élongations toutes deux maximales ou toutes deux minimales (schéma D).

Il y a **interférences constructives** quand deux ondes de longueur d'onde λ, se déplaçant dans un milieu homogène et provenant de deux **sources ponctuelles en phase,** arrivent **en phase** en un point.

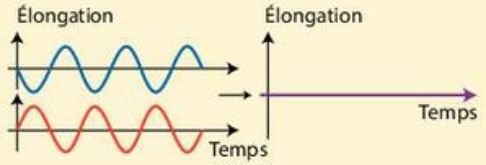


L'amplitude de l'onde résultante est alors supérieure à celle des ondes de départ.

En un point M où les interférences sont constructives (schéma E a), parviennent des ondes qui ont parcouru les distances $d_1 = S_1M$ et $d_2 = S_2M$ de sorte que : $\boldsymbol{d_2 - d_1 = k \times \lambda}$, avec k entier relatif.
C'est la **condition d'interférences constructives**.

• À la surface de l'eau, les interférences destructives correspondent à la superposition de deux ondes en opposition de phase, c'est-à-dire l'une d'élongation maximale et l'autre d'élongation minimale (schéma D).

Il y a **interférences destructives** quand deux ondes de longueur d'onde λ, se déplaçant dans un milieu homogène et provenant de deux **sources ponctuelles en phase,** arrivent en **opposition de phase** en un point.



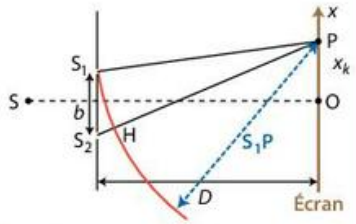
L'amplitude de l'onde résultante est alors nulle.

En un point M' où les interférences sont destructives (schéma E b), parviennent des ondes qui ont parcouru les distances $d_1 = S_1M'$ et $d_2 = S_2M'$ de sorte que : $\boldsymbol{d_2 - d_1 = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda}$ avec k entier relatif.
C'est la **condition d'interférences destructives**.

3 Les interférences de deux ondes lumineuses monochromatiques

Pour observer une figure d'interférences stable avec de la lumière, il faut éclairer deux trous (ou deux fentes) avec une unique source lumineuse monochromatique. Ces trous, dits sources secondaires, émettent alors des ondes de même fréquence et de déphasage constant ; ils jouent le rôle de **sources ponctuelles en phase**.

F **Superposition de deux ondes et distances parcourues**



> Ici, les ondes arrivant en P après passage par S_2 ont parcouru une plus grande distance que celles arrivant en P après passage par S_1. La différence de distances est $S_2H = S_2P - S_1P$.

a. Différence de chemin optique

- Deux ondes lumineuses de longueur d'onde dans le vide λ_0 émises par les sources secondaires S_1 et S_2 se superposent en un point P de l'écran après avoir parcouru les distances S_1P et S_2P (schéma F).
- On définit la **différence de chemin optique** ΔL entre les deux ondes :
$\Delta L = n \times (S_2P - S_1P)$ avec n l'indice du milieu de propagation

Si la **différence de chemin optique** ΔL est telle que :

- $\Delta L = k \times \lambda_0$ avec $k \in \mathbb{Z}$, les ondes arrivent **en phase** en P. Les interférences sont **constructives.** On observe alors des **franges brillantes ;**
- $\Delta L = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0$ avec $k \in \mathbb{Z}$, les ondes arrivent **en opposition de phase** en P. Les interférences sont **destructives.** On observe alors des **franges sombres**.

INFO

Le chemin optique est la distance qui serait parcourue par l'onde dans le vide pendant la même durée que celle de sa propagation dans le milieu d'indice n.

- Une onde de longueur d'onde λ_0 dans le vide a une longueur d'onde $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ dans un milieu d'indice n.

Dans l'air, on a $n = 1{,}00$. Ainsi, $\Delta L = S_2P - S_1P$, et $\lambda = \lambda_0$.

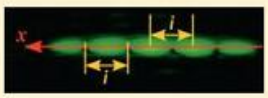
lycee.hachette-education.com/pc/tle



VIDÉO DE COURS

b. Interfrange

L'**interfrange** i est la distance $x_{k+1} - x_k$ séparant les centres de deux franges brillantes ou sombres consécutives.



La différence de chemin optique ΔL_k en P d'abscisse x_k (schéma F) a pour expression $\Delta L_k = \frac{n \times x_k \times b}{D}$ où b est la distance séparant les sources secondaires et D la distance de ces sources à l'écran (avec $D \gg b$).

L'interfrange $i = x_{k+1} - x_k$ est déterminé en combinant la condition d'interférences constructives ou celle d'interférences destructives avec l'expression fournie de la différence de chemin optique.

Cas de deux franges brillantes consécutives

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\Delta L_{k+1} \times D}{n \times b} - \frac{\Delta L_k \times D}{n \times b}$$

$$i = \frac{(k+1) \times \lambda_0 \times D}{n \times b} - \frac{k \times \lambda_0 \times D}{n \times b}$$

soit : $$i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b}(k + 1 - k)$$

d'où : i en m ; λ_0 et D en m ; b en m ; sans unité

$$i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b}$$

Cas de deux franges sombres consécutives

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\Delta L_{k+1} \times D}{n \times b} - \frac{\Delta L_k \times D}{n \times b}$$

$$i = \frac{\left([k+1] + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0 \times D}{n \times b} - \frac{\left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0 \times D}{n \times b}$$

soit : $$i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b} \times \left(k + 1 + \frac{1}{2} - k - \frac{1}{2}\right)$$

d'où : i en m ; λ_0 et D en m ; b en m ; sans unité

$$i = \frac{\lambda_0 \times D}{n \times b}$$

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

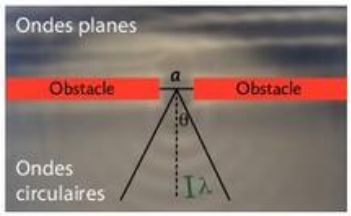
VIDÉO DE COURS
Différence de chemin optique
QCM
Version interactive

1 La diffraction

Diffraction : changement de direction de propagation de tout type d'onde lors de la traversée d'une ouverture.

Conditions d'observation

Dimensions maximales de l'ouverture :
– du même ordre de grandeur que λ pour les ondes mécaniques ;
– égales à quelques dizaines de longueurs d'onde pour les ondes lumineuses.



Domaines d'intervention

Cristallographie, astronomie, lecture optique, acoustique, etc.

Angle caractéristique de diffraction θ (aigu et positif)

- Dans le cas d'une ouverture de largeur a : $\sin\theta = \dfrac{\lambda(\text{m})}{a(\text{m})}$.
- Si le rapport $\dfrac{\lambda}{a}$ est petit : $\theta(\text{rad}) = \dfrac{\lambda(\text{m})}{a(\text{m})}$.
- Pour une onde lumineuse, et dans le cas d'une ouverture circulaire de diamètre d :

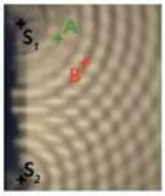
$$\theta(\text{rad}) = 1{,}22 \times \frac{\lambda(\text{m})}{d(\text{m})}$$

2 Les interférences

Interférences : superposition d'ondes de même type en un point.

Conditions d'observation

Ondes de même fréquence et de déphasage constant qui se superposent.



Domaines d'intervention

Couleurs de certains objets, brouillage de signaux radio, protection sonore, etc.

Interférences constructives et destructives

Interférences constructives au point A :
- Arrivée de deux ondes **en phase** en ce point.
- Amplitude de l'onde résultante maximale.
- $S_2A - S_1A = k \times \lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$

Interférences destructives au point B :
- Arrivée de deux ondes **en opposition de phase** en ce point.
- Amplitude de l'onde résultante nulle.
- $S_2B - S_1B = \left(k + \dfrac{1}{2}\right) \times \lambda$ avec $k \in \mathbb{Z}$

3 Les interférences de deux ondes lumineuses monochromatiques

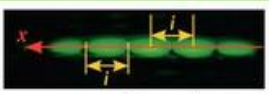
Observation de **franges brillantes en un point P** si :
- les **interférences** sont **constructives** ;
- la différence de chemin optique ΔL est :

$$\Delta L = k \times \lambda_0 \text{ avec } k \in \mathbb{Z}$$

Observation de **franges sombres en un point P** si :
- les **interférences** sont **destructives** ;
- la différence de chemin optique ΔL est :

$$\Delta L = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0 \text{ avec } k \in \mathbb{Z}$$

Établissement de l'interfrange



Interfrange = distance séparant les centres de deux franges brillantes ou sombres consécutives

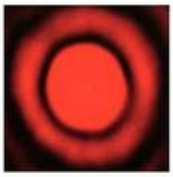
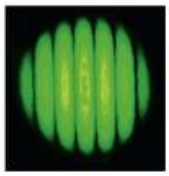
Poser la condition soit d'interférences constructives soit d'interférences destructives → Utiliser l'expression fournie de la différence de chemin optique ΔL pour exprimer x_{k+1} et x_k → En déduire l'expression de i à partir de $i = x_{k+1} - x_k$

QCM

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

1 La diffraction

Si erreur, revoir § 1 p. 371

	A	B	C
1. Le phénomène de diffraction peut être observé avec des ondes :	lumineuses.	sonores.	à la surface de l'eau.
2. Le phénomène de diffraction d'une onde mécanique apparaît lorsqu'une onde :	est absorbée.	change de milieu de propagation.	rencontre une ouverture.
3. Une figure dans laquelle la diffraction est le seul phénomène qui intervient peut être :			
4. Pour limiter l'étendue du phénomène de diffraction, il faut : 	choisir des troncs d'arbre de plus grand diamètre.	rapprocher les troncs d'arbre.	éloigner les troncs d'arbre.
5. Une onde sonore de longueur d'onde 68 cm traverse une ouverture de 1,0 m. L'angle caractéristique de diffraction θ est :	$\theta = 0{,}68$ rad	$\theta = 43°$	$\theta = 43$ rad

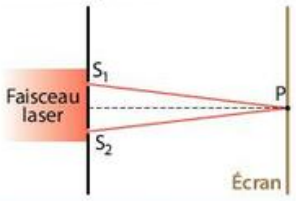
2 Les interférences

Si erreur, revoir § 2 p. 372

6. Le phénomène d'interférences est observable avec des ondes :	lumineuses.	sonores.	à la surface de l'eau.
7. Des interférences constructives s'observent :	si les ondes qui interfèrent sont en opposition de phase.	si les ondes qui interfèrent sont en phase.	quel que soit le déphasage des ondes qui interfèrent.

3 Les interférences de deux ondes lumineuses monochromatiques

Si erreur, revoir § 3 p. 373

8. Des interférences lumineuses stables se produisent à partir :	de deux sources de même intensité.	de deux sources ponctuelles en phase.	d'une source éclairant un système formé de deux fentes proches.
9. Deux ondes lumineuses interfèrent au point P. En ce point : 	les interférences sont constructives.	les interférences sont destructives.	on observe une frange brillante.

QCM version interactive

Les bons réflexes

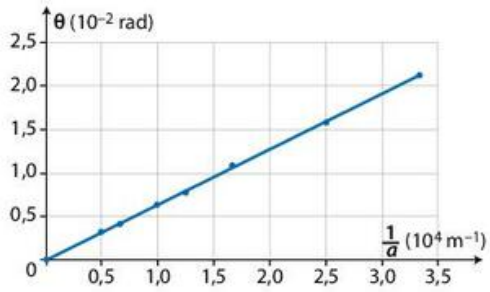
Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Calculer un angle caractéristique de diffraction ou la longueur d'onde de l'onde diffractée ou la dimension d'une ouverture.	Réflexe 1 — Ex. 7 p. 378 **Rappeler** la relation adéquate définissant l'angle caractéristique en fonction des données du problème. **Isoler** la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.
Établir l'expression de l'interfrange, ΔL étant donnée.	Réflexe 2 — Ex. 15 p. 379 **Rappeler** la condition d'interférences constructives ou d'interférences destructives. **Utiliser** l'expression de ΔL pour exprimer les abscisses x_{k+1} et x_k de deux positions successives de franges brillantes ou sombres. **Remplacer** x_{k+1} et x_k par leurs expressions sachant que $i = x_{k+1} - x_k$.
Exploiter l'expression de l'interfrange.	Réflexe 3 — Ex. 17 p. 380 **Identifier** ce que représentent les différentes grandeurs utilisées dans l'expression. **Isoler** la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.

1 Exercice résolu

Diffraction de la lumière

Exploiter un graphique ; confronter un modèle à des résultats expérimentaux ; effectuer des calculs.

On réalise une expérience de diffraction à l'aide d'un laser émettant une radiation de longueur d'onde λ.
Face au laser, on place successivement des fentes verticales de largeurs a connues. Pour chacune des fentes, on mesure la largeur ℓ de la tache centrale de la figure de diffraction observée sur un écran.
À partir de ces mesures, il est possible de calculer l'angle caractéristique de diffraction θ.
On donne ci-contre la représentation graphique $\theta = f\left(\frac{1}{a}\right)$.



1. À quelle condition le phénomène de diffraction est-il observable ?
2. a. Donner la relation liant θ, λ et a en précisant les unités des grandeurs utilisées.
b. Montrer que la fonction qui modélise la courbe obtenue est en accord avec la réponse à la question précédente.
c. À partir de l'expression de la fonction modélisant la courbe, déterminer la longueur d'onde de la radiation du laser utilisé.

Solution rédigée

1. On observe le phénomène de diffraction si la largeur de chacune des fentes n'est pas trop grande devant la longueur d'onde de la radiation émise.

• **On utilise le** Réflexe 1.

Rappel de la relation, adaptée à l'expérience, entre les grandeurs θ, a et λ

2. a. L'angle caractéristique de diffraction θ est exprimé en radian et petit d'après le graphique. Ainsi, $\theta = \frac{\lambda}{a}$ avec λ et a exprimées dans la même unité.
b. La courbe $\theta = f\left(\frac{1}{a}\right)$ est une droite passant par l'origine, c'est la représentation d'une fonction linéaire d'équation $\theta = k \times \frac{1}{a}$. Au cours des mesures, la longueur d'onde λ de la radiation ne varie pas. L'expression $\theta = \frac{\lambda}{a}$ confirme l'allure de la courbe.

Isolement et calcul de la grandeur recherchée

c. Par comparaison de $\theta = k \times \frac{1}{a}$ et $\theta = \lambda \times \frac{1}{a}$, il vient que $\lambda = k$ où k est le coefficient directeur de la droite.

$$k = \frac{2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{rad} - 0\ \text{rad}}{3{,}15 \times 10^{4}\ \text{m}^{-1} - 0\ \text{m}^{-1}} = 6{,}3 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

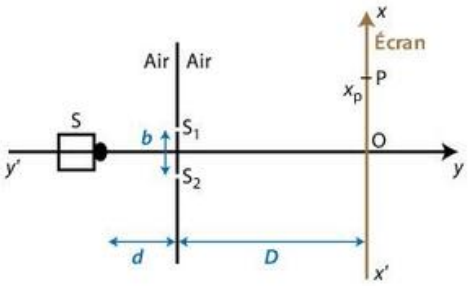
soit une longueur d'onde de 630 nm.

2 Exercice résolu

Détermination d'un interfrange

Mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs.

On utilise comme source une diode laser émettant une radiation de longueur d'onde $\lambda_0 = 650$ nm. Une plaque, percée de deux trous d'Young distants de $b = 0{,}20$ mm et de même diamètre, est placée à une distance $D = 2{,}0$ m de l'écran.



1. Quelles sont les conditions nécessaires pour observer le phénomène d'interférences ?

2. Au point O, la frange est-elle brillante ou sombre ? Justifier.

3. Par analyse dimensionnelle, choisir la bonne expression de la différence de chemin optique ΔL en un point P parmi les suivantes :

(1) $\Delta L = \dfrac{x_P \times b}{D}$ (2) $\Delta L = x_P \times b \times D$ (3) $\Delta L = \dfrac{x_P}{b \times D}$

4. À partir du résultat de la question 3, déterminer l'expression de l'interfrange i, puis le calculer.

5. En un point P d'abscisse 9,8 mm, observe-t-on une frange brillante ou une frange sombre ?

Solution rédigée

1. Des interférences sont observées avec des ondes de même fréquence issues de sources ponctuelles que l'on obtient expérimentalement à l'aide d'ouvertures éclairées par une même source. C'est le cas du dispositif des trous d'Young.

2. En O, les ondes partant de S_1 et S_2 ont parcouru la même distance dans le même milieu. La différence de chemin optique est nulle. La condition d'interférences constructives $\Delta L = k \times \lambda_0$ est vérifiée avec $k = 0$. La frange est brillante.

3. Comme la différence de chemin optique s'exprime en mètre, on élimine les relations **(2)** et **(3)** dans lesquelles le membre de droite s'exprime respectivement en m^3 et m^{-1}.
La relation **(1)**, homogène, est la bonne expression.

• **On utilise le Réflexe 2.**

Rappel de la condition d'interférences constructives

Utilisation de ΔL pour exprimer x_k et x_{k+1}

Remplacement de x_{k+1} et x_k par leurs expressions

4. Considérons les centres de deux franges brillantes consécutives. Pour le premier centre, $\Delta L_k = k \times \lambda_0$ et pour le second, $\Delta L_{k+1} = (k+1) \times \lambda_0$.

D'après la relation **(1)**, $\Delta L = \dfrac{x_P \times b}{D}$.

Les abscisses des deux centres considérés sont donc :

$$x_k = \frac{k \times \lambda_0 \times D}{b} \quad \text{et} \quad x_{k+1} = \frac{(k+1) \times \lambda_0 \times D}{b}$$

L'interfrange i s'écrit : $i = x_{k+1} - x_k$, soit $i = \dfrac{(k+1) \times \lambda_0 \times D}{b} - \dfrac{k \times \lambda_0 \times D}{b}$

• **On utilise le Réflexe 3.**

Identification des grandeurs

Calcul de i en convertissant λ_0 et b en mètre

d'où $i = \dfrac{\lambda_0 \times D}{b}$ avec λ_0 la longueur d'onde dans le vide (ou dans l'air), D la distance entre les fentes et l'écan, b l'écartement des fentes.

$i = \dfrac{650 \times 10^{-9}\ \text{m} \times 2{,}0\ \text{m}}{0{,}20 \times 10^{-3}\ \text{m}} = 6{,}5 \times 10^{-3}$ m, soit $i = 6{,}5$ mm.

5. En ce point P, la différence de chemin optique est $\Delta L = \dfrac{x_P \times b}{D}$, soit ici :

$\Delta L = \dfrac{9{,}8 \times 10^{-3}\ \text{m} \times 0{,}20 \times 10^{-3}\ \text{m}}{2{,}0\ \text{m}} = 9{,}8 \times 10^{-7}$ m.

Or $\lambda = 650$ nm. Le rapport $\dfrac{\Delta L}{\lambda_0}$ est donc : $\dfrac{\Delta L}{\lambda_0} = \dfrac{9{,}8 \times 10^{-7}\ \text{m}}{650 \times 10^{-9}\ \text{m}} = 1{,}5$ soit $\left(1 + \dfrac{1}{2}\right)$.

La condition d'interférences destructives $\Delta L = \left(k + \dfrac{1}{2}\right) \times \lambda_0$ est vérifiée ici avec $k = 1$.

En P, on observe donc une frange sombre.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Caractériser le phénomène de diffraction dans des situations variées et en citer des conséquences concrètes.	5	21	29
Exploiter la relation exprimant l'angle caractéristique de diffraction en fonction de la longueur d'onde et de la taille de l'ouverture.	7	21	29
Caractériser le phénomène d'interférences de deux ondes et en citer des conséquences concrètes.	9	26	30
Établir les conditions d'interférences constructives et destructives de deux ondes issues de deux sources ponctuelles en phase dans le cas d'un milieu de propagation homogène et prévoir les lieux d'interférences.	11	26	30
Établir ou exploiter l'expression de l'interfrange.	15	26	30

1 La diffraction

3 Identifier le phénomène de diffraction (1) CORRIGÉ

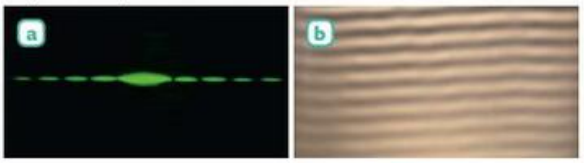
Mobiliser et organiser ses connaissances.

• Décrire la figure obtenue sur un écran placé à quelques mètres d'une fente de petite largeur éclairée par un laser.

4 Identifier le phénomène de diffraction (2)

Interpréter des observations.

• Identifier, dans les situations ci-dessous, celle dans laquelle le phénomène de diffraction intervient.



5 Illustrer le phénomène de diffraction CORRIGÉ

Mobiliser ses connaissances.

• Citer deux exemples de la vie courante dans lesquels le phénomène de diffraction intervient.

6 Connaître un phénomène

Interpréter des phénomènes.



Un mur antibruit, d'une hauteur de 3 m, et de surface bien réfléchissante ou absorbante vis-à-vis d'une onde sonore, n'isole pas totalement les riverains du bruit de la circulation lorsqu'il présente une petite ouverture.

• Quel phénomène permet de l'expliquer ?

7 Calculer un angle caractéristique de diffraction CORRIGÉ

Faire un schéma adapté.

En éclairant une ouverture de diamètre $d = 30$ µm à l'aide d'une radiation de longueur d'onde $\lambda = 532$ nm, on obtient sur un écran une figure de diffraction.

1. Schématiser le dispositif expérimental.
2. Calculer l'angle caractéristique de diffraction θ.

Utiliser le réflexe 1

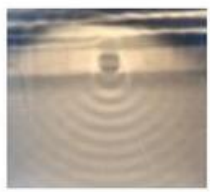
Donnée

$\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$.

8 Exploiter l'angle caractéristique de diffraction

Effectuer des calculs.

On étudie la diffraction d'une onde à la surface de l'eau.



θ (rad)	0,50	0,82
λ (cm)		1,7
a (cm)	2,7	

• Recopier et compléter ce tableau.

Donnée

$\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$.

2 Les interférences

9 Reconnaître le phénomène d'interférences CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

• Parmi les situations suivantes, repérer celle qui met en jeu un phénomène d'interférences.

a Casque antibruit qui émet des ondes sonores en opposition de phase avec le bruit ambiant.

b Discours entendu derrière une porte entrouverte.

10 Décrire un phénomène d'interférences

| Décrire des phénomènes.

Une source de lumière monochromatique éclaire deux trous d'Young. Un écran est placé à quelques mètres du dispositif.

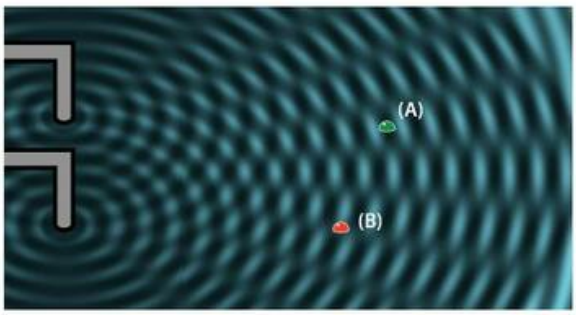
1. Comment se nomme le phénomène observé ?
2. Décrire la figure observée sur l'écran.

11 Reconnaître des ondes

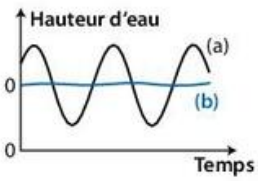
CORRIGÉ

| Exploiter un schéma.

Deux vibreurs frappent la surface de l'eau d'une cuve à ondes et donnent naissance à des interférences. On place deux flotteurs (A) et (B) sur ce plan d'eau.



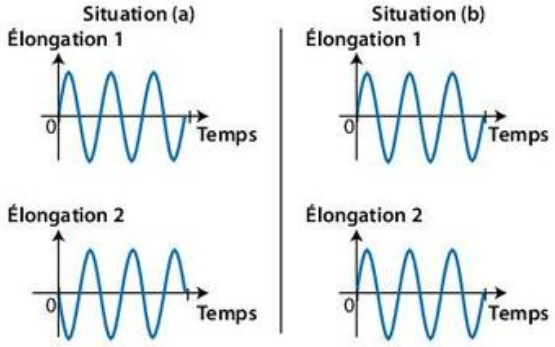
1. À quelle condition peut-on observer le phénomène d'interférences ?
2. On représente ci-contre la hauteur d'eau sous les flotteurs en fonction du temps. Attribuer, à chaque flotteur (A) et (B), la courbe (a) ou (b) qui lui correspond.



12 Reconnaître des signaux en phase ou en opposition de phase

| Tracer un graphique.

Deux ondes se propagent depuis deux sources S_1 et S_2 pour se croiser en un point P. Deux situations possibles sont représentées ci-dessous.



1. Dans quel cas les ondes sont-elles en opposition de phase au point P ? en phase ?
2. Dessiner, dans chacun des deux cas, l'élongation de l'onde résultante en fonction du temps.

3 Les interférences de deux ondes lumineuses monochromatiques

VIDÉO DE COURS **Différence de chemin optique – QR Code p. 374**

13 Connaître le phénomène d'interférences

CORRIGÉ

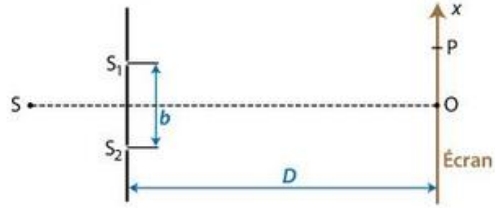
| Mobiliser ses connaissances.

1. Quelle(s) condition(s) doivent remplir des sources lumineuses pour qu'il y ait des interférences ?
2. Quelle condition la différence de chemin optique entre deux ondes doit-elle respecter pour observer :
   a. des interférences constructives ?
   b. des interférences destructives ?

14 Déterminer la position des franges brillantes et des franges sombres

| Décrire des phénomènes.

On réalise, dans l'air, une expérience d'interférences avec un système de deux fentes d'Young éclairées par une source de radiation de longueur d'onde $\lambda_0 = 650$ nm. On observe la figure d'interférences sur un écran.



1. Qu'observe-t-on sur l'écran au point O ?
2. Les ondes arrivent en P avec une différence de chemin optique $\Delta L = 1{,}625$ µm. Qu'observe-t-on en P ?

15 Identifier une expression

CORRIGÉ

| Effectuer des calculs.

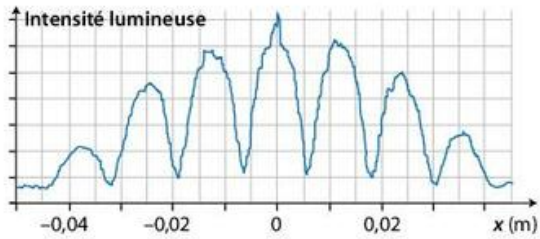
Au point P d'abscisse x_k de l'exercice 14, la différence de chemin optique est : $\Delta L = \dfrac{x_k \times b}{D}$.

1. Exprimer x_k en fonction de ΔL, b et D.
2. En déduire l'interfrange i. Utiliser le réflexe 2

16 Calculer un interfrange

| Exploiter un graphique.

Une figure d'interférences est photographiée et analysée avec un logiciel de traitement d'images.



- Déterminer l'interfrange i.

17 Calculer une longueur d'onde

CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

On réalise une figure d'interférences lumineuses à l'aide de fentes d'Young séparées par une distance $b = 0{,}20$ mm. La figure est obtenue sur un écran situé à une distance $D = 2{,}0$ m.
Dans une telle situation, la valeur de l'interfrange est donnée par la relation :

$$i = \frac{\lambda \times D}{b}$$

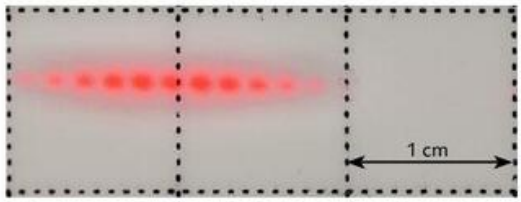
1. Donner l'expression de la longueur d'onde en fonction de l'interfrange i, de b et de D.

Utiliser le réflexe 3

2. Calculer la longueur d'onde de la lumière utilisée sachant que, dans les conditions de l'expérience, on mesure $i = 6{,}3$ mm.

18 Calculer la distance séparant deux fentes

On réalise une figure d'interférences lumineuses à l'aide de fentes d'Young.



L'interfrange i a pour expression : $i = \frac{\lambda \times D}{b}$.

- Déterminer la distance b séparant les deux fentes d'Young.

Données

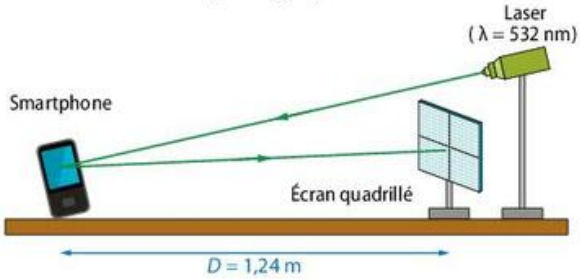
- Distance fentes d'Young-écran : $D = 1{,}4$ m.
- Longueur d'onde : $\lambda = 650$ nm.

Exercices S'entraîner

19 Mesure de la taille d'un pixel d'un écran de smartphone

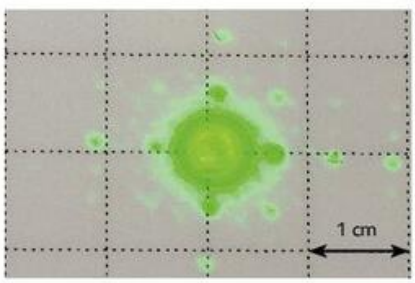
Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

Lors d'une séance de travaux pratiques, un élève envoie un faisceau laser sur son smartphone éteint. Il voit apparaître sur l'écran situé à une distance D du smartphone plusieurs taches lumineuses. Il photographie l'écran.



Un écran de téléphone portable est constitué de pixels (points lumineux). Un phénomène de diffraction se produit lorsque le faisceau laser rencontre un obstacle suffisamment petit, le pixel, de taille a. Un pixel joue le même rôle qu'une ouverture de même taille lors de la diffraction.

L'interfrange i est donné par la relation : $i = \frac{\lambda \times D}{a}$.



1. Mesurer l'interfrange i.

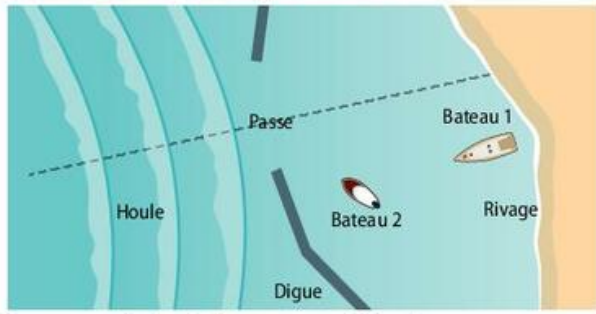
2. Calculer la largeur d'un pixel.

20 À chacun son rythme

Les effets de la houle

Utiliser un modèle pour prévoir ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.



Des vagues de 1 m de hauteur, parallèles les unes par rapport aux autres, et espacées de 30 m, atteignent la digue d'un port de plaisance. Elles peuvent traverser la passe large de 40 m qui fait face aux vagues. Deux bateaux sont au mouillage près du rivage.

Énoncé compact

Y a-t-il un bateau mieux protégé que l'autre par la digue ?

Énoncé détaillé

1. Indiquer la longueur d'onde de la houle et la taille de l'ouverture.

2. a. Pourquoi le phénomène de diffraction doit-il être pris en compte ?
b. Calculer l'angle caractéristique de diffraction θ.
c. Reproduire, à l'échelle, le schéma et y faire apparaître l'angle caractéristique de diffraction.

3. Y a-t-il un bateau mieux protégé que l'autre par la digue ?

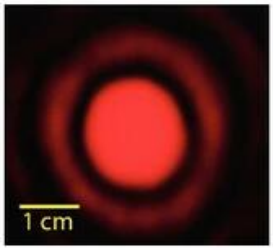
21 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Pointeur laser

Procéder à des analogies ; effectuer des calculs.

On dispose d'un pointeur laser émettant, dans l'air, des radiations rouges de longueur d'onde λ_R.
On souhaite vérifier expérimentalement la longueur d'onde λ_R. Pour cela, on réalise un montage permettant d'obtenir une figure de diffraction à travers une ouverture circulaire de rayon $r = 0{,}20$ mm sur un écran placé à une distance $D = 5{,}0$ m. La figure obtenue est la suivante :



1. Schématiser le montage du dispositif expérimental.
2. En utilisant le schéma, exprimer la longueur d'onde λ_R en fonction de la distance D, du rayon r de l'ouverture et de la largeur ℓ de la tache centrale.
3. Calculer la longueur d'onde des radiations émises par la diode laser du pointeur rouge.
4. Dans les mêmes conditions, on utilise un laser émettant, dans l'air, des radiations de longueur d'onde $\lambda_V = 405$ nm. Comment la largeur de la tache centrale évolue-t-elle ?

Donnée

L'angle θ étant petit et en radian, on a $\tan\theta = \theta$.

Critères de réussite

	😐	😊
J'ai réalisé un schéma propre et légendé (question 1).	☐	☐
J'ai utilisé mes connaissances et le schéma pour exprimer la longueur d'onde en fonction des paramètres de l'expérience (question 2).	☐	☐
J'ai effectué le calcul en faisant attention aux unités (question 3).	☐	☐
J'ai utilisé l'expression de la longueur d'onde pour répondre (question 4).	☐	☐

22 Côté maths et Python

Somme de signaux sinusoïdaux

Utiliser un langage de programmation.

On présente ci-après un extrait du programme, en langage python, permettant de représenter la somme de deux signaux sinusoïdaux synchrones.

PROGRAMME Python – QR Code p. 374

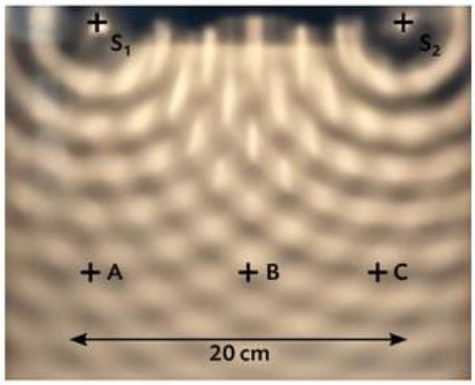
1. Montrer, par la lecture de cet extrait de programme, que les deux signaux sinusoïdaux d'expression générale $u(t) = U_m \times \cos\left(\frac{2\pi}{T} \times t + \varphi\right)$ sont synchrones.
2. D'après l'extrait de programme proposé, lequel des deux signaux a une phase à l'origine nulle ?
3. Exécuter le programme et déterminer le déphasage que doivent présenter deux signaux sinusoïdaux périodiques synchrones pour que l'amplitude du signal résultant soit :
   a. maximale. b. nulle.

```
#Conditions initiales
initial_A = 1.00
initial_T = 2.00
initial_Phi = 1.00
# Définitions des courbes
time=np.linspace(0.,20.,2000)
y1=initial_A*np.cos(2*np.pi/initial_T*time)
y2=initial_A*np.cos(2*np.pi/initial_T*\
time+initial_Phi)
y3=y1+y2
#Tracé des courbes
G = GridSpec(10, 10)
fig, ax = plt.subplots()
axes_1 = plt.subplot(G[:-3, :])
plt.axis([0,20,-10,10])
plt.xlabel('t en s')
plt.ylabel('Amplitude')
plt.title('Somme de deux ondes sinusoïdales \
synchrones')
plt.grid()
p1, = plt.plot(time, y1, '-g' , label=\
r'$y_1=A\times\cos( \frac{2\pi}{T}\times t)$')
p2, = plt.plot(time, y2, '-b', label=\
r'$y_2 =A\times\cos( \frac{2\pi}{T}\times t+\
Phi)$')
p3, = plt.plot(time, y3, '-r',label=\
r'$y_3= y_1 + y_2$')
plt.legend()
```

23 Interférences à la surface de l'eau

Exploiter une photographie ; faire preuve d'esprit critique et argumenter.

Des ondes issues de deux sources ponctuelles en phase interfèrent à la surface de l'eau d'une cuve à ondes. Chaque source produit une onde de longueur d'onde λ. La photographie ci-dessous montre la figure obtenue.



1. Déterminer graphiquement la longueur d'onde λ.
2. À partir des données du tableau ci-dessous, caractériser l'amplitude de l'onde résultante aux points A, B et C.

Point	A	B	C
Distance depuis S_1 (cm)	14,9	17,4	22,6
Distance depuis S_2 (cm)	24,1	17,4	14,9

24 Rayons X et structure cristalline

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

D'après Baccalauréat Antilles-Guyane, 2016

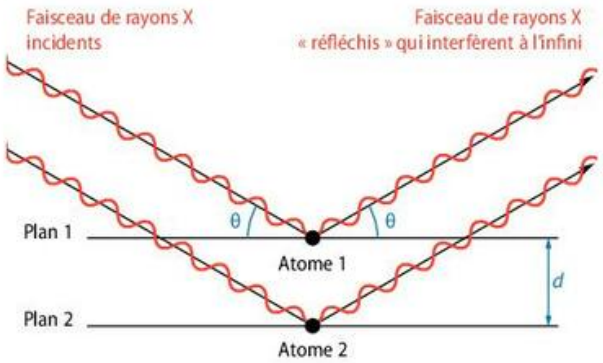
Un cristal est constitué d'entités (atomes, ions ou molécules) qui s'agencent de manière ordonnée et régulière les unes par rapport aux autres.



Les rayons X, découverts en 1895 par le physicien allemand Wilhelm RÖNTGEN (1845-1923), sont des ondes électromagnétiques utilisées notamment en cristallographie pour évaluer la distance d entre deux plans 1 et 2 voisins d'atomes dans un cristal.

Les atomes appartenant à ces plans parallèles diffractent les rayons X. Parmi les rayons diffractés, ceux qui peuvent interférer à l'infini sont ceux qui ont été déviés comme s'ils s'étaient réfléchis sur les plans contenant les atomes.

On représente cette situation par le schéma simplifié suivant :



1. Écrire la condition pour que les interférences observées soient :

a. constructives ;

b. destructives.

2. À partir du schéma ci-dessus, préciser si on obtient des interférences constructives ou destructives lorsque les ondes « réfléchies » par les atomes 1 et 2 se superposent et interfèrent.

3. La différence de chemin optique ΔL entre deux ondes incidentes qui se réfléchissent sur deux plans successifs est donnée par la relation : $\Delta L = 2d \times \sin\theta$ où d est la distance entre deux plans d'atomes voisins et θ l'angle entre le rayon et le plan.

Pour un angle $\theta = 10{,}4°$ et une longueur d'onde égale à 0,154 nm, déterminer la distance d dans le cristal étudié, dans le cas où l'on obtient des interférences constructives pour une différence de chemin optique minimale.

25 Couleurs interférentielles des paons

Effectuer des calculs ; argumenter.



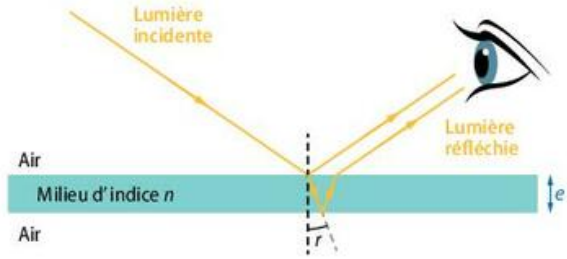
Les couleurs des animaux sont pour la plupart dues à des pigments. Mais, chez certains insectes et certains oiseaux, la production de couleurs provient d'interférences lumineuses.

C'est le cas du plumage des paons.

Leurs plumes sont constituées d'un empilement de petites lames transparentes qui réfléchissent la lumière.

Pour comprendre le phénomène, une lame de plume sera modélisée par un parallélépipède transparent d'épaisseur e et d'indice de réfraction n, placé dans l'air.

Le schéma ci-après représente cette lame en coupe.



Les deux rayons réfléchis par la lame à faces parallèles se superposent sur la rétine de l'observateur et y interfèrent.

Pour un angle de réfraction r donné, la différence de chemin optique des rayons, notée ΔL, dépend de l'épaisseur e de la lame et de son indice de réfraction n. Elle est donnée par :

$$\Delta L = 2n \times e \times \cos r + \frac{\lambda_0}{2}$$

L'indice n dépend de la longueur d'onde de la radiation.

1. Quelle condition la différence de chemin optique doit-elle vérifier pour que les interférences soient constructives ? destructives ?

2. Un observateur regarde un paon. L'angle de réfraction est $r = 20°$.

a. Déterminer si les interférences de deux rayons sont constructives ou destructives pour :

– une radiation de longueur d'onde dans l'air λ_R (rouge) ;

– une radiation de longueur d'onde dans l'air λ_V (violet).

b. Laquelle des deux couleurs sera principalement perçue par l'observateur ?

3. La couleur observée serait-elle la même si on changeait l'angle d'observation ?

4. Quelle méthode expérimentale permettrait de distinguer la nature d'une couleur (pigmentaire ou interférentielle) de plumes d'oiseaux ?

Données

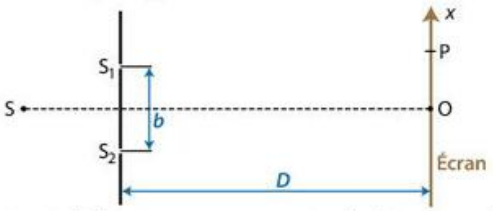
- Longueur d'onde : $\lambda_R = 750$ nm (rouge) ; $\lambda_V = 380$ nm (violet).
- Indice de réfraction d'une lame : $n_R = 1{,}33$ (rouge) ; $n_V = 1{,}34$ (violet).
- Épaisseur du milieu : $e = 0{,}15$ µm.

26 Interframge et longueur d'onde

CORRIGÉ

Effectuer des calculs ; estimer une incertitude de mesure.

Une source de lumière monochromatique de longueur d'onde λ_0 éclaire deux fentes étroites S_1 et S_2, distantes de b. On a $SS_1 = SS_2$.



Le point P, d'abscisse x_k, est un point de l'écran proche de O. Cet écran est suffisamment éloigné des sources pour que $D \gg b$ et $D \gg x_k$.

Dans l'air, la différence de chemin optique ΔL des rayons issus de S_1 et S_2 est donnée par : $\Delta L = \dfrac{b \times x_k}{D}$.

1. Pour quelles valeurs de ΔL observe-t-on :

a. une frange brillante au point P ?

b. une frange sombre au point P ?

2. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ_0, b et D.

3. Calculer la longueur d'onde λ_0 de la radiation émise par le laser étudié et évaluer son incertitude à partir des mesures expérimentales.

4. En déduire un encadrement de la longueur d'onde λ_0.

Données

- Interfrange : $i = (6{,}0 \pm 0{,}1)$ mm.
- Distance fentes-écran : $D = (2{,}00 \pm 0{,}01)$ m.
- Distance entre les fentes : $b = (0{,}20 + 0{,}01)$ mm.
- Incertitude-type sur la mesure de la longueur d'onde λ_0 :

$$u(\lambda_0) = \lambda_0 \times \sqrt{\left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

27 Wavelength influence on diffraction

Pratiquer une langue vivante étrangère.

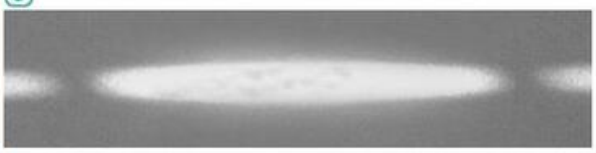
During a diffraction experiment, picture (a) was obtained.

By simply changing the laser, picture (b) was the new result.

(a)



(b)



1. Which shot corresponds to the longer wavelength laser?

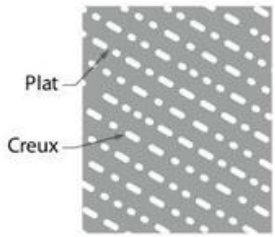
2. The wavelength of light from one of the lasers is 650 nm and both lasers emit radiation in the visible area. What is the wavelength of the second laser?

28 Lecture d'un disque optique Blu-ray

Utiliser un modèle pour prévoir, décrire et expliquer.

D'après Baccalauréat Nouvelle-Calédonie, 2013

Sur un disque optique (CD, DVD, Blu-ray), les données sont gravées sous forme de minuscules cavités, de longueur variable, appelées « creux ». Les espaces entre les creux sont appelés « plats ».



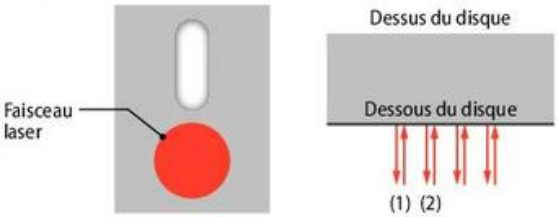
C'est la variation d'intensité lumineuse au cours de la lecture qui permet de repérer les creux et les plats, et de décoder l'information numérique.

Afin de lire les données du disque, un faisceau laser est dirigé vers le disque optique. Le faisceau se propage dans du polycarbonate puis se réfléchit et est renvoyé vers un capteur de lumière qui détecte l'intensité lumineuse réfléchie.

Les diodes lasers utilisées dans les lecteurs Blu-ray émettent une lumière de longueur d'onde dans le vide $\lambda_0 = 405$ nm.

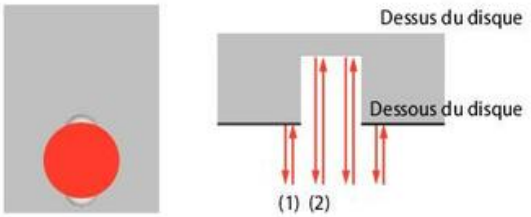
A Lecture des données sur le disque optique

(a) Le faisceau laser se réfléchit totalement sur un plat.



VUE DE DESSOUS — VUE EN COUPE

(b) Le faisceau laser est positionné en face d'un creux : le rayon (1) situé au bord du faisceau se réfléchit sur un plat, tandis que le rayon (2) situé au centre du faisceau se réfléchit dans un creux.



VUE DE DESSOUS — VUE EN COUPE

1. À quelle condition des interférences sont-elles constructives ? destructives ?

2. a. Dans le cas (a), les interférences entre les rayons (1) et (2) sont-elles constructives ? destructives ?

b. Dans le cas (b), la différence de chemin optique ΔL entre les rayons (1) et (2) est $\Delta L = 2n \times h$.

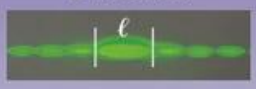
Que représente h ? Calculer sa valeur minimale pour que les interférences soient destructives.

Donnée

Indice de réfraction du polycarbonate : $n = 1{,}55$.

Vers le BAC

Ne pas confondre figure de diffraction et figure d'interférences

Diffraction	Interférences
	
Tache centrale large entourée de taches latérales moins intenses et moins larges.	Petites taches de même largeur à l'intérieur de la tache centrale.

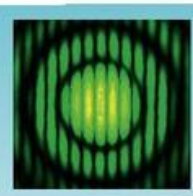
Lire une figure de diffraction ou d'interférences

La mesure sur des figures se fait toujours d'un milieu sombre à un milieu sombre correspondant à un minimum d'intensité.

Diffraction	Interférences
	

Distinguer les deux phénomènes dans une même figure

En pratique, lorsqu'on réalise une figure d'interférences avec des trous d'Young, cette figure est incluse dans une tache de diffraction beaucoup plus large.



Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 376

29 Corrigé — 20 min

Observation d'une exoplanète

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

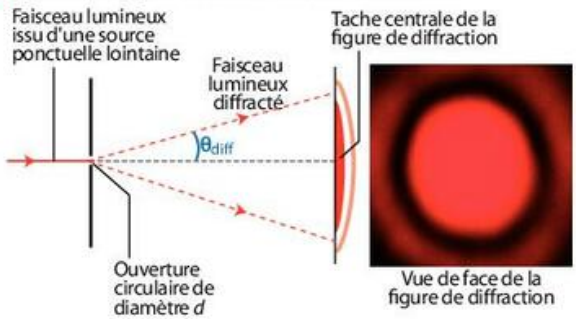
D'après Baccalauréat Antilles-Guyane, 2017

Les exoplanètes (planètes situées en dehors du système solaire) sont difficiles à détecter de par leur éloignement et leur manque de luminosité par rapport aux étoiles autour desquelles elles tournent.

Actuellement, l'observation de détails avec un télescope terrestre est principalement limitée par le phénomène de diffraction lié à l'ouverture circulaire d du télescope.

La première exoplanète dont on a pu faire une image par observation directe dans le proche infrarouge s'appelle 2M1207b. Cette exoplanète orbite à une distance estimée à 55 unités astronomiques (ua) autour de l'étoile 2M1207a, située elle-même à 230 années-lumière (al) de la Terre.

A Diffraction par une ouverture circulaire



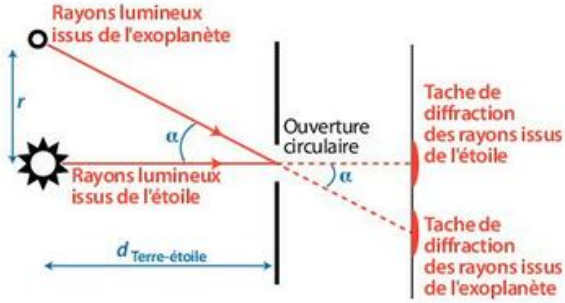
Dans le cas d'une ouverture circulaire, on admet que l'angle caractéristique de diffraction θ_{diff} (en radian) vérifie la relation :

$$\theta_{diff} = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$$

où λ est la longueur d'onde du faisceau incident et d le diamètre de l'ouverture.

B Écart angulaire et diffraction

Des rayons lumineux issus d'un couple étoile-planète et passant par l'ouverture circulaire d'un télescope terrestre sont représentés sur le schéma ci-dessous.



α est l'écart angulaire entre l'étoile et la planète, c'est-à-dire l'angle séparant l'étoile de la planète vues depuis la Terre.

Il est petit et se calcule par : $\alpha = \tan\alpha = \frac{r}{d_{\text{Terre-étoile}}}$ avec r la distance planète-étoile et $d_{\text{Terre-étoile}}$ la distance Terre-étoile.

C Critère de Rayleigh pour distinguer deux objets

Un télescope permet de distinguer deux objets à condition que l'écart angulaire α entre ces deux objets soit supérieur ou égal à l'angle de diffraction θ_{diff}.



$\alpha > \theta_{diff}$
On peut distinguer les deux objets.

$\alpha = \theta_{diff}$

$\alpha < \theta_{diff}$
On ne peut pas distinguer les deux objets.

1. À quelle condition l'étoile et la planète seront-elles vues séparément ?

2. Déterminer le diamètre D du télescope terrestre permettant de distinguer la planète 2M1207b de l'étoile 2M1207a sachant que la longueur d'onde des rayons lumineux provenant des deux objets célestes est $\lambda = 2{,}0$ µm.

Utiliser le réflexe 1

Coup de pouce QR Code p. 374

Données

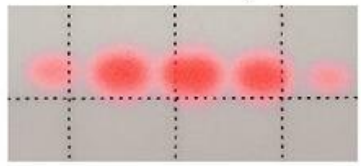
- Unité astronomique : 1 ua = $1{,}496 \times 10^{11}$ m.
- Année-lumière : 1 al = $9{,}461 \times 10^{15}$ m.

30 Les fentes d'Young

30 min — Corrigé

Mobiliser et organiser ses connaissances.

Une figure comme celle ci-dessous est observée sur un écran en éclairant un dispositif avec une lumière dont la longueur d'onde dans le vide est λ_0.



1. À quelle(s) condition(s) peut-on observer une telle figure ?

2. On note D la distance entre le dispositif et l'écran et b la distance entre les deux fentes S_1 et S_2 de ce dispositif. En un point P de l'écran d'abscisse x_k, la différence de chemin optique ΔL des rayons issus de S_1 et S_2 est donnée par la relation : $\Delta L = \dfrac{x_k \times b}{D}$.

a. À quelle condition obtient-on une frange brillante au point P ?

b. Déterminer l'expression de l'interfrange i.

Utiliser le réflexe 2

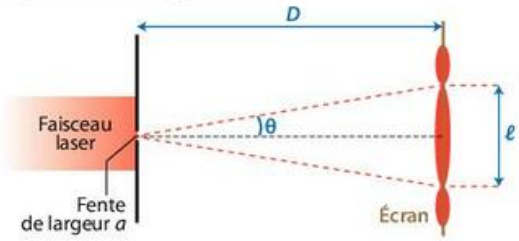
c. Déterminer le nombre maximal de franges brillantes observables sur l'écran de largeur $\ell = 10$ cm si $\lambda_0 = 650$ nm, $b = 0{,}20$ mm et $D = 1{,}50$ m.

Utiliser le réflexe 3

Préparation à l'ECE

On éclaire, dans l'air, une fente de largeur a à l'aide d'un faisceau laser émettant une radiation de longueur d'onde λ.

A Dispositif de l'expérience



B Figure observée



C Donnée du constructeur



1. CON Comment se nomme le phénomène observé ?

2. RÉA L'angle θ étant petit, on a la relation $\tan\theta = \theta$ avec θ en radian. Montrer que la longueur d'onde peut s'écrire sous la forme : $\lambda = \dfrac{\ell \times a}{2 \times D}$.

3. a. RÉA Déterminer la longueur d'onde λ ainsi que son incertitude-type à partir des mesures expérimentales.

b. VAL En déduire un encadrement de la valeur expérimentale de la longueur d'onde λ.

c. VAL Conclure en comparant la valeur trouvée à celle donnée par le constructeur.

4. ANA-RAIS Un élève souhaite observer l'influence de la largeur de la fente sur la tache centrale. Il utilise une fente de largeur différente (b) de celle étudiée précédemment (a).

(a) 

(b) 

Les deux figures étant reproduites à la même échelle, comparer la largeur des deux fentes.

Données

- Largeur de la première fente utilisée : $a = (60{,}0 \pm 0{,}1)$ µm.
- Distance fente-écran : $D = (2{,}0 \pm 0{,}1)$ m.
- Largeur de la tache centrale : $\ell = (4{,}2 \pm 0{,}1)$ cm.
- Incertitude-type sur la mesure de la longueur d'onde :

$$u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

Vers l'oral

Fiche Méthode

Contrôler ses micro-expressions

Le visage d'une personne peut, à son insu, exprimer des expressions qu'elle souhaite cacher.
Lors d'un entretien avec un jury, les deux micro-expressions à dissimuler sont bien sûr la surprise et la peur, par exemple lorsqu'on est déstabilisé par une question.



PAUL EKMAN : LE VISAGE DÉCRYPTÉ

- **Visionner la vidéo ci-contre.**
- **S'entraîner à repérer les micro-expressions qui trahissent l'état d'esprit de la personne qui parle.**

À deux, c'est mieux



Un phénomène étudié dans ce chapitre est susceptible de se produire dans la baie de Dwejra ou baie de la cabane dans l'archipel maltais (photographie ci-contre).

- **Écrire un texte de quelques lignes expliquant le phénomène.**
- **Mémoriser le texte, puis le présenter à un camarade qui pourra ensuite poser des questions.**
- **Évaluer la présentation à l'aide des critères ci-contre.**

Ensuite, inverser les rôles et faire de même.
Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite	😐	😊
Contrôler ses micro-expressions		
Lors de la présentation, les micro-expressions sont maîtrisées.	☐	☐
Lors d'une question, le visage n'exprime ni peur, ni colère.	☐	☐
Lors de la réponse, le visage exprime une joie contenue.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur La diffraction et les interférences

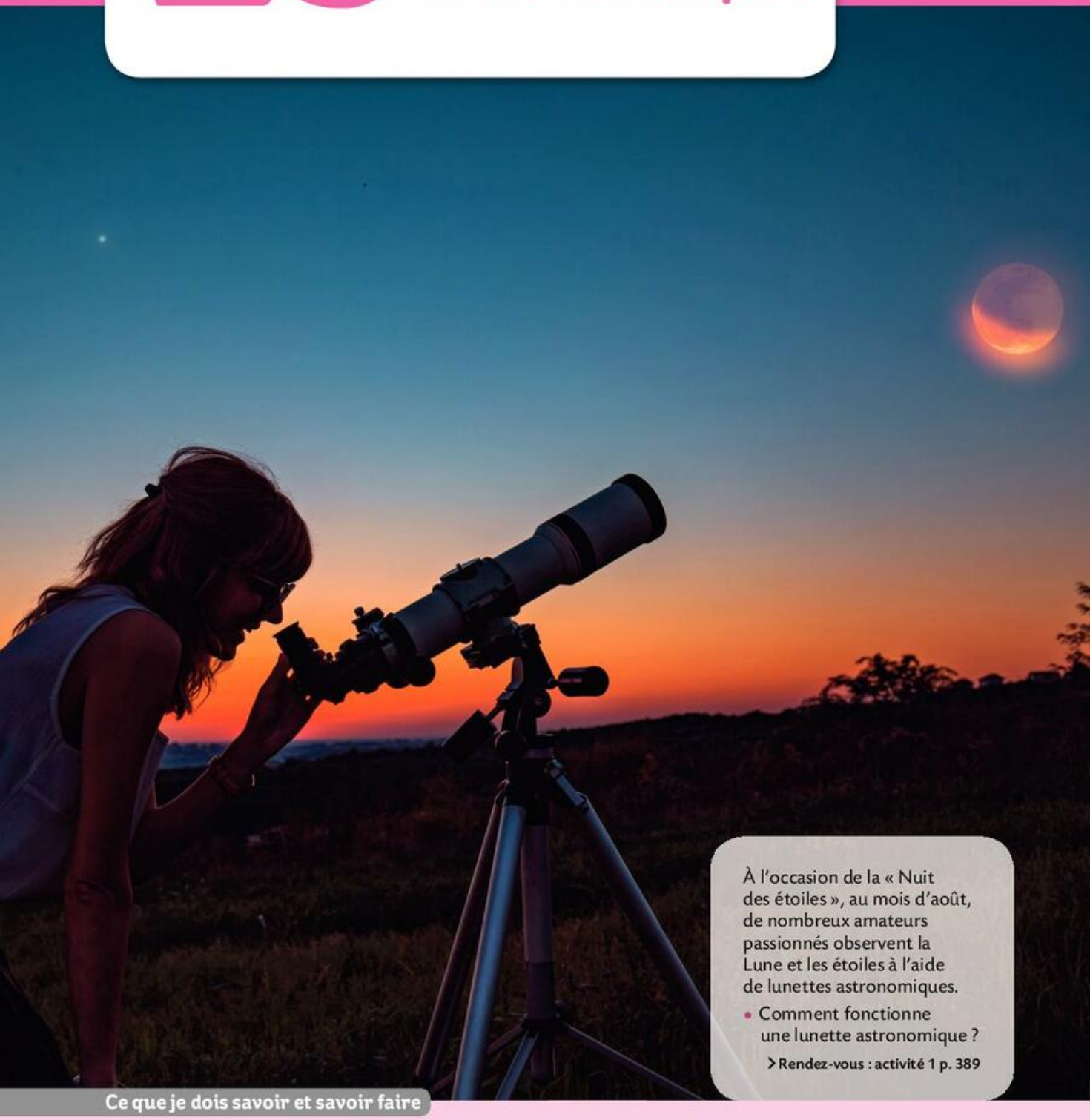
À quelle condition, peut-il y avoir **phénomène de diffraction** ?

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

Comment repérer l'**interfrange** sur une figure d'interférences ?

Définir des **interférences constructives et destructives**.

19 Lunette astronomique



À l'occasion de la « Nuit des étoiles », au mois d'août, de nombreux amateurs passionnés observent la Lune et les étoiles à l'aide de lunettes astronomiques.

- Comment fonctionne une lunette astronomique ?

> Rendez-vous : activité 1 p. 389

Ce que je dois savoir et savoir faire

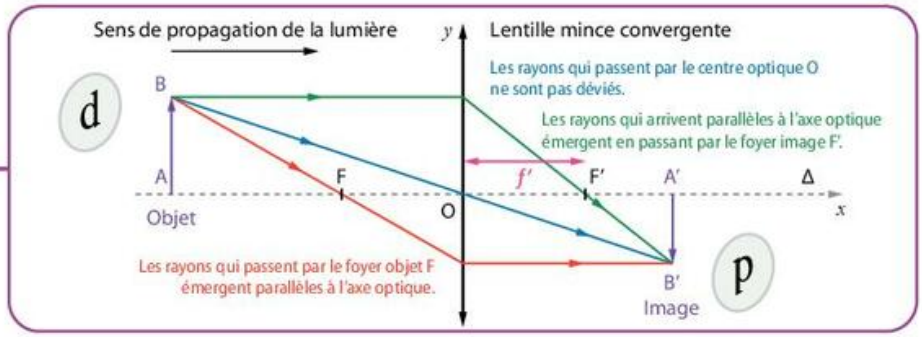
- Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes ; identifier l'objectif et l'oculaire. **Activité 1 p. 389**
- Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale. **Exercice 15 p. 398**
- Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale. **Activité 1 p. 389**
- Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale. **Exercice 14 p. 398**
- Réaliser une maquette de lunette astronomique ou utiliser une lunette commerciale pour en déterminer le grossissement. **Activité 1 p. 389**
- Vérifier la position de l'image intermédiaire en la visualisant sur un écran. **Activité 1 p. 389**

Vu en 1re

La lentille mince convergente

Lentille mince convergente

Obtention d'une image



Calcul de la position et de la taille de l'image

Relation de conjugaison

$$\frac{1}{x_{A'}} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{f'}$$

ou

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

Relation de grandissement

$$\gamma = \frac{y_{B'}}{y_B} = \frac{x_{A'}}{x_A}$$

ou

$$\gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

Caractéristiques de l'image

- Plus petite ou plus grande que l'objet
- Droite ou renversée par rapport à l'objet
- Réelle ou virtuelle

Réactiver ses connaissances

VIDÉO Formation d'une image – QR Code p. 392

Un appareil utilisé pour photographier le ciel nocturne est modélisé par une lentille mince convergente de distance focale $f' = 5{,}0$ cm et un écran.

1. Schématiser cette lentille mince convergente, son axe optique, ses foyers objet F et image F', son centre optique O et un objet AB situé à dix fois la distance focale de la lentille. Le point A est sur l'axe optique de la lentille.

2. Construire l'image A'B' de l'objet AB à travers la lentille.

3. Lorsqu'un objet est très éloigné, son abscisse x_A tend vers $-\infty$.

On en déduit que $\frac{1}{x_A}$ tend vers zéro.

a. Calculer l'abscisse $x_{A'}$ de l'image A'B' d'un objet AB très éloigné.

b. La construction de la question 2 confirme-t-elle ce résultat ?



Donnée

Relation de conjugaison : $\frac{1}{x_{A'}} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{f'}$.

Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Le rayon passant par le centre optique d'une lentille :	est dévié vers le foyer objet de la lentille.	n'est pas dévié.	est dévié vers le foyer image de la lentille.
2. La distance focale f' d'une lentille est la distance séparant :	le centre optique de la lentille de son foyer image.	le foyer objet du foyer image.	l'abscisse de l'objet de l'abscisse de l'image.
3. Si un rayon émerge d'une lentille en étant parallèle à l'axe optique, alors il est passé par :	le centre optique.	le foyer objet.	le foyer image.

Activité expérimentale 1

Une maquette de lunette afocale

Notions
- Image intermédiaire
- Grossissement

Une astronome débutante souhaite acheter une lunette astronomique. Elle hésite devant les informations de la notice qui mentionnent le grossissement.



► **Objectif de l'activité : Comment le grossissement d'une lunette astronomique est-il défini ?**

A Notice d'une lunette astronomique



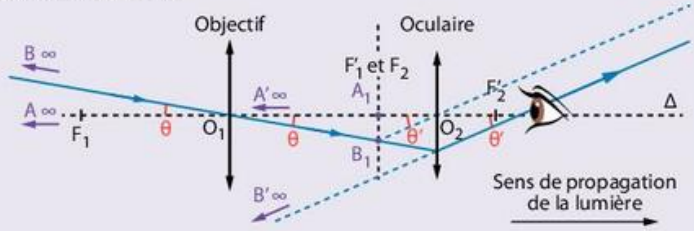
- Grossissement : jusqu'à 66 fois avec les oculaires fournis.
- Diamètre de l'objectif : 70 mm.
- Distance focale de l'objectif : 400 mm.
- Livrée avec 2 oculaires : 6 mm et 25 mm de distance focale.

MATÉRIEL DISPONIBLE



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- Une **lunette astronomique** est modélisée par deux lentilles minces convergentes :
  – l'objectif, orienté vers l'objet lointain à observer ;
  – l'oculaire, orienté vers l'œil de l'observateur et dont la distance focale est inférieure à celle de l'objectif.
- Les rayons reçus provenant d'un point objet à l'infini sont parallèles entre eux.
- Une lunette astronomique est dite **afocale** lorsque des rayons parallèles qui arrivent sur la lunette en ressortent parallèles entre eux. Pour cela, le foyer image F'_1 de l'objectif et le foyer objet F_2 de l'oculaire doivent être confondus, c'est-à-dire situés en une même position sur l'axe optique de la lunette.
- Le **grossissement** G d'une lunette est défini par $G = \frac{\theta'}{\theta}$.
- L'objet AB situé à plusieurs mètres est vu à l'œil nu sous l'angle θ, et l'image A'B' à travers la lunette est vue sous l'angle θ' (voir schéma). L'angle θ étant petit, on admet que $\tan\theta = \theta$, avec θ en radian.



Pratique expérimentale

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

1 Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant d'observer l'image d'un objet lumineux lointain à travers l'objectif d'une lunette astronomique afocale. Caractériser cette image.

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

2 Compléter le protocole de façon à observer l'image finale de l'objet lointain à travers la lunette astronomique afocale. Comparer les caractéristiques de cette image finale à celles de l'image obtenue précédemment, appelée image intermédiaire.

Effectuer des calculs RÉA

3 Après avoir exprimé, à l'aide du schéma du COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE, les angles θ et θ', calculer le grossissement G de la lunette afocale.

Exploiter des résultats ANA-RAIS

4 a. Trouver une relation entre le grossissement G calculé et les distances focales f'_1 de l'objectif et f'_2 de l'oculaire.
b. Quel oculaire l'astronome doit-il choisir pour obtenir le grossissement le plus important ?

Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique rigoureux COM

5 Comment le grossissement d'une lunette astronomique est-il défini ? Pour une lunette afocale, l'exprimer en fonction des distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

Cours

1 La lunette astronomique

a. Constitution

Une lunette astronomique permet d'observer des objets lointains (photographie A). Elle est composée de deux systèmes optiques convergents.

Une lunette astronomique comporte un **objectif** situé du côté de l'objet observé et un **oculaire** situé du côté de l'œil.

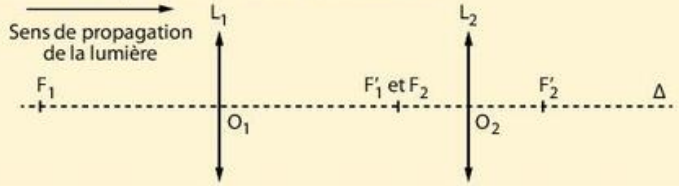
A Lunette astronomique avec « chercheur »



> La mise au point, lors de l'observation, se fait en modifiant la longueur du tube entre l'oculaire et l'objectif.

b. Modélisation

- L'objectif et l'oculaire d'une lunette astronomique sont modélisés par **deux lentilles minces convergentes** L_1 et L_2 ayant le **même axe optique**.
- Lorsque le foyer image F'_1 de l'objectif et le foyer objet F_2 de l'oculaire sont confondus, la lunette est dite **afocale**.



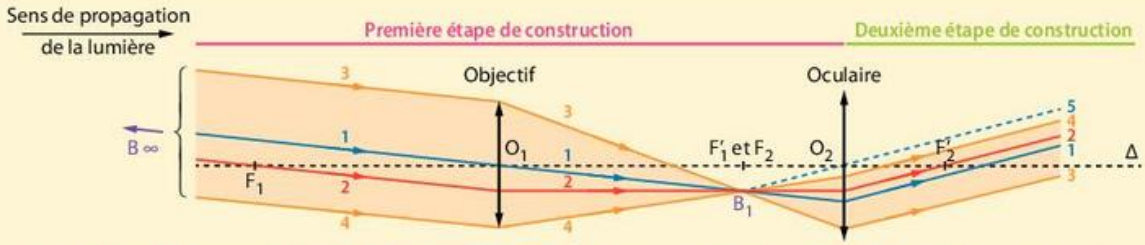
La distance focale f'_1 de l'objectif est plus grande que la distance focale f'_2 de l'oculaire (voir 3. **Le grossissement d'une lunette afocale**).

2 La construction du faisceau traversant une lunette afocale

lycee.hachette-education.com/pc/tle



On admet qu'un **point objet B** infiniment éloigné de l'objectif émet un faisceau lumineux parallèle vers l'objectif.
L'objectif donne de ce point objet, un point B_1 appelé **image intermédiaire**. Ce point image sert ensuite de point objet pour l'oculaire, qui se comporte comme une loupe. L'oculaire forme alors l'**image finale B'** de l'objet.



1re étape – Faisceau émergeant de l'objectif

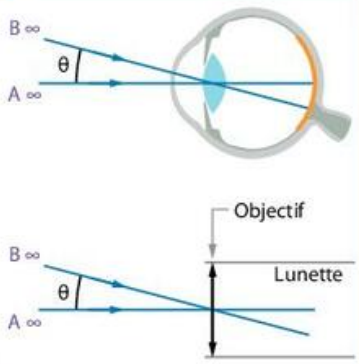
- Tracer :
– le rayon (1) issu de B passant par O_1, non dévié ;
– le rayon (2) issu de B passant par le foyer F_1 qui émerge de l'objectif parallèlement à l'axe optique ;
– le point B_1, image du point B, situé à l'intersection des rayons (1) et (2) ;
– les rayons (3) et (4) issus de B et s'appuyant sur la monture de l'objectif. Ils passent par B_1.
- Poursuivre tous les rayons jusqu'à l'oculaire.

2e étape – Faisceau émergeant de l'oculaire

- Tracer le rayon (5) issu de B_1 passant par O_2, non dévié.
- Prolonger :
– le rayon (2) émergeant de l'oculaire qui coupe l'axe optique au foyer F'_2 ;
– les rayons (3) et (4) émergeant de l'oculaire qui sont parallèles aux rayons (2) et (5).
- Colorer le faisceau délimité par les rayons (3) et (4) s'appuyant sur les bords de la monture de l'objectif.

Le faisceau incident de rayons parallèles émerge de la lunette en un faisceau de rayons parallèles, ce qui caractérise un système **afocal.**

B **Observation d'un objet situé à l'infini**



> L'objet AB étant situé à l'infini, il est vu sous le même angle θ à l'œil nu ou par l'objectif de la lunette.

INFO

Angle (rad)	Tangente
0	0
0,10	0,10
0,20	0,20
0,30	0,31
0,40	0,42
0,50	0,55

> La tangente d'un angle est environ égale à cet angle exprimé en radian lorsqu'il est petit (< 0,30 rad).

C **Lunette commerciale (70/700)**



> L'objectif de cette lunette a un diamètre de 70 mm et une distance focale de 700 mm. Cette lunette est livrée avec deux oculaires, de distance focale 25 mm et 40 mm.

3 Le grossissement d'une lunette afocale

• Le grossissement d'une lunette est une grandeur sans unité liée aux angles sous lesquels on observe l'objet à l'œil nu et son image à travers l'instrument.

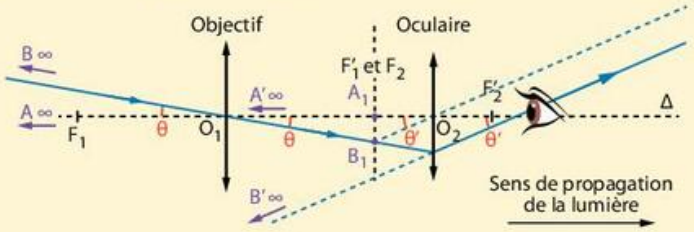
• L'objet AB est vu à l'œil nu sous l'angle θ (schéma B) et l'image A'B' est vue à travers la lunette sous l'angle θ' (schéma ci-dessous).

• Le **grossissement** G d'une lunette est défini par :

$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$

(G sans unité ; θ' et θ exprimés dans la même unité d'angle)

• Établissons l'expression du grossissement d'une lunette afocale.



Le point A_1 image du point A donnée par l'objectif est confondu avec le foyer image F'_1 de l'objectif et avec le foyer objet F_2 de l'oculaire.
L'image A_1B_1 de l'objet AB est perpendiculaire à l'axe optique.

Dans le triangle $O_1F'_1B_1$ rectangle en F'_1 : $\tan\theta = \dfrac{F'_1B_1}{O_1F'_1}$.

Dans le triangle $O_2F_2B_1$ rectangle en F_2 : $\tan\theta' = \dfrac{F_2B_1}{O_2F_2}$.

Les angles θ et θ' sont petits. S'ils sont exprimés en radian, on peut considérer que $\theta = \tan\theta$ et $\theta' = \tan\theta'$ (INFO).

D'où $G = \dfrac{\theta'}{\theta} = \dfrac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \dfrac{\dfrac{F_2B_1}{O_2F_2}}{\dfrac{F'_1B_1}{O_1F'_1}} = \dfrac{O_1F'_1}{O_2F_2}$ car $F'_1B_1 = F_2B_1$.

$O_1F'_1$ est la distance focale f'_1 de la lentille objectif et O_2F_2 est la distance focale f'_2 de la lentille oculaire.

Le **grossissement d'une lunette afocale** s'écrit donc :

$$G = \frac{f'_1}{f'_2}$$

(G sans unité ; f'_1 et f'_2 exprimées dans la même unité de longueur)

• Pour que $G > 1$, il faut que $f'_1 > f'_2$.

• Une lunette afocale donne d'un objet AB à l'infini une image A'B' à l'infini. Cette image A'B' à l'infini devient l'objet pour l'œil qui peut l'observer sans accommoder. L'œil ne fatigue pas.

• Une lunette astronomique est caractérisée par deux nombres :
– le **diamètre** de son objectif exprimé en millimètre ;
– la **distance focale de son objectif** exprimée en millimètre.
On donne également la **distance focale des oculaires** vendus avec la lunette (photographie C).

Les caractéristiques d'une lunette permettent notamment de calculer son **grossissement** dans le cas d'une utilisation en tant que lunette afocale.

L'essentiel

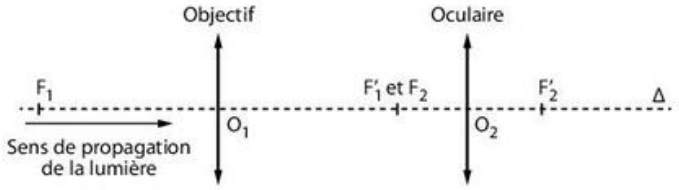
lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Construction du faisceau
QCM
Version interactive

1 La lunette astronomique

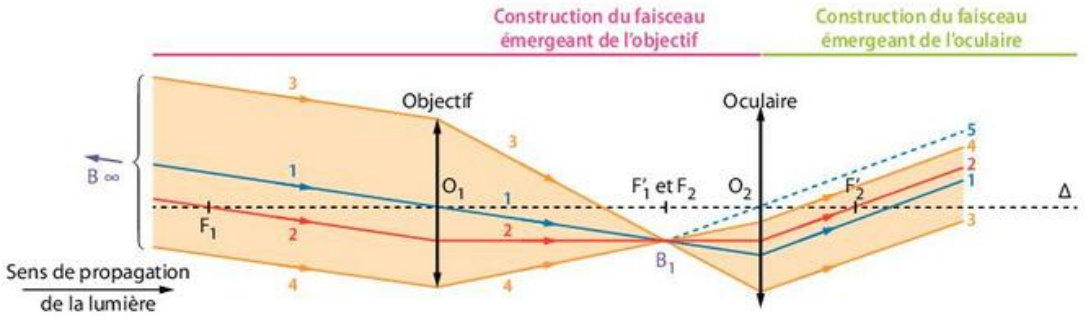


Modélisation d'une lunette astronomique afocale



Le foyer image F'_1 de l'objectif est **confondu** avec le foyer objet F_2 de l'oculaire.

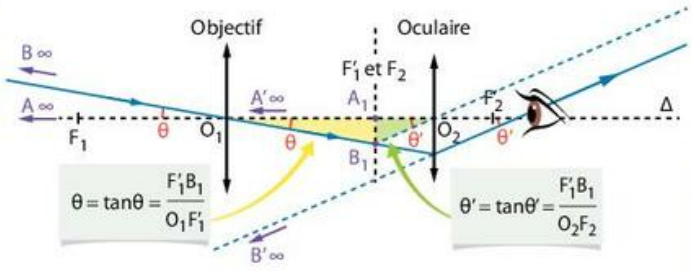
2 La construction du faisceau traversant une lunette afocale



Système **afocal** :
Le faisceau qui est **parallèle à l'entrée** de la lunette (objectif) émerge **parallèle à la sortie** de la lunette (oculaire).

3 Le grossissement d'une lunette afocale

Grossissement G :
$$G = \frac{\theta'}{\theta}$$



Avec θ et θ' petits :

$$\theta = \tan\theta = \frac{F'_1B_1}{O_1F'_1}$$

$$\theta' = \tan\theta' = \frac{F'_1B_1}{O_2F_2}$$

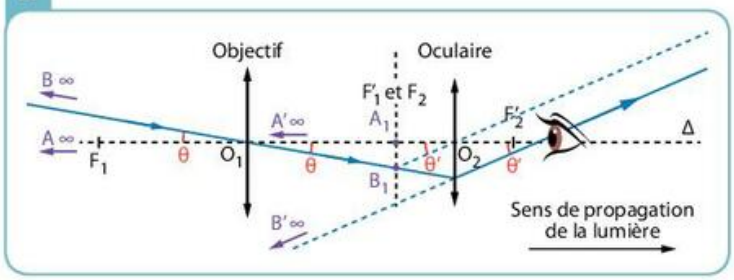
$O_1F'_1 = f'_1$ et $O_2F_2 = O_2F'_2 = f'_2$

Conclusion : $G = \frac{f'_1}{f'_2}$

Une lunette astronomique commerciale est caractérisée par deux nombres exprimés en millimètre :
– le **diamètre de son objectif** ;
– la **distance focale de son objectif**.
Il faut donc aussi connaître la distance focale de l'oculaire pour calculer le grossissement d'une lunette afocale.

QCM

A



Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

	A	B	C

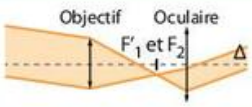
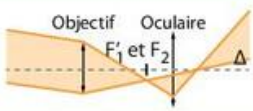
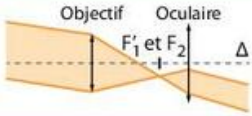
1 La lunette astronomique

Si erreur, revoir § 1 p. 390

1. L'oculaire d'une lunette astronomique est modélisé par :	une lentille mince convergente.	un prisme.	un miroir.
2. Une lunette est dite afocale :	si le foyer objet de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire.	si le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer image de l'oculaire.	si le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire.

2 La construction du faisceau traversant une lunette afocale

Si erreur, revoir § 2 p. 390

3. L'image d'un objet situé à l'infini donnée par l'objectif d'une lunette astronomique afocale est située :	dans le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant le foyer image de l'objectif.	sur la lentille oculaire.	à l'infini.
4. Toute la lumière qui sort de la lunette astronomique y entre par :	l'oculaire.	l'objectif.	l'objectif et l'oculaire.
5. La représentation correcte du faisceau émergent issu d'un point objet situé à l'infini et traversant une lunette afocale est :			

3 Le grossissement d'une lunette afocale

Si erreur, revoir § 3 p. 391

6. Sur le schéma A, θ est égal à :	$\frac{F'_1B_1}{O_1F'_1}$	$\frac{O_1F'_1}{F'_1B_1}$	$\frac{F'_1B_1}{O_2F'_1}$
7. Sur le schéma A, θ' est égal à :	$\frac{O_2F_2}{F_2B_1}$	$\frac{F_2B_1}{O_2F_2}$	$\frac{F_2B_1}{O_1F_2}$
8. Le grossissement G de la lunette afocale du schéma A est égal à :	$\frac{f'_1}{f'_2}$	$\frac{f'_2}{f'_1}$	$f'_1 \times f'_2$
9. La distance focale de l'objectif d'une lunette afocale :	est la même que la distance focale de l'oculaire.	est plus grande que la distance focale de l'oculaire.	est plus petite que la distance focale de l'oculaire.
10. Une lunette astronomique commerciale est caractérisée par :	le diamètre et la distance focale de l'objectif.	les distances focales de l'objectif et de l'oculaire.	le diamètre et la distance focale de l'oculaire.
11. Une image sera d'autant plus grande et lumineuse que :	le diamètre de l'objectif et sa distance focale sont grands.	le diamètre de l'objectif et sa distance focale sont petits.	le diamètre de l'oculaire est grand et sa distance focale petite.

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...	
Représenter le schéma d'une lunette afocale.	Réflexe 1 **Identifier** l'objectif et l'oculaire par leur distance focale. **Schématiser :** – l'axe optique et le sens de propagation de la lumière ; – l'objectif avec ses foyers ; – l'oculaire en confondant son foyer objet avec le foyer image de l'objectif.	Ex. 2 p. 396
Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet B situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale.	Réflexe 2 **Tracer :** – le rayon (1) issu de B passant par le centre optique de l'objectif qui n'est pas dévié ; – le rayon (2) issu de B passant par le foyer objet de l'objectif qui émerge de l'objectif parallèlement à l'axe optique ; – le point B_1, image du point B, situé à l'intersection des rayons (1) et (2) ; – les rayons (3) et (4) issus de B et s'appuyant sur la monture de l'objectif. Ils passent par B_1 ; – le rayon (5) issu de B_1 passant par le centre de l'oculaire qui n'est pas dévié. **Prolonger** : – le rayon (2) émergeant de l'oculaire qui coupe l'axe optique au foyer image de l'oculaire ; – les rayons (3) et (4) émergeant de l'oculaire qui sont parallèles aux rayons (2) et (5) ; – le rayon (1) parallèlement aux rayons émergents déjà tracés. **Colorier** le faisceau délimité par les rayons (3) et (4).	Ex. 6 p. 397
Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale.	Réflexe 3 **Repérer :** – l'angle θ sous lequel l'objet est vu à l'œil nu ; – l'angle θ' sous lequel l'image de l'objet est vue à travers la lunette. **Écrire :** – les relations entre les tangentes des angles θ et θ' et les distances focales de l'objectif et de l'oculaire ; – l'approximation entre la tangente et l'angle exprimé en radian si ce dernier est petit ; – l'expression du grossissement en fonction des distances focales.	Ex. 11 p. 398

1 Exercice résolu

Une lunette astronomique

Faire un schéma adapté ; effectuer des calculs.

Une lunette astronomique afocale est constituée d'un objectif de distance focale $f_1' = 800$ mm et d'un oculaire de distance focale $f_2' = 100$ mm.

1. Schématiser cette lunette astronomique sans souci d'échelle mais de façon cohérente.

2. On observe un point objet B situé à l'infini. Un rayon issu de B atteint le centre optique de l'objectif selon une direction faisant un angle $\theta = 0{,}020$ rad par rapport à l'axe optique.

a. Représenter ce rayon issu de B sans souci d'échelle.

b. Représenter le point image B_1 de B donné par l'objectif, puis le point image B' donné finalement par l'oculaire.

c. Représenter le faisceau émergent issu du point B s'appuyant sur les bords de l'objectif et traversant la lunette.

3. On observe un objet AB infiniment éloigné avec cette lunette, le point A étant sur l'axe optique. θ est l'angle sous lequel cet objet est vu à l'œil nu et θ' l'angle sous lequel son image A'B' est vue à travers la lunette.

a. Exprimer la taille de l'image intermédiaire A_1B_1 en fonction de O_1F_1' et θ. Calculer A_1B_1.

b. Exprimer la tangente de l'angle θ' en fonction de O_2F_2 et A_1B_1. Calculer l'angle θ'.

c. Calculer le grossissement G.

4. Établir le grossissement G en fonction des distances focales f_1' et f_2'. Le calculer et le comparer au résultat précédent.



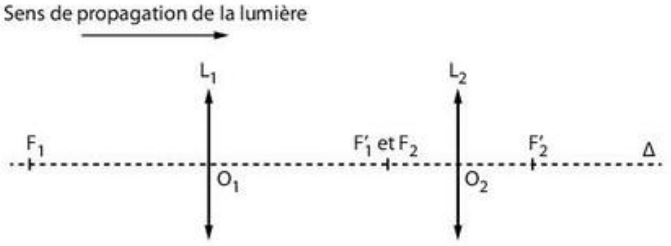
Solution rédigée

• **On utilise le Réflexe 1.**

Identification de l'objectif et de l'oculaire par leur distance focale

Schématisation de :
– l'objectif avec ses foyers
– l'oculaire en confondant son foyer objet avec le foyer image de l'objectif

1.



• **On utilise le Réflexe 2.**

Tracés :
– du rayon (1) issu de B passant par O_1 qui n'est pas dévié
– du rayon (2) issu de B passant par le foyer F_1 qui émerge de l'objectif parallèlement à l'axe optique
– du point B_1, image de B, situé à l'intersection des rayons (1) et (2)
– des rayons (3) et (4) issus de B et s'appuyant sur la monture de l'objectif. Ils passent par B_1
– du rayon (5) issu de B_1 passant par O_2 qui n'est pas dévié

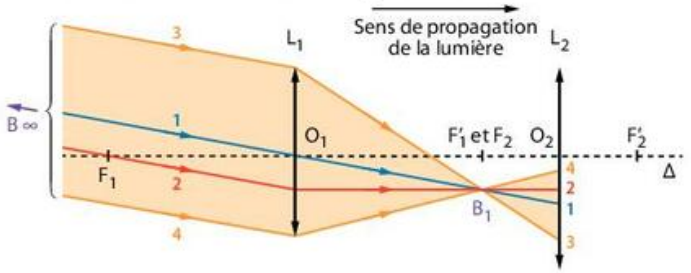
Prolongation :
– du rayon (2) émergeant de l'oculaire qui coupe l'axe optique au foyer F'_2
– des rayons (3) et (4)
– du rayon (1)

Coloriage du faisceau délimité par les rayons (3) et (4)

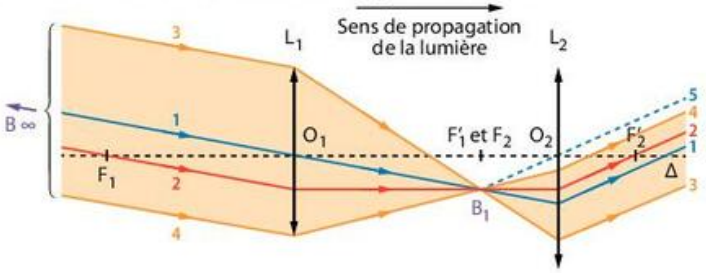
2. a., b. et c.

On effectue la construction en deux étapes.

Étape 1 : construction du faisceau émergeant de l'objectif



Étape 2 : construction du faisceau émergeant de l'oculaire



• **On utilise le Réflexe 3.**

Écriture des relations entre les angles et les distances focales avec l'approximation entre la tangente et l'angle exprimé en radian

Écriture du grossissement en fonction des distances focales

3. a. Le point A étant à l'infini, son image A_1 est confondue avec F'_1. Le triangle $A_1O_1B_1$ est rectangle en A_1

donc $\tan\theta = \dfrac{A_1B_1}{O_1F'_1}$ et $A_1B_1 = O_1F'_1 \times \tan\theta$,

soit $A_1B_1 = 800\ \text{mm} \times \tan(0{,}020\ \text{rad}) = 16\ \text{mm}$.

b. Le triangle $A_1O_2B_1$ est rectangle en A_1 donc $\tan\theta' = \dfrac{A_1B_1}{O_2F_2}$

soit $\tan\theta' = \dfrac{16{,}0\ \text{mm}}{100\ \text{mm}}$ d'où $\theta' = 0{,}160$ rad.

c. $G = \dfrac{\theta'}{\theta} = \dfrac{0{,}160\ \text{rad}}{0{,}020\ \text{rad}} = 8{,}0$.

4. Les deux triangles $A_1O_1B_1$ et $O_2A_1B_1$ sont rectangles en A_1.

Les angles θ et θ' sont petits. S'ils sont exprimés en radian, on peut écrire : $\tan\theta = \theta$ et $\tan\theta' = \theta'$.

Donc $\theta = \dfrac{A_1B_1}{O_1F'_1}$ et $\theta' = \dfrac{A_1B_1}{O_2F_2}$.

$$G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\dfrac{A_1B_1}{O_2F_2}}{\dfrac{A_1B_1}{O_1F'_1}} = \frac{O_1F'_1}{O_2F_2}.$$

Le grossissement est $G = \dfrac{f'_1}{f'_2} = \dfrac{800\ \text{mm}}{100\ \text{mm}} = 8{,}00$.

On retrouve bien le grossissement calculé à la question **3.c.**

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Représenter le schéma d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes ; identifier l'objectif et l'oculaire.	2	16	25
Représenter le faisceau émergent issu d'un point objet situé « à l'infini » et traversant une lunette afocale.	6	15	25
Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale.	11	20	24
Exploiter les données caractéristiques d'une lunette commerciale.	13	20	25

1 La lunette astronomique

2 Reconnaître la schématisation d'une lunette afocale

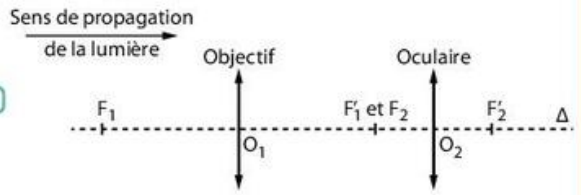
CORRIGÉ

Exploiter un schéma.

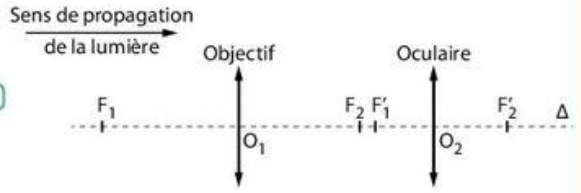
• Quelle est la schématisation correcte d'une lunette afocale parmi celles ci-dessous ?
Justifier le choix.

Utiliser le réflexe 1

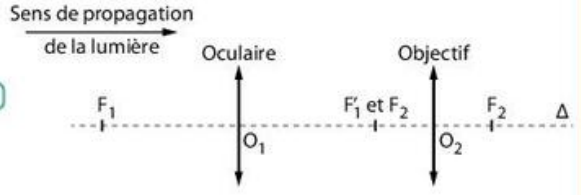
a)



b)



c)



3 Schématiser une lunette afocale

Faire un schéma adapté.

On modélise une lunette afocale par deux lentilles minces convergentes, un objectif de distance focale 20,0 cm et un oculaire de distance focale 5,0 cm.

1. Définir une lunette astronomique afocale.

2. Schématiser cette lunette afocale (échelle : 1,0 cm sur le schéma représente 5,0 cm dans la réalité).

2 La construction du faisceau traversant une lunette afocale

VIDÉO DE COURS Construction du faisceau – QR Code p. 392

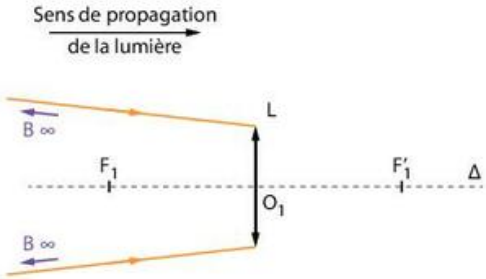
4 Identifier un faisceau lumineux

CORRIGÉ

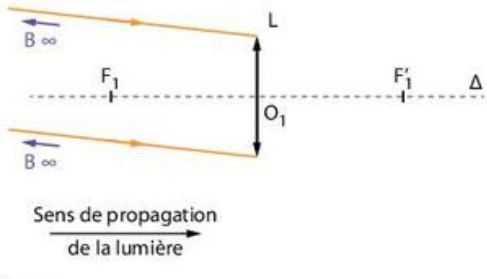
Exploiter un schéma.

1. Quelle est la schématisation représentant correctement le faisceau lumineux issu d'un point objet B situé à l'infini et qui éclaire une lentille mince convergente parmi les propositions ci-dessous ?
Justifier le choix.

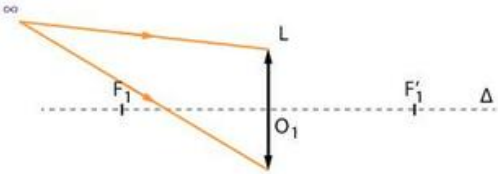
a)



b)



c)

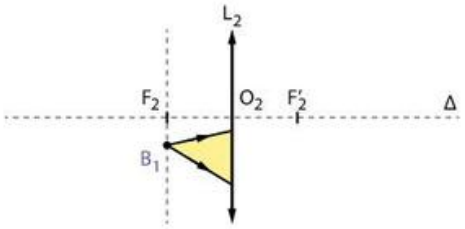


2. Reproduire le schéma correct et construire l'image B_1 de B à travers la lentille L.

5 Représenter un faisceau lumineux émergent

| Faire un schéma adapté

Un point objet B_1 éclaire une lentille mince convergente. Sur le schéma ci-dessous, on a représenté le faisceau lumineux incident.



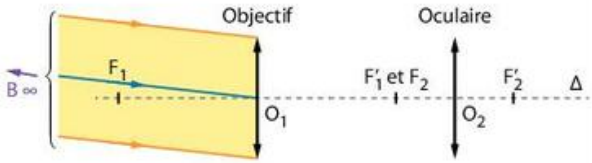
• Reproduire le schéma et représenter le faisceau émergeant de la lentille mince convergente.

6 Représenter le faisceau émergeant d'une lunette afocale

CORRIGÉ

| Faire un schéma adapté.

On a schématisé ci-dessous une lunette astronomique afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes. On a représenté le faisceau lumineux issu d'un point objet B situé à l'infini éclairant l'objectif de la lunette.



• Reproduire le schéma et représenter le faisceau émergent issu du point objet B après traversée de cette lunette.

Utiliser le réflexe 2

7 Connaître quelques caractéristiques d'un faisceau lumineux

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

La lumière issue d'un point objet B, situé à l'infini, traverse une lunette astronomique afocale, modélisée par deux lentilles minces convergentes.

• Les affirmations ci-dessous sont-elles exactes ? Corriger celles qui sont incorrectes.

a. L'image B_1 du point objet B donnée par l'objectif se situe dans le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer image de la lentille modélisant l'objectif de la lunette.

b. L'image B_1 devient un objet pour l'oculaire.

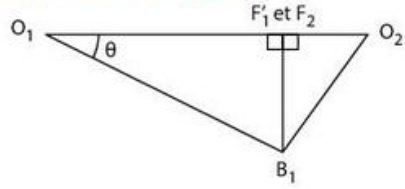
c. Le point B_1 se situe dans le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer image de la lentille modélisant l'oculaire de la lunette.

d. Le faisceau émergeant de l'oculaire est toujours parallèle à l'axe optique.

3 Le grossissement d'une lunette

Côté maths

8 Manipuler une tangente



1. Exprimer la tangente de l'angle θ dans le triangle $B_1O_1F'_1$.
2. Dans le triangle $B_1O_2F_2$, on écrit : $\tan\theta' = \frac{F_2B_1}{O_2F_2}$.

a. Reproduire le schéma et repérer l'angle θ'.

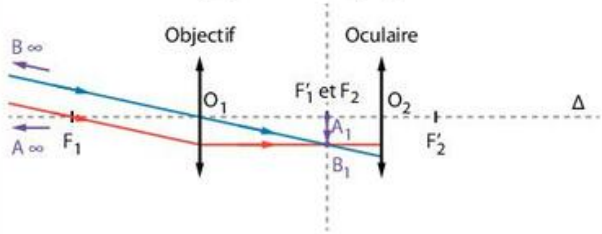
b. À quelle condition peut-on écrire que $\theta' = \frac{F_2B_1}{O_2F_2}$?

9 Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique (1)

CORRIGÉ

| Faire un schéma adapté.

On a représenté, sur le schéma ci-dessous, l'image A_1B_1 d'un objet AB situé à l'infini donnée par l'objectif d'une lunette afocale. A_1B_1 devient objet pour l'oculaire.

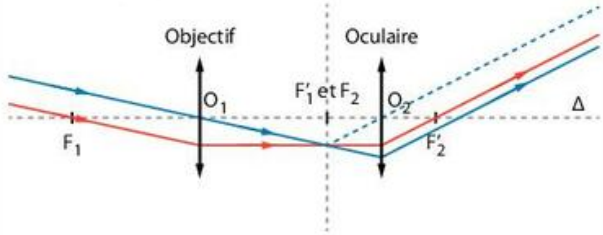


• Reproduire le schéma et le compléter avec les deux rayons émergeant de l'oculaire.

10 Tracer l'image d'un objet situé à l'infini donnée par une lunette astronomique (2)

| Exploiter un schéma.

On a tracé sur le schéma ci-dessous deux rayons issus du point B d'un objet AB situé à l'infini, le point A étant sur l'axe optique.



1. Reproduire le schéma.

2. a. Placer l'image A_1B_1 de l'objet AB donnée par l'objectif.

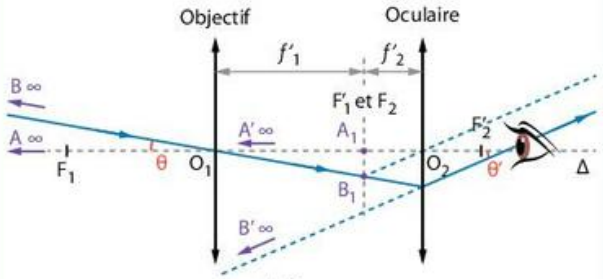
b. Où se situe l'image A'B' de l'objet A_1B_1 donnée par l'oculaire ?

11 Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale

CORRIGÉ

Exploiter un schéma.

On a représenté ci-dessous le schéma d'une lunette afocale.

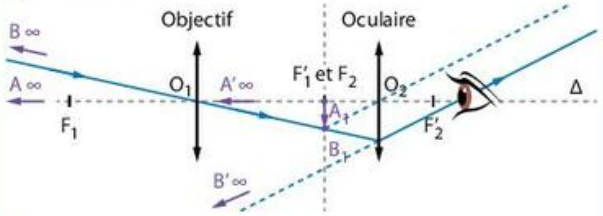


1. Justifier que $\tan\theta = \frac{A_1B_1}{O_1F'_1}$.
2. Exprimer $\tan\theta'$ en fonction de A_1B_1 et O_2F_2.
3. Les angles θ et θ' étant petits, exprimer le grossissement G en fonction de f'_1 et f'_2. Utiliser le réflexe 3

12 Définir le grossissement

Restituer ses connaissances.

1. Reproduire le schéma ci-dessous et représenter les deux angles qui interviennent dans la formule du grossissement.



2. Définir le grossissement G de cette lunette.

13 Connaître les caractéristiques d'une lunette commerciale

CORRIGÉ

Restituer ses connaissances.

1. Quelles sont les indications numériques qui caractérisent l'objectif d'une lunette astronomique ?
2. Quelle est l'unité de ces deux grandeurs ?

14 Exploiter les caractéristiques d'une lunette commerciale

Exploiter des informations.



1. Quelle est la distance focale de l'objectif de cette lunette astronomique ?
2. Quel est le diamètre de l'objectif de cette lunette astronomique ?

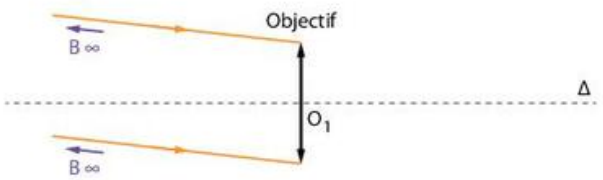
Exercices S'entraîner

15 Trajet d'un faisceau lumineux

CORRIGÉ

Faire un schéma adapté ; mobiliser et organiser ses connaissances.

On a représenté ci-dessous un faisceau lumineux délimité par deux rayons issus d'un point objet B situé à l'infini. Ces rayons arrivent sur une lentille mince convergente modélisant l'objectif d'une lunette astronomique afocale.



L'objectif a une distance focale $f'_1 = 20$ cm et la lentille oculaire, non représentée, a une distance focale $f'_2 = 5{,}0$ cm.

1. Reproduire le schéma de cette lunette astronomique afocale en prenant pour échelle 1,0 cm sur le schéma pour 5,0 cm dans la réalité.
2. Où le point objet B est-il situé ?
3. a. Où l'image intermédiaire B_1 du point objet B à travers l'objectif de la lunette se forme-t-elle ?
   b. Le plan perpendiculaire à l'axe optique qui contient B_1 est le plan focal image de l'objectif et également le plan focal objet de l'oculaire. Justifier l'expression « plan focal ».
4. Tracer le trajet du faisceau lumineux entre les lentilles objectif et oculaire.
5. a. Où l'image finale B' de B_1 donnée par l'oculaire se forme-t-elle ?
   b. Comment les rayons émergent-ils de l'oculaire ?
   c. Prolonger le faisceau émergeant de la lunette astronomique.

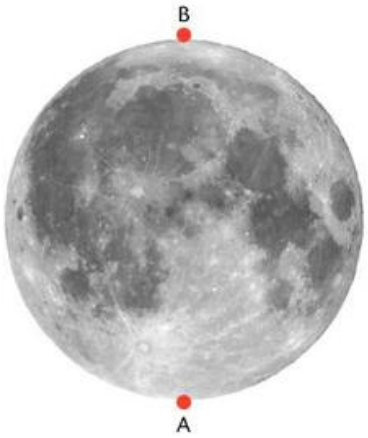
16 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

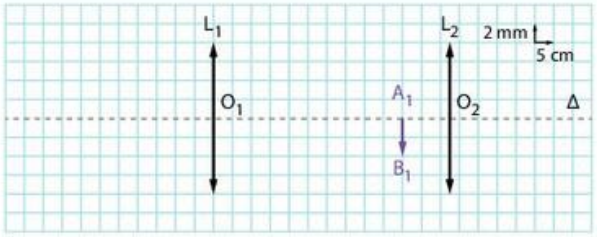
Une lunette au laboratoire

| Effectuer des calculs ; faire un schéma adapté.

On réalise la maquette d'une lunette astronomique afocale à l'aide de deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2 afin d'observer la Lune.



On choisit deux points A et B diamétralement opposés, l'objet AB ainsi défini est considéré à l'infini.
On a représenté, sur le schéma à l'échelle ci-dessous, les deux lentilles, ainsi que l'image intermédiaire A_1B_1 de la Lune donnée par l'objectif.



1. Reproduire la figure sur papier millimétré et tracer le trajet de deux rayons issus du point objet B.
2. Représenter sur la figure l'angle θ sous lequel on voit la Lune à l'œil nu. Le calculer.
3. Calculer la distance Terre-Lune sachant que le diamètre de la Lune est $D = 3{,}47 \times 10^3$ km.
4. Sous quel angle θ' l'image de la Lune donnée par la lunette est-elle vue ?

Critères de réussite

J'ai tracé les rayons à la règle en les fléchant (question 1).	☐ ☐
J'ai écrit l'expression littérale de la grandeur à calculer en respectant les notations du schéma et du texte (questions 2, 3 et 4).	☐ ☐
J'ai précisé l'unité des grandeurs qui interviennent dans le calcul, ainsi que l'unité du résultat final lors de l'application (questions 2, 3 et 4).	☐ ☐
J'ai rédigé une phrase pour indiquer le résultat final (questions 2, 3 et 4).	☐ ☐

17 Construction graphique

| Faire un schéma adapté.

On observe un objet AB à l'infini à l'aide d'une lunette afocale modélisée par deux lentilles minces convergentes de distance focale 5,0 cm et 50,0 cm. Le point objet A se situe sur l'axe optique de la lunette.

1. Quelle lentille modélise l'objectif ?
2. Schématiser cette lunette en prenant comme échelle 1,0 cm sur le schéma pour 5,0 cm dans la réalité.
3. Construire l'image intermédiaire A_1B_1 de l'objet AB donnée par la lentille objectif.
4. Construire l'image A'B' de l'objet AB à travers la lunette.

18 The Exposition universelle of 1900

| Pratiquer une langue vivante étrangère.



The refracting telescope[1], built by François DELONCLE for the Exposition universelle in Paris, was the largest refracting telescope ever built.

It had two interchangeable objective lenses of 1,25 m in diameter, with a focal length of 57 m.

Due to its extremely large size, the refracting telescope was mounted in a fixed horizontal position. A movable plane mirror was used to redirect the light coming from the astronomical objects into the refracting telescope.

As the refracting telescope was not suited for scientific use, it was dismantled at the end of the exhibition but the two lenses are still stored at the Paris Observatory.

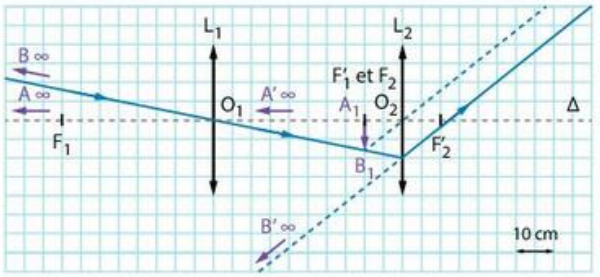
Vocabulary: 1. *refracting telescope*: lunette astronomique.

1. What focal length does the text refer to?
2. Where would the intermediate image of an infinitely distant object be with this telescope?
3. How would the telescope's characteristics be written?
4. What data is missing to calculate the magnification of this telescope?
5. What is the purpose of such dimensions?
6. Why was the telescope set horizontally?

19 Une lunette par le calcul

Exploiter un schéma, des informations ; effectuer des calculs.

On a schématisé ci-dessous une lunette astronomique afocale modélisée par deux lentilles minces L_1 et L_2. On a également représenté la construction graphique de l'image A'B' d'un objet AB, situé à l'infini, donnée par la lunette astronomique.



1. a. Quelle lentille modélise l'objectif ?

b. Déterminer graphiquement les distances focales de l'objectif et de l'oculaire.

2. a. Déterminer graphiquement la position de l'image intermédiaire A_1B_1 donnée par L_1.

b. Retrouver ce résultat à l'aide de la relation de conjugaison appliquée à la lentille L_1.

3. a. Déterminer graphiquement la position de l'image finale A'B' de l'objet A_1B_1 donnée par L_2.

b. Retrouver ce résultat à l'aide de la relation de conjugaison appliquée à la lentille L_2.

Donnée

Relation de conjugaison :

$$\frac{1}{x_{A'}} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{f'} \text{ ou } \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

20 À chacun son rythme

CORRIGÉ

L'étoile Albireo

Effectuer des calculs ; exploiter des informations ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

L'étoile Albireo de la constellation de Cassiopée est une « étoile double ». Ces deux étoiles sont vues à l'œil nu, depuis la Terre, sous un angle de 34 secondes d'arc.



A Fiche technique d'une lunette astronomique afocale

Focale de l'objectif	700 mm
Diamètre de l'objectif	70 mm
Masse du tube optique	1,45 kg
2 oculaires interchangeables	10 mm et 25 mm
1 trépied réglable	Hauteur 67 cm à 119 cm

B Le pouvoir séparateur de l'œil

Le pouvoir séparateur est l'angle minimal ε sous lequel deux points lumineux peuvent être vus séparés. Pour l'œil humain, $\varepsilon = 3 \times 10^{-4}$ rad. Ainsi, deux points lumineux distincts, vus sous un angle inférieur à 3×10^{-4} rad, sont perçus par l'œil comme un seul point lumineux.

Énoncé compact

Peut-on distinguer les deux étoiles d'Albireo ?

Énoncé détaillé

1. Exprimer, en radian, l'angle θ sous lequel l'étoile double Albireo est vue à l'œil nu.

2. a. Établir l'expression du grossissement d'une lunette afocale. On pourra s'aider d'un schéma.

b. Calculer le grossissement maximal de cette lunette astronomique.

3. Calculer l'angle maximal θ' sous lequel est vue l'image de l'étoile double Albireo à travers cette lunette afocale.

4. Peut-on distinguer les deux étoiles d'Albireo ?

Donnée

1 degré d'arc est égal à 3 600 secondes d'arc.

21 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Victor Hugo et François Arago

Construire les étapes d'une résolution de problème.



En 1834, François Arago (ci-contre) propose à Victor Hugo d'observer la Lune à l'aide d'une lunette astronomique. Victor Hugo écrit plus tard dans « Le promontoire du songe » :

« Arago : Regardez.

Un instant après, Arago poursuivit.

Arago : Vous venez de faire un voyage.

Hugo : Quel voyage ?

Arago : Tout à l'heure, comme tous les habitants de la Terre, vous étiez à quatre-vingt-dix mille lieues de la Lune.

Hugo : Eh bien ?

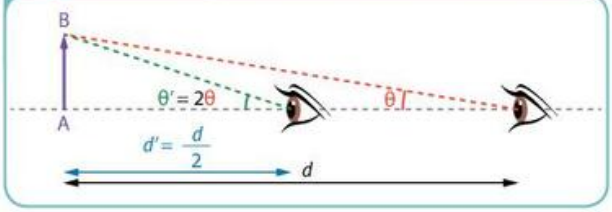
Arago : Vous en êtes maintenant à deux cent vingt-cinq lieues. »

- L'affirmation de François Arago est-elle exacte ?

A Lunette astronomique de François Arago

On estime que la lunette astronomique qu'utilisait F. Arago avait un objectif de distance focale $f'_1 = 6{,}0$ m et un oculaire de distance focale $f'_2 = 1{,}5$ cm.

B Distance et angle



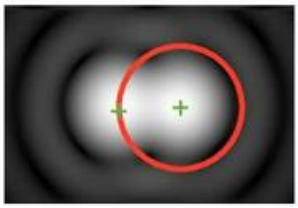
22 Pouvoir de résolution d'une lunette astronomique

Exploiter des informations ; discuter un résultat.

Les « étoiles doubles » sont si proches l'une de l'autre qu'il est souvent impossible de les distinguer à l'œil nu.

A Résolution angulaire d'une lunette astronomique

La résolution angulaire β d'une lunette astronomique est l'angle minimal séparant deux points objets dont la lunette donne des images distinctes.



Ces deux points lumineux ne sont pas vus séparément à l'œil nu.

Cette limite de résolution est liée au phénomène de diffraction dû à la monture de l'objectif.

β, en radian, a pour expression :

$$\beta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$$

où d est le diamètre de l'objectif et λ la longueur d'onde de la radiation émise avec le maximum d'intensité par l'étoile observée.

B Pouvoir séparateur de l'œil

Le pouvoir séparateur de l'œil est l'angle minimal ε sous lequel deux points lumineux sont vus séparément : $\varepsilon = 3{,}0 \times 10^{-4}$ rad.

C Achird de la constellation Cassiopée

Les deux étoiles d'Achird sont séparées par un angle $\alpha = 2{,}8 \times 10^{-3}$ ° comme indiqué ci-dessous :



La longueur d'onde de la radiation émise avec le maximum d'intensité par cette étoile double est proche de 485 nm.

1. Calculer la résolution angulaire d'une lunette dont l'objectif a un diamètre de 100 mm, lors de l'observation d'Achird.

2. Le phénomène de diffraction empêche-t-il l'observation d'Achird avec cette lunette ?

3. Calculer le grossissement minimal de la lunette pour que les images de deux objets, séparés d'un angle β, soient vues séparément par l'œil.

4. a. Calculer alors l'angle sous lequel on observe Achird à travers la lunette.

b. Les images des deux étoiles d'Achird données par la lunette sont-elles vues séparément par l'observateur ?

23 Lunette astronomique et luminosité

Effectuer des calculs ; extraire et organiser l'information.

A La luminosité

Une lunette astronomique est caractérisée notamment par son grossissement. L'espace étant peu lumineux, il faut essayer de capter le maximum de lumière pour réaliser une observation exploitable.

Sur des sites spécialisés dans les lunettes astronomiques, on peut lire : « Une lunette de 120 mm de diamètre récolte 44 % de luminosité supplémentaire par rapport à une lunette de 100 mm. » On admet que la quantité de lumière captée est proportionnelle à la surface de l'objectif.

B Un télescope

Un télescope est un instrument d'optique permettant des observations astronomiques. La différence essentielle par rapport à une lunette astronomique est que l'objectif d'un télescope est un miroir concave (courbe et convergent). À diamètre égal, ce miroir concave est bien moins onéreux qu'une lentille convergente.



C Tableau comparatif pour l'observation de Saturne

Diamètre de l'objectif	G entre 30 × et 70 ×	G entre 70 × et 140 ×	G supérieur à 140 ×
70 mm	On commence à distinguer Saturne en tout petit.	On voit ses anneaux et son plus gros satellite Titan.	Les bandes de Saturne peuvent être visibles.
114 mm	Idem	Idem et deux satellites sont visibles.	Idem et les trois anneaux séparés sont visibles.
150 mm	Idem	Idem et trois satellites sont visibles.	L'anneau extérieur peut être observé distinctement.

Extrait du site www.naturoptic.com

1. Justifier par le calcul l'indication écrite entre guillemets dans le texte A.

2. Que permettent un grossissement et un diamètre d'objectif plus grands quand on observe l'espace ?

3. Comment expliquer qu'à grossissement égal, certains satellites de Saturne soient ou non visibles ?

4. À grossissement égal, quel est l'intérêt d'utiliser un télescope plutôt qu'une lunette astronomique ?

Donnée

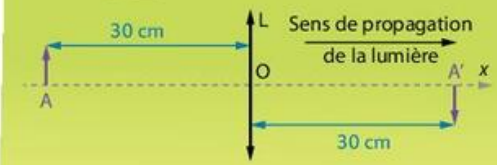
La surface d'un disque de rayon R est $\pi \times R^2$.

Vers le BAC

Ne pas confondre γ et G

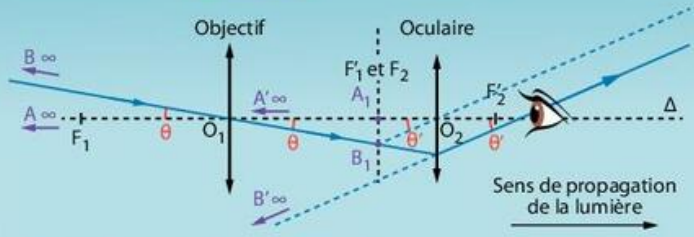
Grandissement $\gamma \neq G$ Grossissement

Faire attention au signe des valeurs algébriques



- Distance OA = + 30 cm MAIS $\overline{OA}$ = − 30 cm
- Distance OA' = + 30 cm ET $\overline{OA'}$ = + 30 cm

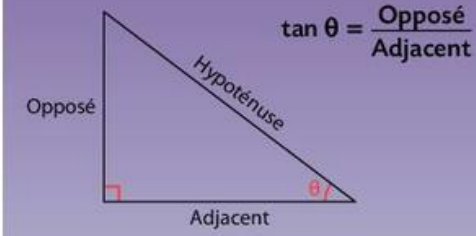
Bien comprendre le rôle de l'image intermédiaire



- Pour **l'objectif, A_1B_1 = image.**
- Pour **l'oculaire, A_1B_1 = objet.**

Y penser lors de l'utilisation des relations de conjugaison ou de grandissement.

Connaître la tangente d'un angle



Préparation à l'écrit

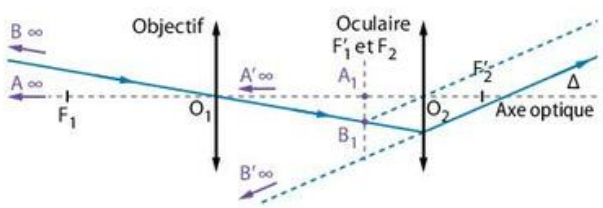
→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 394

24 CORRIGÉ — 40 min

Grossissement et œil réduit

Faire un schéma adapté ; mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; écrire un résultat de manière adaptée.

On modélise une lunette astronomique afocale par deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2 de distances focales respectives $f'_1 = (50{,}0 \pm 0{,}1)$ cm et $f'_2 = (5{,}0 \pm 0{,}1)$ cm.
On dispose d'une troisième lentille mince convergente L_3 de distance focale $f'_3 = 20{,}0$ cm et d'un écran afin de modéliser un œil.
On souhaite observer, à l'aide de la lunette afocale, un bâtiment AB supposé à l'infini et vu à l'œil nu sous un angle θ.
On a schématisé ci-dessous la situation sans souci d'échelle.



1. a. Définir le grossissement G de cette lunette astronomique.
b. Recopier et compléter le schéma en plaçant les angles θ et θ' correspondants.

On remplace la lunette par le modèle de l'œil réduit.
2. a. Construire, sans souci d'échelle, l'image A_3B_3 de l'objet AB supposé à l'infini donnée par la lentille L_3.
b. Où retrouve-t-on l'angle θ sur le schéma ?
c. Exprimer puis calculer θ en fonction de f'_3 et A_3B_3, sachant que l'on mesure sur l'écran $A_3B_3 = 1{,}3$ cm.

On place maintenant le modèle de l'œil derrière la lunette astronomique afocale.
3. a. Que représente A'B' pour la lentille L_3 ?
b. Construire l'image $A'_3B'_3$ de A'B' à travers la lentille L_3. Où retrouve-t-on l'angle θ' ?
c. Calculer θ' sachant que l'on mesure $A'_3B'_3 = 14{,}9$ cm sur l'écran modélisant la rétine.
4. Calculer alors le grossissement G de cette lunette.
5. a. Exprimer le grossissement G de cette lunette astronomique afocale en fonction de f'_1 et f'_2. Le calculer.

Utiliser le réflexe 3

b. Évaluer l'incertitude-type de mesure $u(G)$ sur le grossissement G qui a pour expression :

$$u(G) = G \times \sqrt{\left(\frac{u(f_1')}{f_1'}\right)^2 + \left(\frac{u(f_2')}{f_2'}\right)^2}$$

Exprimer le résultat sous la forme $G \pm u(G)$.

c. Ce résultat confirme-t-il le grossissement déterminé expérimentalement ?

25 CORRIGÉ 40 min

Et la lumière fut

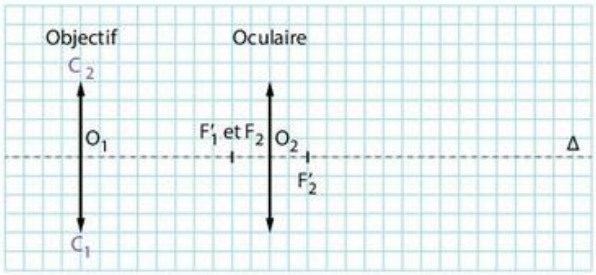
Faire un schéma adapté ; mobiliser et organiser ses connaissances ; effectuer des calculs ; faire preuve d'esprit critique et argumenter.

A De la lumière pour y voir

Pour que l'image d'une lunette astronomique soit lumineuse, on peut jouer sur deux facteurs :
– utiliser des objectifs de grand diamètre qui vont naturellement laisser entrer une quantité de lumière plus importante ;
– placer l'œil derrière l'oculaire de la lunette, à l'endroit où la lumière est la plus concentrée.

B Le cercle oculaire

Le cercle oculaire est la section la plus étroite de tous les faisceaux émergeant de la lunette astronomique. C'est donc l'endroit où la lumière émergeant de la lunette est la plus concentrée. Pour le situer, il faut savoir que le contour du cercle oculaire est l'image du contour de l'objectif donnée par l'oculaire.



Sur le schéma, les points C_1 et C_2 délimitent le contour de l'objectif d'une lunette 70/800.

Les parties I et II sont indépendantes.

Partie I Faisceau lumineux émergeant d'une lunette

1. Schématiser, sans souci d'échelle, une lunette astronomique afocale modélisée par deux lentilles minces L_1 et L_2. Utiliser le réflexe 1

2. a. Représenter un faisceau lumineux incident issu d'un point objet B situé à l'infini qui éclaire toute la surface de l'objectif L_1. Utiliser le réflexe 2

b. À quel plan perpendiculaire à l'axe optique le point B_1, image de B donnée par L_1, appartient-il ?

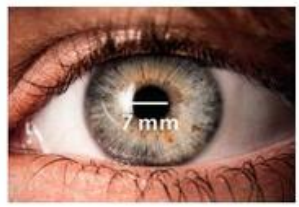
c. Tracer ce faisceau entre les lentilles L_1 et L_2.

3. a. Où se situe le point B', image de B_1 donnée par la lentille oculaire ? Utiliser le réflexe 2

b. Tracer le faisceau émergeant de la lunette afocale.

Partie II Le cercle oculaire

La pupille est la surface de l'œil par laquelle pénètre la lumière. Les lunettes astronomiques sont construites de façon à avoir un cercle oculaire de diamètre inférieur à celui de la pupille de l'œil.



• Vérifier que la lunette décrite au document **B** vérifie cette condition.

Coup de pouce QR Code p. 392

Données

• Relation de conjugaison :

$$\frac{1}{x_{A'}} - \frac{1}{x_A} = \frac{1}{f'} \text{ ou } \frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$$

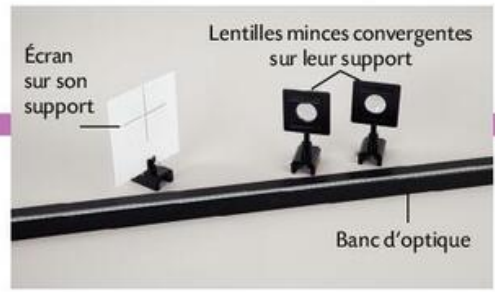
• Relation de grandissement :

$$\gamma = \frac{y_{B'}}{y_B} = \frac{x_{A'}}{x_A} \text{ ou } \gamma = \frac{\overline{A'B'}}{\overline{AB}} = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

• Distance focale de l'oculaire de la lunette du document **B** : $f_2' = 20{,}0$ cm.

Préparation à l'ECE

On dispose de deux lentilles minces convergentes L_1 et L_2, et d'un banc d'optique afin de réaliser une lunette astronomique.



On cherche la position de l'image d'un immeuble très lointain formée par chacune des deux lentilles. On mesure $d_1 = 50{,}0$ cm entre le centre de la lentille L_1 et l'écran. On mesure également $d_2 = 12{,}5$ cm pour L_2.

1. CON Quelle lentille doit-on utiliser pour l'objectif ?

2. CON • RÉA O_1 et O_2 sont les centres optiques des deux lentilles minces convergentes.

Quelle distance O_1O_2 doit-on imposer afin de réaliser une lunette astronomique afocale ?

3. APP • ANA-RAIS Proposer un protocole pour vérifier que l'image intermédiaire A_1B_1 est réelle et renversée par rapport à l'objet AB.

4. RÉA Calculer le grossissement de la lunette réalisée.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Éviter les gestes parasites

Lors d'un entretien, des gestes comme se ronger les ongles, gigoter ou jouer avec ses cheveux peuvent trahir l'état d'esprit de celui qui s'exprime et donner à l'auditoire des informations non souhaitées.
Marcher sans arrêt est énervant pour l'auditoire avec lequel on perd le contact visuel.
Si l'exposé est derrière un bureau, qui forme une barrière avec l'assistance, il est préférable de ne pas rester immobile et de s'avancer parfois vers l'auditoire pour insister sur un point important.



ENTRETIEN D'EMBAUCHE : CES GESTES INCONSCIENTS QUI EN DISENT LONG

- **Visionner la vidéo ci-contre.**
- **Repérer les gestes parasites à éviter, mais surtout les gestes permettant d'avoir une contenance ou de souligner son propos.**

À deux, c'est mieux

Lunette astronomique
La lunette astronomique, inventée au début du XVIIe siècle, a permis à GALILÉE d'observer des objets non visibles à l'œil nu. En 1610, il découvre des satellites de Jupiter (photomontage ci-contre). Cela lui permet de valider les hypothèses sur le fait que la Terre n'est pas au centre de l'Univers, mais tourne autour du Soleil.



- **Écrire un texte afin d'expliquer l'importance de la découverte de Galilée sur la conception de l'Univers.**
- **Mémoriser ce texte et le présenter à un camarade en veillant à éliminer tout geste parasite.**
- **Évaluer la présentation à l'aide des critères ci-contre.**

Ensuite, inverser les rôles et faire de même. Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite

Éviter les gestes parasites		
Les gestes parasites sont éliminés.	☐	☐
Des gestes maîtrisés de la main permettent d'insister sur ce qui est dit.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur

La lunette astronomique

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

- De quoi est composée une **lunette astronomique** ?
- Qu'est-ce qu'une **lunette afocale** ?
- Quelle est l'expression du **grossissement** d'une lunette astronomique ?

20 La lumière : un flux de photons



La production d'électricité par des panneaux photovoltaïques est en forte croissance, même dans des zones géographiques que l'on pourrait croire inadaptées.

- Comment déterminer le rendement d'un panneau photovoltaïque ?

> Rendez-vous : exercice 18 p. 419

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Décrire l'effet photoélectrique, ses caractéristiques et son importance historique. **Activité 1 p. 407**
- Interpréter qualitativement l'effet photoélectrique à l'aide du modèle particulaire de la lumière. **Activité 1 p. 407**
- Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence. **Activité 1 p. 407**
- Expliquer qualitativement le fonctionnement d'une cellule photoélectrique. **Activité 2 p. 408**
- Citer quelques applications actuelles mettant en jeu l'interaction photon-matière. **Exercice 12 p. 417**
- Déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque. **Activité 2 p. 408**

Vu en 1re

La lumière

Lumière

Onde électromagnétique

- Célérité dans le vide et dans l'air : $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ m \cdot s^{-1}$
- Sa fréquence et sa longueur d'onde sont liées par : $\lambda = \frac{c}{\nu}$ (λ en m, c en $m \cdot s^{-1}$, ν en Hz)

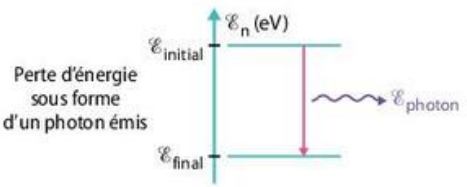
Photons

Quantum d'énergie de chaque photon : $\mathscr{E}_{photon} = h \times \nu$ ($\mathscr{E}_{photon}$ en J, h en J·s, ν en Hz)

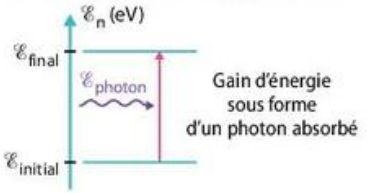
Le photon se déplace dans le vide à la célérité c.

Interaction lumière-matière

Émission de lumière par un atome



Absorption de lumière par un atome



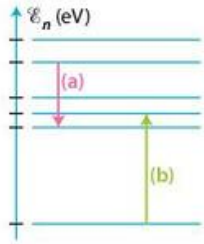
$$\Delta\mathscr{E} = |\mathscr{E}_{final} - \mathscr{E}_{initial}| = \mathscr{E}_{photon} = h \times \nu = h \times \frac{c}{\lambda}$$

Réactiver ses connaissances

VIDÉO Interpréter et prévoir des spectres – QR Code p. 412

Le spectre de la lumière émise par l'hélium comporte notamment une raie de longueur d'onde dans le vide égale à 505 nm.





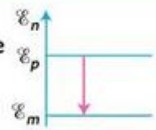
1. Calculer la fréquence de cette radiation.
2. Déterminer l'énergie transportée par chacun des photons de cette radiation.
3. Laquelle des transitions (a) ou (b) du schéma ci-contre est mise en jeu lors de l'émission de cette radiation ?
4. Décrire l'aspect du spectre d'absorption de l'hélium.

Donnée

Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ J \cdot s$.

Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. La célérité de la lumière dans le vide vaut :	$3{,}0 \times 10^{5}\ m \cdot s^{-1}$	$3{,}0 \times 10^{8}\ m \cdot s^{-1}$	$3{,}0 \times 10^{5}\ km \cdot h^{-1}$
2. L'énergie d'un photon peut s'exprimer en :	joule par seconde.	joule.	électronvolt.
3. La transition énergétique ci-contre correspond à : 	l'absorption d'un photon.	l'émission d'un photon.	l'émission ou l'absorption d'un photon.
4. Lors de l'absorption d'un photon, l'énergie d'un atome :	augmente toujours.	diminue toujours.	peut augmenter ou diminuer.

Activité documentaire 1

L'effet photoélectrique

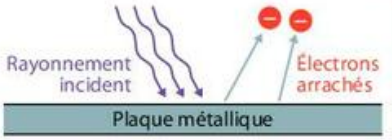
Notion : Effet photoélectrique

Découvert en 1887 par Einrich HERTZ, l'effet photoélectrique a de nombreuses applications : photodiodes, caméras, etc.

▶ Objectif de l'activité : Comment expliquer l'effet photoélectrique ?

A Description de l'effet photoélectrique

Lorsqu'un matériau métallique est éclairé par une onde électromagnétique de longueur d'onde suffisamment courte, des électrons sont arrachés à sa surface de façon quasi instantanée.



B Une brève histoire de l'effet photoélectrique

1888 – Wilhelm HALLWACHS présente l'expérience suivante.

❶ On charge négativement l'électroscope et une lame de zinc en contact avec lui.

❷ La lame de zinc est éclairée, ce qui provoque la décharge progressive de l'électroscope.



1899-1902 – Philipp LENARD fait une série d'observations :



- les radiations UV arrachent des électrons aux métaux de manière quasi instantanée. Ce n'est pas toujours le cas des radiations visibles ;
- lorsque les électrons sont arrachés :
  – leur nombre est proportionnel à l'éclairement,
  – leur énergie cinétique est indépendante de l'éclairement,
  – leur énergie cinétique augmente quand la longueur d'onde de la radiation incidente diminue.

Le modèle ondulatoire de la lumière, admis à l'époque, ne permet pas d'expliquer ces phénomènes.



1905 – Albert EINSTEIN publie un article expliquant que la lumière pourrait être un ensemble de particules (plus tard nommées photons). Chaque particule possède une énergie inversement proportionnelle à la longueur d'onde λ du rayonnement lumineux :

$\mathcal{E}_{photon}$ en J ; $\mathcal{E}_{photon} = h \times \frac{c}{\lambda}$; h en J·s ; c en m·s^{-1} ; λ en m

- L'effet photoélectrique ne se manifeste que si l'énergie du photon est supérieure au travail d'extraction d'un électron du métal noté $W_{extraction}$. L'énergie excédentaire est emportée par l'électron sous forme d'énergie cinétique.

Données

- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

Analyse des documents

Interpréter des observations VAL

1 Observer le schéma de l'expérience de Wilhelm HALLWACHS, puis interpréter cette expérience.

Extraire et organiser l'information ANA-RAIS

2 Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie du photon incident, celle transférée pour arracher un électron du métal et celle emportée par l'électron arraché.

Discuter un modèle VAL

3 Comment la proposition d'Albert EINSTEIN permet-elle d'expliquer l'observation de Philipp LENARD, selon laquelle les radiations UV sont davantage capables d'arracher des électrons aux métaux que les rayonnements visibles ?

Effectuer des calculs RÉA

4 Pour le zinc, le travail d'extraction d'un électron est 3,63 eV. Calculer la valeur de la vitesse d'un électron arraché d'une lame de zinc soumise à un rayonnement UV de longueur d'onde 300 nm.

Un pas vers le cours

Rendre compte à l'écrit en utilisant un vocabulaire adapté COM

5 Comment expliquer l'effet photoélectrique ?

Activité 2 expérimentale

Rendement d'une cellule photovoltaïque

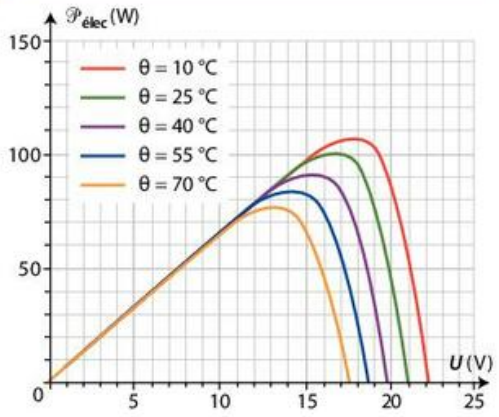
Notion : Rendement

Le 18 octobre 2019, la France inaugure sa première centrale photovoltaïque flottante. Installée sur le lac artificiel de Piolenc dans le Vaucluse, elle possède une puissance maximale de 10 MW et un meilleur rendement que si elle était située sur la terre ferme.



▶ Objectif de l'activité : Comment déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque ?

A Puissance électrique d'un panneau photovoltaïque et température



À éclairement constant, la puissance électrique $\mathcal{P}_{élec}$ fournie par un panneau de cellules photovoltaïques dépend de la température.

MATÉRIEL DISPONIBLE



COMPLÉMENT SCIENTIFIQUE

- La cellule photovoltaïque a pour symbole :



- La puissance lumineuse reçue est le produit de l'éclairement $E_{éclair}$, exprimé en $W \cdot m^{-2}$, par la surface S utile du convertisseur, exprimée en m^2.

$\mathcal{P}_{lum}$ en W ⟶ $\mathcal{P}_{lum} = E_{éclair} \times S$ ⟵ S en m^2 ; ⟵ $E_{éclair}$ en $W \cdot m^{-2}$

- Le rendement de conversion d'un convertisseur, noté η, est une grandeur sans dimension qui mesure l'efficacité de sa conversion.

Il est défini par :

$$\eta = \frac{\mathcal{P}_{exploitable}}{\mathcal{P}_{entrée}}$$

sans unité ⟵ ; $\mathcal{P}$ en W ⟵

Le rendement est toujours inférieur ou égal à 1. Il peut être exprimé en pourcentage.
Plus le rendement se rapproche de 1, plus le convertisseur est efficace.

Pratique expérimentale

Élaborer et mettre en œuvre un protocole ANA-RAIS · RÉA

1 Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant de représenter la caractéristique tension-intensité $I = f(U)$ d'une cellule photovoltaïque et de déterminer l'éclairement de la cellule.

Tracer un graphique RÉA

2 Représenter la courbe $\mathcal{P}_{élec} = f(U)$ et déterminer la puissance électrique maximale fournie par la cellule photovoltaïque.

Effectuer des calculs RÉA

3 Exprimer, puis calculer, le rendement maximal de conversion de la cellule photovoltaïque dans les conditions de l'expérience.

Extraire et organiser l'information APP

4 Indiquer l'intérêt de placer des cellules photovoltaïques sur un lac.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

5 Comment déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque ?

A Heinrich Hertz



1 L'effet photoélectrique

a. Description de l'effet photoélectrique

• En 1887, Heinrich Hertz (photographie A) réalise des expériences sur les ondes électromagnétiques de grande longueur d'onde, appelées depuis ondes hertziennes. Il remarque qu'un rayonnement ultraviolet favorise des décharges électriques, sous forme d'étincelles, au niveau des électrodes métalliques de son détecteur d'ondes hertziennes. S'il identifie la cause du phénomène observé, il ne sait pas l'interpréter.

• Par la suite, d'autres scientifiques étudient ces phénomènes :
– En 1888, Wilhem Hallwachs constate qu'une plaque de zinc éclairée par de la lumière ultraviolette se charge positivement.
– Entre 1889 et 1895, Julius Elster et Hans Geitel établissent un classement des métaux vis-à-vis de ce phénomène. Ils montrent notamment que pour les métaux alcalins, les lumières visible et ultraviolette permettent d'observer cet effet. Pour les autres métaux, l'effet n'est visible qu'avec de la lumière ultraviolette.
– En 1900, Philipp Lenard montre que des particules négatives sont arrachées d'une plaque métallique sous l'effet de la lumière. Ces particules négatives sont en fait des électrons (schéma B), découverts en 1897 par Joseph John Thomson.

Le modèle ondulatoire de la lumière, qui était le modèle admis à l'époque, ne permet pas d'expliquer ces différentes observations.

• En 1905, Albert Einstein postule que la lumière est constituée d'un ensemble de quanta d'énergie. Sa théorie lui permet, entre autres, d'expliquer les observations de P. Lenard. En 1916, son interprétation est validée par les expériences de Robert Andrew Millikan. En 1926, Gilbert Newton Lewis nomme « photons » les particules de lumière porteuses de ces quanta d'énergie.

B Effet photoélectrique



> Des électrons sont arrachés du métal sous l'effet d'une radiation lumineuse.

L'**effet photoélectrique** est le phénomène d'éjection d'électrons d'un métal sous l'effet de radiations lumineuses. Pour un métal donné, cet effet ne se manifeste que pour des photons d'énergie suffisamment grande. L'effet est alors quasi instantané.

Rappels

• La lumière peut être décrite comme un flux de photons. Chaque photon possède une masse nulle et se propage à la célérité c de la lumière. Dans le vide, $c = 299\,792\,458\ m \cdot s^{-1}$. Cette valeur est souvent arrondie à $3{,}00 \times 10^{8}\ m \cdot s^{-1}$.
• Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ J \cdot s$.

b. Énergie du photon

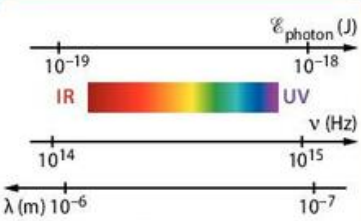
• L'énergie d'un photon est proportionnelle à la fréquence ν de l'onde lumineuse associée, et donc inversement proportionnelle à sa longueur d'onde λ (schéma C).

L'**énergie d'un photon**, notée $\mathscr{E}_{photon}$, est égale au produit de la constante de Planck h par la fréquence ν de la radiation associée à ce photon :

$$\mathscr{E}_{photon} = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda}$$

$\mathscr{E}_{photon}$ en J ; h en J·s ; c en m·s^{-1} ; ν en Hz ou s^{-1} ; λ en m

C Spectre électromagnétique



> Un photon IR transporte moins d'énergie qu'un photon UV.

• Pour un métal donné, l'effet photoélectrique se produit lorsque la longueur d'onde de la radiation lumineuse mise en jeu est inférieure à une longueur d'onde seuil λ_s. La fréquence ν de cette radiation est alors supérieure à la fréquence seuil ν_s. L'énergie de chaque photon associé à cette radiation lumineuse est alors suffisante pour arracher un électron du métal : l'effet photoélectrique est observé.

lycee.hachette-education.com/pc/tle

Bilan énergétique de l'effet photoélectrique

VIDÉO DE COURS

c. Bilan énergétique et interprétation à l'aide du modèle particulaire

• Un **métal solide** est un édifice cristallin. Les atomes qui le constituent sont proches les uns des autres. Leurs électrons, en particulier les électrons périphériques, sont soumis à des interactions de la part de tous les noyaux environnants. Pour certains de ces électrons, les interactions avec les autres noyaux sont si fortes qu'ils sont libérés de leur atome initial : ce sont les **électrons libres** ou électrons de conduction.

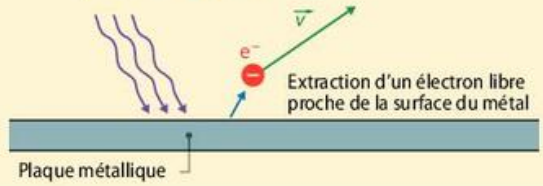
• L'**énergie minimale** permettant d'arracher un électron d'un métal est égale au travail à fournir pour extraire un électron libre proche de la surface du métal. Elle est appelée **travail d'extraction**, $W_{extraction}$. Elle diffère d'un métal à un autre. Si l'énergie du photon est supérieure au travail d'extraction, l'excédent d'énergie est emporté par cet électron sous la forme d'**énergie cinétique**.

• L'arrachage d'autres électrons nécessite une plus grande énergie. Pour une même radiation lumineuse, l'énergie cinétique de l'électron arraché est alors plus faible. L'énergie cinétique d'un électron arraché est donc maximale pour un électron libre proche de la surface du métal.

Lors de **l'effet photoélectrique**, l'énergie $\mathscr{E}_{photon}$ du photon incident est transférée à un électron pour l'extraire du réseau cristallin métallique ; le surplus d'énergie est emporté par l'électron sous forme d'énergie cinétique.

Si l'électron arraché est un électron libre proche de la surface du métal, la relation de **conservation de l'énergie** s'écrit :

$$\mathscr{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathscr{E}_{c\,max}$$



soit $h \times \nu_{photon} = W_{extraction} + \frac{1}{2} m_e \times v_{max}^2$

$W_{extraction}$ en J ; m_e en kg ; h en J·s ; ν_{photon} en Hz ou s^{-1} ; v_{max} en $m \cdot s^{-1}$

Cette équation de conservation de l'énergie lors de l'effet photoélectrique est connue sous le nom d'« équation d'Einstein de l'effet photoélectrique » (photographie D). Elle explique chaque aspect de l'effet photoélectrique, notamment l'augmentation de l'énergie cinétique maximale des électrons arrachés en fonction de la fréquence du photon incident (courbe E).

• Si la lumière apportait progressivement l'énergie nécessaire pour arracher les électrons du métal comme le prévoit la théorie ondulatoire de la lumière, il suffirait d'éclairer le métal pendant une durée suffisante pour y parvenir. Or il n'en est rien : soit le phénomène a lieu quasi instantanément, soit il n'a pas lieu, car l'énergie apportée par le photon est insuffisante.

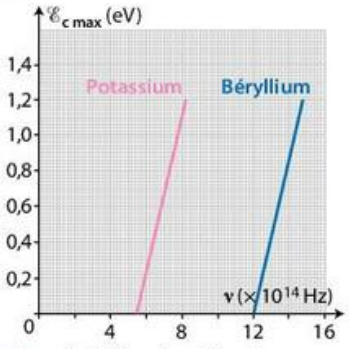
Le **modèle particulaire** de la lumière la décrit comme un flux de photons. Il permet d'expliquer l'effet photoélectrique, contrairement au modèle ondulatoire.

D Albert Einstein



En 1905, Albert Einstein reprend le modèle particulaire de la lumière proposé par Isaac Newton au XVIIe siècle et abandonné au XIXe siècle au profit du modèle ondulatoire.

E Énergie cinétique maximale des électrons



Lors de l'effet photoélectrique, l'énergie cinétique maximale $\mathscr{E}_{c\,max}$ des électrons arrachés augmente avec la fréquence ν des photons incidents. Le coefficient directeur de chaque droite permet de retrouver la constante de Planck h.

2 L'absorption ou l'émission de photons

a. Absorption de photons et cellule photoélectrique

Une **cellule photoélectrique**, ou photorécepteur, désigne tout dispositif dont une des propriétés électriques est modifiée lors de l'absorption de photons.

F Panneaux solaires



> Les panneaux solaires sont constitués de cellules photovoltaïques.

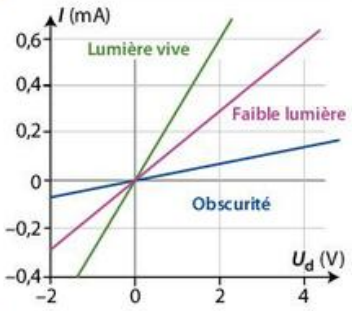
- La plupart des cellules photoélectriques font appel à des matériaux semi-conducteurs, dont les propriétés électriques sont intermédiaires entre celles d'un isolant et celles d'un conducteur métallique.
- L'absorption de photons engendre un signal électrique qui peut commander divers dispositifs comme l'allumage d'un éclairage.
- Parmi les cellules photoélectriques, on peut citer les **cellules photovoltaïques** (photographie F). Sous l'effet de la lumière, une tension électrique apparaît entre leurs faces : ce sont des générateurs. Elles convertissent l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Le **rendement η** d'une cellule photovoltaïque est le rapport, sans unité, de la puissance ou l'énergie exploitable sur la puissance ou l'énergie en entrée :

$$\eta = \frac{\mathcal{P}_{élec}}{\mathcal{P}_{lum}} = \frac{\mathcal{E}_{élec}}{\mathcal{E}_{lum}}$$

($\mathcal{P}$ en W, $\mathcal{E}$ en J, sans unité)

G Caractéristique intensité-tension d'une photorésistance



- Certains composants électriques sont aussi des cellules photoélectriques.

Exemples : Une **photorésistance** est un dipôle dont la résistance diminue d'autant plus que la lumière qu'elle reçoit est intense. Elle est donc sensible à toute variation de l'éclairement reçu (graphique G).
Une **photodiode** est un dipôle qui est traversé par un courant électrique d'intensité d'autant plus grande que la lumière qu'il reçoit est intense. Les photodiodes sont utilisées dans les capteurs CCD ou CMOS contenus dans les appareils photographiques ou les caméras (photographie H).
L'analyse des charges électriques accumulées dans les diverses zones du capteur permet de reconstruire l'image de l'objet photographié.

- La **spectroscopie** est une méthode d'analyse qui utilise des capteurs CCD ou CMOS. Le composé à analyser est éclairé par des radiations qui interagissent avec la matière. Les longueurs d'onde des radiations que le composé absorbe donnent des renseignements sur sa structure chimique (voir chapitre 2).

H Capteur CMOS



> Un capteur CMOS, constitué de photodiodes, convertit un signal lumineux en signal électrique.

b. Émission de photons et diodes électroluminescentes (DEL)

- Une diode électroluminescente (DEL) est un dipôle dans lequel s'opère une conversion inverse de celle qui a lieu dans une photodiode. Le passage d'un courant électrique dans la structure semi-conductrice d'une DEL entraîne l'émission de photons. La fréquence de la lumière émise, et de ce fait la couleur de cette lumière, dépend de la nature du semi-conducteur.
- Une diode laser a la particularité d'émettre une radiation que l'on peut rendre plus directive que celle d'une DEL : l'énergie est alors concentrée dans une direction.

L'essentiel

lycee.hachette-education.com/pc/tle

VIDÉO DE COURS
Bilan énergétique de l'effet photoélectrique
QCM
Version interactive

1 L'effet photoélectrique

Modèle particulaire de la lumière

décrit la lumière comme un flux de photons

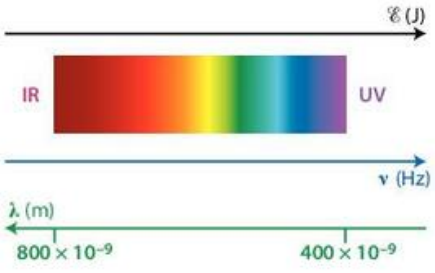
explique l'effet photoélectrique

Le photon

- Particule de **masse nulle** qui se propage à la **célérité de la lumière** : $c = 3{,}00 \times 10^8\ m \cdot s^{-1}$.
- Énergie d'un photon associé à une **radiation de fréquence ν** :

$\mathscr{E}$ en J ; h en J·s ; c en m·s^{-1} ; ν en Hz ou s^{-1} ; λ en m

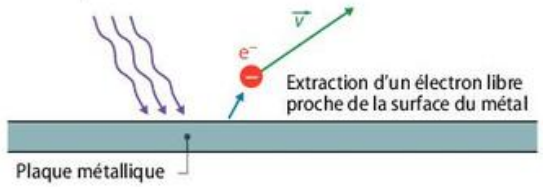
$$\mathscr{E}_{photon} = h \times \nu = \frac{h \times c}{\lambda}$$



L'effet photoélectrique

- **Éjection d'électrons d'un métal sous l'effet d'une radiation de fréquence suffisamment élevée** donc pour des photons d'énergie **suffisamment grande**.
- **Bilan énergétique de l'effet photoélectrique pour un électron libre proche de la surface du métal :**

$$\mathscr{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathscr{E}_{c\,max}$$



$W_{extraction}$ en J ; m_e en kg ; h en J·s ; ν_{photon} en Hz ou s^{-1} ; v_{max} en m·s^{-1}

$$h \times \nu_{photon} = W_{extraction} + \frac{1}{2} m_e \times v_{max}^2$$

$W_{extraction}$ est l'énergie nécessaire pour extraire un électron libre proche de la surface du métal.

2 L'absorption ou l'émission de photons

Une **cellule photoélectrique** désigne tout dispositif dont une des propriétés électriques est modifiée à l'absorption de photons.

	Photorésistance, photodiode, capteur d'appareil photographique	Cellule photovoltaïque	Spectroscopie
Absorption de photons	 Absorption de photons pour détecter la lumière	 Absorption de photons pour convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique **Rendement :** $\eta = \frac{\mathscr{P}_{élec}}{\mathscr{P}_{lum}} = \frac{\mathscr{E}_{élec}}{\mathscr{E}_{lum}}$	 Absorption de photons pour réaliser des analyses chimiques

Dans tous ces dispositifs, il y a une **interaction photon-matière**.

	DEL (diode électroluminescente)
Émission de photons	Émission de photons lorsque la DEL est parcourue par un courant électrique, sans toutefois qu'elle soit portée à haute température. 

QCM

Donnée

Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.	A	B	C

1 L'effet photoélectrique

Si erreur, revoir § 1 p. 409

1. La lumière rouge d'un laser hélium-néon a pour longueur d'onde 632,8 nm. Sa fréquence est :	$4{,}74 \times 10^{-4}$ Hz	190 Hz	$4{,}74 \times 10^{14}$ Hz
2. Un photon associé à une radiation rouge est :	aussi énergétique qu'un photon associé à une radiation bleue.	plus énergétique qu'un photon associé à une radiation bleue.	moins énergétique qu'un photon associé à une radiation bleue.
3. La radiation d'un laser utilisé en dermatologie a une longueur d'onde $\lambda = 1\,064$ nm. L'énergie d'un photon associé à cette radiation est : 	$1{,}87 \times 10^{-19}$ J	$1{,}87 \times 10^{-37}$ J	$2{,}12 \times 10^{-31}$ J
4. L'effet photoélectrique est le phénomène :	d'absorption d'électrons d'un métal sous l'effet de la lumière.	d'éjection d'électrons d'un métal sous l'effet de la lumière.	d'émission de photons d'un métal sous l'effet de la température.
5. Dans l'effet photoélectrique, l'émission d'un électron nécessite :	que la longueur d'onde de la lumière incidente dépasse une valeur seuil.	que la fréquence de la lumière incidente dépasse une valeur seuil.	n'importe quelle radiation lumineuse incidente pourvu qu'elle soit suffisamment intense.
6. En éclairant du cuivre avec des photons d'énergie $\mathscr{E}_{photon} = 1{,}00 \times 10^{-18}$ J, on observe l'éjection d'électrons d'énergie cinétique maximale $\mathscr{E}_{c\,max} = 2{,}48 \times 10^{-19}$ J. Le travail d'extraction du cuivre $W_{extraction}$ est :	$7{,}52 \times 10^{-19}$ J	$1{,}00 \times 10^{-18}$ J	$1{,}25 \times 10^{-18}$ J

2 L'absorption ou l'émission de photons

Si erreur, revoir § 2 p. 411

7. Une cellule photoélectrique est un dispositif dont les propriétés électriques varient en fonction :	de la température.	de la lumière qui l'éclaire.	de la lumière qu'elle émet.
8. Une cellule photovoltaïque reçoit une puissance lumineuse $\mathscr{P}_{lum}$ et fournit une puissance électrique $\mathscr{P}_{élec}$. Son rendement η est :	$\eta = \mathscr{P}_{élec} \times \mathscr{P}_{lum}$	$\eta = \dfrac{\mathscr{P}_{lum}}{\mathscr{P}_{élec}}$	$\eta = \dfrac{\mathscr{P}_{élec}}{\mathscr{P}_{lum}}$

QCM version interactive

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Calculer l'énergie du photon incident, le travail d'extraction d'un électron ou l'énergie cinétique maximale de l'électron éjecté.	**Réflexe 1** Ex. 7 p. 416 **Identifier** ce que devient l'énergie du photon incident. **Écrire** le bilan d'énergie qui lie l'énergie du photon incident, le travail d'extraction d'un électron et l'énergie cinétique maximale de l'électron éjecté. **Isoler** éventuellement la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités.
Déterminer le rendement d'une cellule photovoltaïque.	**Réflexe 2** Ex. 9 p. 417 **Repérer** la puissance ou l'énergie exploitable, ainsi que la puissance ou l'énergie d'entrée. **Écrire** l'expression du rendement $\eta = \frac{\mathcal{P}_{élec}}{\mathcal{P}_{lum}} = \frac{\mathcal{E}_{élec}}{\mathcal{E}_{lum}}$. **Calculer** le rendement en faisant attention aux unités.

1 Exercice résolu

Une plaque de césium

Exploiter des informations ; effectuer des calculs.



Du césium (photographie ci-contre) est éclairé par une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 0{,}44\ \mu m$. La longueur d'onde seuil du césium pour l'effet photoélectrique est $\lambda_s = 0{,}64\ \mu m$.

1. Calculer le travail d'extraction $W_{extraction}$ pour le césium.
2. Sans calcul, prévoir si un photon incident associé à la lumière monochromatique décrite ci-dessus possède suffisamment d'énergie pour arracher un électron de ce métal.
3. Calculer l'énergie cinétique maximale $\mathcal{E}_{c\,max}$ de chaque électron éjecté.
4. Calculer la valeur maximale v_{max} de la vitesse de chaque électron éjecté.

Données
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}\ J \cdot s$.
- Masse d'un électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}\ kg$.

Solution rédigée

1. Le travail d'extraction est égal à l'énergie minimale d'un photon, associé à une radiation lumineuse de longueur d'onde λ_s, nécessaire à l'extraction d'un électron.

$$W_{extraction} = \mathcal{E}_{photon} = \frac{h \times c}{\lambda_s}.$$

$$W_{extraction} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\ J \cdot s \times 3{,}00 \times 10^{8}\ m \cdot s^{-1}}{0{,}64 \times 10^{-6}\ m} = 3{,}1 \times 10^{-19}\ J.$$

Le travail d'extraction d'un électron pour le césium est $3{,}1 \times 10^{-19}$ J.

2. Un photon arrache un électron si son énergie est supérieure à $W_{extraction}$.

L'énergie d'un photon a pour expression $\mathcal{E}_{photon} = h \times \nu$, d'où $\mathcal{E}_{photon} = \frac{h \times c}{\lambda}$.

Elle est inversement proportionnelle à la longueur d'onde λ. Comme la longueur d'onde de la radiation qui éclaire le métal est inférieure à la longueur d'onde seuil λ_s, l'énergie d'un photon associé à cette radiation est supérieure au travail d'extraction : l'électron pourra être arraché.

- **On utilise le Réflexe 1.**

Identification des formes d'énergie mises en jeu

Écriture du bilan énergétique

Isolement de la grandeur recherchée et calcul en faisant attention aux unités

3. L'énergie du photon sert pour une partie à arracher un électron, le reste se retrouve sous forme d'énergie cinétique de l'électron.

Le bilan énergétique lors de l'effet photoélectrique s'écrit donc :

$\mathcal{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathcal{E}_{c\,max}$. D'où $\mathcal{E}_{c\,max} = \mathcal{E}_{photon} - W_{extraction} = \frac{h \times c}{\lambda} - W_{extraction}$.

$$\mathcal{E}_{c\,max} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34}\ J \cdot s \times 3{,}00 \times 10^{8}\ m \cdot s^{-1}}{0{,}44 \times 10^{-6}\ m} - 3{,}1 \times 10^{-19}\ J = 1{,}4 \times 10^{-19}\ J.$$

L'énergie cinétique maximale de l'électron éjecté est $1{,}4 \times 10^{-19}$ J.

4. On a : $\mathcal{E}_{c\,max} = \frac{1}{2} m_e \times v_{max}^2$

d'où $v_{max} = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_{c\,max}}{m_e}}$. Soit $v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}4 \times 10^{-19}\ J}{9{,}11 \times 10^{-31}\ kg}} = 5{,}6 \times 10^{5}\ m \cdot s^{-1}$.

La valeur maximale de la vitesse d'un électron éjecté est $5{,}6 \times 10^{5}\ m \cdot s^{-1}$.

2 Exercice résolu

Un projet photovoltaïque

Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; faire preuve d'esprit critique.



L'installation de panneaux photovoltaïques chez un particulier nécessite, au préalable, une étude de rentabilité. Les panneaux photovoltaïques au silicium polycristallin sont les plus utilisés sur le marché. Les fabricants annoncent un rendement compris entre 10 % et 18 %.
Le site de la Commission européenne permet une simulation avant l'installation de panneaux photovoltaïques.

A **Simulation relative à l'installation de panneaux photovoltaïques chez un particulier**

Technologie photovoltaïque	Silicium polycristallin
Latitude/Longitude	45° Nord/0,8° Est
Inclinaison optimale	37°
Orientation optimale	4° vers l'Ouest
Énergie lumineuse annuelle par unité de surface de panneaux	1 590 kW·h·m^{-2}
Production annuelle d'énergie électrique pour 6,50 m^2 de panneaux photovoltaïques	1 270 kW·h

L'inclinaison est mesurée par rapport à l'horizontale.
L'orientation est mesurée par rapport au Sud.

B **Facteurs de correction pour une inclinaison et une orientation données en France métropolitaine**

Orientation \ Inclinaison	0°	30°	60°	90°
Est	0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est	0,93	0,96	0,88	0,66
Sud	0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ouest	0,93	0,96	0,88	0,66
Ouest	0,93	0,90	0,78	0,55

Le rendement est d'autant meilleur que le facteur de correction est élevé.

1. Quelle conversion d'énergie les panneaux photovoltaïques réalisent-ils ?
2. Quelle est l'énergie lumineuse reçue, d'après la simulation, par les panneaux photovoltaïques au cours de l'année ?
3. Exprimer puis calculer le rendement de ces panneaux. Conclure.
4. Les indications d'inclinaison et d'orientation maximales proposées sont-elles bien choisies ?

Solution rédigée

- **On utilise le** Réflexe 2.

Repérage des énergies d'entrée et exploitable

Écriture de l'expression du rendement

Calcul du rendement en exprimant les deux énergies dans la même unité

1. Les panneaux photovoltaïques convertissent de l'énergie lumineuse en énergie électrique.

2. L'énergie lumineuse annuelle par mètre carré est $\mathscr{E}_{lum} = 1\,590$ kW·h·m^{-2} pour une surface des panneaux de $S = 6{,}50$ m^2. Ces panneaux reçoivent donc, en une année, une énergie lumineuse égale à : $\mathscr{E}_{totale,\,reçue} = \mathscr{E}_{lum} \times S$.
Soit $\mathscr{E}_{totale,\,reçue} = 1\,590 \text{ kW·h·m}^{-2} \times 6{,}50 \text{ m}^2 = 1{,}03 \times 10^4$ kW·h.

3. L'énergie totale reçue par ces panneaux est $\mathscr{E}_{totale,\,reçue} = 1{,}03 \times 10^4$ kW·h.
L'énergie électrique produite est $\mathscr{E}_{élec} = 1\,270$ kW·h.
Le rendement s'exprime par $\eta = \dfrac{\mathscr{P}_{élec}}{\mathscr{P}_{lum}} = \dfrac{\mathscr{E}_{élec}}{\mathscr{E}_{totale,\,reçue}}$.
Ainsi, $\eta = \dfrac{1\,270 \text{ kW·h}}{1{,}03 \times 10^4 \text{ kW·h}} = 0{,}123$ ou 12,3 %.
Le rendement de ces panneaux au cours d'une année est 12,3 %.
Cette valeur est bien dans l'intervalle 10 %-18 % annoncé en introduction.

4. Le facteur de correction le plus élevé correspond aux conditions d'orientation et d'inclinaison optimales. D'après le tableau B, en France métropolitaine, il est obtenu pour une inclinaison de 30° et une orientation plein sud.
La simulation indique une inclinaison de 37° et une orientation de 4°, soit pratiquement vers le sud. Les valeurs des deux tableaux sont donc cohérentes.
Le tableau A tient compte de la position exacte à la surface du globe terrestre (latitude, longitude) des panneaux photovoltaïques. Ses valeurs sont donc a priori plus pertinentes que celles du tableau B.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Décrire l'effet photoélectrique. L'interpréter à partir du modèle particulaire de la lumière.	3 5		20
Établir, par un bilan d'énergie, la relation entre l'énergie cinétique des électrons et la fréquence.	7	13	20
Calculer le rendement d'une cellule photovoltaïque.	9	14	20

1 L'effet photoélectrique

VIDÉO DE COURS **Bilan énergétique de l'effet photoélectrique** QR Code p. 412

3 Connaître l'effet photoélectrique CORRIGÉ

Restituer ses connaissances.

• Définir l'effet photoélectrique. Illustrer la réponse à l'aide d'un schéma légendé.

4 Décrire l'effet photoélectrique

Effectuer des calculs.

Le tableau ci-dessous recense les fréquences minimales des radiations à partir desquelles on observe l'effet photoélectrique pour quelques métaux.

Métal	Fréquence (Hz)
Plomb Pb	$1{,}02 \times 10^{15}$
Potassium K	$5{,}52 \times 10^{14}$
Magnésium Mg	$8{,}82 \times 10^{14}$

1. Calculer les longueurs d'onde correspondant à ces fréquences.

2. Quel type de radiation (UV, visible, IR) permet d'observer l'effet photoélectrique quel que soit le métal du tableau ci-dessus ?

5 Interpréter l'effet photoélectrique CORRIGÉ

Interpréter des observations.

En 1888, Wilhelm HALLWACHS observe qu'une radiation de longueur d'onde $\lambda_1 = 330$ nm est capable de charger positivement une plaque de zinc, ce que ne permet pas une radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 400$ nm.

1. Expliquer pourquoi la plaque de zinc se charge positivement.

2. Calculer l'énergie des photons associés à chacune des radiations évoquées.

3. Proposer une explication à la constatation de W. HALLWACHS selon laquelle la radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 400$ nm ne permet pas à la plaque de zinc de se charger positivement.

Donnée

Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.

6 Expliquer l'effet photoélectrique

Restituer ses connaissances.



En 1905, Albert EINSTEIN postule que la lumière se comporte comme un ensemble de particules, ce qu'il appelle l'« hypothèse des quanta de lumière » (*Lichtquanten*).

1. Quel nom donne-t-on aujourd'hui aux quanta de lumière évoqués par Albert EINSTEIN EN 1905 ?

2. En quoi ces quanta permettent-ils d'expliquer l'effet photoélectrique, contrairement au modèle ondulatoire de la lumière ?

7 Réaliser un bilan d'énergie CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

Un photon d'énergie $\mathcal{E}_{photon} = 5{,}03$ eV extrait, par effet photoélectrique, des électrons à un morceau de fer métallique.

1. Écrire la relation entre l'énergie du photon incident $\mathcal{E}_{photon}$, le travail d'extraction $W_{extraction}$ et l'énergie cinétique maximale $\mathcal{E}_{c\,max}$ d'un électron extrait.

2. Calculer, en joule, l'énergie cinétique maximale de l'électron arraché. Utiliser le réflexe 1

Données

- $1 \text{ eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J.
- Pour le fer : $W_{extraction} = 4{,}67$ eV.

8 Calculer l'énergie d'un photon

Utiliser un modèle pour prévoir.



Sous l'effet d'une radiation, des électrons sont extraits d'un morceau de titane avec une vitesse maximale de valeur $v_{max} = 7{,}60 \times 10^5$ m·s^{-1}.

1. Donner la relation entre l'énergie du photon incident $\mathcal{E}_{photon}$, le travail d'extraction $W_{extraction}$ et l'énergie cinétique maximale $\mathcal{E}_{c\,max}$ d'un électron extrait.

2. Calculer l'énergie du photon associé à la radiation.

3. En déduire la longueur d'onde de la radiation.

Données

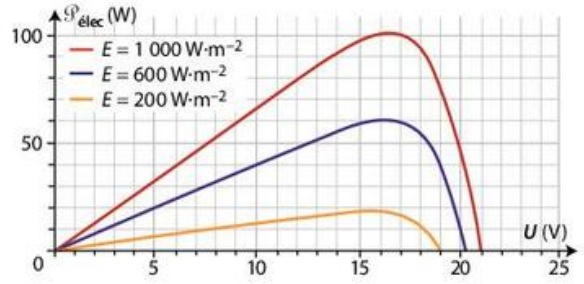
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- Masse d'un électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
- Pour le titane : $W_{extraction} = 6{,}93 \times 10^{-19}$ J.

9 Calculer des rendements

CORRIGÉ

Extraire et organiser l'information.

Le graphique ci-dessous représente la puissance électrique disponible d'un panneau de cellules photovoltaïques de 1,1 m² pour différents éclairements E.



1. Comment la puissance électrique disponible évolue-t-elle lorsque l'éclairement E diminue ?

2. Rappeler l'expression du rendement η pour un panneau de cellules photovoltaïques.

3. Calculer le rendement maximal pour les différents éclairements, puis conclure. Utiliser le réflexe 2

10 Exploiter un rendement

Effectuer des calculs.

Le record mondial de performance pour une cellule photovoltaïque en silicium polycristallin a été battu en mars 2018 avec un rendement de 22,3 %.



1. Quel est l'intérêt d'améliorer le rendement des cellules photovoltaïques ?

2. Pour la cellule citée, calculer la puissance électrique disponible $\mathcal{P}_{élec}$ dans le cas d'une puissance lumineuse reçue $\mathcal{P}_{lum} = 1{,}13 \times 10^{1}$ W.

2 L'absorption ou l'émission de photons

11 Citer des applications de l'interaction photon-matière

CORRIGÉ

Restituer ses connaissances.

• Citer quelques applications mettant en jeu l'interaction photon-matière. Pour chacune d'elles, dire si l'interaction met en jeu l'absorption ou l'émission d'un photon.

12 Reconnaître l'absorption ou l'émission de photons

Mobiliser et organiser ses connaissances.

• Pour chacun des systèmes suivants, indiquer s'il met en jeu l'absorption ou l'émission de photons.

a. Une cellule photoélectrique



b. Un chargeur photovoltaïque de téléphone



c. Une DEL infrarouge de télécommande



Exercices S'entraîner

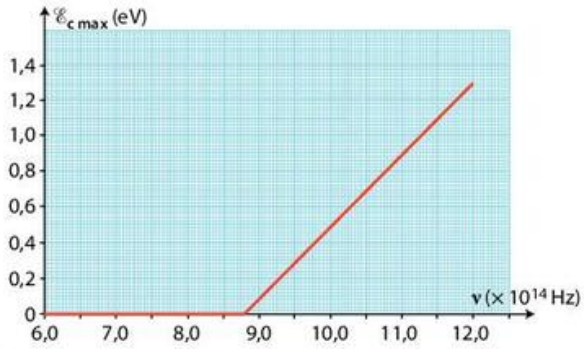
13 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

Conservation de l'énergie

Extraire et organiser l'information.

Le graphique ci-dessous représente l'énergie cinétique maximale des électrons émis d'une plaque de zinc par effet photoélectrique, en fonction de la fréquence ν de la radiation incidente.



1. a. Calculer la longueur d'onde seuil λ_s permettant d'obtenir l'effet photoélectrique avec le zinc.

b. λ_s correspond-elle à une longueur d'onde minimale ou maximale d'obtention de l'effet photoélectrique ?

2. Pour une radiation de fréquence $\nu = 1{,}1 \times 10^{15}$ Hz, calculer, à l'aide d'un bilan d'énergie, l'énergie cinétique maximale des électrons émis.

3. Vérifier graphiquement le calcul précédent.

Données

- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

Critères de réussite

Rigueur dans l'utilisation des données	
J'ai repéré sur le graphique les unités utilisées (question 1).	☐ ☐
J'ai réalisé le calcul en respectant les unités (question 2).	☐ ☐
Justification de la réponse	
J'ai expliqué comment j'ai utilisé le graphique (question 3).	☐ ☐

14 À chacun son rythme

CORRIGÉ

Une histoire de rendement

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Un fabricant de panneaux photovoltaïques fournit les indications suivantes :

Caractéristiques
Puissance électrique* : $\mathcal{P} = 305$ W
Nombre de cellules : 60
Dimensions d'une cellule : 160 mm × 160 mm



* Puissance maximale pour un éclairement $E = 1\,000$ W·m^{-2}.

Énoncé compact

Calculer le rendement maximal de ce panneau photovoltaïque.

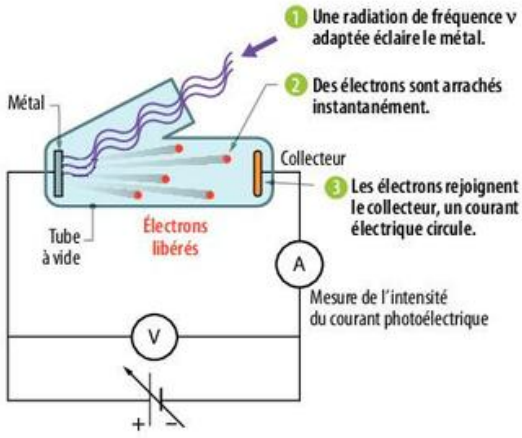
Énoncé détaillé

1. Réaliser un bilan de puissance pour le panneau photovoltaïque.
2. Rappeler l'expression du rendement en fonction des puissances mises en jeu.
3. Calculer le rendement maximal de ce panneau photovoltaïque.

15 Énergie cinétique des électrons

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Afin de déterminer l'énergie cinétique des électrons arrachés d'un métal par effet photoélectrique, le physicien Philip LENARD utilisait un dispositif expérimental dont le principe est schématisé ci-dessous :



Une tension électrique est appliquée entre le métal et le collecteur. Il apparaît alors un champ électrique qui empêche les électrons de rejoindre le collecteur. La tension nécessaire pour que l'intensité du courant électrique soit nulle est appelée tension d'arrêt. Elle est notée U_a.
L'énergie cinétique maximale des électrons émis par effet photoélectrique se calcule alors à l'aide de la relation :

$$\mathcal{E}_{c\,max} = e \times U_a$$

avec $\mathcal{E}_{c\,max}$ en joule, e en coulomb et U_a en volt.

Une plaque métallique en cuivre est illuminée par une radiation de longueur d'onde λ. Dans le cas particulier d'une radiation ultraviolette telle que $\lambda = 171$ nm, on trouve une tension d'arrêt $U_a = 2{,}80$ V.

1. a. Calculer l'énergie cinétique maximale $\mathcal{E}_{c\,max}$ acquise par les électrons.
b. En déduire la valeur de la vitesse maximale v_{max} des électrons émis par effet photoélectrique.
2. Rappeler la relation traduisant la conservation d'énergie dans le cas de l'effet photoélectrique.
3. Calculer le travail d'extraction $W_{extraction}$ d'un électron pour le cuivre.
4. Observe-t-on l'effet photoélectrique pour le cuivre si on l'illumine avec une radiation de longueur d'onde $\lambda = 350$ nm ?

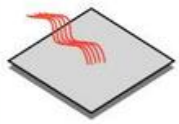
Données
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- Charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

16 Photoelectric effect

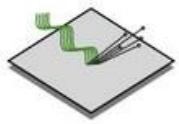
Pratiquer une langue vivante étrangère.

In 1914, the American physicist Robert MILLIKAN, found that light with frequencies below a certain cutoff value, called the *threshold frequency*[1], would not eject photoelectrons from the metal surface no matter how bright the source was. These results were completely unexpected.

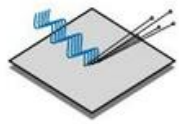
Given that it is possible to extract electrons with light and that the energy in a beam[2] of light is related to its intensity, classical physics would predict that a more intense beam of light would eject electrons with greater energy than a less intense beam no matter what the frequency.
This was not the case, however.



Red light **does not** eject photoelectrons (even if it is very bright).



Green light **does** eject photoelectrons (even if it is very dim).



Blue light ejects photoelectrons with more energy than green light (even if it is very dim).

Actually, maybe these results aren't all that typical and would change with different metals. Most metals have threshold frequencies that are in the ultraviolet spectrum and only a few are low enough to reach the visible spectrum and be green or blue like the example shown above.

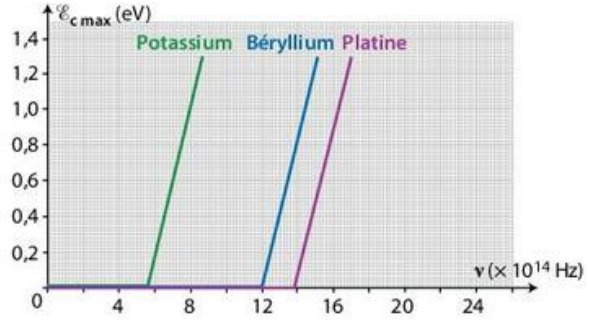
Vocabulary: 1. *threshold frequency:* fréquence de seuil. 2. *beam:* rayon.

1. What does the threshold frequency represent?
2. Explain in what way the results were surprising back in the day.
3. Would the pictures be identical no matter the metal?

17 Comparaison de l'effet photoélectrique

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

Voici, pour divers métaux, l'énergie cinétique maximale $\mathscr{E}_{c\,max}$ d'électrons arrachés par effet photoélectrique en fonction de la fréquence ν de la radiation d'éclairement.



1. Pour quel(s) métal(métaux), l'effet photoélectrique se produit-il avec des radiations lumineuses du domaine du visible ?

2. a. Établir, par un bilan d'énergie, l'expression de l'énergie cinétique maximale des électrons en fonction de la fréquence de la radiation incidente.

b. Expliquer pourquoi les différentes courbes sont des droites qui ont le même coefficient directeur et des ordonnées à l'origine différentes.

c. Exploiter ces courbes pour déterminer la constante de Planck h et le travail d'extraction $W_{extraction}$ d'un électron pour chacun des métaux.

Données
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

18 Résolution de problème

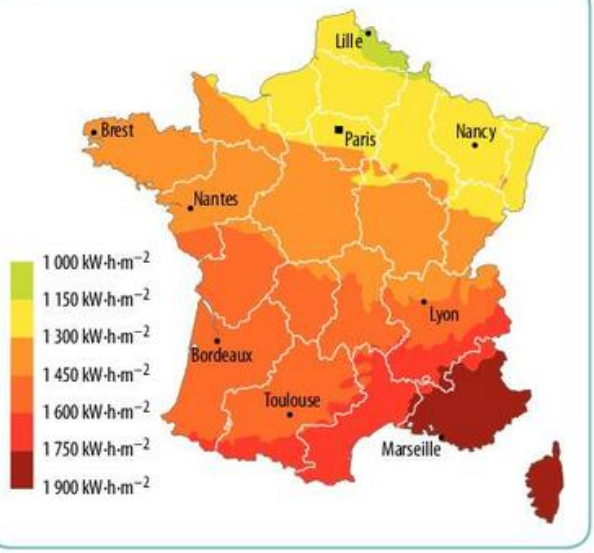
Fiche 1 p. 452

Une maison autonome ?

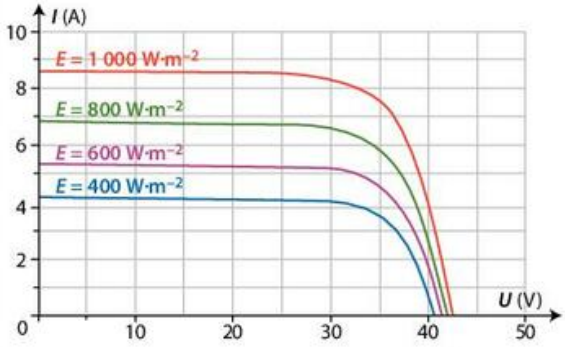
Construire les étapes d'une résolution de problème.

- L'installation de 10 panneaux photovoltaïques couvre-t-elle les besoins de l'habitation du document C ?

A Énergie lumineuse par m² sur une année



B Caractéristique intensité-tension pour une température de 25 °C



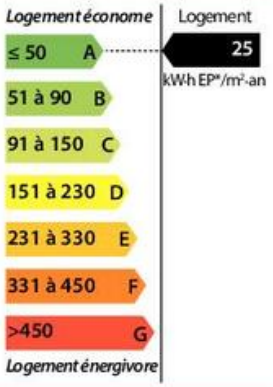
La surface d'un panneau est $S = 1{,}46$ m².

C Diagnostic énergétique d'une habitation

Diagnostic énergétique global d'une habitation récente de 120 m² située à proximité de Bordeaux où l'ensoleillement moyen est de 2 050 heures par an.

La maison est « tout électrique ».

* EP : énergie primaire



19 Python

Programmons l'effet photoélectrique

Utiliser un langage de programmation.

Un programme permet de déterminer si une radiation de longueur d'onde choisie génère l'effet photoélectrique. Si l'effet photoélectrique est observé, le programme indique alors l'énergie cinétique maximale et la valeur maximale de la vitesse des électrons arrachés.

PROGRAMME Python – QR Code p. 412

1. Quelle ligne du programme traduit la conservation d'énergie lors de l'effet photoélectrique ?

2. Mettre en œuvre le programme.

a. Pour une longueur d'onde de radiation incidente λ = 530 nm, pour quels métaux l'effet photoélectrique est-il observé ?

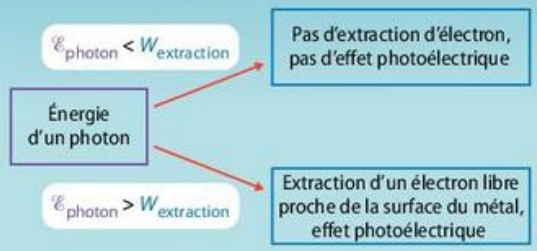
b. Pour une radiation de fréquence $\nu = 1{,}30 \times 10^{15}$ Hz, déterminer pour quel élément chimique l'effet photoélectrique n'a pas lieu.

3. Pour le métal calcium et une longueur d'onde de radiation λ = 280 nm, vérifier que les valeurs affichées pendant l'exécution du programme respectent la conservation de l'énergie lors de l'effet photoélectrique.

Données
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.
- Masse de l'électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

Vers le BAC

Ne pas oublier l'existence d'une énergie minimale pour l'effet photoélectrique



Pour comparer des énergies, il faut qu'elles soient exprimées dans la même unité (eV ou J).

Écrire correctement le rendement

- Attention à ne pas inverser numérateur et dénominateur !

$$\eta = \frac{\mathscr{P}_{élec}}{\mathscr{P}_{lum}} = \frac{\mathscr{E}_{élec}}{\mathscr{E}_{lum}}$$

- Le numérateur et le dénominateur doivent être dans la même unité. Le rendement n'a pas d'unité.
- Un rendement est toujours inférieur à 1.

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1 et 2 sont présentés p. 414

20 COACHÉ — 60 min

Effet photoélectrique et panneaux photovoltaïques

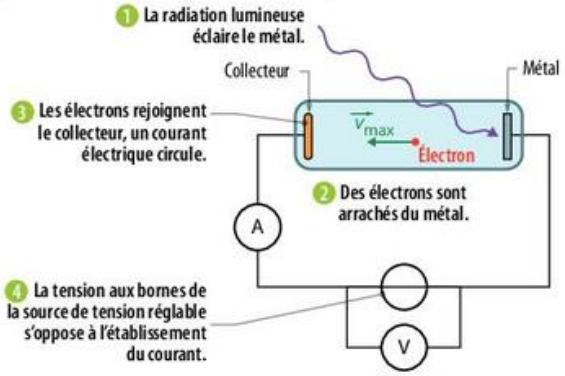
Exploiter des observations et des mesures ; effectuer des calculs.

D'après Concours GEIPI, 2013

Partie I L'effet photoélectrique

L'effet photoélectrique (schéma **A**) a été découvert à la fin du XIXe siècle.

A Étude de l'effet photoélectrique



La mesure de la tension annulant le courant électrique permet de calculer la valeur maximale de la vitesse des électrons extraits du métal.

1. Une radiation de longueur d'onde $\lambda_1 = 400$ nm permet d'extraire des électrons d'une cathode en potassium. Quelle est l'énergie d'un photon associé à cette radiation ?

2. Une radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 700$ nm ne permet pas d'extraire des électrons, même si on augmente l'intensité lumineuse reçue par la cathode ou la durée de l'éclairement. Comment expliquer cette observation ?

3. Pourquoi l'effet photoélectrique a-t-il remis en cause le modèle ondulatoire de la lumière ?

4. Quelle est la valeur maximale de la vitesse d'un électron arraché à du potassium par une radiation de longueur d'onde $\lambda_1 = 400$ nm ? Utiliser le réflexe 1

5. Reproduire le schéma **A** et indiquer la polarité de la source de tension permettant d'annuler le courant.

Partie II Installation de panneaux photovoltaïques

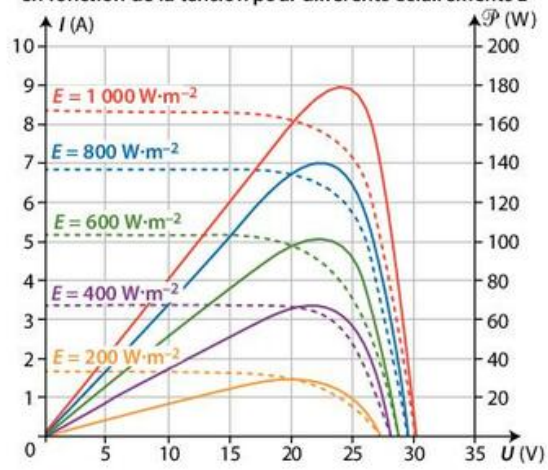


Un habitant de Lyon souhaite équiper le toit de sa maison de panneaux photovoltaïques. Un extrait de la notice technique d'un panneau proposé par l'installateur est donné ci-après.

B Extrait de la notice d'un panneau photovoltaïque

- Panneau de 48 cellules associées en série.
- Dimensions du panneau : 1 318 mm × 994 mm.

Intensité du courant --- et puissance — en fonction de la tension pour différents éclairements E



1. Représenter la chaîne énergétique d'une cellule photovoltaïque.

2. On s'intéresse à la situation dans laquelle l'éclairement est de 1 000 $W \cdot m^{-2}$.

a. Quelle est la puissance maximale fournie par le panneau proposé par l'installateur ?

b. Quelle est la tension aux bornes du panneau lorsque la puissance fournie est maximale ?

c. Quelle est alors l'intensité du courant électrique ?

3. Déduire des réponses précédentes le rendement maximal du panneau pour un éclairement de 1 000 $W \cdot m^{-2}$.

Utiliser le réflexe 2

4. L'installation doit produire 3,5 kWc (le kilowatt crête, kWc, est une unité de mesure de la puissance maximale produite lorsque l'éclairement est de 1 000 $W \cdot m^{-2}$).

a. Combien de panneaux seront nécessaires ?

b. En tenant compte du rendement des panneaux, mais aussi de leur orientation et des pertes électriques, l'installateur prévoit un rendement global de 10 %.

Quel revenu annuel cet habitant de Lyon pourra-t-il espérer de la revente de l'électricité produite ?

Coup de pouce QR Code p. 412

Données

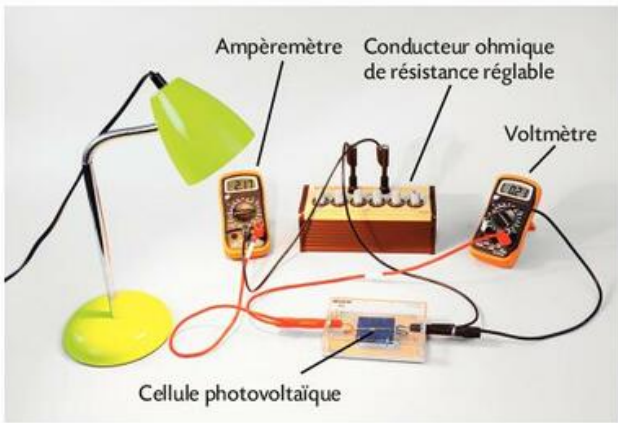
- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s.
- Pour le potassium : $W_{extraction} = 2{,}29$ eV.
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.
- Masse d'un électron : $m_e = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.
- Prix de vente de l'électricité par ce particulier : 0,20 €/kW·h.
- Énergie lumineuse par unité de surface reçue à Lyon cumulée sur une année : 1 450 $kW \cdot h \cdot m^{-2}$.

Préparation à l'ECE

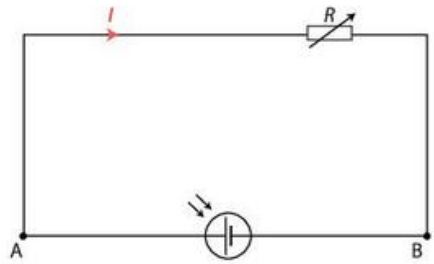
Le rendement d'une cellule photovoltaïque est un paramètre important à prendre en compte lors de la mise au point de dispositifs destinés à produire de l'électricité à partir de la lumière.

Partie I Rendement d'une cellule

Une cellule photovoltaïque est éclairée par une source fournissant un éclairement connu.



1. RÉA Le schéma électrique du montage est partiellement représenté ci-dessous. Le reproduire et le compléter en fléchant la tension U_{AB} aux bornes de la cellule photovoltaïque et en ajoutant les appareils de mesure nécessaires.



2. RÉA Pour deux éclairements différents, on obtient les résultats suivants.

Pour un éclairement de 700 $W \cdot m^{-2}$:

U_{AB} (V)	0,71	0,66	0,58	0,54	0,46	0,26	0,12	0
I (mA)	0	20	40	52	70	77	78	80

Pour un éclairement de 1 200 $W \cdot m^{-2}$:

U_{AB} (V)	0,78	0,72	0,66	0,59	0,50	0,35	0,25	0
I (mA)	0	40	80	120	150	155	158	160

Représenter sur un même graphique les caractéristiques $I = f(U_{AB})$ de cette cellule pour les deux éclairements.

3. a. RÉA Compléter ces tableaux en calculant la puissance électrique $\mathcal{P}_{élec}$ de cette cellule dans chacune des situations.

b. RÉA Représenter sur un même graphique la puissance électrique $\mathcal{P}_{élec} = f(U)$ pour les deux éclairements.

4. Pour chacun des éclairements :

a. RÉA Calculer le rendement maximal de la cellule.

b. APP Pour quelle tension aux bornes de la cellule le rendement maximal est-il obtenu ?

c. APP Quelle est alors l'intensité du courant électrique fourni par chaque cellule ?

Partie II Association de cellules

1. APP On associe en série 10 cellules identiques à celle étudiée ci-avant. Le montage est prévu pour fournir une puissance maximale.

Pour un éclairement de 1 200 $W \cdot m^{-2}$, quelle sera :

a. la tension aux bornes de l'association ?

b. l'intensité du courant la traversant ?

c. la puissance électrique fournie ?

2. APP Répondre aux mêmes questions pour 10 cellules associées en dérivation.

3. ANA-RAIS Quelle association privilégier ?

Données

Dimensions de la cellule : 4,2 cm × 4,2 cm.

Vers l'oral

Fiche Méthode

Maîtriser les gestes accompagnant le discours

L'espace est souvent restreint lors d'un entretien, aussi les gestes seront-ils mesurés. L'amplitude des mouvements des mains ne doit pas trop dépasser de la « largeur du corps ».
Éviter les bras croisés devant soi ou dans le dos, ce n'est pas un signe d'ouverture vers le jury.
Utiliser ses mains pour marquer les différentes parties du discours.
Les croiser à la fin du discours pour montrer qu'il est terminé.
Ne pas rester figé. Penser à se déplacer, latéralement sur 2 mètres et sur 1 mètre en avant ou en arrière. Mais éviter de se déplacer trop vite, car cela peut déconcentrer le jury.

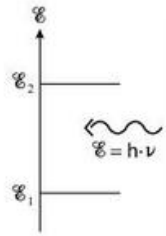


LA PRISE DE PAROLE EN PUBLIC

- **Visionner la vidéo ci-contre après 6 min 10 s et jusqu'à 9 min.**
- **S'entraîner à gérer les mouvements de ses mains comme proposé dans la vidéo et à montrer un schéma ou un texte affiché au tableau.**

À deux, c'est mieux

Absorption ou émission ?
Le schéma ci-contre illustre une propriété du caractère particulaire de la lumière.



- **Écrire quelques lignes pour expliquer ce schéma. Utiliser les mots « photon/ niveaux d'énergie/état excité ».**
- **Présenter cette explication à un camarade après avoir pensé aux gestes permettant d'illustrer ou de souligner des points particuliers. Penser à bien se positionner pour montrer les différentes zones du schéma.**
- **Évaluer la présentation à l'aide de la fiche ci-jointe.**

Inverser ensuite les rôles et faire de même. Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite

Maîtriser les gestes accompagnant le discours	😐	😊
Les gestes parasites sont éliminés.	☐	☐
Des gestes maîtrisés de la main permettent d'insister sur ce qui est dit.	☐	☐
Les déplacements sont suffisants. Ils ne sont pas trop rapides.	☐	☐
L'utilisation des documents au tableau est pertinente.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur

La lumière : un flux de photons

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

- Comment calculer l'**énergie d'un photon** ?
- Quelles sont les **longueurs d'onde des radiations visibles** ?
- Quel est le principe de fonctionnement d'une **cellule photovoltaïque** ?

21 Dynamique du dipôle *RC*



Le déclenchement d'un éclair est un phénomène naturel présentant des analogies avec ce qui peut se passer dans un circuit électrique comportant un condensateur.

- Comment cette situation s'apparente-t-elle à celle d'un condensateur chargé ?

> Rendez-vous : exercice 6 p. 436

Ce que je dois savoir et savoir faire

- Relier l'intensité d'un courant électrique au débit de charges. **Exercice 2 p. 436**
- Identifier des situations variées où il y a accumulation de charges de signes opposés sur des surfaces en regard. **Exercice 6 p. 436**
- Citer des ordres de grandeur de valeurs de capacités usuelles. Identifier et tester le comportement capacitif d'un dipôle. Illustrer qualitativement l'effet de la géométrie d'un condensateur sur la valeur de sa capacité. **Activité 1 p. 425**
- Établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur. **Exercices 12 p. 437 et 15 p. 438**
- Expliquer le principe de fonctionnement de quelques capteurs capacitifs. **Activité 3 p. 427**
- Étudier la réponse d'un dispositif modélisé par un dipôle *RC*. Déterminer le temps caractéristique d'un dipôle *RC*. **Activité 2 p. 426**
- **Capacité mathématique** : résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre à coefficients constants avec un second membre constant. **Côté maths 9 p. 435**

Vu en 1re

Les circuits électriques

Circuits électriques

Intensité électrique

Un débit de charges électriques

L'intensité I du courant électrique est le rapport de la charge électrique Q ayant traversé une section de conducteur pendant la durée Δt.

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

I en A ; Q en C ; Δt en s

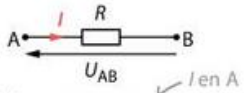
Dans un circuit série

L'intensité du courant électrique est la même en tout point d'une portion de circuit comportant des dipôles associés en série.

Tension électrique

Loi d'Ohm

La tension U_{AB} aux bornes du conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité I du courant qui le traverse.



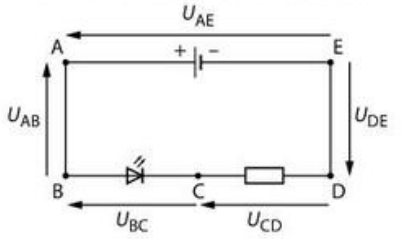
$$U_{AB} = R \times I$$

U_{AB} en V ; I en A ; R en Ω

R est la résistance du conducteur ohmique.

Loi des mailles

Dans une maille, la somme des tensions fléchées dans un sens de parcours de la maille est égale à la somme des tensions fléchées dans l'autre sens.



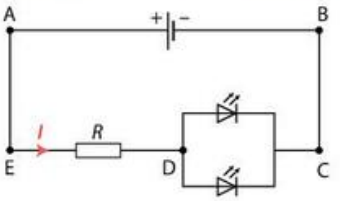
$$U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DE} = U_{AE}$$

Réactiver ses connaissances



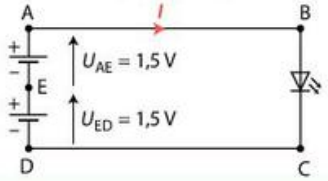
On considère le schéma simplifié du circuit électrique d'une lampe de poche. La tension aux bornes du générateur est $U_{AB} = 5{,}0$ V. Les deux DEL sont protégées par un conducteur ohmique de résistance $R = 100\ \Omega$. Lorsque les DEL fonctionnent, la tension à leurs bornes est égale à 2,2 V.

1. Calculer la tension U_{ED} aux bornes du conducteur ohmique lorsque les DEL fonctionnent normalement.
2. Calculer l'intensité I du courant électrique circulant dans le conducteur ohmique.
3. Calculer la charge électrique Q qui traverse le conducteur ohmique durant 100 s de fonctionnement des DEL.



Flash test

5 min

Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s).	A	B	C
1. Un conducteur ohmique de résistance 250 Ω est parcouru par un courant d'intensité égale à 10 mA. La tension à ses bornes est :	2,5 V	25 V	0,04 V
2. Ci-dessous, U_{CB} est égale à : 	0 V	3,0 V	−3,0 V
3. Dans le circuit de la question 2., l'intensité du courant dans la DEL :	est deux fois plus grande que celle dans chaque pile électrique.	est la même que celle dans chaque pile électrique.	est deux fois plus petite que celle dans chaque pile électrique.

Activité expérimentale 1

Le condensateur et sa capacité

Notions
- Capacité d'un condensateur
- Géométrie d'un condensateur

Le condensateur est un dipôle caractérisé par sa capacité électrique, présent dans de nombreux appareils électriques. Pieter VAN MUSSCHENBROEK a été un des premiers à fabriquer un condensateur.

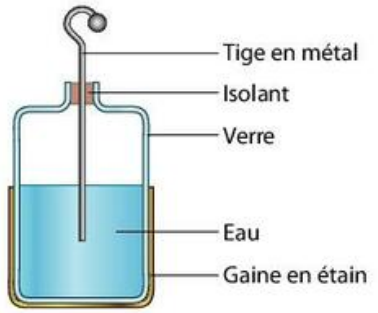
Tâche complexe

▶ Objectif de l'activité : De quels paramètres la capacité d'un condensateur dépend-elle ?

A Bouteille de Leyde

En 1745, Pieter VAN MUSSCHENBROEK, physicien néerlandais, insère dans un flacon, partiellement rempli d'eau, une tige métallique qu'il charge électriquement. L'extérieur de la bouteille de verre est recouvert d'étain (un métal). L'ensemble se décharge rapidement lorsque le physicien prend la bouteille entre ses mains et il reçoit un « choc électrique ».

P. VAN MUSSCHENBROEK vient de construire un condensateur dans lequel un conducteur (la tige) est séparé d'un autre conducteur (la paroi métallique de la bouteille) par un isolant. Ce dispositif est appelé « bouteille de Leyde ». Il permet de stocker des charges électriques.



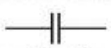
B Condensateurs usuels



Les condensateurs modernes possèdent différentes formes.

La capacité d'un condensateur, c'est-à-dire sa capacité à stocker des charges électriques, est exprimée en farad (F).

Le symbole normalisé d'un condensateur est :



Il s'inspire de la constitution « classique » d'un condensateur : deux conducteurs face à face, séparés par un isolant.

MATÉRIEL DISPONIBLE



SKETCH Mesure de la capacité – QR Code p. 432

Étapes de la démarche d'investigation

1. RELIRE les documents, repérer les éléments en relation avec le problème posé et les noter.
2. REFORMULER le problème en utilisant un vocabulaire scientifique.
3. ÉMETTRE une hypothèse permettant d'y répondre.
4. ÉLABORER un protocole expérimental et le mettre en œuvre pour valider l'hypothèse formulée.
5. NOTER les observations, les interpréter et conclure.

Investigation

APP · ANA-RAIS · RÉA · VAL · COM

1 Est-il possible de concevoir, à partir des mêmes matériaux, des condensateurs de capacités différentes ?

Formuler des hypothèses ANA-RAIS

2 La capacité de la bouteille de Leyde, du nom de la ville des Pays-Bas où elle fut inventée, est environ égale à 1 nF. Aujourd'hui, quelles caractéristiques permettent de miniaturiser un condensateur ayant une capacité de cet ordre de grandeur ?

Un pas vers le cours

Interpréter des observations VAL

3 De quels paramètres la capacité d'un condensateur dépend-elle ?

Activité 2 expérimentale double démarche

Charge et décharge d'un condensateur

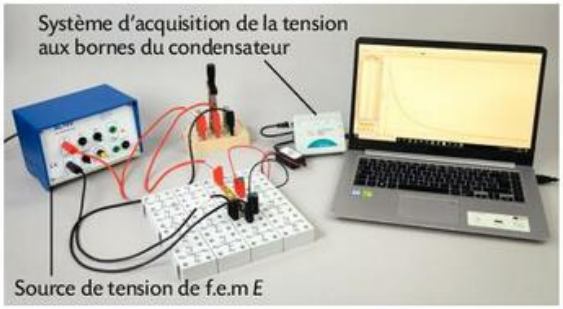
Notion
- Temps caractéristique d'un dipôle *RC*

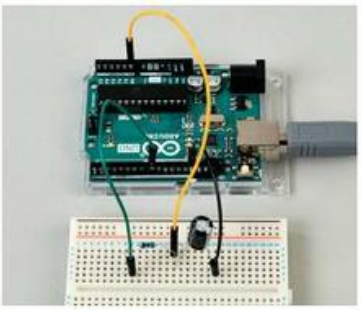
Soumis à une tension électrique, un condensateur se charge. Il se décharge si ses bornes sont reliées à celles d'un conducteur ohmique. Dans les deux cas, on parle de régime transitoire : la tension aux bornes du condensateur et l'intensité du courant dans cette association appelée « dipôle *RC* » varient au cours du temps.

► **Objectif de l'activité : Comment déterminer le temps caractéristique d'un dipôle *RC* ?**

A Deux montages possibles

Les montages ci-dessous comportent un condensateur associé en série avec un conducteur ohmique.





Les bornes GND (fil noir) et 8 (fil vert) du microcontrôleur permettent d'alimenter l'ensemble sous une tension notée *E*.
Les bornes A0 (fil jaune) et GND (fil noir) permettent de mesurer la tension aux bornes du condensateur.

FICHIERS Schéma du montage et sketch du microcontrôleur – QR Code p. 432

Parcours 1 Pratique expérimentale

► Étude de la charge du condensateur

Faire un schéma adapté RÉA

1 Schématiser le circuit électrique permettant d'étudier la charge du condensateur.

Mettre en œuvre un protocole RÉA

2 Réaliser le montage. Exécuter le sketch du microcontrôleur « charge-condensateur.ino » ou effectuer une acquisition de la tension u_C au cours du temps. Donner la représentation graphique de $u_C = f(t)$. Repérer deux phases.

Effectuer des calculs RÉA

3 La tension u_C aux bornes du condensateur est donnée par les expressions :

$$u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \Leftrightarrow \ln(E - u_C) = \ln E - \frac{1}{\tau} \times t$$

τ est le temps caractéristique du circuit.
Vérifier que pour $t = \tau$, on a $u_C = 0{,}63\ E$, puis que pour $t \to \infty$, on a $u_C = E$.

Exploiter des observations, des mesures ANA-RAIS

4 a. Déterminer τ graphiquement par la méthode de votre choix et le comparer au produit $R \times C$.
b. Comparer avec les résultats de la décharge.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

5 Comment déterminer le temps caractéristique d'un dipôle *RC* ?

Parcours 2 Pratique expérimentale

► Étude de la décharge du condensateur

Faire un schéma adapté RÉA

1 Schématiser le circuit électrique permettant d'étudier la décharge du condensateur.

Mettre en œuvre un protocole RÉA

2 Réaliser le montage. Exécuter le sketch du microcontrôleur « décharge-condensateur.ino » ou effectuer une acquisition de la tension u_C au cours du temps. Donner la représentation graphique $u_C = f(t)$. Repérer deux phases.

Effectuer des calculs RÉA

3 La tension u_C aux bornes du condensateur est donnée par les expressions :

$$u_C = E \times e^{-\frac{t}{\tau}} \Leftrightarrow \ln(u_C) = \ln E - \frac{1}{\tau} \times t$$

τ est le temps caractéristique du circuit.
Vérifier que : pour $t = 0$, on a $u_C = E$, puis que pour $t = \tau$, on a $u_C = 0{,}37\ E$.

Exploiter des observations, des mesures ANA-RAIS

4 a. Déterminer τ graphiquement par la méthode de votre choix et le comparer au produit $R \times C$.
b. Comparer avec les résultats de la charge.

Un pas vers le cours

Rédiger une explication COM

5 Comment déterminer le temps caractéristique d'un dipôle *RC* ?

Activité expérimentale 3 Des capteurs capacitifs

Notion
Capteur capacitif

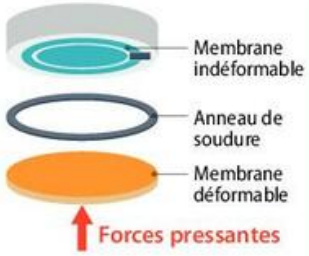
Les capteurs dits « capacitifs » sont utilisés dans de nombreuses applications industrielles, technologiques ou de la vie courante, telles que les écrans tactiles.

▶ **Objectif de l'activité : Comment un capteur capacitif fonctionne-t-il ?**

A Capteur capacitif de pression

Un capteur capacitif de pression est composé de deux membranes conductrices placées face à face, à petite distance l'une de l'autre.

L'une des membranes est indéformable, l'autre se déforme sous l'effet des forces pressantes.

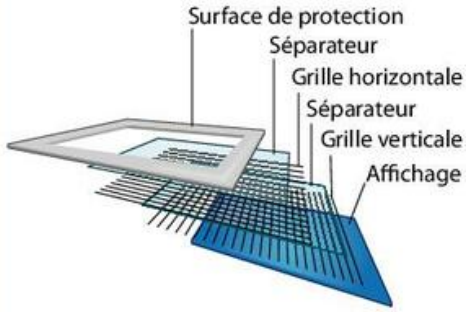


Cela modifie la distance entre les membranes et entraîne une variation de la capacité. Le capteur transforme alors cette information en signal électrique qui permet d'indiquer la pression mesurée.

B Écran d'une tablette



Les écrans des tablettes sont des écrans « capacitifs ». Ils comportent deux grilles conductrices : une verticale et une horizontale.

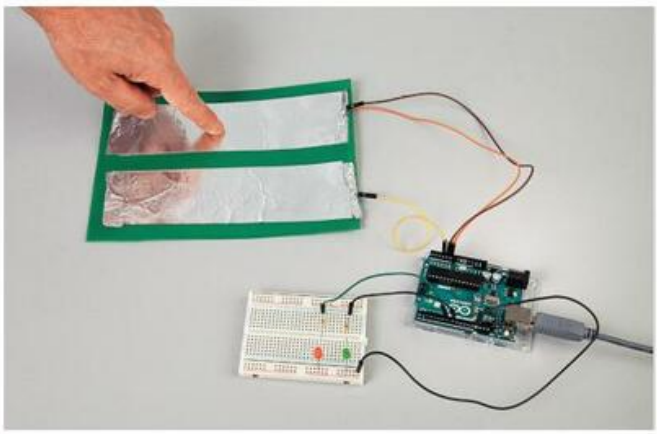


Ces grilles sont sous tension. Tant qu'on ne touche pas l'écran, les charges électriques sont uniformément réparties sur les grilles.

Le contact du doigt avec l'écran modifie la répartition des charges sur les grilles. Des détecteurs, situés sur chacun des « barreaux » des grilles, permettent au processeur de la tablette de localiser la zone de contact sur la surface de l'écran.

C Réalisation d'un capteur capacitif

Chacun des deux capteurs ci-dessous est constitué de deux plaques métalliques séparées par une fine couche isolante.



SKETCH Capteur capacitif – QR Code p. 432

Pratique expérimentale

Extraire et organiser l'information APP

1 Pour les capteurs capacitifs des documents A et B, indiquer à chaque fois quel(s) élément(s) constitue(nt) :
– les armatures métalliques du condensateur ;
– l'isolant du condensateur.

Exploiter des informations ANA-RAIS

2 Comment la capacité du capteur capacitif de pression (doc. A) est-elle modifiée ?

Mettre en œuvre un protocole RÉA

3 a. Réaliser le montage de la photographie C. Quel est l'effet observé lorsqu'on touche le capteur capacitif ainsi constitué ?
b. Quelles sont les similitudes entre ce capteur et le système tactile de l'écran d'une tablette ?

Un pas vers le cours

Utiliser un vocabulaire scientifique adapté COM

4 Comment un capteur capacitif fonctionne-t-il ?

Cours

1 L'intensité du courant électrique

• Un **courant électrique** correspond à un déplacement d'ensemble de charges électriques.

• **En régime permanent indépendant du temps**, lorsqu'une quantité de charge électrique Q traverse une **section** de conducteur pendant une durée Δt (schéma A), l'intensité I du courant est donnée par :

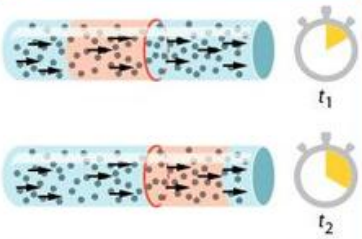
$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

(I en A ; Q en C ; Δt en s)

• **En régime variable**, c'est-à-dire dépendant du temps, l'intensité du courant électrique varie. La définition précédente reste valable en faisant tendre la durée Δt vers zéro. Pendant une durée infiniment courte dt, une charge électrique infiniment petite, notée alors δq, traverse une section de conducteur. L'intensité i du courant est alors $i = \frac{\delta q}{dt}$.

Quel que soit le régime de fonctionnement du circuit, l'intensité du courant électrique est un **débit** de charges électriques.
Pour une **portion de conducteur électrique**, l'intensité du courant est la dérivée de la charge électrique par rapport au temps : $i = \frac{dq}{dt}$.

A Aspect microscopique du courant électrique



L'intensité correspond à la quantité de charges ayant traversé la section d'un conducteur pendant une durée Δt.
Si, à l'échelle microscopique, le déplacement des charges est très lent, à l'échelle macroscopique, la propagation d'un signal électrique est très rapide.

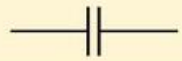
2 Le condensateur

a. Constitution d'un condensateur

• Dans de nombreux dispositifs électroniques, on trouve des **condensateurs**, de formes et de tailles différentes (photographie B), caractérisés par une capacité C et une tension maximale de fonctionnement.

• Les condensateurs sont composés de deux surfaces conductrices placées face à face et séparées par un matériau isolant appelé **diélectrique**. Ces surfaces sont appelées les **armatures** du condensateur.

Dans un circuit électrique, le symbole normalisé du condensateur est :

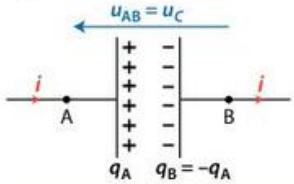


B Condensateurs



b. Comportement d'un condensateur et capacité

• Un condensateur se charge lorsqu'il est soumis à une tension électrique. Un courant électrique circule, ce qui permet à des charges de signes opposés de s'accumuler sur chacune des surfaces conductrices. Un champ électrique apparaît alors entre les armatures (photographie C).



Par la suite, la tension u_{AB} aux bornes du condensateur sera notée u_C pour alléger les notations.

L'aptitude d'un condensateur à accumuler sur ses surfaces conductrices un grand nombre de charges électriques est appelée **capacité**. Notée C, elle caractérise un condensateur et s'exprime en **farad** (F).

• La capacité d'un condensateur est souvent proportionnelle à la surface des armatures et inversement proportionnelle à la distance qui les sépare.

C Condensateur naturel



Une accumulation de charges électriques peut aussi avoir lieu entre un nuage et le sol. Si le champ électrique entre la surface de base du nuage et le sol devient trop important, un arc électrique se déclenche. C'est l'éclair d'un orage.

D Capteur capacitif



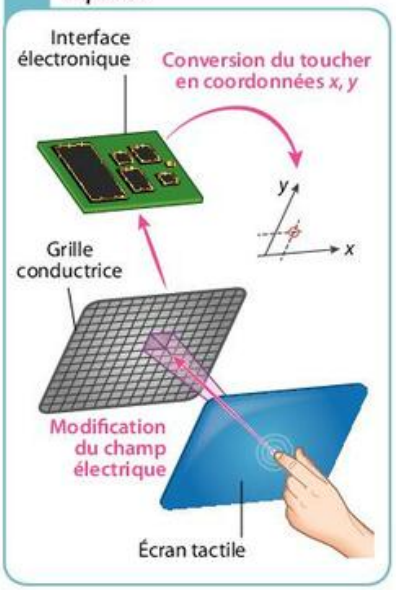
Les condensateurs usuels ont souvent des capacités de quelques microfarads ($1\ \mu F = 1 \times 10^{-6}$ F) ou nanofarads ($1\ nF = 1 \times 10^{-9}$ F).

• Pour une tension donnée, plus la capacité d'un condensateur est grande, plus il emmagasine de charges sur ses armatures.

Pour détecter la présence d'un objet à proximité ou un déplacement (photographie D), les capteurs capacitifs peuvent utiliser la mesure de la variation de diverses grandeurs : capacité, charge des surfaces conductrices ou champ électrique à l'intérieur du condensateur.

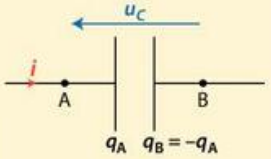
Exemple : La surface en verre d'un écran capacitif de smartphone (schéma E) comprend une grille de fils très fins **électriquement chargée**. Lorsqu'un doigt touche l'écran, des charges électriques sont transférées entre le doigt et l'écran, modifiant localement le champ électrique créé par ces fils. La détection de ces variations permet au téléphone de localiser la zone de contact doigt-écran.

E Fonctionnement d'un écran capacitif



c. Relation entre la charge électrique et la tension pour un condensateur

À tout instant, la charge $q_A(t)$ de l'armature A d'un condensateur, notée plus simplement q_A, est proportionnelle à la tension u_C à ses bornes :



$$q_A \text{ en C} \rightarrow q_A = C \times u_C \leftarrow u_C = u_{AB} \text{ en V} \quad (C \text{ en F})$$

De plus, l'intensité du courant est la dérivée de la charge électrique q_A par rapport au temps : $i = \dfrac{dq_A}{dt}$.

Donc $i = \dfrac{dC}{dt} \times u_C + C \times \dfrac{du_C}{dt} = 0 + C \times \dfrac{du_C}{dt}$ car C est une constante.

L'intensité $i(t)$ du courant électrique dans la branche d'un condensateur, notée plus simplement i, s'exprime par :

$$i = \frac{dq_A}{dt} = C \times \frac{du_C}{dt}$$

(q_A en C, u_C en V, i en A, C en F, t en s)

Le signe de l'intensité i du courant dépend du sens de variation de q_A (INFO), donc de celui de u_C.

INFO

Signe de l'intensité du courant électrique

• Si q_A augmente, alors : $\dfrac{dq_A}{dt} > 0$ et $i > 0$

• Si q_A diminue, alors : $\dfrac{dq_A}{dt} < 0$ et $i < 0$

3 Le modèle du circuit *RC* série

a. Charge et décharge d'un condensateur

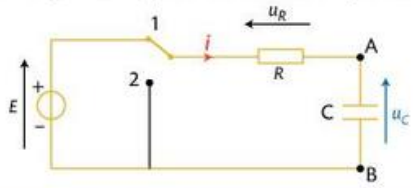
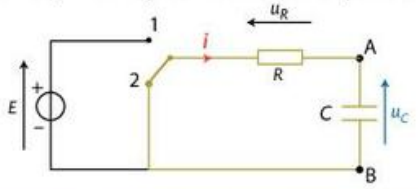
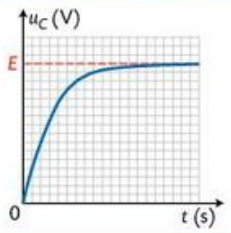
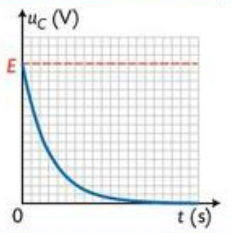
L'association en série d'un condensateur de capacité C et d'un conducteur ohmique de résistance R constitue un **dipôle *RC***.

Étudions comment se charge ou se décharge le condensateur d'un tel dipôle lorsqu'une tension constante est appliquée entre ses bornes.

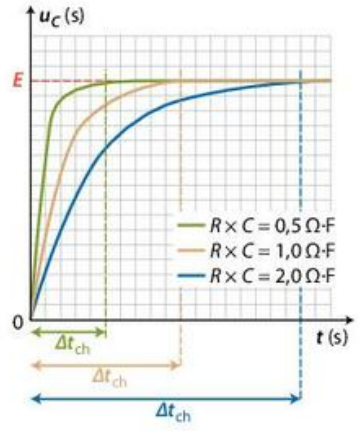
lycee.hachette-education.com/pc/tle



Cours

CAS DE LA CHARGE	CAS DE LA DÉCHARGE
Schéma du circuit électrique	
Un condensateur est initialement déchargé ($u_C = 0$ V), et l'interrupteur est en position 2. À la date $t = 0$ s, l'interrupteur est basculé en position 1. 	Un condensateur est initialement chargé tel que $u_C = E$, et l'interrupteur est en position 1. À la date $t = 0$ s, l'interrupteur est basculé en position 2. 
Établissement de l'équation différentielle vérifiée par la tension $u_C(t)$ notée plus simplement u_C	
D'après la loi des mailles : $u_R + u_C = E$. Or, $u_R = R \times i$ et $i = C \times \frac{du_C}{dt}$. On en déduit l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa charge : $R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$ qui s'écrit aussi : $\frac{du_C}{dt} = \frac{-1}{R \times C} \times u_C + \frac{E}{R \times C}$ C'est l'**équation différentielle** vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur lors de sa **charge**.	D'après la loi des mailles : $u_R + u_C = 0$. Or, $u_R = R \times i$ et $i = C \times \frac{du_C}{dt}$. On en déduit l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa décharge : $R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$ qui s'écrit aussi : $\frac{du_C}{dt} = \frac{-1}{R \times C} \times u_C$ C'est l'**équation différentielle** vérifiée par la tension aux bornes d'un condensateur lors de sa **décharge**.
Détermination de la solution de l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C	
Les solutions d'une équation différentielle $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$) sont de la forme $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$ avec K une constante d'intégration réelle. Ici, la fonction y est la tension u_C, la variable x est le temps t, la constante a est $-\frac{1}{R \times C}$, la constante b est $\frac{E}{R \times C}$ (charge) ou zéro (décharge).	
Les solutions de l'équation différentielle sont donc de la forme : $u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$	Les solutions de l'équation différentielle sont donc de la forme : $u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$
Pour déterminer la constante d'intégration K, il faut utiliser les conditions initiales de la charge ou de la décharge du dipôle RC.	
Le condensateur est ici initialement déchargé ($q_A(0) = 0$). À $t = 0$ s, la tension aux bornes du condensateur est donc nulle : $u_C(0) = \frac{q_A(0)}{C} = 0$ Il vient ainsi : $0 = K \times e^{-\frac{0}{R \times C}} + E$. Or $e^0 = 1$, d'où $K = -E$. La solution de l'équation différentielle est donc : $u_C = -E \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$, d'où : $u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$	Le condensateur est ici initialement chargé ($u_C(0) = E$). À $t = 0$ s, la tension aux bornes du condensateur est donc E : $u_C(0) = E$ Il vient ainsi : $E = K \times e^{-\frac{0}{R \times C}}$. Or $e^0 = 1$, d'où $K = E$. La solution de l'équation différentielle est donc : $u_C = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$
Allure de la courbe donnant la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps	
	

F **Influence de $R \times C$ sur la durée de charge Δt_{ch} du condensateur**



b. Temps caractéristique

• Les équations précédentes montrent que u_C dépend du produit $R \times C$. Plus $R \times C$ est grand et plus la durée de charge Δt_{ch} (ou de décharge $\Delta t_{dé}$) est grande (courbes **F**).

• Procédons à une analyse dimensionnelle du produit $R \times C$.

La résistance R s'exprime en ohm (Ω).

D'après la loi d'Ohm, $R = \frac{u}{i}$, il vient $1\ \Omega = 1\ V \cdot A^{-1}$.

La capacité C s'exprime en farad (F).

D'après la relation $i = C \times \frac{du_C}{dt}$, on déduit $1\ F = 1\ A \cdot s \cdot V^{-1}$.

Donc le produit $R \times C$ s'exprime en $V \cdot A^{-1} \times A \cdot s \cdot V^{-1} = s$.

Le **temps caractéristique** τ de la charge ou de la décharge d'un dipôle RC, aussi appelé **constante de temps**, est défini par :

τ en s ← $\tau = R \times C$ → R en Ω, C en F

• τ permet de déterminer la **durée** de la charge ou de la décharge d'un dipôle RC. En effet, la solution de l'équation différentielle montre que pour une durée de 5τ, la tension u_C a atteint sa valeur finale (E en charge ou 0 V en décharge) avec un écart de moins de 1 %. Le régime **variable**, appelé régime transitoire, est alors considéré comme terminé. Il est remplacé par un régime **permanent stationnaire** (u_C et i sont devenues constantes).

• Il est possible de déterminer graphiquement le temps caractéristique τ grâce à plusieurs méthodes (courbes ci-dessous).

Les **méthodes graphiques** de détermination du temps caractéristique τ nécessitent l'**exploitation de la solution de l'équation différentielle** vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur lors d'une charge ou d'une décharge.

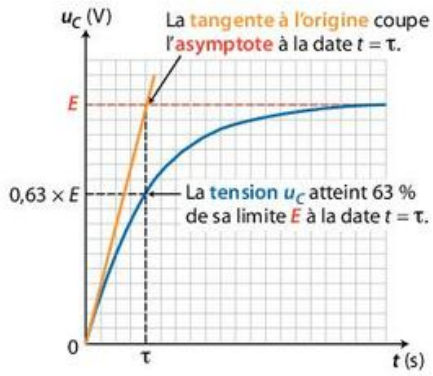
Exemple de détermination de τ par lecture graphique ou par tracé de la tangente à l'origine

Dans le cas de la charge du dipôle RC initialement déchargé, la solution de l'équation différentielle est :

$$u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{R \times C}}\right)$$

Pour $t = \tau = R \times C$, on obtient :

$$u_C(\tau) = E \times (1 - e^{-1}) = E \times (1 - 0{,}37) = 0{,}63E$$

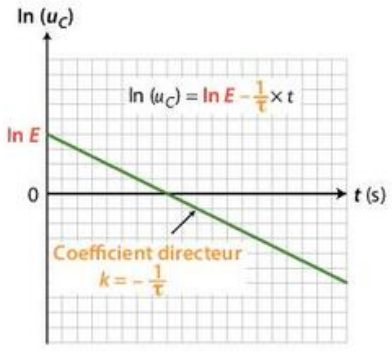


Exemple de détermination de τ par linéarisation

Dans le cas de la décharge du dipôle RC initialement chargé, la solution de l'équation différentielle est :

$$u_C = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}} \Leftrightarrow \ln(u_C) = \ln E - \frac{1}{RC} \times t$$

$\tau = R \times C$ est l'opposé de l'inverse du coefficient directeur k de la droite $\ln(u_C) = f(t)$.



L'essentiel

VIDÉO DE COURS
Charge et décharge d'un condensateur
QCM
Version interactive

1 L'intensité du courant électrique

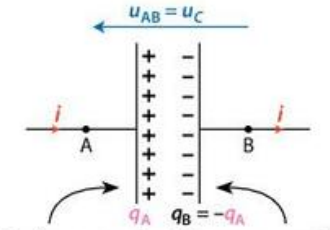
L'intensité i du courant électrique est un **débit de charges électriques** quel que soit le régime de fonctionnement.

Pour une portion de conducteur électrique, l'intensité du courant est la dérivée de la charge électrique par rapport au temps :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

i en A ; q en C ; t en s

2 Le condensateur



Surfaces conductrices en regard

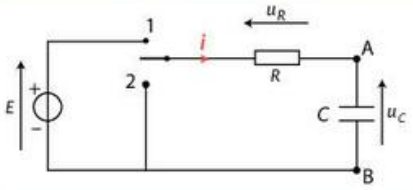
$q_A = C \times u_C$ (q_A en C, u_C en V, C en F)

$i = C \times \frac{du_C}{dt}$

$i = \frac{dq_A}{dt}$

3 Le modèle du circuit *RC* série

Circuit d'étude



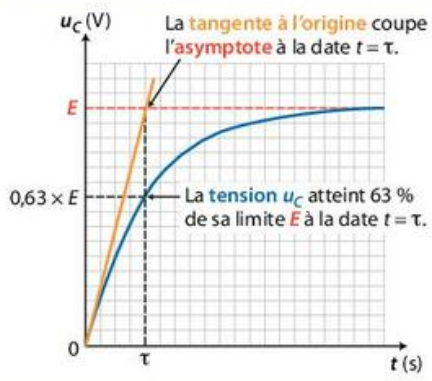
Établissement de l'équation différentielle vérifiée par u_C

- Application de la loi des mailles
- Application de la loi d'Ohm
- Utilisation de la relation : $q_A = C \times u_C$
- Présentation de l'équation différentielle sous la forme : $y' = a \times y + b$ (où $a \neq 0$)

Résolution de l'équation différentielle

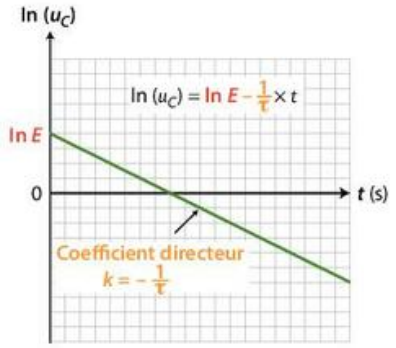
- Rappel de la forme des solutions de l'équation différentielle $u_C = f(t)$
- Utilisation des conditions initiales pour trouver la constante d'intégration

Tangente à $t = 0$ s ou tension à $t = \tau$



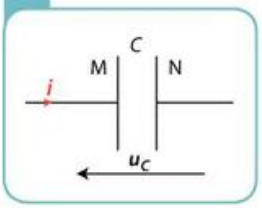
Détermination du temps caractéristique $\tau = R \times C$ par exploitation graphique de la solution de l'équation différentielle

Linéarisation de la courbe

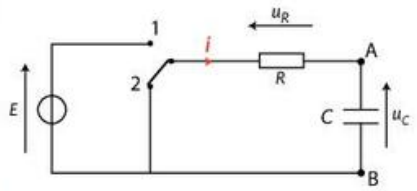


QCM

A



B



Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

	A	B	C

1 L'intensité du courant électrique

Si erreur, revoir § 1 p. 428

1. Pour le condensateur du schéma A, l'intensité *i* est donnée par :	$i = \frac{q_M}{u_C}$	$i = -\frac{dq_M}{dt}$	$i = \frac{dq_M}{dt}$
2. L'intensité du courant électrique peut s'exprimer en :	A	$s \cdot C^{-1}$	$C \cdot s^{-1}$

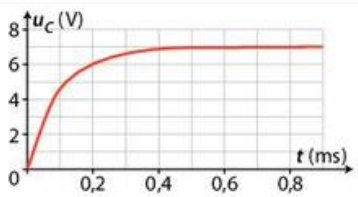
2 Le condensateur

Si erreur, revoir § 2 p. 428

3. Dans un circuit électrique, les deux armatures d'un condensateur :	portent des charges de même signe.	portent des charges de signes opposés.	ne portent jamais de charges.
4. La capacité *C* d'un condensateur :	n'a pas d'unité.	s'exprime en coulomb.	s'exprime en farad.
5. Pour le condensateur du schéma A, la charge de l'armature M est :	$q_M = C \times u_C$	$q_M = \frac{C}{u_C}$	$q_M = \frac{u_C}{C}$
6. Les capacités des condensateurs qui se trouvent dans les ordinateurs peuvent être de l'ordre du : 	microfarad.	nanofarad.	mégafarad.

3 Le modèle du circuit *RC* série

Si erreur, revoir § 3 p. 429

7. On considère le circuit représenté sur le schéma B. L'interrupteur est en position 2 depuis longtemps.	Le condensateur est chargé.	Le condensateur est déchargé.	La tension u_C ne varie pas.
8. L'interrupteur du circuit du schéma B est basculé en position 1. Juste après basculement :	le condensateur se charge.	l'intensité du courant est positive.	la tension u_C augmente.
9. Le temps caractéristique d'un dipôle *RC* :	est donné par le produit $R \times C$.	s'exprime en s.	permet d'estimer la durée de la charge ou de la décharge du condensateur.
10. 	Le temps caractéristique est environ 0,1 ms.	Cette courbe correspond à la décharge d'un condensateur.	Le condensateur est chargé après environ 0,5 ms.

QCM version interactive

Les bons réflexes

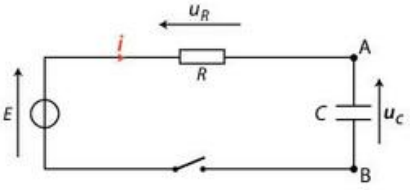
Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...
Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur dans le cas de sa charge par une source idéale de tension, ou de sa décharge.	Réflexe 1 — Ex. 12 p. 437 **Appliquer** la loi des mailles pour établir la relation entre les tensions dans le circuit. **Utiliser** la loi d'Ohm pour exprimer la tension aux bornes du conducteur ohmique. **Exprimer** i en utilisant la relation $i = C \times \frac{du_C}{dt}$. **Identifier**, si nécessaire, le produit $R \times C$ au temps caractéristique, noté τ, du dipôle RC.
Résoudre l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur.	Réflexe 2 — Ex. 15 p. 438 **Écrire** l'équation différentielle sous la forme : $\frac{du_C}{dt} = a \times u_C + b$ (où $a \neq 0$). **Rappeler** la forme générale des solutions de l'équation différentielle. **Utiliser** les conditions initiales pour déterminer la constante d'intégration de la solution.
Déterminer le temps caractéristique τ du dipôle RC.	Réflexe 3 — Ex. 17 p. 438 **Calculer** le produit $R \times C$ en veillant à respecter les unités. ou **Exploiter** le graphique donnant l'évolution de u_C en fonction du temps.

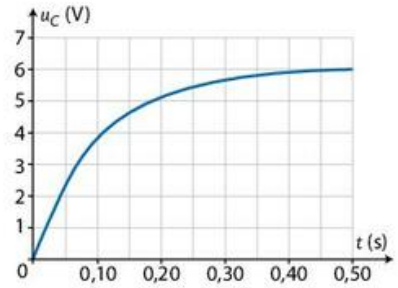
1 Exercice résolu

Trois, deux, un, zéro, chargez !

Effectuer des calculs ; exploiter un graphique ; écrire un résultat de manière adaptée.

On associe un condensateur de capacité $C = 100\ \mu F$ en série avec un conducteur ohmique de résistance $R = 1{,}0\ k\Omega$. À l'instant $t = 0$ s, on ferme le circuit schématisé ci-contre. Préalablement déchargé, le condensateur est alors mis en charge. La source idéale de tension permettant cette charge est telle que $E = 6{,}0$ V.





1. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa charge.

2. Résoudre cette équation différentielle et montrer que, lors de la charge, la tension u_C peut s'écrire, avec u_C exprimée en volt et t exprimée en seconde :

$$u_C = 6{,}0 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{0{,}10}}\right)$$

3. Retrouver graphiquement le temps caractéristique du dipôle RC.

Solution rédigée

• **On utilise le** Réflexe 1.

Application de la loi des mailles

Utilisation de la loi d'Ohm pour exprimer u_R

Expression de i

Identification du produit $R \times C$ au temps caractéristique τ

1. D'après la loi des mailles dans le circuit, $E = u_R + u_C$ **(1)**.

D'après la loi d'Ohm, $u_R = R \times i$.

De plus, $i = \frac{dq_A}{dt}$ et $q_A = C \times u_C$.

D'où $i = \frac{d(C \times u_C)}{dt} = C \times \frac{du_C}{dt}$.

Ainsi, $u_R = R \times C \times \frac{du_C}{dt}$ **(2)**.

En remplaçant **(2)** dans **(1)**, on obtient :

$$E = R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C$$

Le produit $R \times C$ est le temps caractéristique du dipôle RC que l'on note τ.

Ainsi, l'équation différentielle peut s'écrire :

$$E = \tau \times \frac{du_C}{dt} + u_C$$

• **On utilise le Réflexe 2.**

Écriture de l'équation différentielle sous la forme recherchée

Rappel de la forme générale des solutions de l'équation différentielle

Utilisation des conditions initiales pour déterminer la constante d'intégration de la solution

2. L'équation différentielle peut se réécrire sous la forme :

$$\frac{du_C}{dt} = -\frac{1}{\tau}u_C + \frac{E}{\tau}$$

Les solutions de l'équation différentielle $y' = a \times y + b$ sont de la forme :

$y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$ avec K un réel et $a \neq 0$.

Ici, les solutions sont de la forme $u_C = K \times e^{-\frac{t}{\tau}} + E$.

Initialement, le condensateur est déchargé, d'où $u_C(0) = 0$ V.

Or d'après la solution, $u_C(0) = K + E$. On en déduit : $K = -E$.

La solution de l'équation est donc : $u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$.

$E = 6{,}0$ V et $\tau = R \times C$ soit $\tau = 1{,}0 \times 10^3\ \Omega \times 100 \times 10^{-6}$ F $= 0{,}10$ s. On retrouve l'expression de u_C : $u_C = 6{,}0 \times \left(1 - e^{-\frac{t}{0{,}10}}\right)$ avec u_C en volt et t en seconde.

• **On utilise le Réflexe 3.**

Exploitation du graphique donnant l'évolution de u_C en fonction du temps

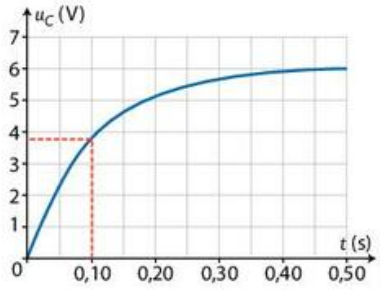
3. Le temps caractéristique peut être déterminé, par exemple, par la méthode suivante.

D'après l'expression obtenue à la question 2, pour $t = \tau$, le condensateur atteint 63 % de sa charge. On détermine dans un premier temps la tension u_C correspondante :

$u_C(\tau) = 0{,}63 \times 6{,}0$ V $= 3{,}8$ V.

On lit graphiquement l'abscisse correspondante.

On retrouve le résultat de la question précédente : $\tau = 0{,}10$ s.



Côté maths 9 : Résoudre une équation différentielle

Côté maths

Résoudre sur $\mathbb{R}$ l'équation différentielle $y' = 2y + 5$ pour laquelle $y(0) = 1$.

Méthode

Pour une équation différentielle $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$), il existe un ensemble de solutions de la forme :

$$y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}, \text{ avec } K \in \mathbb{R}$$

Les solutions de cette équation sont donc :

$$y = K \times e^{2x} - \frac{5}{2} \text{ avec } K \in \mathbb{R}$$

Or, $y(0) = 1$, donc $1 = K - \frac{5}{2}$, soit $K = \frac{7}{2}$.

L'unique solution de cette équation différentielle vérifiant $y(0) = 1$ est donc : $y = \frac{7}{2}e^{2x} - \frac{5}{2}$.

Côté physique & chimie

Déterminer la solution de l'équation différentielle :

$$u_C + R \times C \times \frac{du_C}{dt} = 0 \text{ avec } u_C(0) = E$$

Méthode

L'équation différentielle peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{du_C}{dt} = -\frac{u_C}{R \times C}$$

Or les solutions d'une équation différentielle de la forme $y' = ay + b$ s'écrivent $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$, avec $K \in \mathbb{R}$ et $a \neq 0$.

Par analogie, on trouve comme solutions pour l'équation différentielle proposée : $u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$.

Sachant que $u_C(0) = E$, on trouve $K = E$.

L'unique solution de cette équation différentielle vérifiant $u_C(0) = E$ est donc : $u_C = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$.

À retenir !

Théorème : Les solutions d'une équation différentielle de la forme $y' = ay + b$ sont $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$ avec $K \in \mathbb{R}$ et $a \neq 0$.

Exercices — Appliquer le cours

Parcours d'exercices CORRIGÉS

Ce que je dois savoir et savoir faire	Appliquer le cours	S'entraîner	Vers le BAC
Identifier des situations variées où il y a accumulation de charges de signes opposés sur des surfaces en regard.	6	27	30
Citer des ordres de grandeur de valeurs de capacités usuelles.	8	27	30
Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur.	12	19	30
Expliquer le principe de fonctionnement de quelques capteurs capacitifs.		27	30
Déterminer le temps caractéristique d'un dipôle *RC*.	17	21	30
Capacité mathématique : résoudre une équation différentielle linéaire du premier ordre.	14	19	30

1 L'intensité du courant électrique

2 Définir une intensité CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

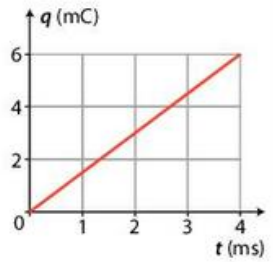
1. Quelle relation permet de définir l'intensité du courant électrique pendant une durée Δt ? L'illustrer d'un schéma.

2. Comment l'intensité du courant électrique est-elle définie dans une portion de conducteur ?

3 Comprendre l'intensité du courant

Effectuer des calculs.

La charge électrique q traversant une section de conducteur est étudiée ci-contre.



1. Comment la charge évolue-t-elle au cours du temps ?

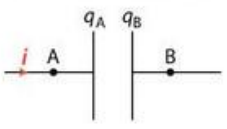
2. Déterminer l'intensité du courant correspondante.

2 Le condensateur

4 Comprendre le fonctionnement d'un condensateur CORRIGÉ

Exploiter un schéma.

1. Identifier les parties conductrices et isolantes du condensateur schématisé ci-dessous.



2. Comment la charge électrique évolue-t-elle si l'intensité du courant i est positive ?

5 Exprimer une intensité

Effectuer des calculs.

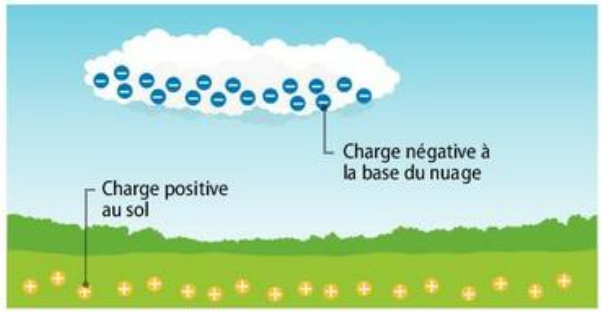
Un circuit comportant un condensateur est parcouru par un courant électrique d'intensité variable.

1. Quelle relation lie la tension aux bornes du condensateur à sa capacité ? Préciser les notations sur un schéma.

2. En déduire une relation entre l'intensité du courant et la tension aux bornes du condensateur.

6 Identifier un condensateur (1) CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.



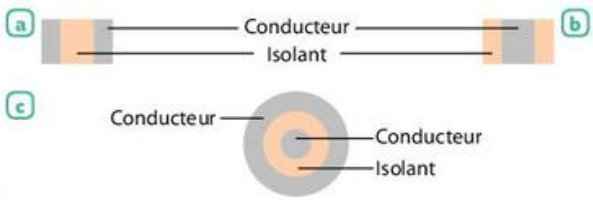
1. Expliquer pourquoi la situation illustrée s'apparente à celle observée lorsqu'un condensateur est chargé.

2. Représenter (direction, sens) le champ électrique qui règne dans l'espace séparant le nuage du sol.

7 Identifier un condensateur (2)

Exploiter un schéma.

• Parmi les schémas ci-dessous, le(s)quel(s) représente(nt) un condensateur ?

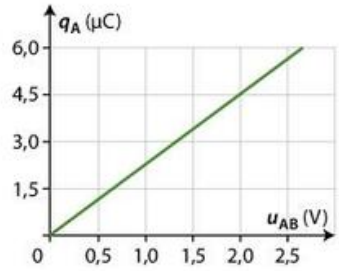


8 Déterminer la capacité d'un condensateur

CORRIGÉ

| Exploiter un graphique.

Le graphique ci-dessous représente la charge électrique d'une armature d'un condensateur en fonction de la tension à ses bornes.



1. Rappeler la relation liant la charge q_A et la tension u_{AB} aux bornes du condensateur et déterminer sa capacité.

2. Est-elle d'un ordre de grandeur usuel ?

9 Calculer la charge emmagasinée par un condensateur

| Effectuer des calculs.

Les flashs d'appareil photographique contiennent des condensateurs.
La décharge rapide du condensateur dans une lampe permet l'émission du flash.

• Déterminer la charge électrique maximale que peut stocker ce condensateur.



3 Le modèle du circuit *RC* série

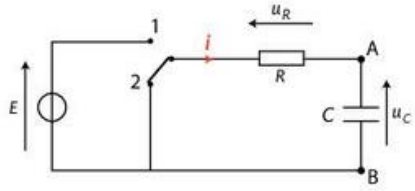
VIDÉO DE COURS **Charge et décharge d'un condensateur**
QR Code p. 432

10 Différencier charge et décharge d'un condensateur

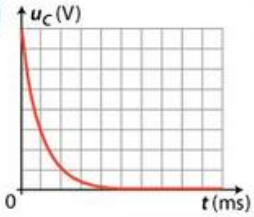
CORRIGÉ

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

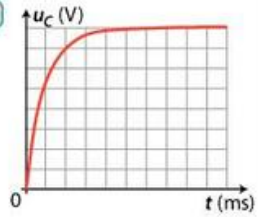
• Associer, à chaque position 1 ou 2 de l'interrupteur du schéma ci-dessous, le graphique représentant la tension u_C aux bornes du condensateur en fonction du temps.



a



b



11 Évaluer l'évolution d'une tension

| Tracer un graphique.

L'interrupteur du circuit de l'exercice 10 est placé en position 2 alors qu'il était en position 1 depuis longtemps.

1. Le condensateur se charge-t-il ou se décharge-t-il ?

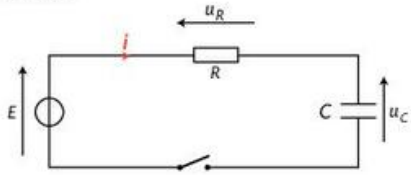
2. Représenter, sans souci d'échelle, l'évolution de la tension u_C aux bornes du condensateur en fonction du temps.

12 Établir une équation différentielle (1)

CORRIGÉ

| Effectuer un calcul.

Un condensateur préalablement déchargé est placé en série avec un conducteur ohmique. À $t = 0$ s, l'interrupteur est fermé.



1. Utiliser la loi des mailles pour établir une relation entre les tensions u_C, u_R et E.

2. Remplacer la tension u_R en utilisant la loi d'Ohm.

3. Sachant que $i = C \times \frac{du_C}{dt}$, trouver l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur.

Utiliser le réflexe 1

13 Établir une équation différentielle (2)

| Faire un schéma adapté.

Un circuit est constitué d'un condensateur chargé de capacité C et d'un conducteur ohmique de résistance R.

1. Représenter le circuit correspondant et flécher les tensions.

2. Établir une relation entre la tension u_C aux bornes du condensateur et la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique.

3. En déduire l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C.

Côté maths

Côté maths 9 p. 435

14 Résoudre une équation différentielle

CORRIGÉ

• Relier chaque équation différentielle à sa solution.

$y' = 2y + 3$ avec $y(0) = -1$	$y = \frac{9}{2} \times e^{2x} - \frac{3}{2}$
$y' = 2y$ avec $y(0) = 5$	$y = \frac{1}{2} \times e^{2x} - \frac{3}{2}$
$y' = 2y + 3$ avec $y(0) = 3$	$y = 5 \times e^{2x}$

15 Résoudre une équation différentielle

CORRIGÉ

Mobiliser et organiser ses connaissances.

L'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes d'un condensateur chargé à l'aide d'une source idéale de tension E est : $\frac{du_C}{dt} = -\frac{u_C}{R \times C} + \frac{E}{R \times C}$.

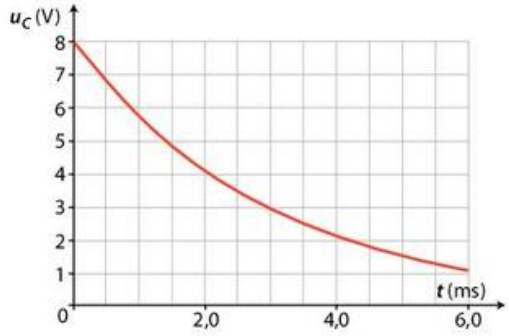
1. Rappeler la forme des solutions d'une équation différentielle $y' = ay + b$ avec $a \neq 0$.

2. Par identification, donner la forme des solutions de l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur. Utiliser le réflexe 2

16 Trouver la solution d'une équation différentielle

Exploiter un graphique.

La tension u_C aux bornes d'un condensateur est représentée ci-dessous en fonction du temps t.



Lors de la décharge d'un condensateur, cette tension a pour expression $u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$ où K est une constante d'intégration réelle.

- Exploiter cette représentation pour déterminer K.

17 Calculer un temps caractéristique

CORRIGÉ

Effectuer des calculs.

Un dipôle RC est constitué par l'association d'un condensateur de capacité $C = 47$ µF et d'un conducteur ohmique de résistance $R = 1{,}0$ kΩ.

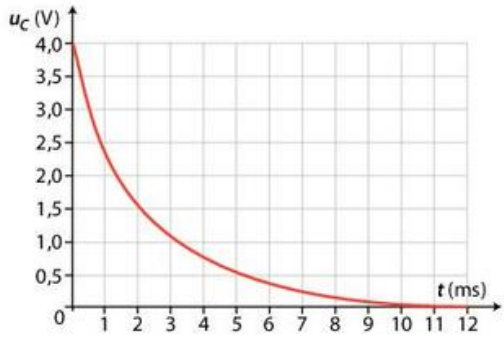
1. Calculer le temps caractéristique de ce dipôle. Utiliser le réflexe 3

2. À partir de la loi d'Ohm et de la relation $i = C \times \frac{du_C}{dt}$, vérifier par une analyse dimensionnelle que l'expression du temps caractéristique est homogène.

18 Déterminer une capacité par évaluation d'un temps caractéristique

Exploiter un graphique.

Un condensateur de capacité C inconnue est associé à un conducteur ohmique de résistance $R = 1{,}0$ kΩ. La courbe ci-dessous représente la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps lors de sa décharge.



1. Déterminer graphiquement le temps caractéristique de la décharge de ce dipôle.

2. En déduire la capacité C du condensateur.

Exercices S'entraîner

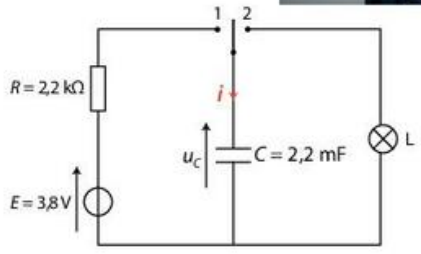
19 Flash d'un appareil photographique

CORRIGÉ

Effectuer des calculs ; exploiter un schéma ; faire un schéma adapté.

Un appareil photographique est équipé d'un flash alimenté par une batterie. Il comporte un circuit électronique dont une partie est schématisée ci-dessous.





Lors de la prise d'une photographie avec flash, le condensateur emmagasine de l'énergie fournie par la batterie pendant quelques secondes, puis la restitue dans une lampe en 0,1 s. La lampe L émet alors un éclair lumineux intense.

1. Sur quelle position faut-il placer l'interrupteur pour que le condensateur se charge ?

2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur lors de sa charge.

3. Résoudre l'équation différentielle et montrer que $u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$ lors de la charge.

4. Schématiser le circuit correspondant à la décharge du condensateur.

5. Calculer la résistance de la lampe si la durée Δt nécessaire pour que le condensateur soit déchargé à 99 % est 0,1 s.

20 Supercondensateurs

Extraire et organiser l'information ; formuler des hypothèses.



La société chinoise Ningbo CSR New Energy Technology a développé des supercondensateurs à base de graphène à capacité élevée $C = 177$ F et tension de charge $U = 51$ V. Un bus à supercondensateurs se recharge en quelques secondes à chaque arrêt. Il est alors capable de parcourir jusqu'à cinq kilomètres.

1. a. Quels sont les ordres de grandeur des capacités usuelles ?

b. Justifier l'appellation « supercondensateur ».

2. L'énergie stockée par un condensateur, en joule, est : $\mathscr{E} = \frac{1}{2} C \times U^2$. Calculer l'énergie stockée dans un supercondensateur chargé identique à celui de l'énoncé.

3. Une batterie au plomb est susceptible de stocker une énergie de l'ordre de 10^9 J après une durée de charge de plusieurs heures. Citer un avantage de l'utilisation de supercondensateurs dans un bus.

21 Connaître les critères de réussite

CORRIGÉ

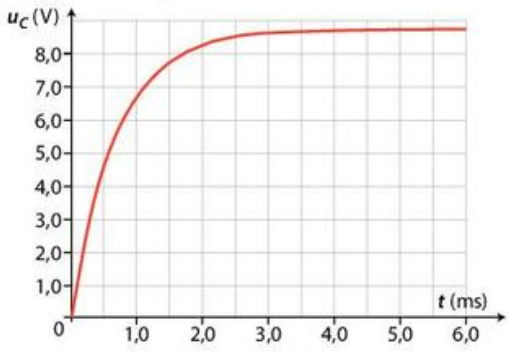
Caractéristiques d'une pile

Exploiter un graphique ; effectuer des calculs.

On associe à un condensateur préalablement déchargé de capacité $C = 0{,}10$ mF une pile de force électromotrice E et de résistance interne r.

Dans cette situation, la tension u_C aux bornes du condensateur est donnée par : $u_C = E\left(1 - e^{-\frac{t}{r \times C}}\right)$.

La représentation de la tension aux bornes du condensateur en fonction du temps est donnée ci-dessous :



1. En considérant l'expression de la tension u_C d'une part, et la représentation graphique d'autre part, déterminer la force électromotrice E de la pile.

2. Déterminer graphiquement le temps caractéristique de la charge de ce dipôle.

3. En déduire la résistance interne de la pile.

Critères de réussite		
J'ai justifié mon raisonnement (question 1).	☐	☐
J'ai expliqué la méthode choisie (question 2).	☐	☐
J'ai réalisé le calcul en faisant attention aux unités (question 3).	☐	☐

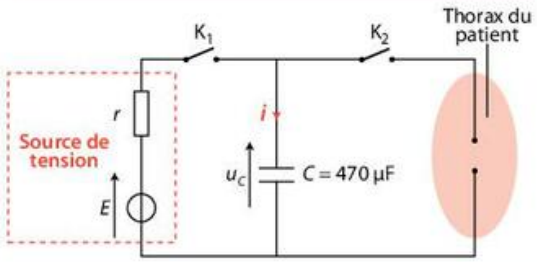
22 Le défibrillateur

Effectuer des calculs ; exploiter un graphique.

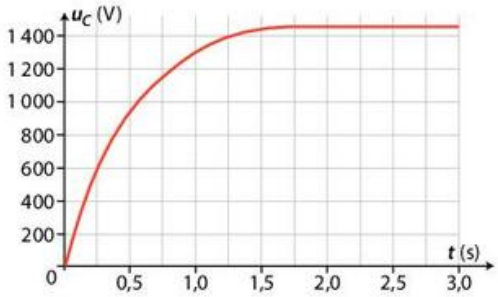
A Défibrillateur cardiaque

Un défibrillateur cardiaque permet d'appliquer un choc électrique sur le thorax d'un patient, dont les fibres musculaires du cœur se contractent de façon désordonnée (fibrillation).

B Schéma simplifié du circuit électrique d'un défibrillateur cardiaque



Avant d'appliquer le choc électrique au patient, la source de tension charge le condensateur. Le graphique ci-dessous représente la tension u_C aux bornes du condensateur au cours de cette charge en fonction du temps t.



1. Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur peut s'écrire :

$$r \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

2. Montrer que la solution de cette équation différentielle est $u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$. En déduire graphiquement E.

3. Déterminer le temps caractéristique de cette charge.

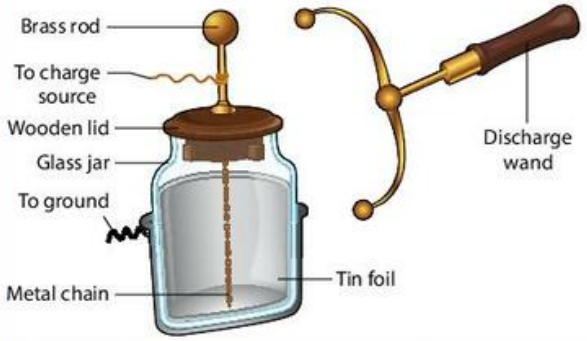
4. En déduire la résistance interne r de la source de tension.

5. Le thorax du patient est assimilé à un conducteur ohmique de résistance $R = 50\ \Omega$. Calculer l'intensité du courant circulant dans le thorax au début de la décharge.

23 Leyden Jar

Pratiquer une langue vivante étrangère.

Leyden jars[1] were invented in the mid 1700s, named after the place – the University of Leiden – where much of the early experimentation took place.
These devices[2], though quite humble, represented a tremendous breakthrough[3] in the history of electricity, as they were the very first capacitors, and as such were able to store electric charge. Scientists had been creating static electricity with electrostatic generators for a century; now they finally had some place to put it!



Vocabulary : 1. *Leyden jar*: bouteille de Leyde. 2. *Device*: appareil. 3. *Tremendous breakthrough*: grande avancée.

1. The Leyden jar is a condenser. Identify what corresponds to the reinforcements and the dielectric.

2. What is the property of the capacitor discovered in Leiden?

24 Lampe rechargeable

Faire un schéma adapté ; effectuer des calculs.

Il existe des lampes sans pile qui se rechargent quand elles sont secouées. L'énergie mécanique du mouvement est convertie en énergie électrique et stockée dans un condensateur de capacité $C = 4{,}0$ F. Une fois le condensateur chargé, la tension à ses bornes est $E = 5{,}5$ V. Un mouvement de 30 s permet à la lampe de fonctionner durant quelques minutes.
On souhaite étudier le comportement en décharge du condensateur. Pour cela, on l'associe à un conducteur ohmique de résistance $R = 220\ \Omega$, à une DEL et à un interrupteur. Le condensateur étant préalablement chargé, on ferme l'interrupteur à $t = 0$ s.

1. Schématiser le circuit électrique de décharge du condensateur sans soucis de fléchage des tensions.

2. Lorsque la DEL fonctionne, la tension à ses bornes est $u_{seuil} = 2{,}0$ V. On montre, en fléchant i et u_C dans le même sens, que la tension aux bornes du condensateur est :

$$u_C = (E - u_{seuil}) \times e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{seuil}$$

avec $i = -C \times \dfrac{du_C}{dt}$.

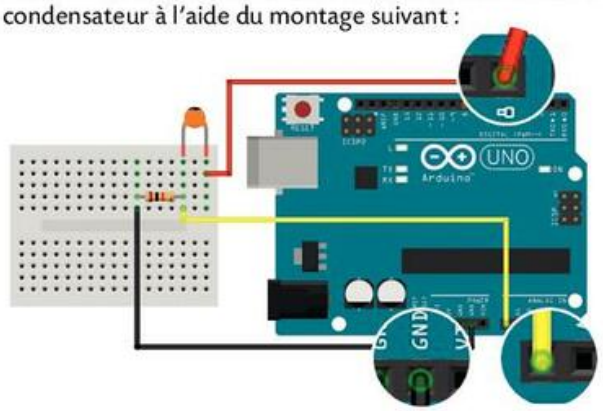
Déterminer l'expression de i en fonction du temps.

3. Pour fonctionner correctement, la DEL doit être traversée par un courant d'intensité supérieure à 10 mA. Quelle durée de fonctionnement Δt peut-on prévoir ?

25 Détermination d'une capacité

Exploiter des mesures ; tracer un graphique.

Un élève souhaite déterminer la capacité inconnue d'un condensateur à l'aide du montage suivant :



La résistance du conducteur ohmique est $R = 1{,}0$ kΩ. À $t = 0$ s, la borne n° 8 (en haut du montage ci-dessus) passe à l'état haut. La tension entre cette borne et la masse (borne GND en bas) passe alors de 0 V à 5,00 V. Les résultats obtenus sont consignés ci-dessous.

t (ms)	5	10	15	20	25	30	35
u_R (V)	3,03	1,84	1,12	0,68	0,41	0,25	0,15

t (ms)	40	45	50	55	60	65	70
u_R (V)	0,09	0,06	0,03	0,02	0,01	0,01	0

1. Montrer que l'élève n'a pas besoin de refaire le montage pour obtenir la tension u_C aux bornes du condensateur en fonction du temps.

2. Utiliser un tableur ou un langage de programmation pour représenter la tension u_C en fonction du temps.

3. Déterminer le temps caractéristique de la charge du dipôle RC ainsi constitué.

4. Calculer la capacité C du condensateur.

5. Pour améliorer la précision de la détermination de C, faudrait-il augmenter ou diminuer l'intervalle de temps entre deux mesures pour une même durée totale d'enregistrement ?

26 Résolution de problème

Fiche 1 p. 452

Condensateur et sécurité

Construire les étapes d'une résolution de problème.

Lors de la manipulation de circuits électroniques comportant des condensateurs, il est indispensable de les décharger préalablement afin d'éviter leur décharge dans le corps du manipulateur.
Une solution est de placer un conducteur ohmique de résistance 2,0 kΩ entre les bornes du condensateur sur la carte électronique.



• Au bout de quelle durée le condensateur de la photographie, initialement chargé, est-il déchargé à 99 % ?

27 Capteur capacitif de pression

CORRIGÉ

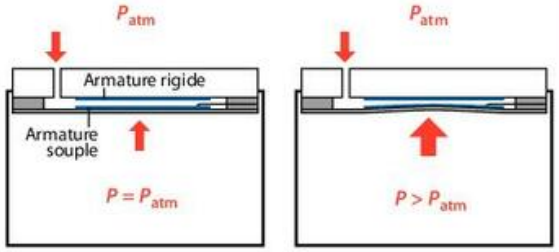
Exploiter des informations ; formuler des hypothèses.

Les capteurs capacitifs de pression sont utilisés dans de nombreux dispositifs industriels visant à déterminer, par exemple, le taux de remplissage d'une cuve fermée hermétiquement.

A Capteur capacitif de pression relative

Un capteur capacitif de pression relative est constitué de deux armatures métalliques, l'une fixe et rigide, l'autre souple, placées face à face. Ce capteur capacitif permet de mesurer une pression relative ΔP par rapport à la pression atmosphérique P_{atm} :

$$\Delta P = P - P_{atm}$$



B Capacité d'un condensateur plan

La capacité (en F) d'un condensateur plan de surface S (en m^2) et dont le diélectrique, d'épaisseur e (en m), est constitué d'air, est donnée par :

$$C = 8{,}85 \times 10^{-12} \times \frac{S}{e}$$

1. Quelle est la pression relative mesurée par le capteur capacitif lorsque la pression P est égale à la pression atmosphérique ?

2. Ce capteur peut-il être assimilé à un condensateur plan ?

3. Comment la capacité de ce capteur évolue-t-elle lorsque la pression augmente du côté de l'armature souple ?

4. Le capteur présenté est caractérisé par des armatures de diamètre $D = 10$ cm et une épaisseur $e = 1$ mm.

a. Calculer la capacité de ce capteur.

b. Son ordre de grandeur est-il usuel ?

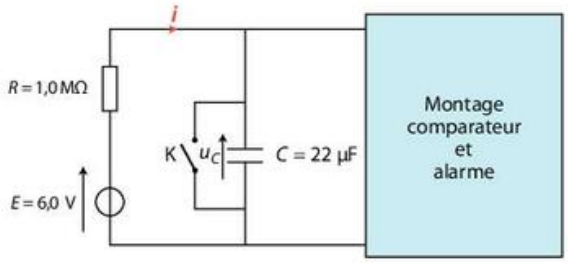
28 À chacun son rythme

Dans 40 s, l'alarme se déclenchera...

Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs ; rédiger une explication.

Commencer par résoudre l'énoncé compact. En cas de difficultés, passer à l'énoncé détaillé.

Lorsque l'utilisateur d'une alarme d'appartement rentre chez lui, après l'ouverture de la porte d'entrée, il doit disposer d'une durée suffisante pour désactiver le dispositif. Sinon, cette durée écoulée, l'alarme se déclenche.
Lorsque l'alarme est sous tension et que l'utilisateur entre, l'interrupteur K du dispositif s'ouvre, et le condensateur se charge.



Le montage comparateur mesure la tension aux bornes du condensateur et la compare à une tension de référence $u_{ref} = 5{,}0$ V. Aucun courant ne circule dans la branche de ce montage comparateur. L'alarme sonore se déclenche si $u_C > u_{ref}$.

Énoncé compact

De combien de temps l'utilisateur dispose-t-il pour désactiver l'alarme ?

Énoncé détaillé

1. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par la tension u_C aux bornes du condensateur.

2. Montrer que la tension u_C aux bornes du condensateur vérifie : $u_C = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$.

3. De combien de temps l'utilisateur dispose-t-il pour désactiver l'alarme ?

29 Python

Temps caractéristique

Utiliser un langage de programmation.

Un condensateur initialement chargé est déchargé à travers un conducteur ohmique de résistance $R = 220\,\Omega$. Les valeurs de la tension aux bornes du condensateur u_C en fonction du temps sont consignées dans un fichier de type csv.
Un programme en langage python, à télécharger, permet de représenter la courbe $u_C = f(t)$.

PROGRAMME Python – QR Code p. 432

1. Exécuter le programme avec les données de l'expérience pour vérifier que l'on a bien une décharge. Sous quelle tension E le condensateur a-t-il été préalablement chargé ?

2. L'expression de la tension u_C en fonction du temps est $u_C = E \times e^{-\frac{t}{R \times C}}$. Montrer que l'on peut également écrire cette relation sous la forme $\ln(u_C) = \ln E - \frac{1}{R \times C} \times t$.

3. Quelles sont les modifications à apporter au programme pour afficher la courbe $\ln(u_C) = f(t)$ à partir des données expérimentales ? Les mettre en œuvre.

4. En utilisant l'outil de modélisation de ce programme, déterminer le coefficient directeur et l'ordonnée à l'origine de cette droite.

5. En déduire la capacité C du condensateur utilisé.

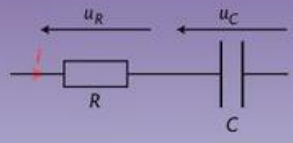
Donnée

Avec la bibliothèque numpy appelée par l'alias « np », le logarithme népérien de x s'écrit « np.log(x) ».

Vers le BAC

Faire attention au sens des flèches !

Flécher u_R et u_C dans le sens opposé à la flèche de i :



Ne pas confondre

Durée de charge ou de décharge

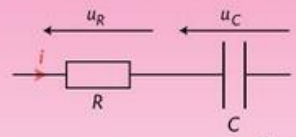
Temps caractéristique $\tau = R \times C$

Attribuer à chaque grandeur son unité

Grandeur	Unité
Tension u	Volt : V
Intensité i	Ampère : A
Résistance R	Ohm : Ω
Capacité C	Farad : F
Durée Δt, τ	Seconde : s

Attribuer à chaque dipôle sa relation

Avec les flèches dans ce sens :



$u_R = R \times i$ $\quad i = C \times \frac{du_C}{dt}$

Préparation à l'écrit

→ Les bons réflexes 1, 2 et 3 sont présentés p. 434

30 CORRIGÉ — 40 min

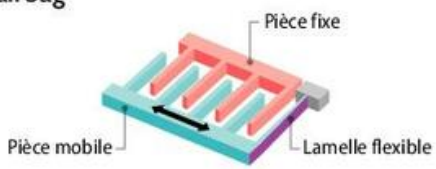
Airbag et condensateur

Exploiter des mesures ; effectuer des calculs ; proposer un modèle.

D'après Baccalauréat France métropolitaine, 2009

Les accéléromètres sont utilisés dans les voitures pour détecter des variations brutales de vitesse liées à des chocs et déclencher des airbags.
Un accéléromètre capacitif est constitué de deux pièces en forme de peignes, sans contact entre elles (schémas **A**).

A Fonctionnement de l'accéléromètre et déclenchement d'un airbag



Les deux pièces face à face forment un condensateur.

En absence de choc, les dents de chaque pièce sont immobiles.



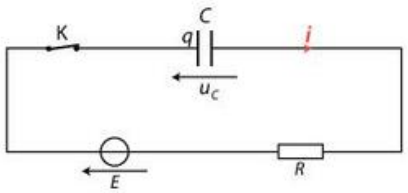
Lors d'un choc, la partie mobile se déplace. Cela modifie la capacité du condensateur.



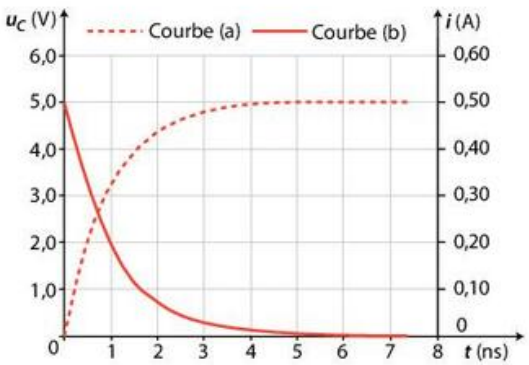
La détection de cette modification entraîne le gonflage de l'airbag.

B Circuit permettant l'étude du principe du capteur

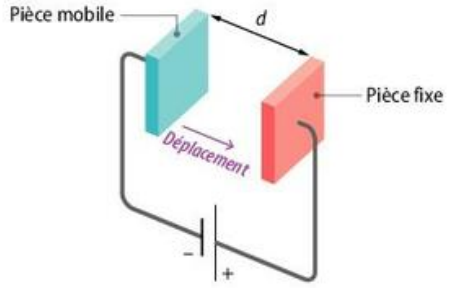
Un condensateur de capacité $C = 100$ pF, initialement déchargé, est associé à une source de tension et à un conducteur ohmique.



C Grandeurs électriques après fermeture de l'interrupteur K du circuit B à $t = 0$ s



D Rapprochement des armatures lors d'un choc



Partie I Comportement en l'absence de choc

La mise sous tension de l'accéléromètre revient à fermer l'interrupteur K du circuit **B**. Le condensateur est déchargé avant cette fermeture.
À l'instant $t = 0$, on ferme cet interrupteur.

1. Le condensateur du circuit **B** possède-t-il une capacité usuelle ?

2. Sur le graphique **C**, identifier, en justifiant qualitativement, la courbe correspondant à la tension u_C et celle correspondant à l'intensité i.

3. a. Déterminer graphiquement le temps caractéristique de la charge du dipôle RC. Utiliser le réflexe 3
b. Comparer ce temps à la durée d'un choc de l'ordre de 200 ms.

4. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa charge. Utiliser le réflexe 1

5. La résoudre en faisant apparaître le temps caractéristique. Utiliser le réflexe 2

6. En déduire un ordre de grandeur de R.

7. Montrer que le graphique du document **C** permet de retrouver cet ordre de grandeur.

Partie II Comportement en cas de choc



Le rapprochement des deux armatures provoqué par un choc entraîne une augmentation de la capacité du condensateur (schéma **D**).

1. Parmi les deux propositions suivantes, choisir en justifiant celle qui peut convenir.

(a) $C = k \times d$ (b) $C = \frac{k}{d}$

2. Rappeler l'expression de la tension u_C aux bornes du condensateur et de la charge électrique q du condensateur avant le choc, en fonction de E (on pourra s'aider d'un schéma du circuit).

3. Montrer que lors d'un choc, des charges électriques sont mises en mouvement dans le circuit électrique, et identifier le sens de leur déplacement.

Coup de pouce QR Code p. 432

Préparation à l'ECE



Une station météo comporte de nombreux capteurs permettant de mesurer, par exemple, la température, la pression, le taux d'humidité, la valeur de la vitesse du vent, etc.

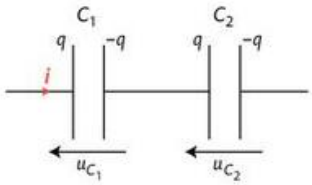
A Capteur d'humidité

L'évolution de la capacité C du capteur d'humidité d'une station météo est donnée dans le tableau ci-dessous en fonction du taux d'humidité RH.

RH (%)	0	20	40	60	80	100
C (pF)	161,6	169,0	175,5	181,4	187,2	193,1

B Association de condensateurs

Lorsque deux condensateurs sont associés en série, leurs armatures portent la même charge électrique :



Pour étudier le capteur du document **A**, on l'associe en série avec un condensateur de capacité $C_2 = 220$ pF. L'ensemble est relié à une source de tension de force électromotrice $E = 3{,}30$ V.

1. REA Tracer le graphique représentant la capacité C du capteur en fonction du taux d'humidité RH.

2. REA Montrer que la capacité du capteur, en picofarad, est donnée en fonction du taux d'humidité, en %, par :

$$C_1 = 0{,}31 \times \text{RH} + 1{,}6 \times 10^2$$

3. REA Quel est le taux d'humidité indiqué par la station météo quand la tension mesurée aux bornes du capteur est $u_{C_1} = 1{,}83$ V ?

Vers l'oral

Fiche Méthode

Maîtriser sa posture

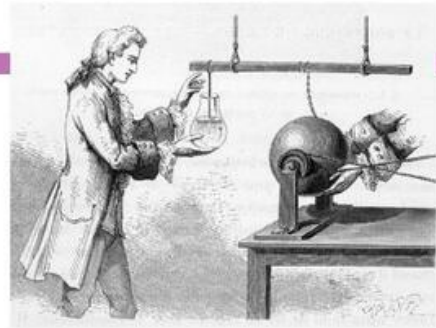
Une posture dynamique et détendue, lors d'une présentation orale, envoie une image positive au jury. Il faut, en effet, éviter d'avoir une attitude trop rigide ou bien trop « cool ».



LA PRISE DE PAROLE EN PUBLIC

- **Visionner la vidéo ci-contre pendant environ 2 min 40 s à partir du début. Cette partie traite de la posture à adopter lors d'une présentation orale.**
- **Repérer et noter les postures convenables.**

À deux, c'est mieux



La bouteille de Leyde

La bouteille de Leyde contient de l'eau. Elle est recouverte d'une feuille d'étain. L'expérience consiste à plonger dans la bouteille une tige métallique surmontée d'une boule. Tandis que la tige entre en contact avec l'eau, on approche la boule d'une machine électrique comme la machine de Wimshurst. La bouteille se « charge » : les deux conducteurs accumulent chacun des charges électriques de signes opposés. Quiconque a alors le malheur de toucher la tige reçoit une violente décharge.

- **Préparer une présentation montrant que la bouteille de Leyde est l'ancêtre du condensateur. Pour cela, préciser l'isolant et les conducteurs. Expliquer ensuite pourquoi, lorsque la bouteille est chargée, le contact avec la tige entraîne une électrisation de la personne.**
- **Présenter le travail à un camarade en ayant une posture adaptée.**
- **Évaluer la présentation à l'aide des critères ci-contre.**

Inverser ensuite les rôles et faire de même. Comparer mutuellement les fiches en précisant les évaluations.

Critères de réussite

Maîtriser sa posture	😐	😊
Les pieds, les genoux et les hanches sont alignés.	☐	☐
Le menton est légèrement relevé.	☐	☐
Le bassin est correctement placé.	☐	☐

Je m'exprime à l'oral sur

Le dipôle *RC*

Répondre aux questions pouvant être posées par le jury :

- Citer une application des **condensateurs**.
- Montrer le lien entre un **orage** et un **condensateur chargé**.
- Quelle est l'expression du **temps caractéristique** d'un dipôle *RC* ?

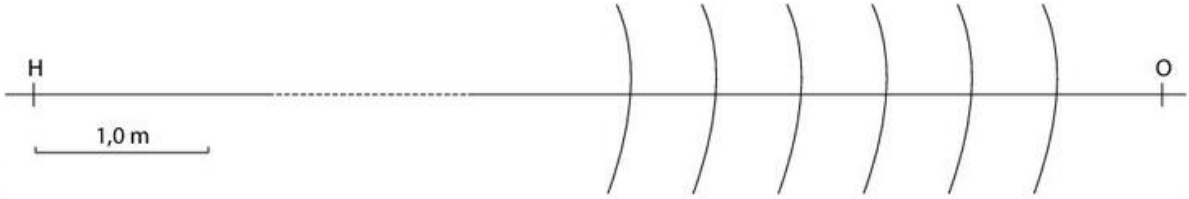
Nuisances sonores aériennes

Exploiter des schémas ; effectuer des calculs ; interpréter des observations.

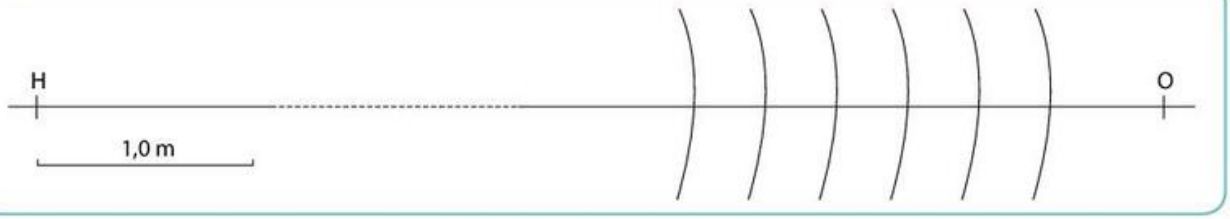


Un hélicoptère se dirige vers une piste d'atterrissage à basse altitude et à une vitesse constante. Il émet une onde sonore de fréquence f_0. Un observateur immobile, positionné sur la piste perçoit cette onde avec une fréquence f'.
On se place dans un référentiel terrestre.
Les portions de cercles des schémas ci-dessous donnent les maxima d'amplitude des ondes sonores à un instant donné. Le point H modélise l'hélicoptère.

A **L'hélicoptère est immobile sur la piste**



B **L'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme vers l'observateur situé en O**



1. a. Déterminer :
– la longueur d'onde λ_0 de l'onde sonore perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est immobile ;
– la longueur d'onde λ' du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme.
b. En déduire :
– la fréquence f_0 de l'onde sonore émise par l'hélicoptère ;
– la fréquence f' du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement.
c. Déterminer le décalage Doppler et discuter de son signe.

2. Calculer la valeur $v_{hélico}$ de la vitesse de l'hélicoptère lorsqu'il se rapproche de la piste.

3. À 5 m, le niveau d'intensité sonore L_1 du son produit par l'hélicoptère est 97 dB. À 10 m, l'intensité sonore I_1 de ce son est égale à $1{,}2 \times 10^{-3}$ W·m^{-2}.
a. Calculer le niveau d'intensité sonore L_2 du son à 10 m de l'hélicoptère.
b. En déduire l'atténuation du signal.

4. Pour protéger l'oreille, il est possible d'utiliser un casque antibruit actif. Un microphone positionné sur le casque capte le son extérieur et un circuit électronique crée un signal électrique en opposition de phase avec le son capté. Le casque convertit ce signal en un son qui se superpose au son extérieur.
Quel phénomène physique explique l'atténuation du niveau sonore par un casque antibruit actif ?
Illustrer la réponse par un schéma.

5. À proximité de la piste, le son de l'hélicoptère est perçu dans un hangar dont la porte coulissante, est ouverte sur 80 cm de large. L'hélicoptère est immobile.
a. Pourquoi le phénomène de diffraction peut-il être pris en compte ?
b. Déterminer l'angle caractéristique de diffraction θ.

Données

- Célérité du son dans l'air $v_{son} = 345$ m·s^{-1}
- Relation entre le décalage Doppler Δf et la valeur de la vitesse $v_{hélico}$:

$$\Delta f = f_0 \times \frac{v_{hélico}}{v_{son} - v_{hélico}}$$

- $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}

Bac

1 Évaluation des Compétences Expérimentales

À propos du carbonate de sodium Na_2CO_3



Le carbonate de sodium de formule Na_2CO_3 (s) est une espèce chimique solide de couleur blanche. Selon sa pureté, son utilisation est différente.

Le but de cette épreuve est de vérifier si un contrôle par dosage suivi par conductimétrie permet d'identifier l'usage du carbonate de sodium disponible.

A **Normes pour l'usage du carbonate de sodium**

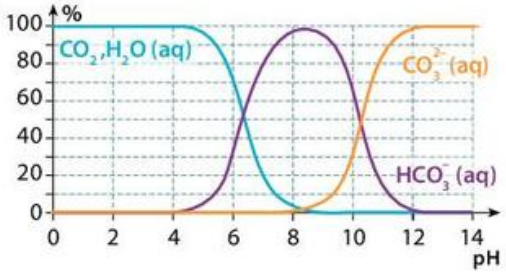
Pourcentage en masse $P_m(Na_2CO_3)$ en carbonate de sodium	Usage	Exemple
$95\,\% \leqslant P_m(Na_2CO_3) \leqslant 99\,\%$	Technique	Liant, verre, détergent
$99\,\% < P_m(Na_2CO_3)$	Alimentaire	Poudre levante

MATÉRIEL ET PRODUITS DISPONIBLES

- Conductimètre et sonde ;
- Bécher de 400 mL ;
- Burette graduée ;
- Pipette jaugée de 10,0 mL ;
- 3 béchers de 50 mL
- Solution S préparée en dissolvant une masse $m_0 = 1{,}00$ g de carbonate de sodium dans 1,00 L ;
- Solution d'acide chlorhydrique telle que $[H_3O^+] = 1{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1}.

B **Diagrammes de distribution**

Couples acide – base : $CO_2, H_2O\,(aq) / HCO_3^-\,(aq)$ et $HCO_3^-\,(aq) / CO_3^{2-}\,(aq)$



C **Simulation du dosage suivi par conductimétrie**

Lors du titrage d'un volume $V_0 = 10{,}0$ mL de solution S de carbonate de sodium, deux réactions se produisent. Les équations des réactions s'écrivent :

(1) : $CO_3^{2-}\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \rightarrow HCO_3^-\,(aq) + H_2O\,(\ell)$

(2) : $HCO_3^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \rightarrow CO_2, H_2O\,(aq) + H_2O\,(\ell)$

Ci-dessous un lien pour télécharger la simulation (à compléter) du titrage.

Données

$M(H) = 1{,}0$ g·mol^{-1} ; $M(Na) = 23{,}0$ g·mol^{-1} ; $M(C) = 12{,}0$ g·mol^{-1} ; $M(O) = 16{,}0$ g·mol^{-1}.

1. ANA-RAIS Justifier, à l'aide des doc. B et C, que les deux réactions de titrage (1) et (2) sont successives, c'est-à-dire se produisent l'une après l'autre.

2. REA Télécharger le programme python permettant de modéliser le dosage suivi par conductimétrie. Compléter, dans cette simulation, le calcul des concentrations des ions carbonate $CO_3^{2-}\,(aq)$ et chlorure $C\ell^-\,(aq)$.

Appel n° 1 : Appeler le professeur pour lui présenter le programme complété.

3. ANA-RAIS Exécuter le programme. À l'aide du graphe donnant la conductivité de la solution en fonction du volume V versé de solution d'acide chlorhydrique, expliquer pourquoi l'équation de réaction suivante permet d'exploiter le titrage suivi par conductimétrie :

$$CO_3^{2-}\,(aq) + 2\,H_3O^+\,(aq) \rightarrow CO_2, H_2O\,(aq) + 2\,H_2O\,(\ell).$$

4. REA Schématiser le dispositif de titrage d'un volume $V_0 = 10{,}0$ mL de la solution S.

Appel n° 2 : Appeler le professeur pour lui présenter le schéma du dispositif.

5. REA Après validation, mettre en œuvre le titrage et déterminer le volume V_E versé à l'équivalence.

6. VAL Déterminer les sources d'erreur éventuelles de ce titrage suivi par conductimétrie.

7. VAL Donner, en justifiant, un usage du carbonate de sodium analysé.

2 Évaluation des Compétences Expérimentales

Grossissement d'une lunette astronomique afocale



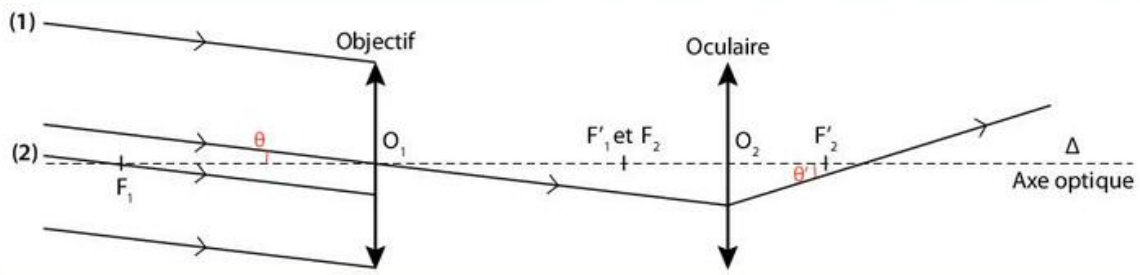
Un astronome amateur souhaite réaliser une lunette astronomique à partir de vieilles paires de lunettes récupérées chez un opticien. Il choisit deux verres de différentes distances focales pour en faire l'objectif et l'oculaire. Ces deux verres sont assimilables à des lentilles minces convergentes.

Le but de cette épreuve est de réaliser une lunette astronomique et de montrer que les distances focales des deux lentilles minces convergentes sont des paramètres déterminants pour observer un astre lointain.

Matériel disponible



A Schématisation d'une lunette astronomique afocale



1. ANA-RAIS-RÉA Proposer et mettre en œuvre un protocole expérimental permettant d'évaluer la distance focale de chaque lentille mince convergente utilisée pour la fabrication de la lunette astronomique.

2. APP À l'aide du schéma A, identifier la lentille qui modélisera l'objectif et celle qui modélisera l'oculaire.

Appel n° 1 : Appeler le professeur pour lui présenter le protocole et les résultats.

3. RÉA Réaliser le montage permettant de modéliser une lunette astronomique afocale.

Appel n° 2 : Appeler le professeur pour lui présenter le montage.

4. RÉA Repérer sur le montage la position de l'image intermédiaire A_1B_1 et mesurer sa taille.

5. RÉA Prolonger les rayons (1) et (2) du schéma A à travers les deux lentilles minces convergentes et positionner l'image intermédiaire A_1B_1.

6. RÉA Le grossissement d'une lunette astronomique est $G = \frac{\theta'}{\theta}$.
Calculer les angles θ et θ' puis le grossissement de la lunette.

3 Évaluation des Compétences Expérimentales

En plein dans le mille



Dans certains spectacles, l'homme-canon est une attraction étonnante au cours de laquelle un homme est projeté dans les airs sur des dizaines de mètres avant d'être réceptionné dans un filet.

Le but de cette épreuve est de déterminer la position du filet modélisé par un gobelet de manière à réceptionner l'objet éjecté, puis de justifier l'importance du choix des conditions initiales.

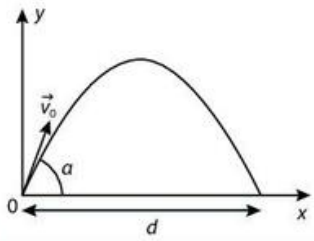
Matériel mis à disposition

- Gobelet
- Lanceur
- Projectile
- Règle
- Un ordinateur
- Webcam
- Logiciels de pointage

+ tableur-grapheur



A Équation de la trajectoire du centre de masse du bouchon dans le champ de pesanteur



$$y = -\frac{1}{2} \times \frac{g}{v_0^2 \times \cos^2 \alpha} \times x^2 + \tan \alpha \times x$$

avec :

- v_0 la valeur de la vitesse initiale du projectile ;
- α l'angle de tir ;
- g l'intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. REA À l'aide de l'équation de la trajectoire du document A, exprimer la distance horizontale d parcourue par le projectile en fonction des conditions initiales, α et v_0 du tir.

2. ANA-RAIS · REA Proposer un protocole expérimental permettant de déterminer l'équation de la trajectoire du centre de masse d'un projectile à partir du moment où il sort du canon.

Appel n° 1 : **Appeler le professeur pour lui présenter le protocole.**

3. VAL

a. À l'aide de la vidéo « projectile » fournie par le professeur, déterminer les conditions initiales, α et v_0 du tir.

b. En déduire la distance horizontale d parcourue par le projectile.

Appel n° 2 : **Appeler le professeur pour lui présenter les résultats.**

4. VAL Identifier les sources d'erreurs liées à ce protocole de détermination de la distance horizontale d.

5. VAL Pour que cette attraction puisse se réaliser sans danger dans une salle, quels paramètres l'organisateur doit-il prendre en compte ?

4 Évaluation des Compétences Expérimentales

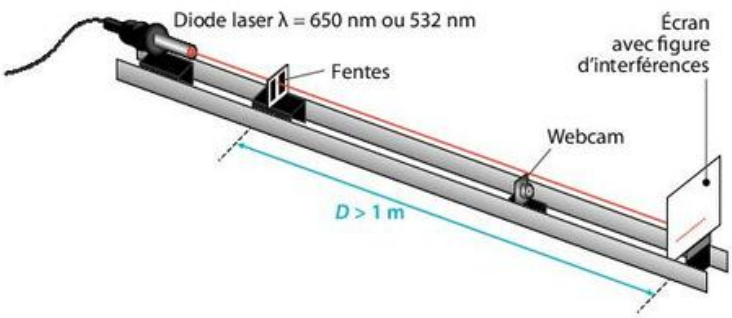
Les fentes d'Young



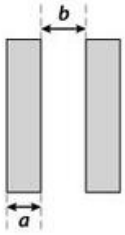
En rangeant le matériel d'optique, un adjoint de laboratoire s'aperçoit que certaines indications de distance sur une diapositive « Fentes d'Young » ont été effacées. Il doit retrouver ces distances.

Le but de cette épreuve est de déterminer la distance entre les deux fentes du dispositif d'Young et de rechercher les conditions expérimentales optimales pour cette mesure.

A Dispositif expérimental

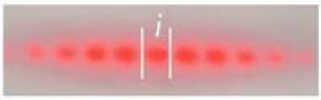


Fentes d'Young



Un laser émet une radiation de longueur d'onde λ sur un dispositif constitué de deux fentes verticales fines parallèles, de largeur a et séparées d'un écartement b. On observe une figure d'interférences formée par des taches lumineuses sur un écran placé à une distance D des fentes.

B Figure d'interférences et interframge



L'expression de l'interframge est :

$$i = \frac{\lambda \times D}{b}$$

(m ; m ; m)

avec les notations du document A.

1. ANA-RAIS-RÉA

a. À l'aide du matériel mis à disposition et des documents, proposer un protocole expérimental permettant de mesurer l'interframge i.

Appel n° 1 : Appeler le professeur pour lui présenter le protocole.

b. Mettre en œuvre le protocole.

2. RÉA Calculer la distance b entre les deux fentes d'Young.

3. L'incertitude-type sur la mesure de b est donnée par :

$$u(b) = b \times \sqrt{\left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

avec $u(i)$, $u(\lambda)$ et $u(D)$ les incertitudes-types sur les mesures de i, λ et D.

Donnée

$u(\lambda) = 1$ nm.

a. ANA-RÉA Déterminer $u(b)$ et présenter le résultat sous la forme $b \pm u(b)$.

Appel n° 2 : Appeler le professeur pour lui présenter les résultats.

b. VAL Proposer des améliorations au dispositif expérimental pour limiter ces sources d'erreurs.

Synthèse

1 Exercice de synthèse

Performances sportives et sciences

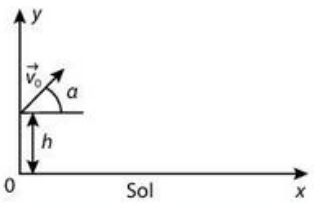
Extraire et exploiter l'information ; tracer et exploiter un graphique ; effectuer des calculs ; confronter des résultats à des hypothèses.

Les sciences permettent d'analyser et de comprendre les performances sportives des athlètes.

A Le lancer de marteau



Le lancer du marteau consiste à lancer le plus loin possible un boulet auquel est fixé un câble en acier muni d'une poignée. Durant la phase d'élan, l'athlète fait prendre de la vitesse à son marteau en tournant sur lui-même. À la fin de la phase d'élan, le mouvement du boulet peut être assimilé à un mouvement circulaire et uniforme de rayon $R = 2{,}2$ m et dont la vitesse initiale a pour valeur $v_0 = 26\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Le marteau est ensuite lâché avant d'atterrir sur le sol. Le mouvement du boulet, modélisé par un point matériel M, est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen auquel on associe le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$. Toutes les actions de l'air sont négligées lors des deux phases du lancer.



Données

- Masse du boulet : $m = 4{,}0$ kg.
- Intensité de la pesanteur : $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.
- Angle d'envol : $\alpha = 45°$.
- Hauteur du boulet au moment du lâcher : $h = 3{,}0$ m.

B Créatine et créatinine

• La créatine contribue à l'apport en énergie aux cellules musculaires. Les besoins en créatine d'un sportif de haut niveau sont de 3 à 4 g par jour. Lors du fonctionnement du muscle, de la créatine se transforme spontanément en créatinine. Le taux de créatinine sanguine dépend de la masse musculaire de l'individu. Les valeurs attendues chez la femme sont comprises entre 4 à 12 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

• En milieu basique, la créatinine réagit avec un excès d'acide picrique pour donner un composé orangé de picrate de créatinine. L'intensité de la couleur obtenue est proportionnelle à la concentration de créatinine. On réalise les mélanges suivants :

Tube 1 : 1,0 mL d'eau distillée ; 1,0 mL de solution d'hydroxyde de sodium ; 1,0 mL de solution d'acide picrique.

Tube 2 : 1,0 mL de sérum sanguin de l'athlète ; 1,0 mL de solution d'hydroxyde de sodium ; 1,0 mL de solution d'acide picrique.

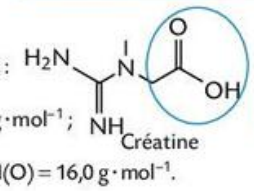
Tube 3 : 1,0 mL d'une solution de créatinine de concentration $C = 100\ \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 1,0 mL de solution d'hydroxyde de sodium ; 1,0 mL de solution d'acide picrique.

Les mesures d'absorbance des solutions avec un spectrophotomètre réglé sur la longueur d'onde 500 nm donnent :

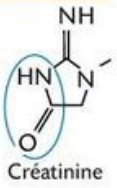
	Tube 1	Tube 2	Tube 3
Absorbance	0,00	0,71	0,62

Données

- Formules topologiques :



Créatine



Créatinine

- Masses molaires atomiques : $M(\text{H}) = 1{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{C}) = 12{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{N}) = 14{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Partie I : Le lancer du marteau

1. À la fin de la phase d'élan, déterminer les caractéristiques du vecteur accélération du boulet dans le repère de FRENET.

2. En appliquant la deuxième loi de Newton, justifier le fait que, dans le cas de ce mouvement circulaire et uniforme, le poids du boulet est négligeable devant la force exercée par le câble sur le boulet.

3. Établir l'équation de la trajectoire du boulet dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j})$ après avoir quitté la main de l'athlète.

4. Le record du monde féminin à 82,98 m a-t-il été battu lors de ce lancer ?

Partie II : Créatine et créatinine

5. Déterminer la formule brute de la créatinine et calculer sa masse molaire moléculaire.

6. Nommer les groupes caractéristiques entourés dans les formules topologiques de la créatine et de la créatinine. Associer à chacun d'eux une famille fonctionnelle.

7. Déduire des résultats du dosage, si le taux de créatinine dans le sang de l'athlète est dans l'encadrement attendu.

8. Proposer une cause possible d'un taux anormalement élevé de créatinine dans le sang de l'athlète.

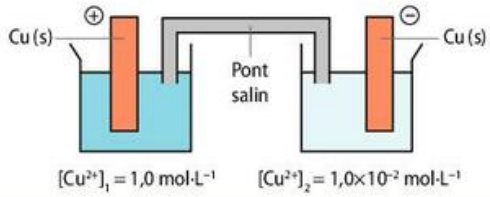
2 Exercice de synthèse

Autour du cuivre

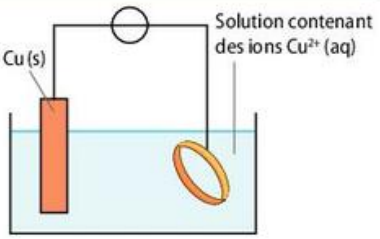
Exploiter un graphique ; utiliser un modèle pour expliquer ; effectuer des calculs ; confronter des résultats à des hypothèses.

A Pile de concentration et électrolyse

• Une pile de concentration est constituée de deux électrodes de cuivre plongeant chacune dans des solutions de sulfate de cuivre de concentrations différentes et de même volume $V = 100$ mL.



• Une bague, faite d'un métal conducteur, peut être recouverte de cuivre par électrolyse. Le montage utilisé est schématisé sur la figure ci-contre.



Données

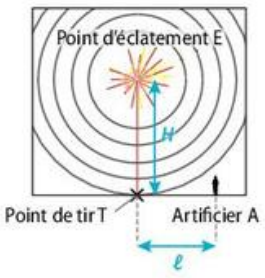
- Masse molaire atomique : $M(Cu) = 63{,}5$ g·mol^{-1} ;
- Charge d'une mole d'électrons : $F = 9{,}65 \times 10^4$ C.

B Feu d'artifice



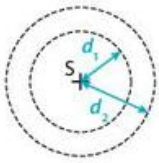
La couleur bleue de certains feux d'artifices est due à la désexcitation des molécules de chlorure de cuivre (I) $CuC\ell$. Le spectre d'émission de cette molécule excitée est composé de plusieurs bandes centrées autour des longueurs d'onde dans le vide suivantes : 395 nm ; 433 nm ; 435 nm ; 484 nm ; 488 nm ; 525 nm.

Un artificier A est situé à la distance $\ell = 95$ m du point de tir T. Le point d'éclatement E de la pièce pyrotechnique est situé à la hauteur $H = 70$ m et le son produit se propage dans toutes les directions de l'espace.

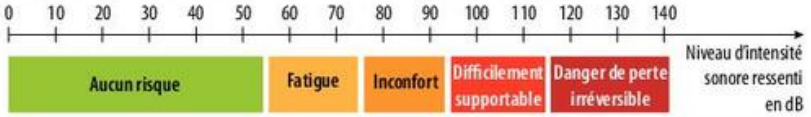


Données

- Lien entre le niveau d'intensité sonore L et la distance d :
$L_2 = L_1 + 20\log\left(\frac{d_1}{d_2}\right)$
- 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.



- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m^{-2}.
- Célérité de la lumière dans le vide, c supposée connue.
- Échelle des niveaux d'intensité sonore et risque auditif associé :



Partie I : Pile de concentration et électrolyse

1. a. La pile débite dans une résistance R. Reproduire et compléter le schéma de la pile en indiquant le sens conventionnel du courant et le sens de déplacement des électrons.

b. Écrire l'équation de la réaction électrochimique ayant lieu à chaque électrode. En déduire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.

c. Quelle relation a-t-on entre les concentrations en ions cuivre II à l'équilibre ?

2. a. À quelle borne du générateur de tension continue faut-il relier la bague sur la figure 2 pour y réaliser un dépôt de cuivre par électrolyse ?

b. L'électrolyse fonctionne une heure avec un intensité $I = 400$ mA. Calculer la masse de cuivre déposée sur la bague.

Partie II : Feu d'artifice

3. À quel domaine de rayonnement (visible, ultraviolet ou infrarouge) le spectre d'émission de la molécule $CuC\ell$ appartient-il ?

4. La notice de l'engin pyrotechnique indique que l'intensité sonore à 20 m du point d'éclatement vaut 0,63 W·m^{-2}. Calculer le niveau d'intensité sonore à 20 m du point d'éclatement.

5. L'artificier, situé au point A, doit-il porter un dispositif de protection auditive lors de l'éclatement de l'engin pyrotechnique au point E ? Justifier par un calcul.

6. En déduire l'atténuation géométrique liée à la distance parcourue par l'onde.

Fiche 1 Résolution d'un problème scientifique et rédaction d'une réponse argumentée

• Un **problème scientifique** se présente souvent sous la forme d'une *question unique*. Il faut trouver les *étapes à suivre* pour y répondre. Des calculs et/ou des schémas peuvent être nécessaires.
• Une **réponse argumentée** n'est pas un simple résumé : elle est structurée par un *plan* organisé autour d'une *problématique scientifique*. Les *arguments* doivent être présentés et *illustrés par des exemples* issus des *documents*. Des *connaissances personnelles* peuvent être mobilisées.

On décrit une **méthode commune** pour aborder les deux types d'exercices : la **résolution de problème** et la **rédaction d'une réponse argumentée**.

Étape 1 : S'approprier la consigne ou la question posée

APP

• Lire la consigne ou la question posée, sans lire les documents.
• S'assurer qu'elle est comprise en la relisant plusieurs fois si nécessaire.
• Sans lire les documents fournis, écrire, au brouillon, toutes les questions qui viennent à l'esprit.

Étape 2 : Lire et comprendre les documents

APP • ANA-RAIS

Lire tous les documents et répondre au brouillon, quand c'est possible, aux questions écrites à l'étape 1 :
– le titre ou la source des documents peuvent constituer des informations ;
– pour un graphique, observer les échelles, repérer les grandeurs portées sur les axes, ainsi que leurs unités, etc.

Étape 3 : Dégager la problématique

ANA-RAIS

Poser la (ou les) question(s) qui reformule(nt) de façon scientifique la consigne ou la question posée.

Étape 4 : Construire la réponse

ANA-RAIS • RÉA

• Toujours garder à l'esprit ce qui est demandé dans la consigne ou la question posée.
• Mettre en relation les informations extraites, de façon à structurer la réponse.
• Mobiliser des connaissances personnelles ayant un lien avec la problématique.
• Élaborer un plan, établir les étapes de la résolution.

Étape 5 : Répondre

VAL • COM

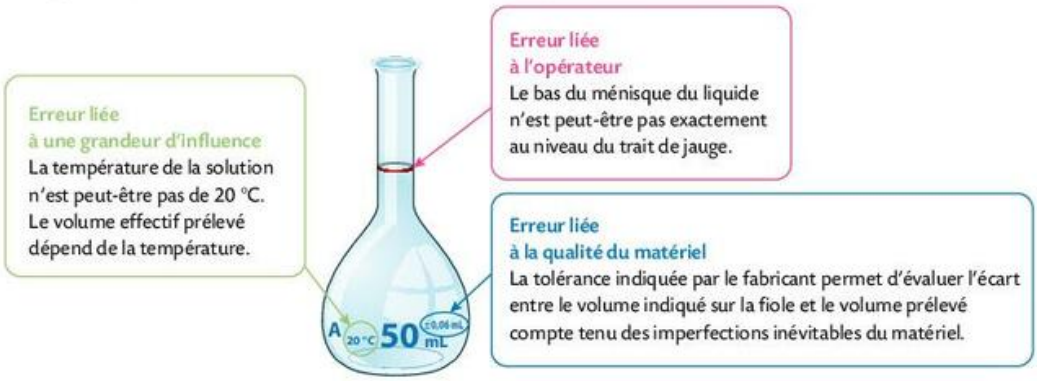
• Introduire la problématique.
• Mettre en forme la réponse :
– respecter une éventuelle contrainte de forme imposée (rédiger une lettre, proposer une affiche, etc.) ou de présentation (nombre de lignes, de mots, etc.) ;
– présenter les idées en rédigeant des phrases concises et reliées entre elles par des mots de liaison (*car*, *donc*, *or*, *inversement*, *d'une part*, *d'autre part*, *de plus*, etc.) ;
– citer les documents pour justifier, sans paraphraser ;
– prendre soin de la formulation des phrases, de l'orthographe et de la grammaire ;
– conclure : revenir sur la problématique et faire preuve d'esprit critique ;
– relire le travail fini pour vérifier qu'il répond bien à la consigne ou à la question posée.

Fiche 2 Mesures et incertitudes

A Erreurs de mesures

Une mesure n'est jamais parfaite même si elle est réalisée avec soin. Il existe toujours des **erreurs de mesures**.

Exemple : Lorsque l'on prépare une solution dans une fiole jaugée de 50,0 mL, le volume de la solution n'est *pas exactement* égal à 50,0 mL. Les sources d'erreurs sont multiples :



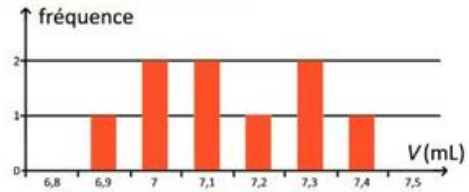
B Dispersion d'une série de mesures indépendantes

Dans le cas où on effectue n fois, dans les mêmes conditions, la mesure d'une grandeur G, on observe une dispersion des mesures.
On attribue comme valeur à G, la moyenne $\bar{g}$ des résultats de ces n mesures.
Il est possible de visualiser la dispersion des valeurs autour de la moyenne à l'aide d'un histogramme.
Cette dispersion est caractérisée par l'**écart type** σ_{n-1}. Plus il est faible, plus les valeurs sont resserrées autour de la moyenne.
L'écart-type peut être calculé à l'aide d'un tableur ou d'une calculatrice.

Exemple : Des élèves ont déterminé le volume équivalent V obtenu en répétant un titrage. Leurs résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

7,2 mL	7,3 mL	7,0 mL	6,9 mL	7,1 mL	7,1 mL	7,4 mL	7,0 mL	7,3 mL

La dispersion des résultats est visible sur un histogramme comme ci-contre.



Une calculatrice permet d'obtenir la moyenne et l'écart-type σ_{n-1} de cette série de neuf mesures indépendantes.

affichage calculatrice Casio	affichage calculatrice TI	affichage calculatrice Numworks
1-Variable x̄ =7.14444444 Σx =64.3 Σx² =459.61 xσn =0.15713484 xσn-1 =0.16666666 n =9	1-Var Stats x̄=7.144444444 Σx=64.3 Σx²=459.61 Sx=.1666666667 σx=.1571348403 ↓n=9	

En arrondissant à 4 chiffres significatifs : la moyenne est $\bar{V} = 7{,}144$ mL, l'écart-type est $\sigma_{n-1} = 0{,}166\,7$ mL.

C Incertitude-type

• Définition

L'**incertitude-type** associée à une grandeur mesurée G est notée $u(G)$ (u pour *uncertainty*). Elle fournit une estimation de l'**étendue des valeurs** que l'on peut raisonnablement attribuer à la grandeur. Elle a la même unité que la grandeur G. Il existe deux méthodes pour évaluer une incertitude-type.

• Évaluation de type A d'une incertitude-type

L'incertitude-type $u(G)$ est évaluée par la **méthode de type A** lorsqu'on effectue n **fois** la mesure d'une grandeur G dans les **mêmes conditions**.
L'incertitude-type est alors estimée par la relation : $u(G) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}}$.

Exemple : Pour les $n = 9$ mesures du volume équivalent du tableau précédent, l'incertitude-type est estimée par $u(V) = \frac{0{,}166\,7 \text{ mL}}{\sqrt{9}} = 0{,}055\,57 \text{ mL}$.

En arrondissant par excès et en ne gardant qu'un seul chiffre significatif, on écrit : $u(V) = 0{,}06$ mL.

• Évaluation de type B d'une incertitude-type

L'incertitude-type $u(G)$ est évaluée par la **méthode de type B** lorsqu'on effectue une **mesure unique** d'une grandeur G. Elle peut être estimée à partir d'une formule fournie ou à l'aide d'un logiciel.

Exemple 1

Lors de la mesure unique d'un volume de liquide prélevé à l'aide d'une pipette jaugée, il y a plusieurs sources d'erreur : certaines sont liées au matériel, d'autres à l'utilisateur.
Sur une pipette jaugée, le fabricant indique une tolérance t. Par exemple, $t = \pm\, 0{,}04$ mL.



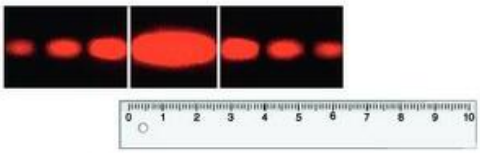
L'incertitude-type liée à la **tolérance** t d'un dispositif peut être prise égale à $\frac{t}{\sqrt{3}}$.

Il vient : $u(V) = \frac{0{,}04 \text{ mL}}{\sqrt{3}} = 0{,}023$ mL.

En arrondissant par excès et en ne gardant qu'un seul chiffre significatif, on écrit : $u(V) = 0{,}03$ mL.

Exemple 2

Lors de la mesure unique de la largeur ℓ de la tache centrale d'une figure de diffraction avec une règle graduée en millimètre, il y a plusieurs sources d'erreur : certaines sont liées au matériel, d'autres à l'utilisateur.
L'erreur dite de double lecture est l'erreur due non seulement au positionnement du zéro de la règle mais aussi à celle de la lecture de la graduation.



L'incertitude-type liée à la **double lecture** sur une échelle graduée peut être prise égale à $\frac{1 \text{ graduation}}{\sqrt{6}}$.

Il vient : $u(\ell) = \frac{1 \text{ mm}}{\sqrt{6}} = 0{,}408$ mm.

En arrondissant par excès et en ne gardant qu'un seul chiffre significatif, on écrit : $u(\ell) = 0{,}5$ mm.

Exemple 3

Lors de la mesure unique d'un éclairement lumineux, il y a plusieurs sources d'erreur : certaines sont liées au matériel, d'autres à l'utilisateur. Dans la notice de l'appareil utilisé, le fabricant indique une précision de p. Par exemple, $p = \pm\, 5$ %.
L'incertitude-type liée à la précision de l'appareil peut être prise égale à $\frac{p \times \text{mesure}}{100 \times \sqrt{3}}$.

Il vient, pour un éclairement lumineux mesuré $E = 760 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, $u(E) = \frac{5 \times 760 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{100 \times \sqrt{3}} = 21{,}9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

En arrondissant par excès et en ne gardant qu'un seul chiffre significatif, on écrit : $u(E) = 3 \times 10^{1} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

D Incertitude-type composée

L'incertitude-type $u(G)$ est évaluée par la **méthode des incertitudes composées** lorsque la grandeur G s'exprime en fonction d'autres grandeurs A, B, etc. pour lesquelles les incertitudes-types associées $u(A)$, $u(B)$, etc. sont connues.
En terminale, les formules de composition à utiliser seront données.

Exemple
Un volume $V = 50{,}00$ mL d'une solution, mesuré avec une fiole jaugée, a une masse $m = 53{,}28$ g mesurée avec une balance électronique.
La masse volumique calculée à partir de ces mesures est $\rho = \frac{m}{V} = \frac{53{,}28\ \text{g}}{50{,}00\ \text{mL}} = 1{,}066\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$.
L'incertitude-type associée à cette masse volumique déterminée par calcul est liée aux incertitudes-types associées aux grandeurs mesurées V et m intervenant dans ce calcul :
- l'incertitude-type sur m liée à l'utilisation de la balance électronique est $u(m) = 0{,}008$ g ;
- l'incertitude-type sur V liée à l'utilisation de la fiole jaugée est $u(V) = 0{,}07$ mL.

Lorsqu'une grandeur G s'obtient en multipliant ou divisant deux grandeurs A et B on a :

$$\left(\frac{u(G)}{G}\right)^2 = \left(\frac{u(A)}{A}\right)^2 + \left(\frac{u(B)}{B}\right)^2$$

D'après cette formule, on obtient ici : $\left(\frac{u(\rho)}{\rho}\right)^2 = \left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2$.

L'incertitude-type sur la masse volumique de la solution étudiée est : $u(\rho) = \rho \times \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2}$.

Donc $u(\rho) = \frac{53{,}28\ \text{g}}{50{,}00\ \text{mL}} \times \sqrt{\left(\frac{0{,}008\text{g}}{53{,}28\text{g}}\right)^2 + \left(\frac{0{,}07\text{mL}}{50{,}00\text{mL}}\right)^2} = 0{,}001\,5\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

En arrondissant par excès et en ne gardant qu'un seul chiffre significatif, on écrit : $u(\rho) = 0{,}002\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$.

E Écriture du résultat - Valeur de référence

• Écriture d'un résultat

Le résultat de la mesure d'une grandeur G est un **intervalle centré sur g** (moyenne de mesures répétées ou valeur mesurée lors d'une mesure unique) et de demi-largeur $u(G)$.
L'**unité** de $u(G)$ doit être la **même** que celle de g lorsqu'elle existe. Le dernier **chiffre significatif** conservé pour g est celui sur lequel porte l'incertitude $u(G)$.
Le résultat de la mesure de la grandeur **G** s'écrit $G = g \pm u(G)$ ou encore $g - u(G) \leqslant G \leqslant g + u(G)$.

Exemples	Mesures répétées du volume à l'équivalence V	Mesure unique de masse volumique ρ à partir d'un calcul
Estimation de la grandeur	moyenne : $\overline{V} = 7{,}144$ mL	calcul : $\rho = 1{,}066\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$
Incertitude-type évaluée	$u(V) = 0{,}06$ mL	$u(\rho) = 0{,}002\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$
Écriture du résultat	$V = (7{,}14 \pm 0{,}06)$ mL	$\rho = (1{,}066 \pm 0{,}002)\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$
Ceci signifie qu'il est raisonnable de penser que	le volume à l'équivalence est tel que **7,08 mL $\leqslant V \leqslant$ 7,20 mL** avec une évaluation de type A de l'incertitude-type.	la masse volumique est telle que **1,064 g·mL^{-1} $\leqslant \rho \leqslant$ 1,068 g·mL^{-1}** avec une évaluation de type B des incertitudes-types.

• Comparaison d'une mesure à une valeur de référence

Dans certains cas, la grandeur mesurée a une valeur déjà connue précisément, considérée comme une **valeur de référence g_{ref}**. Un résultat de mesure g associé à une incertitude-type $u(g)$ peut être comparé à la valeur de référence en calculant le quotient $\frac{|g - g_{\text{ref}}|}{u(g)}$. Le résultat de mesure est en accord avec la valeur de référence si ce quotient est inférieur ou égal à un.

Fiche 3 Écriture d'un résultat numérique

A Notation scientifique d'un nombre

La notation scientifique d'un nombre décimal est l'écriture de ce nombre sous la forme $a \times 10^n$, le nombre a ne possédant qu'un chiffre non nul avant la virgule ($1 \leqslant a < 10$).

Exemples

$3{,}00 \times 10^8$ et $2{,}521 \times 10^{-1}$ sont des notations scientifiques.

$12{,}36 \times 10^8$ n'est pas une notation scientifique.

B Chiffres significatifs

Les chiffres significatifs d'un nombre sont les chiffres présents dans le nombre a de sa notation scientifique $a \times 10^n$.

Exemples

$22{,}6\ \text{m} = 2{,}26 \times 10^1\ \text{m}$ → 3 chiffres significatifs

$0{,}0023\ \text{s} = 2{,}3 \times 10^{-3}\ \text{s}$ → 2 chiffres significatifs

$100\ \text{mL} = 1{,}00 \times 10^2\ \text{mL}$ → 3 chiffres significatifs

C Expression du résultat d'un calcul

En l'absence d'information sur les incertitudes, le résultat d'un calcul doit être écrit en prenant en compte la précision des données utilisées.

Cas d'une multiplication ou d'une division	Cas d'une addition ou d'une soustraction
– Repérer le nombre de chiffres significatifs de chaque donnée. – Effectuer le calcul. – **Le résultat ne doit pas avoir plus de chiffres significatifs que la donnée qui en comporte le moins.** Il faut donc arrondir convenablement le résultat final.	– Écrire les données dans la même unité si ce n'est pas déjà fait. – Repérer le nombre de décimales de chaque donnée. – Effectuer le calcul. – **Le résultat ne doit pas avoir plus de décimales que la donnée qui en comporte le moins.** Il faut donc arrondir convenablement le résultat final.

Exemple

$\dfrac{8{,}4 \times 10^{-1}}{5{,}54 \times 10^{-4}} = 1{,}5 \times 10^{-3}$

2 chiffres significatifs ; 3 chiffres significatifs

donc le résultat s'écrit avec deux chiffres significatifs.

Exemple

$87{,}3 + 25{,}48 = 112{,}8$

1 décimale ; 2 décimales

donc le résultat s'écrit avec une seule décimale.

Lorsque l'on effectue un calcul en plusieurs étapes, **les résultats des étapes intermédiaires ne doivent pas être arrondis**. En revanche, le résultat final doit comporter un nombre correct de chiffres significatifs.

Fiche 4 Rédiger une réponse nécessitant l'utilisation d'une relation

Méthode

La rédaction d'une réponse utilisant une relation scientifique ne doit pas se limiter au résultat du calcul. Toutes les étapes de la résolution doivent apparaître :

❶ Écrire une phrase introduisant la grandeur recherchée.

❷ Écrire l'expression littérale de la relation à utiliser.

❸ Vérifier si les unités des données sont cohérentes entre elles. Les convertir si cela est nécessaire.

❹ Présenter le calcul puis son résultat avec la bonne unité et le bon nombre de chiffres significatifs.

❺ Écrire une phrase de conclusion.

Exemple

Une radiation de longueur d'onde 532 nm traverse une fente de largeur 0,50 mm. Déterminer l'angle caractéristique de diffraction θ.

❶ On calcule l'angle caractéristique de diffraction θ.

❷ Pour cela, on applique la relation : $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$.

❸ L'unité de la longueur d'onde (nm) n'est pas cohérente avec celle de l'ouverture de la fente (mm).
Des conversions sont nécessaires :
$0{,}50\ \text{mm} = 5{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}$ et $532\ \text{nm} = 5{,}32 \times 10^{-7}\ \text{m}$.

❹ $\theta = \dfrac{\lambda}{a} = \dfrac{5{,}32 \times 10^{-7}\ \text{m}}{5{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m}} = 1{,}1 \times 10^{-3}\ \text{rad}$.

❺ L'angle caractéristique de diffraction est $1{,}1 \times 10^{-3}$ rad.

Fiche 5 Faire une analyse dimensionnelle : introduire les unités dans les calculs

A Les unités du Système International

Le Système International (SI) d'unités est le plus utilisé dans le monde.
Il est construit à partir de sept unités de base :



Dans ce système, les autres unités sont définies à partir des unités de base.
Par exemple :

$$1\ C = 1\ A \cdot s$$
$$1\ N = 1\ kg \cdot m \cdot s^{-2}$$
$$1\ J = 1\ kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$$

Les unités SI utilisées en Terminale, ainsi que leurs multiples et sous-multiples principaux (kilo, milli, etc.), sont présentées dans les rabats II de couverture.

Toute grandeur physique doit être écrite avec son unité.

B Les unités dans les calculs

Avant d'effectuer une application numérique, il peut être utile de vérifier l'homogénéité de la relation littérale utilisée. Une relation qui n'est pas homogène est obligatoirement fausse.

Exemple : Comparer la pression P_1 de 2,0 mol de gaz à la température $T_1 = 300$ K contenues dans une enceinte de volume $V_1 = 10$ L à la pression P_2 de la même quantité de matière de gaz à la température $T_2 = 350$ K contenue dans une enceinte de volume $V_2 = 2{,}0 \times 10^{-2}\ m^3$.
La pression, le volume, la quantité de matière et la température d'un gaz supposé parfait sont liées par : $P = \dfrac{n \times R \times T}{V}$.

① ②

Une relation correcte est homogène ; les membres de droite et de gauche doivent pouvoir être exprimés avec la même unité.

Vérifier l'homogénéité de cette relation, c'est vérifier que P et $\dfrac{n \times R \times T}{V}$ ont la même unité.

Grandeur	Unité SI
P	Pa
n	mol
R (constante des gaz parfaits)	$Pa \times m^3 \times mol^{-1} \times K^{-1}$
T	K
$\dfrac{n \times R \times T}{V}$	$\dfrac{mol \times (Pa \times m^3 \times mol^{-1} \times K^{-1}) \times K}{m^3} = Pa$

Pour comparer deux grandeurs, il est nécessaire de les exprimer dans la même unité. Introduire les unités dans les calculs facilite les conversions.

On calcule le rapport des pressions à l'aide de la relation homogène $P = \dfrac{n \times R \times T}{V}$

$P_1 = \dfrac{n \times R \times T_1}{V_1}$ et $P_2 = \dfrac{n \times R \times T_2}{V_2}$

d'où $\dfrac{P_1}{P_2} = \dfrac{V_2 \times T_1}{V_1 \times T_2}$

$\dfrac{P_1}{P_2} = \dfrac{2{,}0 \times 10^{-2}\ m^3 \times 300\ K}{10 \times 10^{-3}\ m^3 \times 350\ K}$

Soit $\dfrac{P_1}{P_2} = 1{,}7$.

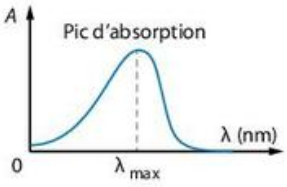
La pression P_1 est 1,7 fois plus grande que la pression P_2.

S'il est possible de calculer le **produit** ou le **quotient** de n'importe quelles grandeurs, en revanche on ne peut **additionner** ou **soustraire** que des grandeurs exprimées dans la **même** unité.

Fiche 6 Spectrophotométrie

A Absorbance et spectre d'absorption

Un spectrophotomètre est un appareil qui permet de mesurer l'absorbance A d'une espèce chimique colorée en solution. L'absorbance A est une grandeur sans unité qui mesure la proportion de lumière absorbée par une solution pour une longueur d'onde λ donnée. Le graphe $A = f(\lambda)$ est appelé spectre d'absorption.



B Loi de Beer-Lambert

L'absorbance A d'une espèce chimique colorée en solution est proportionnelle à la concentration en quantité de matière C de cette espèce et à la longueur ℓ de la solution traversée.

$$A = \varepsilon \times \ell \times C$$

Sans unité ; C en $mol \cdot L^{-1}$; ε en $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$; ℓ en cm

C Mesure de l'absorbance d'une espèce chimique



> Spectrophotomètre.

① Régler la longueur d'onde du faisceau incident au maximum d'absorption λ_{max}, ou à son voisinage, pour que les mesures d'absorbance soient les plus précises possibles.
② Pour ne mesurer que l'absorbance de l'espèce chimique colorée, « faire le blanc » avec une cuve remplie de solvant, afin de soustraire l'absorbance de la cuve et du solvant à l'absorbance mesurée.
③ Vider la cuve qui a servi à faire le blanc, l'essuyer, la remplir avec la solution colorée et mesurer l'absorbance A.

Fiche 7 « Les bons gestes »

A Dilution

VIDÉO Les bons gestes • Dilution



B Dissolution

VIDÉO Les bons gestes • Dissolution



C Filtration

VIDÉO Les bons gestes • Filtration



D Extraction liquide/liquide

VIDÉO Les bons gestes • Extraction liquide/liquide



E Montage de chauffage à reflux

VIDÉO Les bons gestes • Montage de chauffage à reflux



F Comment utiliser sa calculatrice ?

VIDÉO Les bons gestes • Calculatrice Casio ou Texas



Fiche 8 Nomenclature

A Nomenclature des alcanes ramifiés

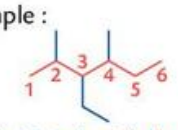
❶ Identifier la **chaîne principale** (plus longue chaîne carbonée) et les **ramifications** (groupes alkyles).
❷ Numéroter la chaîne principale en partant de l'extrémité qui permet d'attribuer l'**indice de position** le plus petit possible au premier carbone portant une ramification.
❸ Nommer l'alcane ramifié : son nom est constitué des noms des **groupes alkyles**[2] classés par ordre alphabétique et précédés de leurs indices de position suivis du nom de l'**alcane linéaire**[1] possédant autant d'atomes de carbone que la chaîne principale.
❹ Utiliser les préfixes **di-**, **tri-** ou **tétra-** si plusieurs groupes alkyles sont identiques (ce préfixe n'est pas pris en compte dans le classement alphabétique).
❺ Mettre des virgules entre deux chiffres et un tiret entre un chiffre et une lettre.

[1]

n	1	2	3	4	5	6
Nom	méthane	éthane	propane	butane	pentane	hexane

[2] CH_3- : méthyl- CH_3-CH_2- : éthyl- $CH_3-CH_2-CH_3-$: propyl-

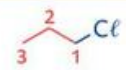
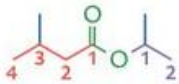
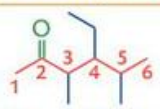
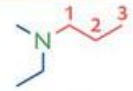
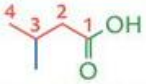
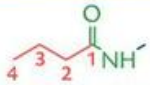
Exemple :



3-éthyl-2,4-diméthylhexane

B Composés monofonctionnels

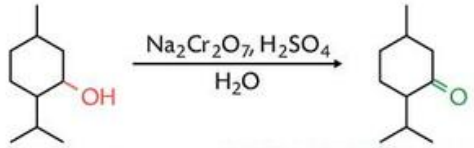
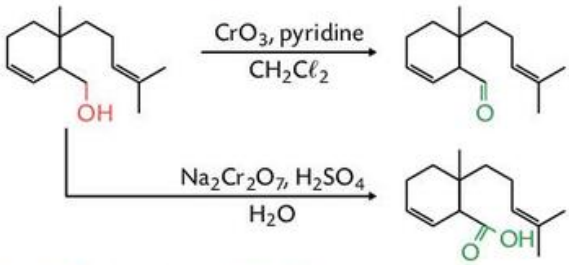
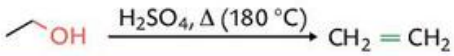
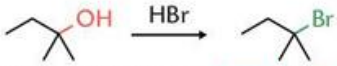
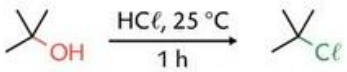
❶ Repérer le groupe caractéristique puis identifier la **chaîne principale** (plus longue chaîne carbonée qui contient l'atome de carbone relié au groupe caractéristique dit carbone fonctionnel). Numéroter les atomes de carbone qui la composent en partant de l'extrémité qui permet d'attribuer l'**indice de position** le plus petit possible à l'atome de carbone fonctionnel.
❷ Sauf exception, nommer l'espèce en remplaçant le « e » final de l'alcane correspondant par un **suffixe** renseigné dans le tableau ci-dessous. Préciser, si nécessaire, l'indice de position du groupe caractéristique.

Famille fonctionnelle et suffixe	Exemple	Famille fonctionnelle et suffixe	Exemple
Alcool « ol »	 4-méthylpentan-2-ol	Halogénoalcane[4] « fluoro », « chloro », « bromo » ou « iodo »	 1-chloropropane
Aldéhyde « al »	 3,5-diméthylhexanal	Ester[5] « oate » de « yle »	 3-méthylbutanoate de méthyléthyle
Cétone « one »	 4-éthyl-3,5-diméthylhexan-2-one	Amine[6] « amine »	 N-éthyl-N-méthylpropan-1-amine
Acide carboxylique[3] « oïque »	 Acide 3-méthylbutanoïque	Amide[7] « amide »	 N-méthylbutanamide

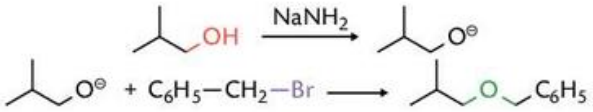
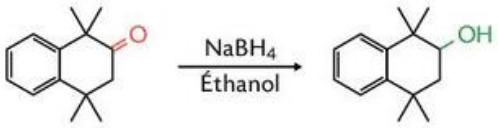
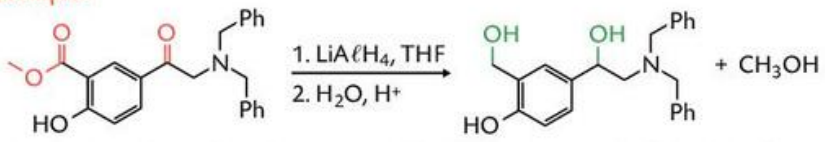
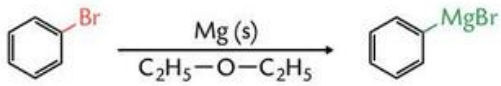
[3] Le nom d'un acide carboxylique est précédé du mot « acide ».
[4] Les mentions fluoro, chloro, bromo et iodo sont indiqués en préfixe du nom de l'alcane.
[5] Un ester est composé de deux chaînes carbonées qui doivent être nommées séparément. La terminaison « oate » est associée à la chaîne comportant l'atome de carbone lié aux deux atomes d'oxygène (numérotée à partir de cet atome). La terminaison « yle » est associée à l'autre chaîne (numérotée à partir de l'atome de carbone lié à l'atome d'oxygène).
[6] La chaîne principale est la chaîne la plus longue contenant un atome de carbone lié à l'atome d'azote. Si l'atome d'azote est lié à d'autres groupes alkyles, le nom est précédé de la mention « N-alkyl ».
[7] Si l'atome d'azote est lié à des groupes alkyles, le nom est précédé de la mention « N-alkyl ».

Fiche 9 Banque de réactions

A Modification de groupe fonctionnel

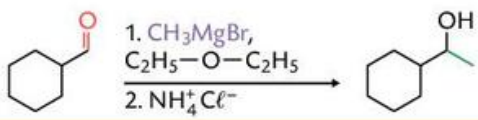
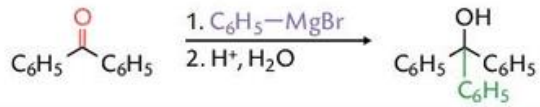
Précurseur	Cible	Schéma de synthèse de réactions courantes
Alcool	Cétone Aldéhyde OU Acide carboxylique	**Réaction d'oxydation des alcools** • Réaction d'oxydation d'un alcool secondaire Exemple :  D'autres réactifs permettent d'oxyder un alcool secondaire* en cétone (exemples : CrO_3, pyridine, $CH_2C\ell_2$; $KMnO_4$, H^+, H_2O, etc.). • Réaction d'oxydation d'un alcool primaire Exemples :  Les alcools primaires* s'oxydent en aldéhyde si l'oxydant est en milieu non aqueux, et en acide carboxylique sinon. D'autres réactifs permettent d'oxyder un alcool primaire en aldéhyde (exemple : DMSO, chlorure d'oxalyle, NEt_3) ou en acide carboxylique (exemple : $KMnO_4$, H^+, H_2O).
Alcool	Alcène	**Réaction de déshydratation des alcools** Exemple : 
Alcool	Halogénoalcane	**Réaction de formation d'halogénoalcanes** Exemple 1 :  D'autres réactifs permettent de transformer un alcool en bromoalcane : PBr_3, etc. Exemple 2 :  D'autres réactifs permettent de transformer un alcool en chloroalcane : $SOC\ell_2$, $PC\ell_5$, etc.
Alcool ET Acide carboxylique	Ester	**Réaction d'estérification** Exemple :  • La transformation n'est pas totale car l'ester et l'eau formés peuvent réagir pour reformer l'acide carboxylique et l'alcool. • L'APTS est un acide qui libère des ions hydrogène qui catalysent la réaction.

* L'atome de carbone fonctionnel d'un *alcool primaire* est lié à **un seul autre** atome de carbone ; celui d'un *alcool secondaire* est lié à **deux autres** atomes de carbone et celui d'un *alcool tertiaire* à **trois autres** atomes de carbone.

Précurseur	Cible	Schéma de synthèse de réactions courantes
Alcool **ET** Halogénoalcane	Étheroxyde**	**Synthèse de Williamson** Exemple :  • La première réaction est **une réaction acido-basique**. $NaNH_2$ joue le rôle de base. D'autres bases peuvent être utilisées : KH, NaH, etc. La deuxième réaction est **une réaction de susbtitution**. • **Ces réactions permettent de protéger la fonction alcool** en la transformant en fonction étheroxyde.
Cétone **OU** Aldéhyde	Alcool	**Réaction de réduction des composés carbonylés** Exemple :  • L'éthanol joue le rôle de solvant. • $NaBH_4$ ne réduit que les aldéhydes et les cétones.
Aldéhydes **OU** Cétones **OU** Esters	Alcool	**Réaction de réduction des composés carbonylés ou des esters** Exemple :  • La réaction a lieu en deux étapes : une réduction (en 1.) et une hydrolyse (en 2.). • Le THF joue le rôle de solvant. • $LiA\ell H_4$ réduit aussi bien les aldéhydes, les cétones que les esters.
Aldéhyde **OU** Cétone **ET** Diol**	Acétal**	**Réaction d'acétalisation** Exemple :  Cette réaction ne se produit pas avec un ester.
Halogénoalcane	Dérivé organomagnésien**	**Synthèse d'un dérivé organomagnésien** Exemple :  L'éthoxyéthane $C_2H_5OC_2H_5$ joue le rôle de solvant.

** Ces fonctions ne sont pas au programme de Terminale.

B Modification de chaîne

Précurseur	Cible	Schéma de synthèse de réactions courantes
Aldéhyde **ET** Dérivé organo-magnésien**	Alcool primaire **ou** secondaire	Exemple : 
Cétone **ET** Dérivé organo-magnésien**	Alcool tertiaire	Exemple : 

** Ces fonctions ne sont pas au programme de Terminale.

Corrigés des exercices

Chapitre 1

QCM

1. B et C ; 2. B ; 3. A et B ; 4. B et C ; 5. C ; 6. B ; 7. A ; 8. B ; 9. A ; 10. A ; 11. B ; 12. A.

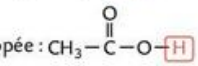
4 1. Un acide est une espèce chimique capable de céder au moins un ion hydrogène H^+. Une base est une espèce chimique capable de capter au moins un ion hydrogène H^+.

2. $CH_3CO_2H\,(aq) / CH_3CO_2^-\,(aq)$; $CO_2,H_2O\,(aq) / HCO_3^-\,(aq)$; $NH_4^+\,(aq) / NH_3\,(aq)$; $H_3O^+\,(aq) / H_2O\,(\ell)$; $H_2O\,(\ell) / HO^-\,(aq)$.

3. $CH_3COOH\,(aq) \rightleftarrows CH_3COO^-\,(aq) + H^+$; $CO_2,H_2O\,(aq) \rightleftarrows HCO_3^-\,(aq) + H^+$; $NH_4^+\,(aq) \rightleftarrows NH_3\,(aq) + H^+$; $H_3O^+\,(aq) \rightleftarrows H_2O\,(\ell) + H^+$; $H_2O\,(\ell) \rightleftarrows H^+ + HO^-\,(aq)$.

4. L'eau appartient à deux couples, jouant tantôt le rôle d'un acide, tantôt d'une base. C'est une espèce amphotère.

5. Schéma de Lewis : 

Formule semi-développée : 

6 1. CH_3CO_2H.

2. $CH_3CO_2H\,(aq) / CH_3CO_2^-\,(aq)$ et $CO_2,H_2O\,(aq) / HCO_3^-\,(aq)$.

3. $CH_3CO_2H\,(aq) + HCO_3^-\,(aq) \rightleftharpoons CH_3COO^-\,(aq) + CO_2,H_2O\,(aq)$.

4. L'effervescence est due à la présence de dioxyde de carbone gazeux.

8 1. $pH = -\log\left(\dfrac{[H_3O^+]}{c^\circ}\right)$,

soit $pH = -\log\left(\dfrac{3{,}2\times10^{-7}}{1}\right)$, donc $pH = 6{,}5$.

$pH < 7{,}2$, donc l'eau de la piscine ne respecte pas la préconisation et peut être irritante.

2. Pour un pH = 7,2, $[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-pH}$, soit $[H_3O^+] = 1\times10^{-7{,}2}$, donc $[H_3O^+] = 6{,}3\times10^{-8}$ mol·L^{-1}.

Pour un pH = 7,4, $[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-pH}$, soit $[H_3O^+] = 1\times10^{-7{,}4}$, donc $[H_3O^+] = 4{,}0\times10^{-8}$ mol·L^{-1}.

Donc l'eau de la piscine respectera la préconisation si $4{,}0\times10^{-8}$ mol·L^{-1} < $[H_3O^+]$ < $6{,}3\times10^{-8}$ mol·L^{-1}.

3. La concentration en ions oxonium est trop élevée. Il faut rajouter une espèce basique pour augmenter le pH.

14 1. Une fiole jaugée, une pipette jaugée, un bécher, une propipette, une pissette, de l'eau distillée, un bouchon. Éléments de protection : blouse, lunette, gants.

2. a. $NH_3\,(aq) + H_2O\,(\ell) \rightleftharpoons NH_4^+\,(aq) + HO^-\,(aq)$.

b. Les couples mis en jeu : $NH_4^+\,(aq) / NH_3\,(aq)$ et $H_2O\,(\ell) / HO^-\,(aq)$.

3. pH > 7, donc la solution est basique.

4. $[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-pH}$, donc $[H_3O^+] = 1\times10^{-10{,}5}$, soit $[H_3O^+] = 3{,}2\times10^{-11}$ mol·L^{-1}.

5. Le doublet d'électrons non liants de l'atome d'azote est propice à la formation d'une liaison avec l'ion hydrogène H^+, c'est donc une base.

6.

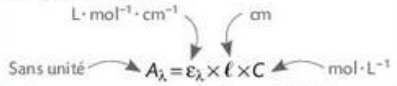
L'atome d'azote dans l'ion ammonium est entouré de quatre liaisons. Il n'y a donc plus d'électrons de valence disponibles pour former une cinquième liaison. L'ion ammonium ne peut donc pas être une base et ne peut donc pas être une espèce amphotère.

Chapitre 2

QCM

1. A et C ; 2. A et C ; 3. B et C ; 4. A et C ; 5. A et C ; 6. C ; 7. B et C ; 8. C ; 9. A.

4 1. Loi de Beer-Lambert : pour une longueur d'onde donnée, l'absorbance A d'une solution diluée est proportionnelle à la concentration C en espèce colorée :



2. Pour une concentration C inférieure à 3 mmol·L^{-1}, le graphe est une droite passant par l'origine et traduit donc la loi de Beer-Lambert.

3. On repère le point d'intersection entre le graphe et la droite parallèle à l'axe des abscisses d'ordonnée $A_S = 1{,}25$. La valeur de la concentration est l'abscisse de ce point :

$$C_S = 2{,}2 \text{ mmol·L}^{-1}.$$

6 1. $\sigma = \lambda_{Ag^+} \times [Ag^+] + \lambda_{NO_3^-} \times [NO_3^-]$.

2. σ s'exprime en S·m^{-1} ; λ_{Ag^+} et $\lambda_{NO_3^-}$ s'expriment en S·m^2·mol^{-1}.

Donc $[Ag^+]$ et $[NO_3^-]$ s'expriment en :

$$\frac{\text{S·m}^{-1}}{\text{S·m}^2\text{·mol}^{-1}} = \text{mol·m}^{-3}.$$

8 1. Loi des gaz parfaits : $P \times V = n \times R \times T$. P en Pa, V en m^3, n en mol, T en K et R = 8,314 Pa·m^3·mol^{-1}·K^{-1}.

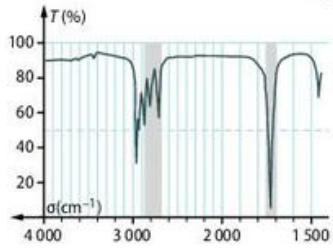
2. La quantité de diazote N_2 formé est :

$$n = \frac{P\times V}{R\times T}.$$

Soit $n = \dfrac{1{,}3\times10^5\times90\times10^{-3}}{8{,}314\times(273+30)} = 4{,}6$ mol.

10 Le spectre infrarouge présente :

- une bande forte et fine vers 1 720 cm^{-1} associée à la liaison C=O ;
- deux bandes moyennes et fines entre 2 700 et 2 900 cm^{-1} associée à la liaison $C-H_{aldéhyde}$.



Le composé comporte donc un groupe carbonyle associé à la fonction aldéhyde. Ce spectre IR peut être celui du composé c (butanal) seul aldéhyde parmi les trois composés proposés.

12 1. Il s'agit d'un spectre UV-visible.

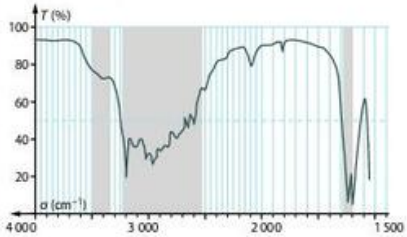
2. Le spectre présente un maximum d'absorption vers 280 nm dans l'ultraviolet.

3. La propanone est une espèce incolore car elle n'absorbe pas dans le visible.

16 1. Le spectre IR présente :

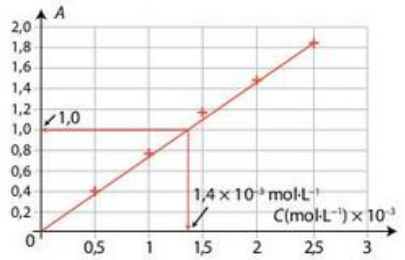
- une bande moyenne vers 3 400 cm^{-1} associée à la liaisons N–H ;
- une bande large et forte entre 2 600 et 3 200 cm^{-1} associée à la liaison $O-H_{acide\ carboxylique}$;
- deux bandes fortes et fines vers 1 600 cm^{-1} associée à la liaison N–H.

Ce spectre IR peut donc être celui de L-tyrosine.



2. Le spectre UV-visible de la L-tyrosine n'absorbe que dans l'UV. La L-tyrosine n'absorbant pas dans le visible, une solution aqueuse de L-tyrosine est incolore.

3. On trace le graphe $A = f(C)$, puis on trace la droite qui passe par l'origine et qui passe au plus près de tous les points. On repère le point $A_S = 1{,}0$ sur l'axe des ordonnées. On détermine alors la valeur de la concentration C_S sur l'axe des abscisses : $C_S = 1{,}4\times10^{-3}$ mol·L^{-1}.



La quantité de L-tyrosine dans la solution S (et donc dans une gélule) est : $n_S = C_S \times V_S$.

La masse de L-tyrosine dans une gélule est : $m_S = n_S \times M(\text{tyrosine}) = C_S \times V_S \times M(\text{tyrosine})$, soit $m_S = 1{,}4\times10^{-3}\times2{,}00\times181{,}0 = 0{,}507$ g = 507 mg.

On retrouve à 1,4 % près la masse 500 mg indiquée sur l'étiquette.

19 • Volume du réservoir :

$V_{rés} = 5{,}0\times2{,}0\times1{,}0 = 10 \text{ cm}^3 = 10\times10^{-6}$ m^3.

Le réservoir est rempli aux trois-quarts, donc le volume de butane liquide est :

$$V_{liq} = \frac{3}{4}\times10\times10^{-6} = 7{,}5\times10^{-6} \text{ m}^3.$$

• Quantité n_{liq} de butane liquide dans le réservoir :

$$n_{liq} = \frac{m_{liq}}{M} = \frac{\rho_{liq}\times V_{liq}}{M} = \frac{580\times10^3\times7{,}5\times10^{-6}}{58{,}0} = 7{,}5\times10^{-2} \text{ mol.}$$

• La quantité de butane liquide dans le réservoir est égale à la quantité de butane gazeux disponible : $n_{gaz} = n_{liq} = 7{,}5\times10^{-1}$ mol.

En utilisant l'équation d'état du gaz parfait, on a :

$P\times V_{gaz} = n_{gaz}\times R\times T$

soit $V_{gaz} = \dfrac{n_{gaz}\times R\times T}{P} = \dfrac{7{,}5\times10^{-2}\times8{,}314\times(273+20)}{1\,013\times10^2} = 1{,}8\times10^{-3}$ m^3 = 1,8 L.

• Nombre maximal N_{max} d'utilisations du briquet :

$$N_{max} = \frac{1{,}8}{20\times10^{-3}} = 90 \text{ utilisations.}$$

Chapitre 3

QCM

1. A et C ; **2.** A et C ; **3.** B et C ; **4.** B ; **5.** A, B et C ; **6.** B ; **7.** A et B ; **8.** A et C ; **9.** A ; **10.** A et B.

3 **1.** • Détermination de la concentration en H_2SO_4 de la solution commerciale :

$V_S = 1\,L$; $\rho_S = 1{,}815 \times 10^3\ g \cdot L^{-1}$; $m_S = \rho_S \times V_S = 1{,}815 \times 10^3\ g \cdot L^{-1} \times 1{,}0\,L = 1{,}815 \times 10^3\ g$

$P_m(H_2SO_4) = 90\,\%$; $m_{H_2SO_4} = m_S \times P_m(H_2SO_4) = 1{,}815 \times 10^3\ g \times 0{,}90 = 1634\ g$

$M(H_2SO_4) = 98{,}0\ g \cdot mol^{-1}$; $n_{H_2SO_4} = \frac{m_{H_2SO_4}}{M_{H_2SO_4}} = \frac{1634\ g}{98{,}0\ g \cdot mol^{-1}} = 16{,}7\ mol$

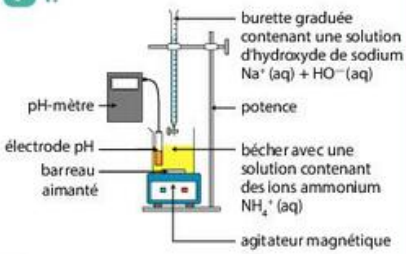
$C_{H_2SO_4} = \frac{n_{H_2SO_4}}{V_S} = 16{,}7\ mol \cdot L^{-1}$

• Détermination de la concentration en ions H_3O^+ (aq) de la solution commerciale :
d'après l'équation de la réaction de l'acide sulfurique avec l'eau : $n(H_3O^+)/2 = n(H_2SO_4)$,
donc $C_{H_3O^+} = 2 \times C_{H_2SO_4} = 33{,}3\ mol \cdot L^{-1}$.

• Détermination de la concentration en ions H_3O^+(aq) de la solution S :
$C_S = C_{H_3O^+} \times 15/(1{,}0 \times 10^3) = 0{,}50\ mol \cdot L^{-1}$.

5 **1.** Les ions calcium Ca^{2+} (aq) correspondent au réactif titré et les ions hydroxyde HO^- (aq) au réactif titrant.
2. La réaction support d'un titrage doit être rapide et totale.
3. La relation qui correspond à l'équivalence du titrage étudié est a.

7 **1.**



2. L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :
$NH_4^+(aq) + HO^-(aq) \rightarrow NH_3(aq) + H_2O(\ell)$.

9 **1.** On trace les deux segments de droite. À l'intersection, le volume versé à l'équivalence est lu : $V_E = 6{,}9$ mL.
2. À l'équivalence : $n(NH_4^+) = n(HO^-)$ soit :
$C_A \times V_A = C_B \times V_E$
soit $C_A = C_B \times V_E / V_A = 1{,}4 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$.

11 **1.** L'équation de la réaction support du titrage s'écrit :
$NH_3(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow NH_4^+(aq) + H_2O(\ell)$.
2. Le volume versé à l'équivalence est obtenu à l'extrémum (ici minimum) de la dérivée soit :
$V_E = 14{,}0$ mL.
3. À l'équivalence : $n(NH_3) = n(H_3O^+)$ soit :
$C(NH_3) \times V_B = C_A \times V_E$ soit
$C(NH_3) = C_A \times V_E / V_B = 1{,}05 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$.

13 **1. a.** $n(AH_2) = C_A \times V_1 = 0{,}400$ mmol et $n(HO^-)/2 = C_B \times V_B/2 = 0{,}250$ mmol donc HO^- est le réactif limitant et $x_f = 0{,}250$ mmol.

Équation de la réaction		$AH_2(aq) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\,H_2O(\ell)$			
	Avancement (en mmol)	Quantités de matière (en mmol)			
		$n(AH_2)$	$n(HO^-)$	$n(A^{2-})$	$n(H_2O)$
État initial	$x = 0$	0,400	0,500	0	Excès
État final	$x = x_f$	$0{,}400 - x_f = 0{,}15$	$0{,}500 - 2x_f = 0$	$x_f = 0{,}250$	Excès

b. $n(AH_2) = C_A \times V_1 = 0{,}400$ mmol et $n(HO^-)/2 = C_B \times V_B/2 = 0{,}750$ mmol donc AH_2 est le réactif limitant et $x_f = 0{,}400$ mmol.

Équation de la réaction		$AH_2(aq) + 2\,HO^-(aq) \rightarrow A^{2-}(aq) + 2\,H_2O(\ell)$			
	Avancement (en mmol)	Quantités de matière (en mmol)			
		$n(AH_2)$	$n(HO^-)$	$n(A^{2-})$	$n(H_2O)$
État initial	$x = 0$	0,400	1,50	0	Excès
État final	$x = x_f$	$0{,}400 - x_f = 0$	$1{,}50 - 2x_f = 0{,}700$	$x_f = 0{,}400$	Excès

2. a. Le réactif limitant correspond aux ions hydroxyde HO^- (aq), $V < V_E$.
b. Le réactif limitant correspond à l'acide maléique AH_2 (aq), $V > V_E$.

15 Les ions présents au cours du titrage sont : H_3O^+, $C\ell^-$, Na^+ et HO^-.

	Évolution des quantités de matière	
	$V < V_E$	$V > V_E$
H_3O^+	↘	0
$C\ell^-$	=	=
Na^+	↗	↗
HO^-	0	↗

• Avant l'équivalence, la courbe est une droite de pente négative car tout se passe comme si, dans le bécher un ion H_3O^+ fort conducteur est remplacé par un ion sodium Na^+ moins conducteur.
• Après l'équivalence, la courbe est une droite de pente positive car les ions Na^+ et HO^- s'accumulent dans le bécher.

20 **1.** $B^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow BH(aq) + H_2O(\ell)$
2. a. Pour $V_A < V_E$: le réactif limitant correspond aux ions oxonium H_3O^+ donc $x_f = C_A \times V_A$.

Équation de la réaction		$B^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow BH(aq) + H_2O(\ell)$			
	Avancement (en mmol)	Quantités de matière (en mmol)			
		$n(B^-)$	$n(H_3O^+)$	$n(BH)$	$n(H_2O)$
État initial	$x = 0$	$C_B \times V_0$	$C_A \times V_A$	0	Excès
État final	$x = x_f$	$C_B V_0 - C_A V_A$	0	$x_f = C_A V_A$	Excès

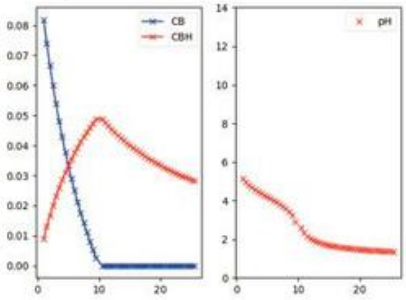
b. Pour $V_A > V_E$: le réactif limitant correspond aux ions benzoate B^- donc $x_f = C_B \times V_0$.

Équation de la réaction		$B^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow BH(aq) + H_2O(\ell)$			
	Avancement (en mmol)	Quantités de matière (en mmol)			
		$n(B^-)$	$n(H_3O^+)$	$n(BH)$	$n(H_2O)$
État initial	$x = 0$	$C_B \times V_0$	$C_A \times V_A$	0	Excès
État final	$x = x_f$	0	$C_A \times V_A - C_B \times V_0$	$x_f = C_B \times V_0$	Excès

3. Pour chaque pas de volume $V_A < V_E$, on ajoute aux listes d'après le tableau d'avancement :
• Pour la concentration CB de B^- :
$(C_B \times V_0 - C_A \times V_A)/(V_0 + V_A)$
• Pour la concentration CBH de BH :
$C_A \times V_A/(V_0 + V_A)$
• Pour le pH : on utilise le complément scientifique, $pH = 4{,}2 + \log([B^-]/[BH])$ soit ajout du terme $4{,}2 + \log[(C_B \times V_0 - C_A \times V_A)/(C_A \times V_A)]$.
4. On complète le programme pour $V_A > V_E$:

```
V.append(VA)
CB.append(0)
CBH.append(CBi*V0/(V0+VA))
CH.append((CA*VA-CBi×V0)/(V0+VA))
pH.append(-log10((CA*VA-CBi×V0)/(V0+VA)))
```

5. Avant l'équivalence, le benzoate B^- est consommé donc sa concentration diminue jusqu'à devenir nulle après l'équivalence. Parallèlement, avant l'équivalence, l'acide benzoïque se forme, sa concentration augmente. Après l'équivalence, la quantité d'acide benzoïque reste constante mais le volume de la solution augmente par ajout du réactif titrant. La concentration de l'acide benzoïque diminue du fait de la dilution.



6. La courbe de titrage par suivi pH-métrique montre un saut peu important. L'exploitation du titrage par pH-métrie semble donc difficile.
7. Les ions présents au cours du titrage sont : Na^+, B^-, H_3O^+ et $C\ell^-$.

	Évolution des quantités de matière	
	$V < V_E$	$V > V_E$
B^-	↘	0
Na^+	=	=
$C\ell^-$	↗	↗
H_3O^+	0	↗

• Avant l'équivalence, la courbe est une droite de pente positive car tout se passe comme si, dans le bécher un ion B^- est remplacé par un ion chlorure $C\ell^-$ plus conducteur qu'un ion B^-.
• Après l'équivalence, la courbe est une droite de pente positive car les ions H_3O^+ et $C\ell^-$ s'accumulent dans le bécher.
8. Le titrage suivi par conductimétrie semble le plus adapté au dosage des ions benzoate car le volume V_E versé à l'équivalence est plus facilement repérable.

21 • Détermination de la concentration C_I en ions iodure I^- :
Les segments de droite moyenne sont tracés. À l'intersection, le volume versé à l'équivalence est lu : $V_E = 10{,}0$ mL.
À l'équivalence : $n(I^-)/2 = n(Pb^{2+})$ soit :
$C_I \times V/2 = C_{Pb} \times V_E$ soit $C_I = 2\,C_{Pb} \times V_E / V = 2{,}00 \times 10^{-2}\ mol.L^{-1}$.
• Détermination de la masse m_I d'iode dans 50 g d'algues :
$m_I = C_I \times V_S \times M(I) = 2{,}00 \cdot 10^{-2} \times 0{,}100 \times 126{,}9 = 0{,}254$ g.
• Détermination de la masse m journalière d'algues consommables :
Par jour, un adolescent doit consommer pour un apport nutritionnel recommandé 150 µg soit $m = 50 \times 150 \times 10^{-6}/0{,}254 = 30$ mg.

Chapitre 4

QCM

1. C ; **2.** A ; **3.** B et C ; **4.** A et C ; **5.** B ; **6.** A ; **7.** B ; **8.** C ; **9.** C ; **10.** A et C ; **11.** B.

2 **1.** I_2 est l'espèce qui donne la couleur à la solution.

2. A et B : quand on divise par 2 la concentration initiale en ions iodure I^- de la solution (expérience B), le diiode I_2 se forme moins vite qu'à l'expérience A.

B et C : quand on divise par 2 la concentration initiale en peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (expérience C), le diiode I_2 se forme moins vite qu'à l'expérience B.

A et D : quand on divise par 2 la concentration initiale en ion hydrogène H^+ (expérience D), le diiode I_2 se forme moins vite qu'à l'expérience A.

Ainsi, quand la concentration des réactifs diminue, le système évolue plus lentement.

4 **1.** Le dioxyde de titane est bien un catalyseur et non un réactif, puisque même s'il n'est pas présent (courbe verte), la réaction a lieu.

2. On constate que plus la concentration en catalyseur augmente, plus la courbe décroit rapidement en fonction du temps, donc plus l'évolution du système est rapide.

6 **1.** $t_f = 60$ min.

2. a. Méthode 1 : les ions argent Ag^+ sont limitants et leur quantité initiale est égale à 0,080 mol.L^{-1}. Pour une concentration égale à 0,040 mol·L^{-1} $t_{1/2} = 10$ min.

Méthode 2 : la quantité finale d'ions fer (II) Fe^{2+}est égale à 0,040 mol·L^{-1}.

Le temps de demi-réaction correspond au moment où la quantité d'ions fer (II) Fe^{2+} atteint la moitié de sa quantité maximale, soit 0,020 mol·L^{-1}. Donc : $t_{1/2} = 10$ min.

2. b. $t_f = 6 \times t_{1/2}$. La réaction est achevée.

8 À $t_1 = 0$ min : $v_{app}(I_2)(t_1) = 1{,}5$ mmol·L^{-1}·min^{-1}

À $t_2 = 10$ min : $v_{app}(I_2)(t_2) = 0{,}2$ mmol·L^{-1}·min^{-1}

La vitesse d'apparition diminue quand t augmente. Or, quand t augmente, la quantité des réactifs diminue. Donc la baisse de concentration des réactifs ralentit l'évolution du système.

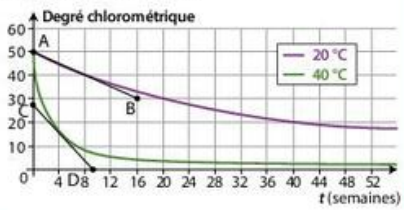
10 **1.** On calcule :

$$v_{disp}(N_2O_5)(t_i) = -\frac{[N_2O_5](t_{i+1}) - [N_2O_5](t_i)}{t_{i+1} - t_i}.$$

t	Concentration	Vitesse disparition
0	250	8
5	210	6,8
10	176	5,1
20	125	3,6
30	89	2,7
40	62	1,9
50	43	1,2
60	31	

2. et **3.** On constate que le graphe est une droite passant par l'origine, donc la vitesse volumique de disparition du réactif est proportionnelle à la concentration de N_2O_5 au cours du temps. La réaction suit donc une loi de vitesse d'ordre 1 par rapport à N_2O_5.

15 **1. a.** On trace la tangente à chaque courbe au point $t = 0$ semaine.



Pour la courbe à 20 °C, la pente calculée graphiquement grâce au segment AB :

$$-\frac{30-48}{16-0} = -1{,}1 \text{ degré·semaine}^{-1}.$$

Donc $v_{disp}(C\ell O^-) = 1{,}1$ degré·$semaine^{-1}$.

Pour la courbe à 40 °C, la pente calculée graphiquement grâce au segment CD :

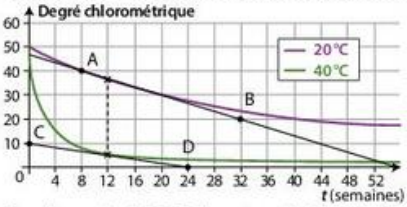
$$-\frac{0-25}{10-0} = -2{,}5 \text{ degré·semaine}^{-1}.$$

Donc $v_{disp}(C\ell O^-) = 2{,}5$ degré·$semaine^{-1}$.

b. On constate donc que quand la température augmente, la vitesse de disparition augmente considérablement. C'est le facteur cinétique « température » qui est donc mis ici en évidence.

c. La recommandation « à conserver au frais » est donc justifiée pour limiter la vitesse de disparition des ions hypochlorite.

2. a. Comme à la question **1. a.**, on détermine la vitesse de disparition par mesure de la pente de la tangente en $t = 12$ semaines pour chaque courbe.



Pour la courbe à 20 °C, la pente calculée graphiquement grâce au segment AB :

$$-\frac{20-40}{32-8} = -0{,}8 \text{ degré·semaine}^{-1}.$$

Donc $v_{disp}(C\ell O^-) = 0{,}8$ degré·$semaine^{-1}$.

Pour la courbe à 40 °C, la pente calculée graphiquement grâce au segment CD :

$$-\frac{0-10}{24-0} = -0{,}4 \text{ degré·semaine}^{-1}.$$

Donc $v_{disp}(C\ell O^-) = 0{,}4$ degré·$semaine^{-1}$.

2. b. On constate que pour chaque courbe, la vitesse de disparition diminue avec le temps. Or la concentration en ions hypochlorite diminue également avec le temps. On en conclut que la vitesse de disparition diminue avec la concentration en réactif.

3. La lumière doit être un catalyseur qui accélère la vitesse de disparition des ions hypochlorite.

19 **1.** Le PNP est la seule espèce colorée de la réaction.

2. D'après l'équation de la réaction, on peut déduire : $[PNPP](t) = [PNPP]_0 - [PNP](t)$.

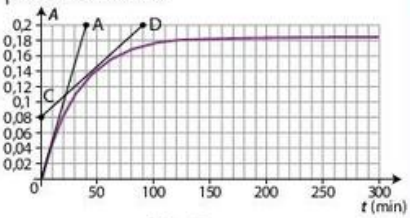
$$[PNPP](t) = [PNPP]_0 - \frac{A}{k}$$

3. a. Un catalyseur est une espèce qui accélère une réaction chimique. Il n'apparaît pas dans l'équation de la réaction car il est consommé puis régénéré totalement.

b. L'enzyme PAL est un catalyseur car en sa présence, la vitesse de la réaction est augmentée, et elle n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

c. On parle de catalyse enzymatique.

4. a. On mesure la pente de la tangente aux points considérés :



Pour $t = 0$ min : $\frac{0{,}2-0}{40-0} = 5 \times 10^{-3}$ min^{-1}.

Or $[PNP] = \frac{A}{k}$

Donc $v_{app}(PNP) = 2{,}7 \times 10^{-7}$ mol·L^{-1}·min^{-1}.

Pour $t = 50$ min, $\frac{0{,}2-0{,}08}{90-0} = 1{,}3 \times 10^{-3}$ min^{-1}.

Or $[PNP] = \frac{A}{k}$

Donc $v_{app}(PNP) = 7{,}0 \times 10^{-8}$ mol·L^{-1}·min^{-1}.

b. La vitesse d'apparition diminue avec le temps, car la concentration en réactif diminue.

5. Le temps de demi-réaction est le temps nécessaire pour que la quantité de produit atteigne la moitié de la quantité maximale. Or la concentration est proportionnelle à l'absorbance.

On lit $A_{max} = 0{,}15$. On cherche donc le temps pour avoir $A = 0{,}09$: graphiquement, $t_{1/2} = 22$ min.

6. Le temps de demi-réaction est de 22 minutes ce qui est relativement long.

7. On constate que lorsqu'on se place à $t = 2 \times t_{1/2} = 44$ min, l'absorbance vaut 0,13.

Donc entre $t_{1/2}$ et $2 \times t_{1/2}$, l'absorbance a augmenté de $(0{,}13 - 0{,}09) = 0{,}04$, ce qui représente environ $A_{max}/4$.

Idem entre $2 \times t_{1/2}$ et $3 \times t_{1/2}$, l'absorbance a augmenté de $(0{,}155 - 0{,}13) = 0{,}025$, ce qui représente environ $A_{max}/8$.

Cela est caractéristique d'une réaction d'ordre 1.

Chapitre 5

QCM

1. A et C ; **2.** A, B et C ; **3.** A et B ; **4.** B ; **5.** A et B ; **6.** C ; **7.** A et B ; **8.** A ; **9.** A et C ; **10.** A et B ; **11.** C.

3 Les chocs et les chocs efficaces sont plus nombreux dans le mélange 2 ; c'est le mélange qui a la température la plus élevée.

5 **1.** HIO est l'intermédiaire réactionnel.

2. $2\,HI\,(aq) + H_2O_2\,(aq) \rightarrow I_2\,(aq) + 2\,H_2O\,(\ell)$

7 **1.** Dans le mécanisme 2 : ils sont consommés à l'étape 1 puis régénérés à l'étape 3.

2. Réaction 1 :

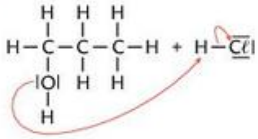
$(CH_3)_3CC\ell + H_2O \rightarrow (CH_3)_3COH + C\ell^- + H^+$

Réaction 2 : $2\,H_2O_2 \rightarrow 2\,H_2O + O_2$

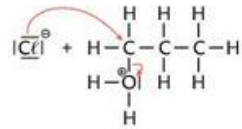
9 **1. 2.** Iodométhane : C–I polarisée : C (site accepteur) et I (site donneur).

Méthanol : C–O et O–H polarisées : C, H (sites accepteurs) et O (site donneur).

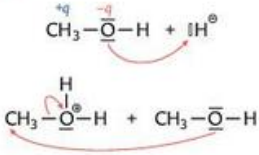
11 a



b



19 **1. a.**



b. Étape 1 : vu la différence d'électronégativité entre C et O, c'est O l'atome donneur qui attaque le proton H^+, accepteur de par sa lacune électronique.

Étape 2 : vu la différence d'électronégativité entre C et O, c'est O l'atome donneur du méthanol

qui attaque l'intermédiaire réactionnel (IR) formé à l'étape 1. Cet IR possède une liaison C–O fortement polarisée à cause de la différence d'électronégativité entre C et O, et ceci est amplifié par la charge positive portée par l'atome d'oxygène. Le site accepteur qui est attaqué est donc l'atome de carbone. Le doublet de la liaison C–O retourne donc sur l'oxygène et permet ainsi le départ de la molécule d'eau.

2. Étape 3 :

$CH_3-\overline{O}-CH_3$ et $\mathbb{H}^{\oplus}$

3. Les ions hydrogène sont consommés à l'étape 1 et régénérés à l'étape 3.

4. Équation de la réaction :

$2\,CH_3-O-H \rightarrow -OCH_3-CH_3 + H_2O$.

La température est un facteur cinétique.

5. Une augmentation de température augmente la vitesse de réaction.

Chapitre 6

QCM

1. A et B ; **2.** A et B ; **3.** B ; **4.** B ; **5.** C ; **6.** A ; **7.** A et C ; **8.** B ; **9.** B et C ; **10.** B.

3 Électron $= {}^{0}_{-1}e$; Positon $= {}^{0}_{1}e$;
Noyau d'hélium 4 $= {}^{4}_{2}He$.

5 **1.** Conservation du nombre de masse A et du nombre de charges Z.

2. a. ${}^{189}_{82}Pb \rightarrow {}^{189}_{81}T\ell + {}^{0}_{1}e$ (positon)

b. ${}^{210}_{90}Th \rightarrow {}^{206}_{88}Ra + {}^{4}_{2}He$ (noyau d'hélium 4)

c. ${}^{13}_{5}B \rightarrow {}^{13}_{6}C + {}^{0}_{-1}e$(électron)

d. ${}^{11}_{6}C \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{0}_{1}e$ (positon)

7 ${}^{211}_{84}Po \rightarrow {}^{207}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$

9 **1.** ${}^{32}_{15}P \rightarrow {}^{32}_{16}S + {}^{0}_{-1}e$

2. C'est une radioactivité β^-.

11 L'aluminium 27 est stable.
L'aluminium 26 est instable, il donne lieu a une radioactivité β^+ car il possède un excès de protons.
L'aluminium 28 est instable, il donne lieu a une radioactivité β^- car il possède un excès de neutrons.

13 **1.** $N_0 = 8 \times 10^6$ noyaux.

2. $N\,(t = 5\text{ s}) = 4 \times 10^6$ noyaux.
$N\,(t = 10\text{ s}) = 2 \times 10^6$ noyaux.
$N\,(t = 15\text{ s}) = 1 \times 10^6$ noyaux.

3. La demi-vie est le temps au bout duquel la moitié des noyaux présents initialement se sont désintégrés.

Si $N = \dfrac{N_0}{2} = 4 \times 10^6$, alors $t = 5$ s.

La demi-vie est donc bien égale à 5 s.

15 **1.** Loi de décroissance radioactive :

$N(t) = N_0 \times e^{-\lambda \times t}$

$e^{-\lambda \times t} = \dfrac{N(t)}{N_0}$

$-\lambda \times t = \ln\left(\dfrac{N(t)}{N_0}\right)$

$t = -\dfrac{1}{\lambda} \times \ln\left(\dfrac{N(t)}{N_0}\right)$

2. Si $N(t) = 0{,}01 \times N_0$, alors : $t = -\dfrac{1}{\lambda} \times \ln(0{,}01)$

$= -\dfrac{1}{1{,}8 \times 10^{-9}} \times \ln(0{,}01) = 2{,}6 \times 10^9\text{ s} = 81$ ans.

17 **1.** La demi-vie est le temps au bout duquel la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés.

2. $N_0 = 1\,000\,000$ noyaux
donc $N(t_{½}) = 500\,000$ noyaux.
Par lecture graphique, on détermine $t_{½} = 30$ ans.

3. $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{½}} = \dfrac{\ln 2}{30 \times 365{,}25 \times 24 \times 3\,600}$

$= 7{,}3 \times 10^{-10}\text{ s}^{-1}$.

19 **1.** $A(t) = A_0 \times e^{-\lambda \times t}$

2. $e^{-\lambda \times t} = \dfrac{A(t)}{A_0}$

$-\lambda \times t = \ln\left(\dfrac{A(t)}{A_0}\right)$

$t = -\dfrac{1}{\lambda} \times \ln\left(\dfrac{A(t)}{A_0}\right)$

Or $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{½}}$.

Donc $t = -\dfrac{t_{½}}{\ln 2} \times \ln\left(\dfrac{A(t)}{A_0}\right) = \dfrac{t_{½}}{\ln 2} \times \ln\left(\dfrac{A_0}{A(t)}\right)$.

3. $t = \dfrac{t_{½}}{\ln 2} \times \ln\left(\dfrac{A_0}{A(t)}\right) = \dfrac{5\,734}{\ln 2} \times \ln\left(\dfrac{816{,}0}{600{,}0}\right)$

$= 2\,544$ ans.

$2\,019 - 2\,544 = -525$.

Le pharaon est probablement mort en –525 av. J-C.

21 **1.** Les seringues contenant le produit radioactif sont contenues dans des containers et des protège-seringues plombés (contenant du plomb). Lors de la préparation et de l'injection, le manipulateur doit porter des gants plombés. Lors de l'examen, l'utilisation d'écrans ou de tabliers plombés est préférable.

2. Le plomb est le métal qui permet d'atténuer le plus les rayons gamma. On voit dans les données qu'il suffit d'une épaisseur de 1,0 cm de plomb pour atténuer de moitié le flux de rayons gamma, alors qu'il faut jusqu'à 5 fois plus pour des métaux comme l'aluminium.

25 **1.** ${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e$

2. $A(t) = A_0 \times e^{-\lambda \times t}$

3. $e^{-\lambda \times t} = \dfrac{A(t)}{A_0}$

$-\lambda \times t = \ln\left(\dfrac{A(t)}{A_0}\right)$

$t = -\dfrac{1}{\lambda} \times \ln\left(\dfrac{A(t)}{A_0}\right)$

4. La demi-vie correspond au temps au bout duquel $A(t) = A_0/2$.

Donc $t_{½} = -\dfrac{1}{\lambda} \times \ln\left(\dfrac{1}{2}\right) = \dfrac{\ln 2}{\lambda}$ soit $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{½}}$.

5. $t = -\dfrac{t_{½}}{\ln 2} \times \ln\left(\dfrac{A(t)}{A_0}\right) = \dfrac{t_{½}}{\ln 2} \times \ln\left(\dfrac{A_0}{A(t)}\right)$.

6. $t = \dfrac{t_{½}}{\ln 2} \times \ln\left(\dfrac{A_0}{A(t)}\right) = \dfrac{5\,734}{\ln 2} \times \ln\left(\dfrac{13{,}60}{9{,}94}\right)$

$= 2\,593$ ans

$2\,019 - 2\,593 = -574$ ans

Les navires auraient donc été construits vers –574 et il est donc possible qu'ils aient été coulés vers –545.

29 **1.** ${}^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{218}_{84}Po + {}^{4}_{2}He$ (radioactivité α).

${}^{223}_{86}Rn \rightarrow {}^{223}_{87}Fr + {}^{0}_{-1}e$ (radioactivité β^-).

2. $A(t_{½}) = A_0/2$, on peut alors lire graphiquement que $A = A_0/2$ pour $t_{½} = 4$ jours.

3. Au bout de n demi-vies, $A = A_0/2^n$, donc :

t (jours)	0	4,0 ($= t_{½}$)	8,0 ($= 2\,t_{½}$)	16,0 ($= 4\,t_{½}$)
A (Bq)	$8{,}0 \times 10^6$	$4{,}0 \times 10^6$	$2{,}0 \times 10^6$	$5{,}0 \times 10^5$

4. Le radon 222 est formé naturellement à la suite de la désintégration de l'uranium 238. Si la vitesse de formation du radon est égale à la vitesse à laquelle il se désintègre, alors le nombre de noyaux de radon 222 présents dans l'atmosphère reste constant et il est normal que l'activité du radon reste constante au cours du temps.

5. $A = 60{,}0 \times n = 60{,}0 \times 10{,}5 = 630\text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.
Or la norme européenne prévoit de ne pas dépasser 400 Bq · m^{-3}. Le propriétaire de cette cave doit donc rapidement prendre des mesures pour améliorer la qualité de l'air dans sa cave, comme installer une ventilation adaptée efficace (type VMC).

Chapitre 7

QCM

1. A et B ; **2.** A et C ; **3.** A et C ; **4.** B et C ; **5.** B ; **6.** B ; **7.** B et C ; **8.** A ; **9.** B et C ; **10.** B ; **11.** B.

3 **1.** L'équation de la réaction s'écrit :

$Ca^{2+}\,(aq) + 2\,HO^-\,(aq) \rightarrow Ca(OH)_2\,(s)$.

2. Un précipité blanc d'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2\,(s)$ se forme dans les deux tubes. Il reste donc des ions $Ca^{2+}\,(aq)$ et $HO^-\,(aq)$ dans le filtrat.

3. Puisqu'il reste des ions des ions hydroxyde $HO^-\,(aq)$ et des ions calcium $Ca^{2+}\,(aq)$ dans la solution filtrée, la transformation n'est pas totale.

5 **1.** La solution se colore en bleue, des ions cuivre (II) $Cu^{2+}\,(aq)$ se sont formés. Par ailleurs, de l'argent Ag (s) se dépose sur le cuivre.

$Cu\,(s) + 2\,Ag^+\,(aq) \rightarrow Cu^{2+}\,(aq) + 2\,Ag\,(s)$.

2. • L'absorbance A de la solution obtenue est égale à 0,47. En reportant sur la courbe d'étalonnage, on détermine la concentration des ions cuivre (II) $Cu^{2+}\,(aq)$ soit :

$[Cu^{2+}] = 3{,}7 \times 10^{-2}\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

• La quantité $n(Cu)$ de cuivre formé est égale :

$n(Cu) = [Cu^{2+}] \times V = 3{,}7 \times 10^{-3}$ mol.

L'avancement final vaut : $x_f = 3{,}7 \times 10^{-3}$ mol

• Les quantités initiales respectives $n(Ag^+)$ et $n(Cu)$ d'ions argent et de cuivre sont :

$n(Ag^+) = [Ag^+] \times V = 7{,}5 \times 10^{-3}$ mol et $n(Cu) = m(Cu)/M(Cu) = 7{,}8 \times 10^{-2}$ mol. On a : $n(Cu)/1 > n(Ag^+)/1$, donc les ions Ag^+ correspondent au réactif limitant. La quantité d'ions cuivre (II) maximale est donc égale à $n(Ag^+)/2$ soit un avancement maximal $x_{max} = 3{,}7 \times 10^{-3}$ mol. Le taux d'avancement t s'exprime par : $\tau = x_f/x_{max} = 1$.
La transformation est donc totale.

7 **1.** $Q_{r1} = \dfrac{[Pb^{2+}] \times [HO^-]^2}{(c^\circ)^3}$ et

$Q_{r2} = \dfrac{[Pb^{2+}]^2 \times [HO^-]^4}{(c^\circ)^6}$.

2. (2) = (1) × 2 et Q_{r2} est différent de Q_{r1}. L'expression du quotient de réaction dépend donc de l'écriture de l'équation de la réaction.

9 **1.** $Sn\,(s) + Pb^{2+}\,(aq) \rightleftharpoons Sn^{2+}\,(aq) + Pb\,(s)$.

2. $Q_{r,i} = \dfrac{[Sn^{2+}]_i}{[Pb^{2+}]_i} = \dfrac{0}{1{,}0 \times 10^{-2}} = 0$.

3. $Q_{r,i} < K$ donc le système évolue dans le sens direct de l'équation soit la formation d'ions étain (II) $Sn^{2+}\,(aq)$ et plomb solide Pb (s).

4. À l'état final, la concentration en ions étain (II) est telle que $[Sn^{2+}] = 2{,}5 \times 10^{-3}\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Il s'est donc formé une quantité $n(Sn^{2+})$ d'ions étain (II) égale à : $n(Sn^{2+}) = [Sn^{2+}] \times V = 5{,}0 \times 10^{-5}$ mol. La quantité $n_{réagi}(Pb^{2+})$ d'ions plomb (II) qui a réagi est $n_{réagi}(Pb^{2+}) = 5{,}0 \times 10^{-5}$ mol.
La quantité $n_f(Pb^{2+})$ finale d'ions plomb (II) correspond à :

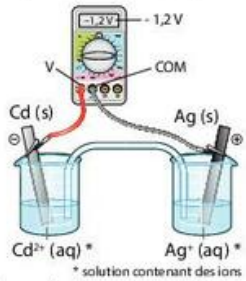
$n_f(Pb^{2+}) = [Pb^{2+}]_i \times V - n_{réagi}(Pb^{2+}) = 1{,}5 \times 10^{-4}$ mol.

La concentration finale en ions plomb (II) est telle que : $[Pb^{2+}] = n_f(Pb^{2+})/V = 7{,}5 \times 10^{-3}\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$Q_{r,f} = \dfrac{[Sn^{2+}]_f}{[Pb^{2+}]_f} = \dfrac{2{,}5 \times 10^{-3}}{7{,}5 \times 10^{-3}} = \dfrac{1}{3}$. Le quotient de réaction à l'état final est égal à la valeur de la constante d'équilibre. Le système a donc atteint un état d'équilibre.

11 Une demi-pile est composée d'un couple oxydant/réducteur et si le réducteur n'est pas un élément métallique d'un électrode inerte (platine ou carbone graphite).
1er système : couple Cu^{2+} (aq)/Cu (s), le cuivre solide Cu (s) joue le rôle d'électrode ⇒ demi-pile ;
2e système : couple Fe^{3+} (aq)/Fe^{2+} (aq), le platine solide Pt (s) joue le rôle d'électrode ⇒ demi-pile ;
3e système : le couple CH_3CO_2H (aq)/$CH_3CO_2^-$ (aq) est un couple acide-base. Le système ne peut correspondre à une demi-pile.

13 **1.**



2. • L'électrode d'argent est la borne positive de la pile car elle a été branchée à la borne COM du voltmètre et la tension mesurée est négative. Les électrons circulent donc de l'électrode de cadmium vers l'électrode d'argent.
• L'électrode de cadmium fournit les électrons au circuit extérieur, le cadmium s'oxyde. L'équation de la réaction électrochimique s'écrit :
$$Cd\,(s) \rightarrow Cd^{2+}\,(aq) + 2e^-.$$
• À l'électrode d'argent, les électrons arrivent et sont captés par les ions argent (I) qui sont réduits. L'équation de la réaction électrochimique s'écrit :
$$Ag^+\,(aq) + e^- \rightarrow Ag\,(s).$$
• En combinant les deux équations des réactions électrochimiques, l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile s'écrit :
$$Cd\,(s) + 2\,Ag^+\,(aq) \rightarrow Cd^{2+}\,(aq) + 2\,Ag\,(s).$$
3. Le transfert d'électrons se réalise par un circuit extérieur. Le transfert est donc indirect.

15 **1.** • Les ions argent (I) sont réduits donc les électrons arrivent et sont captés par les ions argent (I) au niveau de l'électrode d'argent qui joue donc le rôle de la borne positive. L'équation de la réaction électrochimique s'écrit :
$$Ag^+\,(aq) + e^- \rightarrow Ag\,(s)$$
• L'électrode de nickel Ni (s) fournit les électrons au circuit extérieur, le nickel s'oxyde. L'équation de la réaction électrochimique s'écrit :
$$Ni\,(s) \rightarrow Ni^{2+}\,(aq) + 2e^-.$$
• En combinant les deux équations des réactions électrochimiques, l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile s'écrit :
$$Ni\,(s) + 2\,Ag^+\,(aq) \rightarrow Ni^{2+}\,(aq) + 2\,Ag\,(s).$$
2. Les quantités initiales de réactifs sont :
$$n_i(Ni) = \frac{m(Ni)}{M(Ni)} = \frac{25\ g}{58{,}7\ g\cdot mol^{-1}} = 4{,}3\times10^{-1}\ mol$$
Les ions argent (I) correspondent au réactif limitant car $\frac{n_i(Ni)}{1} > \frac{n_i(Ag^+)}{2}$.
D'après l'équation de la réaction électrochimique : $Ag^+\,(aq) + e^- \rightarrow Ag\,(s)$, soit $n(e^-)_{max} = n_i(Ag^+)$ donc : $Q_{max} = n(e^-)_{max} \times N_A \times e$
$= n_i(Ag^+) \times N_A \times e = 4{,}8\times10^2$ C.

17 **1.** Les ions hypochlorite $C\ell O^-$ (aq) sont des oxydants.
2. L'acide ascorbique, le dioxygène ne contiennent pas l'élément chlore et sont également des oxydants.

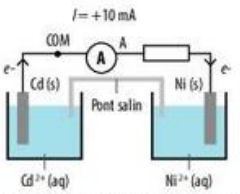
21 **1.** Détermination des concentrations initiales : $[Pb^{2+}] = \frac{m(PbNO_3)}{M(PbNO_3)\times V} = 0{,}30\ mol\cdot L^{-1}$
et $[I^-] = \frac{m(KI)}{M(KI)\times V} = 0{,}60\ mol\cdot L^{-1}$
• Détermination du quotient de réaction $Q_{r,i}$:
$Q_{r,i} = \frac{(c°)^3}{[Pb^{2+}]_i \times [I^-]_i^2} = 9{,}3 < K(25\,°C) = 7{,}4\times10^7$,
donc le système évolue dans le sens direct de l'équation et il y a formation de cristaux de PbI_2 (s).
2.

Équation de la réaction		$Pb^{2+}\,(aq) + 2\,I^-\,(aq) \rightleftharpoons PbI_2\,(s)$		
	Avancement (en mmol)	Quantités de matière (en mmol)		
		$n(Pb^{2+})$	$n(I^-)$	$n(PbI_2)$
État initial	$x = 0$	15	30	0
État final	$x = x_f$	$15 - x_f =$ 0,075	$30 - 2x_f =$ 0,15	$x_f = 14{,}9$

$x_f \approx 14{,}9$ mmol et $x_{max} = 15$ mmol donc $\tau = 99$ %.
La transformation peut être considérée comme quasi-totale.
$Q_{r,A} \approx \frac{(c°)^3}{[Pb^{2+}]_A \times [I^-]_A^2} = 7{,}4\times10^7 = K(25\,°C)$ donc le système a atteint un état d'équilibre.
3. a. Aucune concentration n'a été modifiée donc $Q_{r,B} = Q_{r,A} = 7{,}4\times10^7$.
b. La solution est devenue limpide, cela signifie qu'en augmentant la température, le système a évolué dans le sens indirect de l'équation donc $Q_{r,B} = K(25\,°C) > K(70\,°C)$.
c. En augmentant la température, la constante d'équilibre K diminue.
4. Lorsque la température diminue, la constante d'équilibre augmente et devient supérieure au quotient de réaction. Le système évolue de nouveau dans le sens direct de l'équation d'où la formation de cristaux d'iodure de plomb PbI_2 (s).
5. Dans la solution filtrée, $[Pb^{2+}] = [Pb^{2+}]_e$ et $[I^-] = [I^-]_e$ donc $Q_{r,i} = K = 1/([Pb^{2+}]_e \times [I^-]_e^2)$.
En ajoutant une pointe de spatule de nitrate de plomb, on augmente la concentration des ions plomb (II). Le quotient de réaction diminue et devient inférieur à la constante d'équilibre. Le système évolue alors dans le sens direct de l'équation. Des cristaux d'iodure de plomb PbI_2 (s) se forment.

26 **1.** • L'électrode de cadmium est la borne négative de la pile car elle a été branchée à la borne COM du voltmètre et la tension mesurée est positive. Les électrons circulent donc de l'électrode de cadmium vers l'électrode de nickel.
• L'électrode de cadmium fournit les électrons au circuit extérieur, le cadmium s'oxyde. L'équation de la réaction électrochimique s'écrit :
$$Cd\,(s) \rightarrow Cd^{2+}\,(aq) + 2\,e^-.$$
• À l'électrode de nickel, les électrons arrivent et sont captés par les ions nickel (II) qui sont réduits. L'équation de la réaction électrochimique s'écrit :
$$Ni^{2+}\,(aq) + 2\,e^- \rightarrow Ni\,(s).$$
• En combinant les deux équations des réactions électrochimiques, l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile s'écrit :
$$Cd\,(s) + Ni^{2+}\,(aq) \rightarrow Cd^{2+}\,(aq) + Ni\,(s).$$
2. $Q_{r,i} = \frac{[Cd^{2+}]_i}{[Ni^{2+}]_i} = 1.$
3. $Q_{r,i} < K = 4{,}5\times10^6$, donc transformation dans le sens direct de l'équation.

4.



Le transfert spontané d'électrons est indirect.
5. • Le pont salin a pour fonction de fermer le circuit : il permet d'assurer la circulation du courant et la neutralité électrique des solutions.
• Si on ne séparait par les réactifs, le transfert d'électrons serait direct. Il serait alors impossible de récupérer l'énergie électrique.
6. • $n(Ni^{2+}) = C_{Ni}\times V = 2{,}0\times10^{-3}$ mol et $n(Cd) = m(Cd)/M(Cd) = 1{,}8\times10^{-2}$ mol, soit $\frac{n(Ni^{2+})}{1} < \frac{n(Cd)}{1}$, donc les ions nickel Ni^{2+} (aq) sont limitants.
• $Ni^{2+}\,(aq) + 2\,e^- \rightarrow Ni\,(s)$ soit $n(e^-)_{max}/2 = n(Ni^{2+})$ donc $n(e^-)_{max} = 2\times n(Ni^{2+})$,
soit $Q_{max} = n(e^-)_{max}\times N_A\times e = 2\times n_i(Ni^{2+})\times N_A\times e$
$= 385$ C.
7. a. Le dioxygène O_2 (g) est un oxydant.
b. Un atome de lithium a tendance à perdre un électron pour atteindre la configuration électronique d'un atome de gaz noble qui le précède. Le lithium est donc un réducteur.
8. $Q = n(e^-)_{max}\times N_A\times e$ soit $n(e^-)_{max} = Q/(N_A\times e)$
$= 4{,}48\times10^{-2}$ mol
soit $n(Li^+) = n(e^-)_{max} = 4{,}48\times10^{-2}$ mol.
La masse de nickel est égal à :
$$m(Li^+) = n(Li^+)\times M(Li) = 0{,}31\ g.$$

Chapitre 8

QCM

1. A, B et C ; **2.** A ; **3.** C ; **4.** B ; **5.** C ; **6.** A et C ; **7.** B ; **8.** C ; **9.** B.

3 **1.** La constante d'équilibre est :
$$K_e = [H_3O^+]_{éq}\times[HO^-]_{éq}.$$
2. $[HO^-]_{éq} = \frac{K_e}{[H_3O^+]_{éq}} = \frac{1{,}0\times10^{-14}}{1{,}0\times10^{-4{,}6}}$
$= 1{,}0\times10^{-9{,}4} = 4{,}0\times10^{-10}\ mol\cdot L^{-1}.$

5

Équation	$C_6H_8O_6$(aq) +	$H_2O\,(\ell)$ →	$C_6H_7O_6^-$(aq) +	H_3O^+(aq)
État initial ($x = 0$ mol)	n	Solvant	0	0
État initial (x)	$n - x$	Solvant	x	x
État final (x_f)	$n - x_f$	Solvant	x_f	x_f

$x_f = n_f(H_3O^+) = [H_3O^+]_f\times V = 10^{-pH}\times V$
$= 10^{-2{,}7}\times 500{,}0\times10^{-3} = 1{,}0\times10^{-3}$ mol.
$n_f(C_6H_8O_6) = n - x_f = 5{,}0\times10^{-3} - 1{,}0\times10^{-3}$
$= 4{,}0\times10^{-3}$ mol et $n_f(H_3O^+) = n_f(C_6H_7O_6^-)$
$= x_f = 1{,}0\times10^{-3}$ mol.

État final (x_f)	4,0 mmol	Solvant	1,0 mmol	1,0 mmol

7 **1.**

Équation	$HNO_3\,(\ell)$ +	$H_2O\,(\ell)$ →	NO_3^-(aq) +	H_3O^+(aq)
État initial ($x = 0$ mol)	$n = C\times V$	Solvant	0	0
État initial (x)	$n - x$	Solvant	x	x
État final (x_f)	$n - x_f$	Solvant	x_f	x_f

2. $x_f = n_f(H_3O^+) = [H_3O^+]_f \times V = 10^{-pH} \times V$
$= 10^{-2,3} \times 150,0 \times 10^{-3} = 7,5 \times 10^{-4}$ mol.
L'avancement maximal x_{max} serait atteint si l'acide nitrique était totalement consommé, soit si $C \times V - x_{max} = 0$ d'où : $x_{max} = C \times V$
$= 5,0 \times 10^{-3} \times 150,0 \times 10^{-3} = 7,5 \times 10^{-4}$ mol.
Le taux d'avancement final vaut : $\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = 1$.
L'acide nitrique est un acide fort dans l'eau.

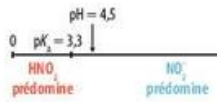
9 **1.** $H_2S(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons HS^-(aq) + H_3O^+(aq)$
2. L'écriture simplifiée de la constante d'acidité est :
$$K_A = \frac{[HS^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[H_2S]_{éq}}$$
3. $pK_A = -\log K_A$ ou $K_A = 10^{-pK_A}$.

11 **1.** On a : $K_A = 10^{-pK_A}$ et $pK_A = -\log(K_A)$:

Couple		K_A	pK_A
Acide	Base		
$C_2H_5CO_2H$	$C_2H_5CO_2^-$	$1,3 \times 10^{-5}$	4,9
$HC\ell O$	$C\ell O^-$	$3,2 \times 10^{-8}$	7,5
HCO_2H	HCO_2^-	$1,6 \times 10^{-4}$	3,8
H_3O^+	H_2O	1,0	0

2. À concentrations apportées égales, plus un acide est fort dans l'eau plus son pK_A est petit.
Classement par ordre croissant de la force des acides : $HC\ell O$, $C_2H_5CO_2H$, HCO_2H, H_3O^+.

13 Comme pH > pK_A, l'espèce prédominante dans la solution est donc l'ion NO_2^-(aq).
Diagramme de prédominance :



15 **1.** Un indicateur coloré acido-basique est un couple acide-base dont les espèces conjuguées n'ont pas la même teinte.
2. La phénolphtaléine est adaptée à ce titrage car le pH à l'équivalence du titrage est compris dans la zone de virage [8,0 – 10,0] de l'indicateur coloré.

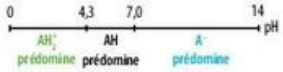
17 **1.** La solution S_3 pourrait être une solution tampon car son pH varie très peu lors de l'ajout d'une petite quantité d'acide.
2. Il faudrait voir comment évolue son pH lors de l'ajout d'une petite quantité de base ou d'eau.

19 Tableau d'avancement :

Équation	$HCO_2H(aq) +$	$H_2O(\ell)$	$\rightarrow HCO_2^-(aq) +$	$H_3O^+(aq)$
État initial ($x = 0$)	$n = C \times V$	Solvant	0	0
État final ($x = x_f$)	$n - x_f$	Solvant	x_f	x_f

Si la réaction est totale : $n - x_{max} = 0$ donc $x_{max} = n = C \times V = 1,0 \times 0,60 = 0,60$ mol.
Pour cette réaction : $x_f = n_f(H_3O^+) = [H_3O^+]_f \times V$
$= 10^{-pH} \times V = 10^{-1,9} \times 0,60 = 7,6 \times 10^{-3}$ mol.
Composition finale : $n_f(HCO_2H) = n - x_f$
$= 0,60 - 7,6 \times 10^{-3} = 5,9 \times 10^{-1}$ mol.
$n_f(HC) = x_f = 7,6 \times 10^{-3}$ mol.
$n_f(H_3O^+) = x_f = 7,6 \times 10^{-3}$ mol.
$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{7,6 \times 10^{-3}}{0,60} = 0,013$, la réaction est limitée, l'acide méthanoïque est un acide faible.

20 **1.** $AH_2^+(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons AH(aq) + H_3O^+(aq)$ (1)
$AH(aq) + H_2O(\ell) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$ (2)
2. Diagramme de prédominance



3. $\frac{[A^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH]_{éq}}$ constant d'acidité associée à l'équation (2) et $\frac{[AH]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[AH_2^+]_{éq}}$ constante d'acidité associée à l'équation (1).
4. À concentration apportée égale, l'acide le plus fort dans l'eau est celui qui a la plus petite valeur de pK_A.
Or $pK_{A1} < pK_{A2}$ donc l'acide AH_2^+(aq) est plus fort que l'acide AH(aq).
5. $K_{A2} = 10^{-pK_{A2}} = 1,0 \times 10^{-7,0}$.
6. a. $\frac{[A^-]_{éq}}{[AH]_{éq}} = \frac{K_{A2}}{[H_3O^+]_{éq}} = \frac{1,0 \times 10^{-7}}{1,0 \times 10^{-10}} = 1,0 \times 10^{-3}$
b. L'espèce A^- (aq) est donc prédominante dans la solution, la solution S est donc bleue.
7. Pour faire passer de rose à bleu les pétales d'un hortensia, il faut que le pH de la solution contenue dans les pétales augmente. Ce pH variant en sens inverse de celui du sol, il faut donc diminuer le pH du sol.

23 **1.** Coordonnées du point équivalent E : ($V_E = 14,5$ mL ; $pH_E = 4,5$).
2. a. Un indicateur coloré acido-basique est un couple acide-base dont les espèces conjuguées n'ont pas la même teinte.
b. L'indicateur coloré adapté à ce titrage doit contenir la valeur $pH_E = 4,5$ dans sa zone de virage. Seul le vert de bromocrésol satisfait à cette condition car sa zone de virage est [3,8 – 5,4].
c. À l'équivalence de ce titrage, la couleur du mélange réactionnel passe du bleu au jaune.
3. Une solution tampon est une solution dont le pH varie peu par ajout de petites quantités d'acide ou de base ou par dilution.

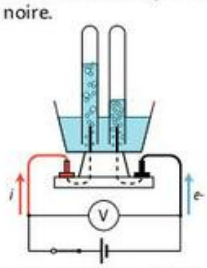
Chapitre 9

QCM

1. A ; **2.** C ; **3.** C ; **4.** A et C ; **5.** A ; **6.** B ; **7.** A et C ; **8.** A ; **9.** A ; **10.** A et C ; **11.** A, B et C.

3 • Système 1 : à l'état initial, on mélange des ions argent Ag^+ (aq) et du cuivre métallique Cu (s).
$2\,Ag^+(aq) + Cu(s) \rightleftharpoons 2\,Ag(s) + Cu^{2+}(aq)$
$K = K_1 = 2,2 \times 10^{15}$.
$Q_{r,i} = \frac{[Cu^{2+}]}{[Ag^+]^2} = 0$.
$Q_{r,i} < K_1$, donc la réaction s'effectue dans le sens direct.
$K_1 >> 10^3$, la réaction est totale. Il est donc inutile de forcer le système avec une électrolyse.
• Système 2 : à l'état initial on mélange des ions bromure Br^-(aq) et des ions zinc Zn^{2+}(aq).
$Zn^{2+}(aq) + 2\,Br^-(aq) \rightleftharpoons Zn(s) + Br_2(aq)$
$K = K_2 = 2,5 \times 10^{-62}$.
$Q_{r,i} = \frac{[Br_2]}{[Br^-]^2 \times [Zn^{2+}]} = 0$.
$Q_{r,i} < K_2$, donc la réaction s'effectue dans le sens direct.
$K_2 << 10^3$ donc la réaction est limitée, l'avancement sera faible. Pour obtenir une quantité notable de produits, il est nécessaire de forcer le système en réalisant une électrolyse.

5 **1.** D'après le schéma du montage, la borne + est reliée à l'électrode rouge et la borne – à l'électrode noire.

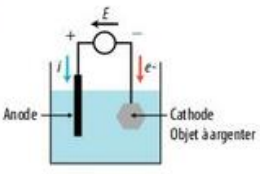


2. Les électrons arrivent sur l'électrode reliée à la borne – du générateur. Une espèce se réduit, cette électrode joue le rôle de cathode. Des électrons partent de l'électrode reliée à la borne + du générateur, une oxydation s'est donc produit, cette électrode joue le rôle d'anode.
3. On écrit les ½ équations redox :
$2\,H_2O \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$ Oxydation (anode)
$2\,H^+(aq) + 2\,e^- \rightarrow H_2(g) \times 2$ Réduction (cathode)
$2\,H_2O \rightleftharpoons O_2(g) + 2\,H_2(g)$
4. D'après la stœchiométrie de l'équation de la réaction, il se forme 2 fois plus de dihydrogène $H_2(g)$ que de dioxygène $O_2(g)$. Ce résultat est concordant avec le schéma où on observe un volume dégagé deux fois plus grand à la cathode.

7 **1.** L'équation électrochimique s'écrit : $Sn^{2+}(aq) + 2\,e^- \rightarrow Sn(s)$. Il s'agit d'une réduction, l'électrode est donc une cathode.
2. Le gaz qui se dégaze est le dioxygène O_2 (g). En effet, du dioxygène gazeux ravive la flamme d'une allumette. L'équation électrochimique s'écrit : $2\,H_2O \rightarrow O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$. Il s'agit d'une oxydation, l'électrode est donc une anode.
3. $Q = I \times \Delta t = n(e^-) \times F$. D'après l'équation de la réaction électrochimique, $n(e^-)/2 = n(Sn)$ donc $Q = I \times \Delta t = 2 \times n(Sn) \times F$.
On obtient : $n(Sn) = I \times \Delta t / (2 \times F) = 7,5 \times 10^{-3}$ mol.
La masse $m(Sn)$ d'étain qui se dépose est égale à : $m(Sn) = n(Sn) \times M(Sn) = 0,89$ g.

9 **1.** Les demi-équations électroniques s'écrivent :
• pour le couple $O_2(g)/H_2O(\ell)$:
$2\,H_2O(\ell) \rightleftarrows O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-$
• pour le couple $CO_2(g)/C_6H_{12}O_6(aq)$:
$6\,CO_2(g) + 24\,H^+(aq) + 24\,e^- \rightleftarrows C_6H_{12}O_6(aq) + 6\,H_2O(\ell)$
2. L'équation de la réaction s'écrit :
$O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^- \rightarrow 2\,H_2O(\ell)$
$C_6H_{12}O_6(aq) + 6\,H_2O(\ell) + 24\,H^+(aq) + 24\,e^- \rightarrow 6\,CO_2(g)$
$O_2(g) + C_6H_{12}O_6(aq) \rightleftharpoons 6\,H_2O(\ell) + 6\,CO_2(g)$
3. a. Si sans lumière, la photosynthèse n'a pas lieu, c'est que la lumière force le système à évoluer dans le sens de consommation du glucose. Elle apporte l'énergie nécessaire à la transformation.
b. Lors de la photosynthèse, se produit une conversion d'énergie lumineuse en énergie chimique.

12 **1.**



On branche plusieurs anodes sur le générateur à la borne + pour que le dépôt soit bien homogène de chaque côté de la pièce à recouvrir.
2. L'objet métallique à argenter joue le rôle de cathode ce qui permet de réaliser un dépôt métallique sur la pièce à argenter.

3. a. Les électrons partent de l'anode, il y a donc oxydation de l'argent pour former des ions argent (I) Ag^+ (aq).
b. À l'anode, des ions Ag^+ (aq) sont produits. L'équation électrochimique s'écrit :

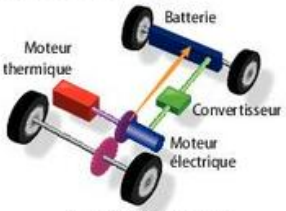
$$Ag\,(s) \rightarrow Ag^+\,(aq) + e^-.$$

4. L'équation s'écrit :

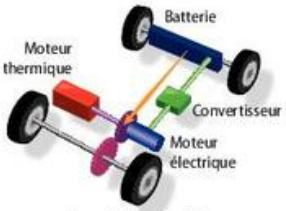
$$Ag\,(s) + Ag^+\,(aq) \rightleftharpoons Ag^+\,(aq) + Ag\,(s)$$

Il s'agit d'une électrolyse à anode soluble car l'anode est consommée au fur et à mesure de la transformation.
5. On a : $Q = I \times \Delta t = n(e^-) \times F$.
D'après l'équation de la réaction électrochimique, $Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag\,(s)$, $n(e^-) = n(Ag)$,
donc $Q = I \times \Delta t = n(Ag) \times F$.
On obtient : $n(Ag) = I \times \Delta t / F$
soit $m(Ag) = I \times \Delta t \times M(Ag)/F$.
6. On a : $m(Ag) = \rho_{Ag} \times V = \rho_{Ag} \times S \times$ épaisseur
soit épaisseur $= \dfrac{I \times \Delta t \times M(Ag)}{F \times \rho_{Ag} \times S} = 2{,}0 \times 10^{-3}$ cm $= 20$ µm
Le poinçon à appliquer comporte le chiffre II.

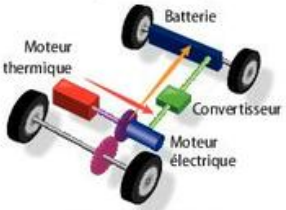
16 **1. a.** La batterie fournit de l'énergie électrique et assiste le moteur thermique. On parle donc d'assistance électrique.
b.



Charge de la batterie



Propulsion électrique



Freinage régénératif

2. Une voiture hybride consomme moins de carburant qu'une voiture à moteur thermique car le moteur thermique n'est pas sollicité en permanence.
3. a. Les réactions électrochimiques s'écrivent :
• à l'anode, l'oxydation se produit :

$$LiC_6 \rightarrow C_6 + Li^+ + e^- ;$$

• à la cathode, la réduction se produit :

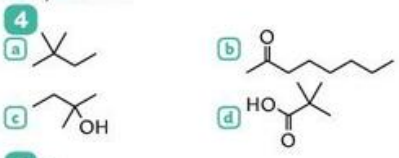
$$CoO_2 + Li^+ + e^- \rightarrow LiCoO_2.$$

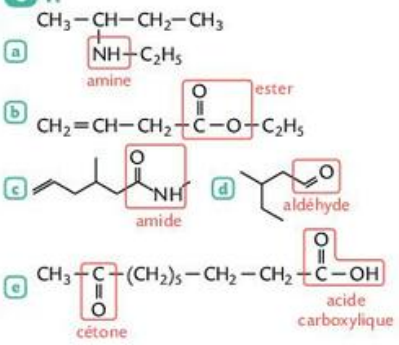
b. L'équation de la réaction de décharge s'écrit :
$LiC_6\,(s) + CoO_2\,(s) \rightleftharpoons C_6\,(s) + LiCoO_2\,(s)$.
4. La réaction de la charge est la réaction opposée soit : $C_6\,(s) + LiCoO_2\,(s) \rightleftharpoons LiC_6\,(s) + CoO_2\,(s)$.
5. Un véhicule hybride permet une économie de consommation de carburant et a une empreinte environnementale plus favorable (moins de dégagement de gaz à effet de serre). Cependant, pour fabriquer les batteries, des métaux rares sont utilisés qui risquent de s'épuiser. Un problème de retraitement se pose également.

Chapitre 10

QCM

1. B ; **2.** A ; **3.** B ; **4.** B ; **5.** A et C ; **6.** C ; **7.** B ; **8.** A ; **9.** A et C.

4


6 **1.**


2. Squelettes carbonés saturés : a, d et e. Squelettes carbonés insaturés : b et c.

8 Molécule a : On repère la présence d'un groupe amine, le suffixe est donc « amine ». La chaîne qui contient le plus d'atomes de carbone est celle qui en contient 3, la racine du nom est « propan ». L'atome d'azote est lié à un groupe méthyl et un groupe éthyl le préfixe est donc « N-éthyl, N-méthyl ».
Molécule b : On repère la présence d'un groupe ester, le suffixe est donc « oate de yle ». On numérote les deux chaînes carbonées contenant 3 atomes de carbone indépendamment à partir de l'atome de carbone fonctionnel et de l'atome de carbone lié à l'atome d'oxygène. La présence de deux groupes méthyle en position 2 sur chaque chaîne carbonée justifie les préfixes « 2-méthyl ».

10 a Les deux molécules n'ont pas la même formule brute : $C_5H_{10}O$ pour la première et $C_5H_{12}O$ pour la deuxième. Les espèces correspondantes ne sont pas isomères de constitution.
b Les deux molécules ont la même formule semi-développée. Les espèces sont identiques.
c Les molécules ont même formule brute et des formules semi-développées différentes : les espèces correspondantes sont isomères de constitution.

12 **1.** La vitesse de formation de **C** augmente si la température augmente et/ou si on ajoute un catalyseur.
2. Son rendement augmente si on ajoute en excès l'un des réactifs (le moins coûteux) et/ou si on extrait au fur et à mesure de sa synthèse l'un des produits. En effet on aura alors $Q_r < K$ et le système évoluera donc dans le sens direct.

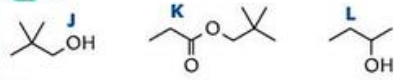
14 **1.** Réactions (1) et (2) : modification de groupe ; Réaction (3) : modification de chaîne.
2. **A** : $NaNH_2$; **B** : CH_3I ; **C** : CH_3MgBr

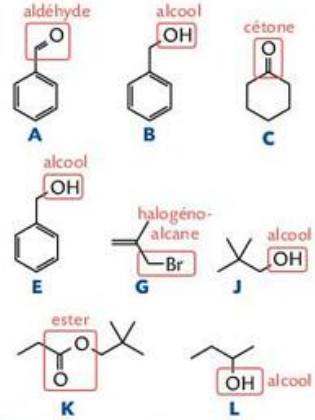
16 **1.** Réaction (1) : addition ; Réaction (2) : substitution.
2. $C_3H_6O + 2H^+ + 2e^- \rightleftarrows C_3H_8O$: c'est bien une réduction.

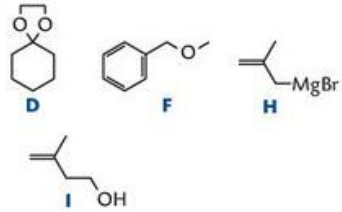
18 **1.** Étape de protection : A → B (protection du diol) ; étape de déprotection : D → E.
2. Si le diol n'avait pas été protégé, TsCℓ aurait pu réagir avec les trois groupes hydroxyles.

20 **1.** Voir cours.
2.


3. Polyéthylène ou polypropylène pour emballage plastique.

22 **1.**


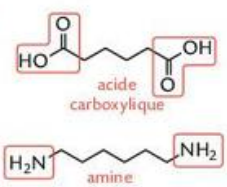
2.


3. a. a : $NaBH_4$ dans l'éthanol
e : $CH_3\text{-}CH_2\text{-}COOH$; H^+ f : H^+ ; Δ
b.


4. Sous-produit formé : H_2O. Optimisation du rendement en mettant en excès l'un des réactifs ou en enlevant l'eau au fur et à mesure de sa formation.
5.

M'

6. $C_7H_6O + 2H^+ + 2e^- \rightleftarrows C_7H_8O$
La réaction a est une réduction.
7. a. Réaction d'élimination : f ; Réactions d'addition : a ; Réactions de substitution : c.
b. Modifications de groupe : a ; Modifications de chaîne : d.

25 **1. a.**


b. La chaîne carbonée de chacun des réactifs est constituée de 6 atomes de carbones d'où la racine « hexane ». L'acide hexanedioïque possède deux groupes carboxyle d'où la terminaison « dioïque » (l'indice de position n'est pas précisé car un groupe carboxyle est forcément en bout de chaîne). L'hexane-1,6-diamine possède deux groupes amine en position 1 et 6 d'où la terminaison « 1,6-diamine ».
c. Réaction de substitution.
2. a. Le nylon-6,6 est un polymère qui possède des groupes amide d'où le nom de « polyamide ».

b. $\left(\overset{\overset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_4-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH-(CH_2)_6-NH\right)$

3. Polymère synthétique : PVC ; polymère naturel : cellulose.

4. a. CCM : séparation et identification des constituants d'un mélange basée sur une différence d'affinité entre les différentes espèces déposées et la silice.

b. $M(\text{motif}) = M(C_{12}H_{22}N_2O_2) = 226{,}0\ g\cdot mol^{-1}$.

c. $n = M/M(\text{motif}) = 531$.

5. a. Ammoniaque : NH_3.

b. Éliminer l'eau (produit de la réaction) augmente le rendement de cette ammonolyse.

c. Le catalyseur augmente la vitesse de formation des produits.

Chapitre 11

QCM

1. A ; **2.** B ; **3.** B et C ; **4.** A et C ; **5.** B ; **6.** A ; **7.** B et C ; **8.** A et B ; **9.** A et C.

2 $\overrightarrow{OM}\begin{cases} x = -a\times t + b \\ y = 0 \end{cases}$

Le vecteur vitesse de M à la date t est la dérivée du vecteur position par rapport au temps :

$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$.

Il vient $\vec{v}\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = -a \\ v_y = \frac{dy}{dt} = 0 \end{cases}$

4 • Le vecteur vitesse de B à la date t est la dérivée du vecteur position par rapport au temps : $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OB}}{dt}$.

Il vient, en $m\cdot s^{-1}$:

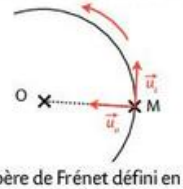
$\vec{v}\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} = 0 \\ v_y = \frac{dy}{dt} = -4{,}9\times 2t^1 + 4{,}0 = -9{,}8t + 4{,}0 \end{cases}$

• Le vecteur accélération de B à la date t est la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps :

$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

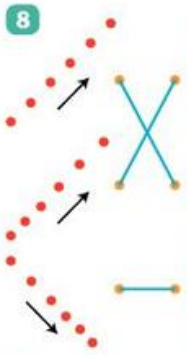
Il vient $\vec{a}\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0\ m\cdot s^{-2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = -9{,}8\ m\cdot s^{-2} \end{cases}$

6 **1.** Le repère de Frenet est défini par : une origine mobile liée au point M étudié ; un vecteur unitaire $\vec{u}_n$ perpendiculaire en M à la trajectoire et orienté vers l'intérieur de la trajectoire ; un vecteur unitaire $\vec{u}_t$ tangent en M à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement.



2. Dans le repère de Frénet défini en M, le vecteur accélération a pour expression : $\vec{a} = \frac{v^2}{R}\vec{u}_n + \frac{dv}{dt}\vec{u}_t$.

8



$\vec{a}$ { **Direction** : celle de la trajectoire ; **Sens** : celui du mouvement

$\vec{a} = \vec{0}$

$\vec{a}$ { **Direction** : celle de la trajectoire ; **Sens** : opposé à celui du mouvement

10 Le mobile est soumis à son poids $\vec{P}$ et l'action de la table à coussins d'air $\vec{R}$. Comme les frottements sont négligés, ces deux forces se compensent : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$.

D'après la deuxième loi de Newton appliquée au mobile $\sum\vec{F} = m\vec{a}_G$;

il vient donc $m\vec{a}_G = \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$: dans le référentiel galiléen considéré, le mouvement du centre de masse G du mobile est rectiligne uniforme.

• • • • • • • •

12 **1.** Deuxième loi de Newton appliquée au système {voiture} dans un référentiel terrestre supposé galiléen : $\sum\vec{F} = m\vec{a}_M$.

2. Le système {voiture} est soumis à son poids $\vec{P}$, à la réaction de la route sur les pneus $\vec{R}$ et à la force de frottement $\vec{f}$.

Le poids et la réaction de la route sur les pneus se compensent : $\vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$. La deuxième loi de Newton appliquée au système se ramène donc à $\vec{f} = m\vec{a}_M$ et donc $\vec{a}_M = \frac{\vec{f}}{m}$.

$\vec{a}_M\begin{cases} \text{direction et sens : ceux de } \vec{f} \\ \text{valeur : } a_M = \frac{f}{m} = 0{,}333\ m\cdot s^{-2} \end{cases}$

16 **1.** Le virage s'opère selon une trajectoire circulaire parcourue à vitesse de valeur v constante. On étudie le mouvement du centre de masse G de l'avion. Dans un repère de Frenet centré sur G, le vecteur accélération est $\vec{a}_G = \frac{v^2}{R}\vec{u}_n + \frac{dv}{dt}\vec{u}_t$.

Comme la valeur de la vitesse de G est constante, $\frac{dv}{dt} = 0$.

Le vecteur accélération est donc $\vec{a}_G = \frac{v^2}{R}\vec{u}_n$; il a pour valeur $a_G = \frac{v^2}{R}$.

$a_G = \frac{\left(\frac{800\times10^3}{3\,600}\ m\cdot s^{-1}\right)^2}{10\,000\ m}$ soit $a_G = 4{,}94\ m\cdot s^{-2}$.

2. Deuxième loi de Newton appliquée au système {avion} dans un référentiel terrestre supposé galiléen, $\sum\vec{F} = m\vec{a}_G$.

Avec l'expression de $\vec{a}_G$ établie précédemment, $\sum\vec{F} = m\frac{v^2}{R}\vec{u}_n$.

Le vecteur $\sum\vec{F}$ a donc pour valeur $\sum F = m\times\frac{v^2}{R}$.

$\sum F = 50\times10^3\ kg \times \frac{\left(\frac{800\times10^3}{3\,600}\ m\cdot s^{-1}\right)^2}{10\,000\ m}$, soit $\sum F = 2{,}5\times10^5\ N$.

22 **1.** Le vecteur vitesse de D à la date t est la dérivée du vecteur position par rapport au temps : $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OD}}{dt}$ et a pour coordonnée verticale $v_z = \frac{dz}{dt}$. D'où $v_z = 1{,}0\times2t = 2{,}0t$.

2. Le vecteur accélération de D à la date t est la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ et a pour coordonnée verticale : $a_z = \frac{dv_z}{dt}$. Doù $a_z = 2{,}0\ m\cdot s^{-2}$. La courbe à tracer est une droite parallèle à l'axe des abscisses (échelles conseillées : 1 cm ↔ 0,5 s et 1 cm ↔ $1{,}0\ m\cdot s^{-2}$).

Le vecteur accélération de D a pour direction et sens ceux du mouvement rectiligne, pour valeur $a = 2{,}0\ m\cdot s^{-2}$.

Chapitre 12

QCM

1. C ; **2.** A ; **3.** A, B et C ; **4.** C ; **5.** C ; **6.** B ; **7.** A ; **8.** B ; **9.** C.

2 Un champ vectoriel est uniforme si en tout point de l'espace, il garde la même direction, le même sens et la même valeur. Le champ 3 est donc uniforme.

4 **1.** Le champ de pesanteur terrestre en un point M de la surface de la Terre est orienté de M vers le centre de la Terre donc vertical vers le bas.

2. Dans une région de l'espace de faibles dimensions, ce champ garde les mêmes direction, sens et valeur. Il est donc uniforme.

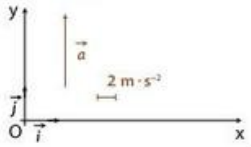
6 **1.** D'après l'expression de E fournie, $|U_{AB}| = E\times d$.

$|U_{AB}| = 1{,}0\times10^4\ N\cdot C^{-1}\times 10{,}0\times10^{-2}\ m$.

La valeur absolue $|U_{AB}|$ de la tension est $1{,}0\times10^3\ V$.

2. La valeur du champ électrique E est inversement proportionnelle à la distance d entre les armatures. Lorsque d augmente, E diminue.

8 **1.** Le vecteur accélération est vertical et la longueur de son segment fléché est égale à 3,9 fois celle du segment d'échelle.



2. La valeur de l'accélération est $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$.

Avec $a_x = 0\ m\cdot s^{-2}$, il vient $a = a_y = 7{,}8\ m\cdot s^{-2}$.

10 **1.** Le système étudié est le centre de masse d'une bille dans un référentiel galiléen. La bille n'est soumise qu'à son poids $\vec{P}$.

D'après la deuxième loi de Newton, $\sum\vec{F} = m\vec{a}$ avec $\vec{P} = m\vec{g}$.

Il vient $\vec{a} = \vec{g}$.

Le vecteur accélération de cette bille est égal au vecteur champ de pesanteur.

2. Les coordonnées du vecteur accélération sont celle de $\vec{g}$: $\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$

12 **1.** L'étude du mouvement du poids se fait dans un référentiel terrestre.

2. Le vecteur position initiale a pour coordonnées : $\overrightarrow{OG_0}\begin{cases} x_0 = 0\ m \\ y_0 = 2{,}0\ m \end{cases}$.

Le vecteur vitesse initiale a pour coordonnées :

$\vec{v}_0\begin{cases} v_{x_0} = v_0\times\cos\alpha \\ v_{y_0} = v_0\times\sin\alpha \end{cases}$, avec $\alpha = 45°$ d'où :

$\vec{v}_0\begin{cases} v_{x_0} = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0 \\ v_{y_0} = \frac{\sqrt{2}}{2}v_0 \end{cases}$.

14 **1.** Il faut chercher les primitives de chaque coordonnée du vecteur accélération puis appliquer les conditions initiales indiquées.

$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$, donc $\vec{v}\begin{cases} v_x = C_x \\ v_y = 6{,}2t + C_y \\ v_z = C_z \end{cases}$. De plus :

$\vec{v}_0\begin{cases} v_{x_0} = 0 \text{ m·s}^{-1} = C_x \\ v_{y_0} = 5{,}0 \text{ m·s}^{-1} = 6{,}2 \times 0 \text{ m·s}^{-1} + C_y \\ v_{z_0} = 7{,}8 \text{ m·s}^{-1} = C_z \end{cases}$

Il vient $\begin{cases} C_x = 0 \text{ m·s}^{-1} \\ C_y = 5{,}0 \text{ m·s}^{-1} \\ C_z = 7{,}8 \text{ m·s}^{-1} \end{cases}$

Les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse exprimées en m·s^{-1} s'écrivent :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = 6{,}2t + 5{,}0 \\ v_z = 7{,}8 \end{cases}$$

2. Le vecteur vitesse possède 2 coordonnées dans le plan (O ; *y*, *z*) ; l'accélération n'a pas de coordonnée suivant Ox. La trajectoire est dans le plan qui contient à la fois $\vec{v}$ et $\vec{a}$.

16 De l'équation horaire $x = 4{,}08t$, on obtient $t = \frac{x}{4{,}08}$.

On remplace *t* dans l'autre équation horaire :

$y = -4{,}88 \times \left(\frac{x}{4{,}08}\right)^2 + 4{,}91 \times \frac{x}{4{,}08} + 2{,}27$.

D'où l'équation cartésienne de la trajectoire du centre de masse de cette balle :

$y = -0{,}293x^2 + 1{,}20x + 2{,}27$, avec *x* et *y* en mètre.

18 **1.** Il faut chercher les primitives de chaque coordonnée du vecteur accélération, puis appliquer les conditions initiales indiquées.

$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ donc $\vec{v}\begin{cases} v_x = C_x \\ v_y = -g \times t + C_y \end{cases}$.

De plus $\vec{v}_0\begin{cases} v_{x_0} = v_0 \times \cos\alpha \\ v_{y_0} = v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$

Il vient $\begin{cases} C_x = v_0 \times \cos\alpha \\ -g \times 0 + C_y = v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$

Les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse s'écrivent :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \times \cos\alpha \\ v_y = -g \times t + v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$$

2. Il faut chercher les primitives de chaque coordonnée du vecteur vitesse, puis appliquer les conditions initiales indiquées. On assimile le ballon à un point matériel P.

$\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OP}}{dt}$, donc :

$\overrightarrow{OP}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t + D_x \\ y = -\frac{1}{2}g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t + D_y \end{cases}$

De plus $\overrightarrow{OP}_0\begin{cases} x_0 = 0 \text{ m} \\ y_0 = 0 \text{ m} \end{cases}$

Il vient $\begin{cases} v_0 \times \cos\alpha \times 0 + D_x = 0 \\ -\frac{1}{2}g \times 0^2 + v_0 \times \sin\alpha \times 0 + D_y = 0 \end{cases}$

Les équations horaires du mouvement du ballon s'écrivent :

$\overrightarrow{OP}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t \\ y = -\frac{1}{2}g \times t^2 + v_0 \times \sin\alpha \times t \end{cases}$

20 **1.** La balle n'est soumise qu'à son poids qui est une force conservative. Son énergie mécanique est donc conservée.

2. $\Delta\mathcal{E}_{m_{A\to B}} = \mathcal{E}_{m_B} - \mathcal{E}_{m_A} = 0$

$\mathcal{E}_{c_B} + \mathcal{E}_{p_B} - \left(\mathcal{E}_{c_A} + \mathcal{E}_{p_A}\right) = 0$

$\frac{1}{2}m \times v_B^2 + m \times g \times z_B - \left(\frac{1}{2}m \times v_A^2 + m \times g \times z_A\right) = 0$ avec $z_B = H$, $v_A = v_0$ et $z_A = 0$ m.

Il vient $\frac{1}{2}m \times v_B^2 + m \times g \times H - \frac{1}{2}m \times v_0^2 = 0$ soit $\frac{1}{2}v_B^2 + g \times H - \frac{1}{2}v_0^2 = 0$.

En isolant v_B, on peut écrire : $v_B = \sqrt{v_0^2 + 2g \times H}$.

3. $v_B = \sqrt{\left(\frac{126 \times 10^3}{3\,600}\right)^2 + 2 \times 9{,}81 \times 2{,}7}$

La balle de tennis, lorsqu'elle touche le sol, a une vitesse de valeur 36 m·s^{-1}.

22 **1.** Les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse à $t = 0$ s s'écrivent :

$\vec{v}_0\begin{cases} v_{x_0} = 5{,}0 \text{ m·s}^{-1} \times \cos(50°) \\ v_{y_0} = 5{,}0 \text{ m·s}^{-1} \times \sin(50°) \end{cases}$

Les coordonnées cartésiennes du vecteur position à $t = 0$ s s'écrivent :

$$\overrightarrow{OG_0}\begin{cases} x_0 = 0 \text{ m} \\ y_0 = 0 \text{ m} \end{cases}$$

2. Le vecteur vitesse est horizontal lorsque sa coordonnées verticale v_y est nulle :

$0 = -9{,}8 \text{ m·s}^{-2} \times t_S \text{ s} + 5{,}0 \text{ m·s}^{-1} \times \sin(50°)$

D'où $t_S = \frac{-5{,}0 \text{ m·s}^{-1} \times \sin(50°)}{-9{,}8 \text{ m·s}^{-2}}$ soit $t_S = 0{,}39$ s.

Le vecteur vitesse est horizontal à la date $t_S = 0{,}39$ s.

3. À cette date, la coordonnée verticale de G est $y(t_s) = -\frac{1}{2} \times 9{,}8 \text{ m·s}^{-2} \times t_s^2 \text{ s}^2 + 5{,}0 \text{ m·s}^{-1} \times \sin(50°) \times t_s \text{ s}$.

Donc, $y(t_s) = 0{,}75$ m.

24 **1.** Le système étudié est l'électron dans un référentiel supposé galiléen. Il n'est soumis qu'à la force électrique due au champ électrique uniforme $\vec{E}$.

D'après le théorème de l'énergie cinétique :

$\Delta\mathcal{E}_{c_{A\to B}} = \mathcal{E}_{c_B} - \mathcal{E}_{c_A} = W_{A\to B}(\vec{F})$

$\frac{1}{2}m_e \times v_B^2 - \frac{1}{2}m_e \times v_A^2 = q \times U_{AB} = -e \times U_{AB}$

avec v_A négligeable devant v_B.

Il vient $\frac{1}{2}m_e \times v_B^2 = -e \times U_{AB}$ avec la tension U_{AB} négative.

D'où $v_B = \sqrt{\frac{-2e \times U_{AB}}{m_e}}$.

2. La valeur de la vitesse v_B est proportionnelle à $\sqrt{|U_{AB}|}$. Il faut donc augmenter la valeur absolue de la tension U_{AB} a pour que v_B augmente.

29 **1.** Le système étudié est la bille dans un référentiel terrestre supposé galiléen. Elle n'est soumise qu'à son poids $\vec{P}$ néglige les actions dues à l'air.

D'après la deuxième loi de Newton, $\vec{P} = m \times \vec{a}$ avec $\vec{P} = m \times \vec{g}$.

Il vient $\vec{a} = \vec{g}$.

L'axe (Oz) est orienté vers le bas donc le vecteur accélération a pour coordonnée verticale $a_z = g$.

2. La coordonnée cartésienne v_z du vecteur vitesse est la primitive de la coordonnée cartésienne a_z du vecteur accélération : $v_z = g \times t + C_z$.

La bille est lâchée sans vitesse initiale :

$$v_{z_0} = 0 \text{ m·s}^{-1}$$

Il vient $g \times 0 + C_z = 0$ d'où $v_z = g \times t$.

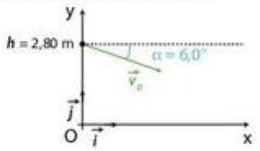
3. La coordonnée cartésienne *z* du vecteur position est la primitive de la coordonnée cartésienne v_z du vecteur vitesse : $z = \frac{1}{2}g \times t^2 + D_z$.

La bille est lâchée depuis l'origine du repère : $z_0 = 0$ m.

Il vient $\frac{1}{2}g \times 0^2 + D_z = 0$.

La coordonnée cartésienne du vecteur position a pour expression $z = \frac{1}{2}g \times t^2$.

30 **1.** Schématisation à $t = 0$ s :



2. Dans un référentiel terrestre supposé galiléen, le système n'est soumis qu'à son poids $\vec{P}$ car on néglige les actions dues à l'air.

D'après la deuxième loi de Newton, $\vec{P} = m \times \vec{a}$ avec $\vec{P} = m \times \vec{g}$. Il vient $\vec{a} = \vec{g}$.

3. Les coordonnées cartésiennes du vecteur accélération sont :

$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$. On a $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$.

Pour déterminer les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse, il faut chercher les primitives de chaque coordonnée du vecteur accélération puis appliquer les conditions initiales indiquées.

$\vec{v}\begin{cases} v_x = C_x \\ v_y = -g \times t + C_y \end{cases}$

De plus $\vec{v}_0\begin{cases} v_{x_0} = v_0 \times \cos\alpha \\ v_{y_0} = -v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$

Il vient $\begin{cases} C_x = v_0 \times \cos\alpha \\ -g \times 0 + C_y = -v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$

Les coordonnées cartésiennes du vecteur vitesse s'écrivent :

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = v_0 \times \cos\alpha \\ v_y = -g \times t - v_0 \times \sin\alpha \end{cases}$$

On a $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OB}}{dt}$. Pour déterminer les coordonnées cartésiennes du vecteur position ou équations horaires, il faut chercher les primitives de chaque coordonnée du vecteur vitesse puis appliquer les conditions initiales indiquées.

$\overrightarrow{OB}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t + D_x \\ y = -\frac{1}{2}g \times t^2 - v_0 \times \sin\alpha \times t + D_y \end{cases}$

De plus $\overrightarrow{OB}_0\begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = h \end{cases}$

Il vient $\begin{cases} v_0 \times \cos\alpha \times 0 + D_x = 0 \\ -\frac{1}{2}g \times 0^2 - v_0 \times \sin\alpha \times 0 + D_y = h \end{cases}$

Les équations horaires du mouvement de la balle de tennis s'écrivent :

$$\overrightarrow{OB}\begin{cases} x = v_0 \times \cos\alpha \times t \\ y = -\frac{1}{2} g \times t^2 - v_0 \times \sin\alpha \times t + h \end{cases}$$

4. De l'équation horaire $x = v_0 \times \cos\alpha \times t$, on obtient $t = \frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}$.

On remplace t par son expression en fonction de x dans l'équation horaire :

$$y = -\frac{1}{2} g \times t^2 - v_0 \times \sin\alpha \times t + h.$$

Il vient : $y = -\frac{1}{2} g \times \left(\frac{x}{v_0 \times \cos\alpha}\right)^2 - v_0 \times \sin\alpha \times \frac{x}{v_0 \times \cos\alpha} + h$

D'où $y = -\frac{g}{2(v_0 \times \cos\alpha)^2} \times x^2 - \tan\alpha \times x + h.$

C'est l'équation cartésienne de la trajectoire de la balle de tennis dont chaque terme est bien homogène à une distance.

5. La balle passe au-dessus du filet si, pour l'abscisse $x = L$, son ordonnée y est supérieure à H.

L'équation de la trajectoire de la balle permet de le vérifier :

$$y(L) = -\frac{g}{2(v_0 \times \cos\alpha)^2} \times L^2 - \tan\alpha \times L + h$$

$$y(L) = -\frac{9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}}{2(47{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \times \cos(6{,}0°))^2} \times (11{,}90\ \text{m})^2 - \tan(6{,}0°) \times 11{,}90\ \text{m} + 2{,}80\ \text{m}$$

$y(L) = 1{,}23$ m.

$y(L) > H$, la balle passe bien au-dessus du filet.

31 **1.** Dans un condensateur plan, on peut faire varier la valeur absolue de la tension U ou la distance d entre les plaques pour modifier la valeur du champ électrique.

2. Pour $\alpha = 0°$, si la valeur de la vitesse initiale v_0 augmente alors l'électron va plus loin, la trajectoire est plus « aplatie ».

Pour $\alpha = 0°$, si la valeur E du champ diminue alors l'électron va plus loin, la trajectoire est plus « aplatie »

3. Le signe de la charge de la particule donne le sens de l'incurvation : vers le haut pour des particules chargées positivement, vers le bas pour des particules chargées négativement.

4. L'équation de la trajectoire est :

$$y = \frac{q \times E}{2m \times (v_0 \times \cos\alpha)} \times x^2 + \tan\alpha \times x, \text{ soit de la forme } y = a \times x^2 + b \times x.$$

Pour le proton $m = 1{,}7 \times 10^{-27}$ kg et $q = e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ainsi le coefficient a est positif donc la parabole est concave. En outre, plus ce coefficient est grand, plus la parabole est incurvée donc quand E diminue ou v_0 augmente, a diminue, la parabole est moins incurvée, ce qui est en accord avec les observations du **2.**

5. Par tâtonnement, on trouve une valeur $\alpha = 27°$.

34 **1. a.** La force électrique subie par un électron est : $\vec{F} = -e \times \vec{E}$.

b. $\vec{F}$ et $\vec{E}$ sont donc colinéaires. La charge d'un électron étant négative, ces deux vecteurs sont de sens opposés.

2. Calculons le rapport $\frac{F}{P}$ avec $F = |-e| \times E$

$F = |-e| \times \frac{|U_{OA}|}{OA}$ et $P = m_e \times g$.

$$\frac{F}{P} = \frac{|-e| \times \frac{|U_{OA}|}{OA}}{m_e \times g}$$

$$\frac{F}{P} = \frac{|-1{,}60 \times 10^{-19}|\ \text{C} \times \frac{|-50 \times 10^3|\ \text{V}}{2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{m}}}{9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg} \times 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}}$$

$\frac{F}{P} = 4{,}5 \times 10^{16}$. La valeur du poids est négligeable devant celle de la force électrique puisque $4{,}5 \times 10^{16}$ fois plus faible qu'elle.

3. Le système étudié est l'électron dans un référentiel supposé galiléen. Il n'est soumis qu'à la force électrique. D'après le théorème de l'énergie cinétique :

$\Delta\mathscr{E}_{c\,O\to A} = \mathscr{E}_{c\,A} - \mathscr{E}_{c\,O} = W_{O\to A}(\vec{F})$

$\frac{1}{2} m_e \times v_A^2 - \frac{1}{2} m_e \times v_O^2 = -e \times U_{OA}$ avec v_O nulle.

Il vient $\frac{1}{2} m_e \times v_A^2 = -e \times U_{OA}$.

D'où $v_A = \sqrt{\frac{-2e \times U_{OA}}{m_e}}$ avec U_{OA} négative.

4. $v_A = \sqrt{\frac{-2 \times 1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C} \times (-50 \times 10^3)\ \text{V}}{9{,}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}}}$

$v_A = 1{,}3 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Chapitre 13

QCM

1. A ; **2.** C ; **3.** A ; **4.** A et C ; **5.** B ; **6.** A et B ; **7.** A et B ; **8.** B.

2 **1.** La force de gravitation exercée par la Terre sur la Lune a pour expression :

$$\vec{F}_{T/L} = G \times \frac{M_T \times M_L}{r^2} \vec{u}_n.$$

2. Valeur de cette force : $F_{T/L} = G \times \frac{M_T \times M_L}{r^2}$

$F_{T/L} = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2} \times \frac{5{,}97 \times 10^{24}\ \text{kg} \times 7{,}36 \times 10^{22}\ \text{kg}}{(3{,}84 \times 10^8\ \text{m})^2}$

$F_{T/L} = 2{,}0 \times 10^{20}$ N

À l'échelle 1 cm $\leftrightarrow 0{,}5 \times 10^{20}$ N,

$2{,}0 \times 10^{20}$ N $\leftrightarrow$ 4 cm.

On représente donc un segment fléché de 4 cm à partir du centre de la Lune et dirigé vers celui de la Terre.

4 **1.** D'après la deuxième loi de Newton appliquée au centre de masse de Phobos dans le référentiel marsocentrique considéré galiléen, on a :

$\vec{F} = M_{Phobos} \vec{a}$ et $\vec{F} = G \times \frac{M_{Phobos} \times M_{Mars}}{r^2} \vec{u}_n$

d'où $M_{Phobos} \vec{a} = G \times \frac{M_{Phobos} \times M_{Mars}}{r^2} \vec{u}_n$

d'où $\vec{a} = \frac{G \times M_{Mars}}{r^2} \vec{u}_n$

Or, $\vec{a} = \frac{v^2}{r} \vec{u}_n + \frac{dv}{dt} \vec{u}_t$. Par identification :

$a_t = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ et $a_n = \frac{G \times M_{Mars}}{r^2}$.

2. La coordonnée tangentielle de l'accélération $a_t = \frac{dv}{dt}$ est nulle donc la valeur de la vitesse est constante : le mouvement est uniforme.

6 **1.** D'après la deuxième loi de Newton appliquée au centre de masse H de Hubble dans le référentiel géocentrique considéré galiléen, on a :

$\vec{F}_{T/H} = m_H \vec{a}$ et $\vec{F}_{T/H} = G \times \frac{m_H \times M_T}{r^2} \vec{u}_n$

d'où $\vec{a} = G \times \frac{M_T}{r^2} \vec{u}_n$, avec $r = R_T + h$.

On a donc : $\vec{a}\begin{cases} a_n = \frac{G \times M_T}{r^2} \\ a_t = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2} \end{cases}$

2. Puisque la coordonnée normale de l'accélération est $a_n = \frac{v^2}{r}$, il vient :

$G \times \frac{M_T}{r^2} = \frac{v^2}{r}$ ainsi $v = \sqrt{\frac{G \times M_T}{R_T + h}}$.

Le vecteur vitesse de Hubble est tangent à sa trajectoire circulaire, $\vec{v} = v\vec{u}_t$.

On a donc $\begin{cases} v_t = \sqrt{\frac{G \times M_T}{R_T + h}} \\ v_n = 0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \end{cases}$.

3. $v = \sqrt{6{,}67 \times 10^{-11} \times \frac{5{,}97 \times 10^{24}}{(6{,}37 \times 10^6 + 600 \times 10^3)}}$

La valeur de la vitesse de Hubble dans ce référentiel est $7{,}56 \times 10^3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

8 **1.** Le mouvement est uniforme, on a donc $T = \frac{2\pi \times r}{v}$.

Or $v = \sqrt{\frac{G \times M_J}{r}}$ donc $T = 2\pi \times r \times \sqrt{\frac{r}{G \times M_J}}$.

2. En élevant au carré, $T^2 = 4\pi^2 \times r^2 \times \frac{r}{G \times M_J}$.

On obtient : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \times M_J}$.

3. Le carré de la période de révolution des satellites de Jupiter est proportionnel au cube du rayon de leur orbite supposée circulaire.

10 **1.** Le carré de la période de révolution T des satellites de Jupiter est proportionnel au cube du rayon r de leur orbite supposée circulaire.

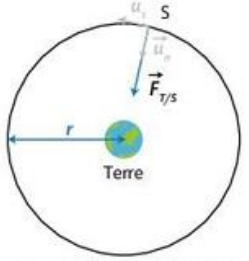
2. On calcule, dans la même unité, le rapport $K = \frac{T^2}{r^3}$ pour chaque satellite :

$K_{Io} = \left(\frac{T^2}{r^3}\right)_{Io} = \frac{(1{,}77\ \text{jour})^2}{(4{,}22 \times 10^5\ \text{km})^3}$

et $K_{Gan} = \left(\frac{T^2}{r^3}\right)_{Gan} = \frac{(7{,}15\ \text{jour})^2}{(1{,}07 \times 10^6\ \text{km})^3}$

On obtient $\frac{K_{Io}}{K_{Gan}} = 0{,}999$ ce qui vérifie la loi de Kepler. Ces satellites orbitent donc tous les deux autour de Jupiter.

12 **1.** Soit S le centre de masse du satellite étudié.



2. On applique la deuxième loi de Newton au centre de masse du satellite dans le référentiel géocentrique considéré galiléen :

$\vec{F}_{T/S} = m\vec{a}$ en notant m la masse du satellite.

Or, $\vec{F}_{T/S} = G \times \frac{m \times M_T}{r^2} \vec{u}_n$, avec le rayon de l'orbite $r = R_T + h$ (h est l'altitude de S).

On a $m\vec{a} = G \times \frac{m \times M_T}{(R_T + h)^2} \vec{u}_n$

d'où : $\vec{a} = G\times\frac{M_T}{(R_T+h)^2}\vec{u}_n$.

On a donc : $\vec{a}\begin{cases} a_t = 0 \\ a_n = G\frac{M_T}{(R_T+h)^2} \end{cases}$

La coordonnée tangentielle de l'accélération $a_t = \frac{dv}{dt}$ est nulle donc la valeur de la vitesse de S est constante : le mouvement est uniforme dans ce référentiel.

3. La coordonnée normale de l'accélération est $a_n = \frac{v^2}{R_T+h}$. Par identification, $\frac{v^2}{R_T+h} = G\frac{M_T}{(R_T+h)^2}$, ainsi $v = \sqrt{\frac{G\times M_T}{R_T+h}}$.

Le vecteur vitesse $\vec{v}$ du centre de masse du satellite est tangent à la trajectoire, orienté dans le sens du mouvement et sa valeur est $v = \sqrt{\frac{G\times M_T}{R_T+h}}$.

4. Le mouvement est uniforme, on a donc :

$T = \frac{2\pi\times(R_T+h)}{v}$ or $v = \sqrt{\frac{G\times M_T}{R_T+h}}$.

Soit $T = \frac{2\pi\times(R_T+h)}{\sqrt{\frac{G\times M_T}{R_T+h}}}$

d'où $T = 2\pi\times(R_T+h)\times\sqrt{\frac{R_T+h}{G\times M_T}}$,

soit $T = 2\pi\times\sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{G\times M_T}}$.

$T = 2\pi\times\sqrt{\frac{(6{,}4\times10^6\,\text{m}+519\times10^3\,\text{m})^3}{6{,}67\times10^{-11}\,\text{N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}\times6{,}0\times10^{24}\,\text{kg}}}$.

La période de révolution de S est $5{,}7\times10^3$ s.

14 1. Dans le référentiel héliocentrique considéré galiléen, la deuxième loi de Newton appliquée au centre de masse V de Vénus donne :

$\vec{F}_{S/V} = m\,\vec{a}$

et $\vec{F}_{S/V} = G\times\frac{m\times M_S}{r^2}\vec{u}_n$, d'où $\vec{a} = G\times\frac{M_S}{r^2}\vec{u}_n$.

On a donc : $\vec{a}\begin{cases} a_t = 0 \\ a_n = G\frac{M_S}{r^2} \end{cases}$

La coordonnée normale de l'accélération est $a_n = \frac{v^2}{r}$. Par identification, $\frac{v^2}{r} = G\frac{M_S}{r^2}$, ainsi $v = \sqrt{\frac{G\times M_S}{r}}$. De même pour les autres planètes du système solaire.

2. Le mouvement est uniforme, on a donc :

$T = \frac{2\pi\times r}{v}$ or $v = \sqrt{\frac{G\times M_S}{r}}$.

Soit $T = \frac{2\pi\times r}{\sqrt{\frac{G\times M_S}{r}}}$, d'où $T = 2\pi\times r\times\sqrt{\frac{r}{G\times M_S}}$,

soit $T = 2\pi\times\sqrt{\frac{r^3}{G\times M_S}}$.

3. En élevant au carré, $T^2 = 4\pi^2\times\frac{r^3}{G\times M_S}$ soit $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G\times M_S}$. G et M_S sont des constantes donc $\frac{T^2}{r^3}$ = cte, ce qui vérifie la troisième loi de Kepler dans le référentiel héliocentrique.

4. On isole M_S : $M_S = \frac{4\pi^2}{G\times T^2}\times r^3$.

$M_S = \frac{4\pi^2\times(2{,}2794\times10^{11})^3}{6{,}67\times10^{-11}\times(1{,}88\times3{,}156\times10^7)^2}$

$M_S = 1{,}99\times10^{30}$ kg.

5. Pour un astre possédant des satellites et connaissant les paramètres orbitaux des satellites, il est possible de déterminer la masse de l'astre attracteur. La troisième loi de Kepler joue le rôle de balance cosmique.

18 1. a. Le nuage de points forme une droite passant par l'origine.

b. Les lignes 37 et 38 permettent de modéliser la courbe.

c. La valeur affectée par défaut au coefficient directeur de cette modélisation est indiquée ligne 35 : init_a=6.00e-14

2. En ajustant au mieux le curseur, on obtient $a = 9{,}86\times10^{-14}\,\text{s}^2\cdot\text{m}^{-3}$.

3. La courbe représentative de la fonction $T^2 = f(r^3)$ est une droite linéaire d'équation : $T^2 = a\times r^3$.

On a bien $\frac{T^2}{r^3}$ = constante qui exprime la troisième loi de Kepler.

4. La troisième loi de Kepler s'écrit dans l'approximation des orbites circulaires $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G\times M_T} = a$.

On extrait $M_T = \frac{4\pi^2}{G\times a}$.

$M_T = \frac{4\pi^2}{6{,}67\times10^{-11}\times9{,}86\times10^{-14}}$

La masse de la Terre est $6{,}00\times10^{24}$ kg.

Chapitre 14

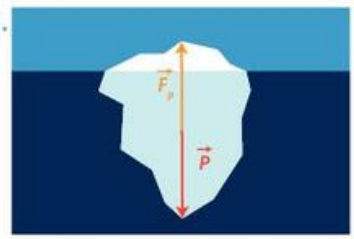
QCM

1. A ; 2. A et C ; 3. C ; 4. B ; 5. B ; 6. A et C ; 7. B ; 8. C ; 9. B ; 10. A.

3 1. Un corps est soumis à la poussée d'Archimède s'il est en partie ou totalement immergé dans un ou plusieurs fluides.

2. La poussée d'Archimède, dans un fluide au repos, est due à la différence de pression entre les parties inférieures et supérieures du corps immergé.

5 1.



2. Les expressions et valeurs de ces forces sont :

$\vec{P}_{ice} = \rho_{ice}\times V_{ice}\times\vec{g}$

$P_{ice} = \rho_{ice}\times V_{ice}\times g$

$P_{ice} = 9{,}2\times10^2\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\times7{,}0\times10^4\,\text{m}^3\times9{,}81\,\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$

$P_{ice} = 6{,}3\times10^8$ N

$\vec{F}_{P\,ice} = -\rho_{eau}\times V_{im}\times\vec{g}$

$F_{P\,ice} = \rho_{eau}\times V_{im}\times g$

$F_{P\,ice} = 1{,}02\times10^3\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\times6{,}3\times10^4\,\text{m}^3\times9{,}81\,\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$

$F_{P\,ice} = 6{,}3\times10^8$ N $= P_{ice}$, ce qui est en accord avec un icebeg en équilibre.

7 1. Un fluide s'écoule en régime permanent indépendant du temps ou stationnaire, si la valeur v de la vitesse d'écoulement en chaque position est indépendante du temps.

2. Lorsqu'un volume V de fluide s'écoule au travers d'une section pendant une durée Δt, le débit volumique D_V est donné par : $D_V = \frac{V}{\Delta t}$.

9 1. Au cours d'un écoulement en régime permanent indépendant du temps, le débit volumique d'un fluide incompressible se conserve.

2. Par définition, $D_V = \frac{V}{\Delta t}$ Or $V = S\times\ell$.

D'où $D_V = S\times v$.

Comme $D_{V_1} = D_{V_2}$, $S_1\times v_1 = S_2\times v_2$.

Ainsi, $v_2 = \frac{S_1\times v_1}{S_2}$.

$v_2 = \frac{30\text{ cm}^2\times2{,}2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}}{10\text{ cm}^2} = 6{,}6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

11 1. Les grandeurs qui interviennent dans la relation de Bernoulli sont : la masse volumique du fluide ρ, en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; la valeur de la vitesse d'écoulement v en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, l'intensité de la pesanteur g en $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ (ou $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$) ; la coordonnée verticale z en m et la pression P du fluide en Pa.

2. Le long d'une ligne de courant :

$\frac{1}{2}\rho\times{v_A}^2 + \rho\times g\times z_A + P_A = \frac{1}{2}\rho\times{v_B}^2 + \rho\times g\times z_B + P_B$.

13 On extrait la pression P_B de la relation de Bernoulli appliquée entre A et B :

$P_B = \rho\times g\times(z_A - z_B) + P_A + \rho\times\left(\frac{{v_A}^2}{2} - \frac{{v_B}^2}{2}\right)$.

Or ici $z_A = z_B$.

Donc $P_B = 1{,}0\times10^5$ Pa + $1{,}03\times10^3\,\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}\times\left(\frac{(1{,}5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2}{2} - \frac{(2{,}5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1})^2}{2}\right)$.

La pression en B est $9{,}8\times10^4$ Pa.

15 Pour $z_A = z_B$, la relation de Bernoulli appliquée entre A et B se simplifie en :

$\frac{1}{2}\rho\times{v_A}^2 + P_A = \frac{1}{2}\rho\times{v_B}^2 + P_B$.

Or, d'après le schéma, $v_A > v_B$. Alors $P_B > P_A$ et donc le manomètre 1 est associé à B alors que le manomètre 2 est associé à A.

17 1. Par définition, $D_V = \frac{V}{\Delta t} = \frac{41\times10^{-3}\text{ m}^3}{2{,}0\times60\text{ s}}$.

Le débit volumique d'écoulement du miel dans la cuve est $3{,}4\times10^{-4}\,\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

2. On a $D_V = S\times v_s$ d'où $v_s = \frac{D_V}{S}$ avec $S = \pi\times\frac{d^2}{4}$ (aire d'un cercle de diamètre d).

$v_S = \frac{4D_V}{\pi\times d^2} = \frac{4\times3{,}4\times10^{-4}\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}}{\pi\times(12{,}5\times10^{-3})^2\text{ m}^2}$

La valeur v_S de la vitesse d'écoulement du miel en S est $2{,}8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

3. D'après la relation de Bernoulli,

$\frac{1}{2}\rho_{miel}\times{v_A}^2 + \rho_{miel}\times g\times z_A + P_A = \frac{1}{2}\rho_{miel}\times{v_S}^2 + \rho_{miel}\times g\times z_S + P_S$.

La valeur de la vitesse d'écoulement du miel en A est négligeable devant celle en S (cf. énoncé) et $P_A = P_S = P_{atm}$.
La relation devient :

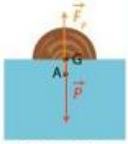
$$\rho_{miel} \times g \times z_A = \frac{1}{2}\rho_{miel} \times {v_S}^2 + \rho_{miel} \times g \times z_S$$

$$z_A = \frac{{v_S}^2}{2g} + z_S$$

$$z_A = \frac{\left(2{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}\right)^2}{2 \times 9{,}81\ \text{N}\cdot\text{kg}^{-1}} + 0{,}50\ \text{m}$$

La coordonnée verticale de A est 0,90 m.

18 **1.** Le schéma en coupe est, avec A le centre de masse de la partie immergée :



2. La valeur de la poussée d'Archimède exercée sur le tronc est $F_P = \rho_{eau} \times V_{im} \times g$.
3. Dans le référentiel lié au sol considéré galiléen, le tronc est en équilibre dans l'eau. Les forces qui s'exercent sur lui se compensent : $\vec{P} + \vec{F}_P = \vec{0}$.
4. On a donc $F_P = P$ soit $\rho_{eau} \times V_{im} \times g = m \times g$
$\rho_{eau} \times V_{im} = m$ avec $m = \rho_{bois} \times V_{bois}$

$$V_{bois} = \pi \times \frac{D^2}{4} \times \ell \text{ et puisque } h = \frac{D}{2},\ V_{im} = \frac{V_{bois}}{2}.$$

Donc $\rho_{bois} \times V_{bois} = \rho_{eau} \times \frac{V_{bois}}{2}$.

$$\rho_{bois} = \frac{\rho_{eau}}{2} = 500\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

Le bois de ce sapin est sec.

Chapitre 15

QCM

1. B ; **2.** A et C ; **3.** B ; **4.** A ; **5.** B ; **6.** A, B et C ; **7.** A ; **8.** A ; **9.** B ; **10.** A ; **11.** A.

3 Dans le modèle du gaz parfait, les entités microscopiques qui constituent le gaz **n'interagissent pas** entre elles ; la pression du gaz est **très faible**, et sa masse volumique **également**.

5 **1.** D'après l'équation d'état du gaz parfait, $P \times V = n \times R \times T$, $V_m = \frac{V}{n} = \frac{R \times T}{P}$.

2. a. Dans les conditions normales de température et de pression :

$$V_{ma} = \frac{R \times T_a}{P_a}$$

$$V_{ma} = \frac{8{,}314\ \text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 273\ \text{K}}{1{,}013 \times 10^5\ \text{Pa}}$$

$$V_{ma} = 2{,}48 \times 10^{-2}\ \text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$$

b. Dans les conditions standard de température et de pression :

$$V_{mb} = \frac{R \times T_b}{P_b}$$

$$V_{mb} = \frac{8{,}314\ \text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} \times 298\ \text{K}}{1{,}00 \times 10^5\ \text{Pa}}$$

$$V_{mb} = 2{,}48 \times 10^{-2}\ \text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$$

7 **1. a.** La masse volumique est $\rho = \frac{m}{V}$, avec $m = n \times M$, donc $\rho = \frac{n \times M}{V}$.

b. D'après l'équation d'état du gaz parfait : $P \times V = n \times R \times T \Rightarrow n = \frac{P \times V}{R \times T}$.

2. On déduit : $\rho = \frac{P \times V}{R \times T} \times \frac{M}{V} = \frac{P \times M}{R \times T}$.

3. Lorsque la pression devient très grande les interactions entre les particules de gaz ne sont plus négligeables. Le modèle du gaz parfait n'est plus valide et la relation précédente non plus.

9 **1.** Le système d'étude est la plaquette de freins. Tout ce qui est externe à la plaquette (disque et air ambiant) constitue le milieu extérieur.
2. L'énergie interne est composée de l'énergie cinétique microscopique des particules constituant la plaquette et de l'énergie potentielle microscopique d'interactions qui existent entre ces particules.

11

L'énergie potentielle microscopique de l'eau	est modifiée.
L'énergie cinétique microscopique de l'eau	reste constante.

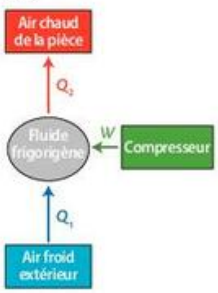
13 **1.** La valeur de la vitesse de la météorite devient constante, donc son énergie cinétique macroscopique, $\mathcal{E}_c = \frac{1}{2} m \times v^2$, aussi.

L'énergie potentielle d'interaction avec la Terre (macroscopique), $\mathcal{E}_p = -G\frac{m_{météorite} \times M_T}{r}$, diminue car la distance r entre la Terre et la météorite diminue. On en déduit que l'énergie mécanique $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p$ diminue.
2. La météorite possède de l'énergie mécanique macroscopique mais également des énergies microscopiques dont la somme est son énergie interne.
L'énergie cinétique microscopique de la météorite liée à l'agitation thermique augmente car celle-ci s'échauffe.
L'énergie potentielle microscopique d'interactions, liée au changement d'état, est également modifiée car la météorite fond en pénétrant dans l'atmosphère.

15 **1.** Le transfert d'énergie de la piste sur les skis s'effectue par travail, W, des forces de frottement exercées par la piste sur les skis.
2. Le travail des forces de frottement est résistant $W < 0$; de l'énergie est perdue par le système {ski} et est reçue par la piste. Donc le sens du transfert est du système vers la piste.

17 **1.** ΔU correspond à la variation d'énergie interne du système ; W et Q sont respectivement l'énergie échangée par travail et par transfert thermique entre le système et l'extérieur.
2. Par convention, le travail et le transfert thermique sont comptés positivement s'ils sont reçus par le système et négativement s'ils sont cédés par le système.

19 **1.**



2. Pour le fluide frigorigène, le premier principe de la thermodynamique s'écrit :
$\Delta U = W + Q_1 + Q_2$.

21 **1.** L'expression de la variation d'énergie interne du système (jus de fruit), de l'état initial i à l'état final f, est : $\Delta U_{i \to f} = m \times c \times (\theta_f - \theta_i)$.
2. Comme le jus d'orange se refroidit de 5 °C, $\theta_f - \theta_i < 0$, et donc $\Delta U_{i \to f} < 0$.

23 **1.** Le gaz est modélisé par un gaz parfait : $P_1 \times V_1 = n \times R \times T_1$ d'où $n = \frac{P_1 \times V_1}{R \times T_1}$.

2. a. Dans ce cas, $n = \frac{P_{atm} \times V_2}{R \times T_2}$.

b. On déduit des deux questions précédentes :

$$\frac{P_{atm} \times V_2}{R \times T_2} = \frac{P_1 \times V_1}{R \times T_1} \Rightarrow V_2 = \frac{P_1 \times V_1 \times T_2}{T_1 \times P_{atm}}.$$

$$V_2 = \frac{300 \times 10^5\text{Pa} \times 6{,}0 \times 10^{-3}\text{m}^3 \times 320\ \text{K}}{290\ \text{K} \times 1{,}013 \times 10^5\ \text{Pa}},$$

soit $V_2 = 2{,}0\ \text{m}^3$.
3. Le débit volumique de l'air est :
$D_V = 90\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$; or $D_V = \frac{V_2}{\Delta t}$, d'où la durée maximale de l'intervention :

$$\Delta t = \frac{V_2}{D_V} = \frac{2{,}0 \times 10^3\ \text{L}}{90\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1}}, \text{ soit } \Delta t = 22\ \text{min}.$$

26 **1. a.** Le système {cuve et cire} passe d'un état initial à la température ambiante θ_a à un état final à la température de fusion de la cire θ_f.
La variation d'énergie interne de ce système incompressible est :

$$\Delta U_1 = m_1 \times c_{cire} \times (\theta_f - \theta_a) + m_0 \times c_{Al} \times (\theta_f - \theta_a)$$

$$\text{Soit } \Delta U_1 = (m_1 \times c_{cire} + m_0 \times c_{Al}) \times (\theta_f - \theta_a)$$

$$\Delta U_1 = (0{,}100\ \text{kg} \times 3{,}4 \times 10^3\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1} + 0{,}250\ \text{kg} \times 897\ \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}) \times (64\ \text{°C} - 19\ \text{°C})$$

soit $\Delta U_1 = 2{,}5 \times 10^4\ \text{J}$
b. Lors du chauffage la température de la cire augmente, l'agitation thermique des entités qui constituent la cire augmente ; donc l'énergie cinétique microscopique du système augmente. Mais la cire ne fond pas, l'énergie potentielle microscopique d'interactions liée au changement d'état ne varie pas.
2. a. D'après le premier principe de la thermodynamique, pour le système, entre l'état initial et l'état final, $\Delta U_{i \to f} = Q + W$.
Le système reçoit de l'énergie du milieu extérieur (le conducteur ohmique) exclusivement par transfert thermique Q_1 ; et le transfert d'énergie par travail $W = 0$ J. De plus, on néglige les transferts thermiques entre le système et l'air ambiant ; d'où $\Delta U_1 = Q_1$.
b. D'après les questions précédentes, $Q_1 = 2{,}5 \times 10^4$ J est positive.
c. Le conducteur ohmique restitue intégralement, sous forme de transfert thermique l'énergie reçue par travail électrique d'où $Q_1 = W_{élec}$; or $W_{élec} = \mathcal{P}_{élec} \times \Delta t_1$,
soit $\Delta U_1 = \mathcal{P}_{élec} \times \Delta t_1$.
On en déduit $\Delta t_1 = \frac{\Delta U_1}{\mathcal{P}_{élec}}$.

$$\Delta t_1 = \frac{2{,}5 \times 10^4\ \text{J}}{200\ \text{W}}, \Delta t_1 = 1{,}3 \times 10^2\ \text{s}.$$

3. De même, le transfert thermique pour qu'une fusion totale de la cire se produise est $Q_2 = \mathcal{P}_{élec} \times \Delta t_2$.
D'où $Q_2 = 200\ \text{W} \times 6\ \text{min} \times 60\ \text{s}\cdot\text{min}^{-1}$
soit $Q_2 = 7{,}2 \times 10^4\ \text{J}$.
4. Pour la fusion de la cire, au total, $Q_{tot} = Q_1 + Q_2$,
d'où $Q_{tot} = 2{,}5 \times 10^4\ \text{J} + 7{,}2 \times 10^4\ \text{J}$,
soit $Q_{tot} = 9{,}7 \times 10^4\ \text{J}$.

29 **1.** Quand le volume V devient très grand, le terme $\frac{n^2 \times a}{V^2}$ devient négligeable devant P et $\left(P + \frac{n^2 \times a}{V^2}\right)$ tend vers P ; le terme $n \times b$ devient négligeable devant V. On retrouve alors l'équation d'état du gaz parfait : $P \times V = n \times R \times T$.

2. **a.** D'après l'équation du gaz parfait : $P = \frac{n \times R \times T}{V}$ soit

$$P = \frac{1{,}00\ \text{mol} \times 8{,}314\ \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300{,}0\ \text{K}}{5{,}00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3}$$

$P = 4{,}99 \times 10^5$ Pa.

b. Dans le cadre du modèle du gaz de Van der Waals et pour le néon : $P' = \frac{n \times R \times T}{(V - n \times b)} - \frac{n^2 \times a}{V^2}$.

D'où

$$P'(\text{Ne}) = \frac{1{,}00\ \text{mol} \times 8{,}314\ \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 300{,}0\ \text{K}}{\left(5{,}00 \times 10^{-3}\text{m}^3 - 1{,}00\ \text{mol} \times 1{,}71 \times 10^{-5}\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}\right)} - \frac{1{,}00\ \text{mol}^2 \times 0{,}02135\ \text{Pa}^2 \cdot \text{m}^6 \cdot \text{mol}^{-2}}{(5{,}00 \times 10^{-3}\text{m}^3)^2}$$

soit $P'(\text{Ne}) = 5{,}00 \times 10^5$ Pa.

De même pour le dioxyde de carbone : $P'(CO_2) = 4{,}89 \times 10^5$ Pa.

c. On constate que $P' < P$ dans le cas du dioxyde de carbone. La pression du néon est plus proche de celle d'un gaz parfait. Le néon est celui des deux gaz qui se rapproche le plus du gaz parfait. En effet le néon est formé d'entités plus petites qui sont des atomes isolés : cela se rapproche des particules « ponctuelles » du modèle du gaz parfait.

Chapitre 16

QCM

1. A ; **2.** A et C ; **3.** A ; **4.** B ; **5.** A, B et C ; **6.** A ; **7.** A ; **8.** A ; **9.** C ; **10.** B.

2 **1.** et **2.** On construit un tableau :

Transfert thermique entre...	Mode principal de transfert thermique	Signe du transfert thermique pour le système
L'eau et le Soleil	Rayonnement	Positif
L'eau et le sable	Conduction	Positif
L'eau et l'air	Convection	Positif

4 **1.** La température extérieure est supérieure à celle de l'habitacle du véhicule. Le transfert thermique a donc lieu depuis l'extérieur vers l'intérieur de la voiture.

2. Calculons le flux thermique :

$$\Phi = \frac{\theta_A - \theta_B}{R_{th}} = \frac{40\ °\text{C} - 22°\text{C}}{3{,}0 \times 10^{-3}\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1}}$$

$\Phi = 6{,}0 \times 10^3$ W

6 **1.** T représente la température de surface du système considéré comme un corps noir.

2. p s'exprime en watt par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) ; T s'exprime en kelvin (K).

8 **a.** L'albédo est le pourcentage de la puissance solaire qui est **renvoyé** par le système {Terre, atmosphère}.

b. L'albédo de la glace est **supérieur** à celui des forêts.

c. Sans albédo, la température terrestre moyenne serait **supérieure** à celle avec albédo.

10 S représente la surface d'échange entre le système incompressible et son environnement, l'un des deux étant fluide ; h est le coefficient d'échange convectif ; T_e est la température extérieure loin de la surface S du système et T est la température uniforme à la surface. h est exprimé en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$; le flux est exprimé en watt (W).

12 **1.** Sur une durée courte, on considère le flux Φ comme constant. On peut écrire :

$$Q = \Phi \times \Delta t.$$

Avec, d'après la loi de Newton :

$$Q = h \times S \times (\theta_e - \theta) \times \Delta t.$$

2. Le transfert thermique peut s'exprimer par :

$$Q = m \times c \times \Delta\theta.$$

3. En égalisant les deux expressions, il vient :

$$h \times S \times (\theta_e - \theta) \times \Delta t = m \times c \times \Delta\theta,$$

soit, $\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{h \times S}{m \times c} \times (\theta_e - \theta)$.

La limite quand Δt tend vers zéro de $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ est la dérivée de θ par rapport au temps notée $\frac{d\theta}{dt}$.

On en déduit l'équation différentielle vérifiée par θ : $\frac{d\theta}{dt} = -\frac{h \times S}{m \times c} \times \theta + \frac{h \times S}{m \times c} \times \theta_e$.

14 **1.** Pour une équation différentielle de la forme $y' = ay + b$, les solutions sont de la forme : $y = K \times e^{ax} - \frac{b}{a}$. Par comparaison, les solutions de l'équation différentielle sont :

$$\theta = K \times e^{a \times t} + \theta_e.$$

D'après les conditions initiales :

$\theta(0) = K + \theta_e = \theta_i$, donc $K = \theta_i - \theta_e$.

L'unique solution de l'équation différentielle vérifiée par la température θ est : $\theta = (\theta_i - \theta_e) \times e^{a \times t} + \theta_e$.

2. Au bout d'une heure :

$$\theta = (180\ °\text{C} - 20\ °\text{C}) \times e^{-3{,}8 \times 10^{-4}\ \text{s}^{-1} \times 3\,600\ \text{s}} + 20\ °\text{C} = 61\ °\text{C}.$$

15 **1.** Le flux thermique est supposé constant sur un intervalle de temps Δt très court, donc : $Q = \Phi \times \Delta t$. De plus, d'après la loi de Newton, $\Phi = h \times S \times (\theta_e - \theta)$,

d'où $Q = h \times S \times (\theta_e - \theta) \times \Delta t$.

2. Le système {lait} est supposé incompressible et au repos macroscopique. Il est dans l'état initial à la température θ_i, dans l'état final à la température θ. Le seul transfert d'énergie entre le système et l'air extérieur est un transfert thermique Q, le transfert d'énergie sous forme de travail $W = 0$ J.

D'après le premier principe de la thermodynamique, $\Delta U_{i \to f} = W + Q$, donc $\Delta U_{i \to f} = Q$.

De plus pour un système incompressible, $\Delta U_{i \to f} = m \times c \times \Delta\theta$.

On arrive à : $Q = m \times c \times \Delta\theta$

3. $Q = m \times c \times \Delta\theta$ peut s'écrire d'après la question **1** :

$m \times c \times \Delta\theta = h \times S \times (\theta_e - \theta) \times \Delta t$ soit :

$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{h \times S}{m \times c} \times (\theta_e - \theta)$; lorsque t tend vers zéro, la limite de $\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ est égale à la dérivée de θ par rapport au temps t. L'équation se réécrit :

$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{h \times S}{m \times c} \times \theta + \frac{h \times S}{m \times c} \times \theta_e$; c'est l'équation différentielle vérifiée par θ.

4. Si $\theta = (\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + \theta_e$ est solution de l'équation différentielle, elle vérifie cette équation. On a :

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{d\left((\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + \theta_e\right)}{dt},$$

soit $\frac{d\theta}{dt} = -\frac{h \times S}{m \times c} \times (\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t}$.

En remplaçant θ et $\frac{d\theta}{dt}$ dans l'équation différentielle vérifiée par θ, on a :

$$-\frac{h \times S}{m \times c} \times (\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} = -\frac{h \times S}{m \times c} \times \left((\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + \theta_e\right) + \frac{h \times S}{m \times c} \times \theta_e ;$$

en simplifiant par $-\frac{h \times S}{m \times c}$, l'équation devient :

$$(\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} = (\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t} + \theta_e - \theta_e.$$

L'égalité est vérifiée, la température θ proposée est une solution de l'équation différentielle.

5. Dans l'état final, le lait doit être à la température indiquée pour le nourrisson soit $\theta_f = 30$ °C. $\theta_e = 50$ °C est la température constante du thermostat. La surface doit être exprimée en m^2.

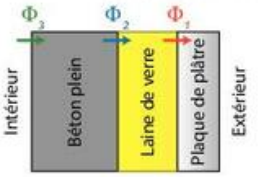
Donc $\theta_f = (\theta_i - \theta_e) \times e^{-\frac{h \times S}{m \times c} \times t_f} + \theta_e$.

D'où $t_f = -\frac{m \times c}{h \times S} \times \ln\left(\frac{\theta_f - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}\right)$.

$$t_f = -\frac{350 \times 10^{-3}\ \text{kg}\ \ 4{,}2 \times 10^3\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot °\text{C}^{-1}}{300\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \times 270 \times 10^{-4}\ \text{m}^2} \times \ln\left(\frac{30\ °\text{C} - 50\ °\text{C}}{5\ °\text{C} - 50\ °\text{C}}\right);$$

la durée nécessaire est $t_f = 147$ s ou $t_f = 2{,}45$ min ; l'indication du fabricant « moins de 3 minutes » est donc conforme.

19 **1.** Schéma en coupe ($\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_3 = \Phi_{123}$) :



2. Le mode de transfert thermique à travers les murs est la conduction.

3. $R_{th} = R_{th\,1} + R_{th\,2} + R_{th\,3}$,

soit : $R_{th} = 0{,}039\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1} + 0{,}125\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1} + 0{,}013\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1} = 0{,}177\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$.

4. Pour un transfert thermique par conduction en régime permanent indépendant du temps,

$$\Phi = \frac{(\theta_{int} - \theta_{ext})}{R_{th}}$$

d'où $\Phi = \frac{(20\ °\text{C} - 5\ °\text{C})}{0{,}177\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1}} = 85$ W.

5. Pour un simple mur en béton :

$$\Phi = \frac{(\theta_{int} - \theta_{ext})}{R_{th3}}$$

$\Phi = \frac{(20\ °\text{C} - 5\ °\text{C})}{0{,}013\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1}} = 1{,}2 \times 10^3$ W ; le simple mur est beaucoup moins isolant.

23 **1.**

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars
Distance au Soleil ($\times 10^9$ m)	58	108	150	228
p'_s ($W \cdot m^{-2}$)	9,10 $\times 10^3$	2,62 $\times 10^3$	1,36 $\times 10^3$	5,89 $\times 10^2$

2. Une portion seulement de la puissance solaire incidente est interceptée par la planète de rayon R_p sur un disque de surface $s = \pi \times R_p^2$. On en déduit la puissance solaire incidente reçue en moyenne par le système {Lune} :

$p_P = p'_s \times s$, soit $p_P = p'_s \times \pi \times R_p^2$.

Comme la planète tourne sur elle-même, cette puissance se répartit sur l'ensemble de la surface S_p de la planète.

D'où la puissance surfacique de la planète $p_p = \frac{p_P}{S_T}$

donc, $p_p = \frac{p'_s \times \pi \times R_p^2}{4\pi \times R_p^2}$ soit $p_p = \frac{p'_s}{4}$.

3. Par définition de l'albédo, $\alpha = \frac{p_r}{p_p}$; donc la puissance surfacique renvoyée par la planète $p_r = p \times p_p$; la puissance solaire surfacique moyenne $p_{p(abs)}$ reçue par le sol de la planète est donc :

$p_{p(abs)} = p_p - p \times p_p$ soit $p_{p(abs)} = (1-\alpha) \times p_p$

donc :

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars
p_S' ($W \cdot m^{-2}$)	9,10 $\times 10^3$	2,62 $\times 10^3$	1,36 $\times 10^3$	5,89 $\times 10^2$
p_P ($W \cdot m^{-2}$)	2,28 $\times 10^3$	6,65 $\times 10^2$	3,40 $\times 10^2$	1,47 $\times 10^2$
Albédo α	0,12	0,75	0,30	0,25
$p_{P(eff)}$ ($W \cdot m^{-2}$)	2,00 $\times 10^3$	1,64 $\times 10^2$	2,38 $\times 10^2$	1,10 $\times 10^2$

4. $p_{p(abs)} = p_r = \sigma \times T^4$ et donc :

$T(K) = \left(\frac{p_{p(abs)}}{\sigma}\right)^{\frac{1}{4}}$.

On en déduit $\theta(°C) = T(K) - 273$.

Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars
$p_{p(eff)}$ ($W \times m^{-2}$)	2,00 $\times 10^3$	1,64 $\times 10^2$	2,38 $\times 10^2$	1,10 $\times 10^2$
$\theta_{surface}$ (°C)	169	470	15	−63
$\theta_{calculée}$ (°C)	160	−41	−18	−63

5. Les écarts sont importants pour Vénus et la Terre qui sont dotées d'une atmosphère dense et riche en gaz à effet de serre.

Chapitre 17

QCM

1. C ; **2.** A ; **3.** B ; **4.** C ; **5.** A et C ; **6.** B et C ; **7.** B. ; **8.** A ; **9.** C ; **10.** A.

3 **1.** Le niveau d'intensité sonore est :

$L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$,

soit $L = 10\log\left(\frac{1{,}2 \times 10^{-7}\ W \cdot m^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2}}\right)$.

$L = 51$ dB

2. De même, $L = 79$ dB.

3. De même, $L = 94$ dB.

5 **1.** On a $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ soit $\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10}$.

D'où $\frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$; l'intensité sonore a donc pour expression : $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$.

2. On obtient :

I	L
$1 \times 10^{-5}\ W \cdot m^{-2}$	**70 dB**
$2 \times 10^{-5}\ W \cdot m^{-2}$	**73 dB**
$1 \times 10^{-6}\ W \cdot m^{-2}$	60 dB

6 **1.** Le phénomène mis en jeu est l'atténuation par absorption.

2. L'atténuation est : $A = L_{incident} - L_{transmis}$ soit $A = 78$ dB $- 67$ dB soit $A = 11$ dB.

8 Seule la situation **c** est une conséquence de l'effet Doppler.

10 On a $\lambda_R = 669{,}4$ nm et $\lambda_E = 656{,}3$ m.

On observe l'effet Doppler :

- $\lambda_R \neq \lambda_E$ donc l'étoile est en mouvement par rapport à la Terre ;
- $\lambda_R > \lambda_E$ donc l'étoile s'éloigne de la Terre.

12 **1.** Le décalage Doppler Δf s'exprime en Hz. Dans le cas où l'émetteur et le récepteur s'éloignent l'un de l'autre, le signe du décalage Doppler est négatif : $\Delta f < 0$.

2. **Relation a** : Il y a homogénéité dans les unités. Comme $\Delta f < 0$, il faut que le membre de droite de l'égalité soit aussi négatif ; c'est bien le cas.

Relation b : Il y a homogénéité dans les unités. Le membre de droite de l'égalité n'est pas négatif car $v_{son} > v$. Ce n'est pas la bonne relation.

Relations c et d : Il n'y a pas d'homogénéité dans les unités ; ces relations sont fausses.

La bonne relation est la **a**.

14 La valeur de la vitesse du véhicule est donnée par :

$v = \frac{c \times \Delta f}{2 \times \cos\alpha \times f_E}$.

Donc $v = \frac{3{,}00 \times 10^8\ m \cdot s^{-1} \times 6{,}451 \times 10^3\ Hz}{2 \times \cos 20° \times 3{,}40 \times 10^{10}\ Hz}$

soit $v = 30\ m \cdot s^{-1}$.

19 **1.** Le niveau d'intensité sonore est donné par $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ donc $\frac{L}{10} = \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

En utilisant la réciproque de la fonction logarithme, on obtient : $\frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$, puis $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$.

Donc $I = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2} \times 10^{\frac{115}{10}}$

Soit $I = 3{,}2 \times 10^{-1}\ W \cdot m^{-2}$.

2. **a.** $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

Donc $L = 10\log\left(\frac{1{,}0 \times 10^{-4}\ W \cdot m^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2}}\right)$

soit $L = 80$ dB.

b. L'atténuation géométrique du signal est $A = L_{proche} - L_{éloigné}$

donc $A = 115$ dB $- 80$ dB soit $A = 35$ dB.

23 **1.** D'après la figure **A**, les globules rouges se rapprochent du récepteur. On peut en déduire que la fréquence de l'onde reçue est supérieure à celle de l'onde émise : $f_R > f_E$.

D'après le doc. **A**, l'une de ces fréquences est égale à 10 000,0 kHz, l'autre est égale à 10 004,0 kHz. On a donc $f_E = 10\,000{,}0$ kHz soit 10 MHz.

2. Le décalage Doppler est obtenu à partir du document B : $\Delta f = 10\,004{,}0$ kHz $- 10\,000{,}0$ kHz soit $\Delta f = 4{,}0$ kHz.

3. La valeur de la vitesse v des globules rouges est : $v = \frac{\Delta f \times v_{ultrasons}}{2 \times \cos\alpha \times f_E}$

donc $v = \frac{4{,}0 \times 10^3\ Hz \times 1\,500\ m \cdot s^{-1}}{2 \times \cos 45° \times 10\,000 \times 10^3\ Hz}$

soit $v = 4{,}2 \times 10^{-1}\ m \cdot s^{-1}$.

24 **1.** D'après la relation entre valeur de vitesse, distance parcourue et durée de parcours, $t_2 = \frac{d}{v_{onde}}$.

2. **a.** De même, $d_E = v_E \times T_E$.

b. La distance séparant E et R est

$d_3 = d + d_E = d + v_E \times T_E$.

c. $t_4 = T_E + \frac{d_3}{v_{onde}} = T_E + \frac{d + v_E \times T_E}{v_{onde}}$.

3. $T_R = t_4 - t_2 = T_E + \frac{d + v_E \times T_E}{v_{onde}} - \frac{d}{v_{onde}}$

$= T_E + \frac{v_E \times T_E}{v_{onde}} = T_E \times \left(1 + \frac{v_E}{v_{onde}}\right)$.

C'est la période de l'onde reçue.

4. **a.** On déduit de la relation précédente :

$\frac{1}{f_R} = \frac{1}{f_E} \times \left(1 + \frac{v_E}{v_{onde}}\right)$

d'où $f_E = f_R \times \left(1 + \frac{v_E}{v_{onde}}\right)$

soit $f_E = f_R \times \frac{v_{onde} + v_E}{v_{onde}}$.

b. L'expression précédente conduit à :

$f_E \times v_{onde} = f_R \times (v_{onde} + v_E)$

d'où $\frac{f_E \times v_{onde}}{f_R} = v_{onde} + v_E$

soit $v_E = \frac{f_E \times v_{onde}}{f_R} - v_{onde}$

Finalement :

$v_E = v_{onde} \times \left(\frac{f_E}{f_R} - 1\right) = v_{onde} \times \frac{f_E - f_R}{f_R}$.

Chapitre 18

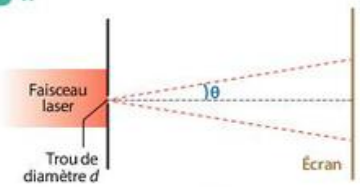
QCM

1. A, B et C ; **2.** C ; **3.** A et C ; **4.** C ; **5.** B ; **6.** A, B et C ; **7.** B ; **8.** B et C ; **9.** A et C.

3 On observe le phénomène de diffraction. Il apparaît sur l'écran une tache lumineuse (nommée tache centrale) et des taches moins larges réparties de part et d'autre de la tache centrale.

5 On peut observer des phénomènes de diffraction avec des vagues qui pénètrent dans un port protégé par des digues ; en acoustique avec une personne que l'on entend derrière une porte entrouverte, en optique avec la lumière sur un CD ou à travers un rideau.

7 1.



On obtient des anneaux de diffraction avec une tache centrale nettement plus lumineuse que les autres.

2. L'angle caractéristique de diffraction est :

$\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$ d'où $\theta = 1{,}22 \times \frac{532 \times 10^{-9}\,\text{m}}{30 \times 10^{-6}\,\text{m}}$

soit $\theta = 2{,}2 \times 10^{-2}$ rad.

9 Le phénomène d'interférences intervient dans le cas **a** ; on a des interférences destructives.

11 1. Pour observer un phénomène d'interférences, il faut deux sources en phase.

2. Le flotteur A est sur une frange où l'amplitude varie beaucoup lors de la propagation des ondes (alternance de zones colorées en bleu et d'autres en noir). L'élongation résultante est maximale ; les interférences sont constructives. Cette situation correspond à la courbe (a).

Le flotteur B est sur une frange où l'amplitude ne varie pas lors de la propagation des ondes (zone colorée en gris). L'élongation résultante est petite ; les interférences sont destructives. La surface de l'eau est quasiment immobile. Cette situation correspond à la courbe (b).

13 1. Pour observer des interférences, il faut que les deux ondes lumineuses qui se superposent proviennent de deux sources ponctuelles en phase.

2. **a.** Pour observer des interférences constructives, la différence de chemin optique doit être telle que : $\Delta L = k \times \lambda_0$ où k est un entier relatif.

b. Pour observer des interférences destructives, la différence de chemin optique est telle que : $\Delta L = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0$.

15 1. L'expression de x_k est : $x_k = \frac{\Delta L \times D}{b}$.

2. Prenons une frange brillante de rang k, on a alors $\Delta L_k = k \times \lambda_0$; pour une frange brillante de rang $k+1$, on a : $\Delta L_{k+1} = (k+1) \times \lambda_0$.

L'interfrange i a pour expression : $i = x_{k+1} - x_k$

d'où $i = \frac{(k+1) \times \lambda_0 \times D}{b} - \frac{k \times \lambda_0 \times D}{b}$,

soit $i = \frac{\lambda_0 \times D}{b}$.

17 1. La longueur d'onde a pour expression :

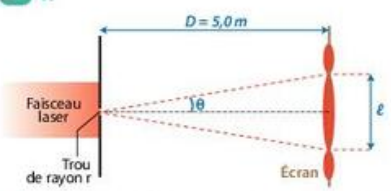
$$\lambda = \frac{i \times b}{D}.$$

2. On a : $\lambda = \frac{i \times b}{D}$

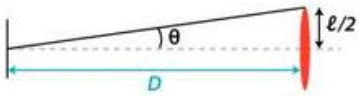
$= \frac{6{,}3 \times 10^{-3}\,\text{m} \times 0{,}20 \times 10^{-3}\,\text{m}}{2{,}0\,\text{m}} = 6{,}3 \times 10^{-7}\,\text{m}$

soit $\lambda = 630$ nm.

21 1.



2. L'expression de l'angle caractéristique θ s'obtient à partir de la tâche centrale de largeur ℓ.



D'après le schéma, on a : $\tan\theta = \frac{\frac{\ell}{2}}{D} = \frac{\ell}{2D}$; comme l'angle θ est petit, $\tan\theta = \theta$ d'où $\theta = \frac{\ell}{2D}$.

De plus, pour une ouverture circulaire de rayon r et une longueur d'onde λ_R, on a : $\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda_R}{2r}$.

On obtient alors $\frac{\ell}{2D} = 1{,}22 \times \frac{\lambda_R}{2r}$.

L'expression de la longueur d'onde est $\lambda_R = \frac{r \times \ell}{1{,}22 \times D}$.

3. On relève à partir de l'échelle de la photographie : $\ell = 2{,}1$ cm.

La longueur d'onde des radiations émises par la diode laser est donc :

$\lambda_R = \frac{0{,}20 \times 10^{-3}\,\text{m} \times 2{,}1 \times 10^{-2}\,\text{m}}{1{,}22 \times 5{,}0\,\text{m}}$,

$\lambda_R = 6{,}9 \times 10^{-7}$ m.

4. La largeur de la tache centrale est donnée par la relation $\ell = 2{,}44 \times \frac{\lambda \times D}{2r}$ et on a $\lambda_V < \lambda_R$, donc $\ell_V < \ell_R$. La largeur de la tache centrale sera plus petite avec un pointeur laser émettant des radiations de longueur d'onde λ_V.

26 1. **a.** On observe une frange brillante au point P si $\Delta L = k \times \lambda_0$ où k est un entier relatif.

b. On observe une frange sombre au point P si $\Delta L = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0$.

2. L'interfrange i est la différence entre les abscisses consécutives x_k et x_{k+1} de deux points pour lesquels on observe des interférences de même type :

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{\Delta L_{k+1} \times D}{b} - \frac{\Delta L_k \times D}{b}$$

Prenons une frange brillante de rang k ; on a $\Delta L_k = k \times \lambda_0$; pour une frange brillante de rang $k+1$, on a : $\Delta L_{k+1} = (k+1) \times \lambda_0$.

Il vient alors $i = \frac{(k+1) \times \lambda_0 \times D}{b} - \frac{k \times \lambda_0 \times D}{b}$ soit $i = \frac{\lambda_0 \times D}{b}$.

3. La longueur d'onde λ_0 de la radiation émise par le laser est : $\lambda_0 = \frac{i \times b}{D}$

$\lambda_0 = \frac{6{,}0 \times 10^{-3}\,\text{m} \times 0{,}20 \times 10^{-3}\,\text{m}}{2{,}00\,\text{m}}$

$\lambda_0 = 6{,}0 \times 10^{-7}$ m.

L'incertitude-type sur la longueur d'onde est :

$$u(\lambda_0) = \lambda_0 \times \sqrt{\left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

$u(\lambda_0) = 6{,}0 \times 10^{-7} \times \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{6{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}01}{0{,}20}\right)^2 + \left(\frac{0{,}01}{2{,}00}\right)^2}$

$u(\lambda_0) = 4 \times 10^{-8}$ m

4. L'encadrement de la longueur d'onde est : $5{,}6 \times 10^{-7}\,\text{m} < \lambda_0 < 6{,}4 \times 10^{-7}\,\text{m}$.

Chapitre 19

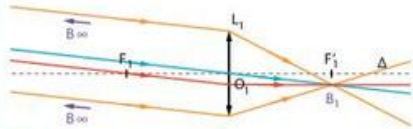
QCM

1. A ; **2.** C ; **3.** A ; **4.** B ; **5.** A ; **6.** A ; **7.** B ; **8.** A ; **9.** B ; **10.** A ; **11.** A.

2 C'est la configuration **a** : les foyers image F'_1 de l'objectif et objet F_2 de l'oculaire sont confondus et la lumière traverse l'objectif puis l'oculaire, ce qui n'est pas le cas dans la configuration **c**.

4 1. C'est la configuration **b** : l'objectif reçoit un faisceau parallèle issu d'un objet situé à l'infini.

2. Construction :

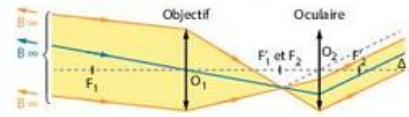


6 **a.** Affirmation correcte.

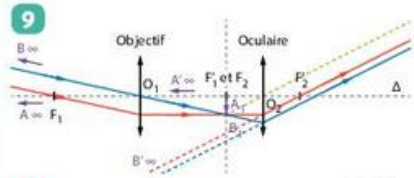
b. Affirmation correcte.

c. Le point B_1 se situe dans le plan perpendiculaire à l'axe optique contenant le foyer objet de la lentille modélisant l'oculaire de la lunette.

d. Le faisceau émergeant de l'oculaire est toujours un faisceau parallèle.



9



11 1. Dans le triangle $O_1A_1B_1$, l'angle $\widehat{A_1O_1B_1}$ est opposé par le sommet à l'angle θ et vaut donc θ.

Le point A_1 est placé sur le foyer image de l'objectif et donc $O_1A_1 = O_1F'_1$.

Le triangle $O_1A_1B_1$ est rectangle en A_1 et on a bien $\tan\theta = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{A_1B_1}{O_1F'_1}$.

2. La lunette est afocale de sorte que le foyer objet F_2 de l'oculaire est confondu avec le foyer image F'_1 de l'objectif : $O_2F'_1 = O_2F_2 = O_2A_1$.

Dans le triangle $O_2A_1B_1$ rectangle en A_1, l'angle $\widehat{A_1O_2B_1}$ est égal à θ' (angles correspondants).

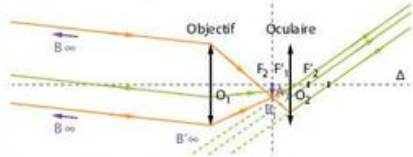
On a donc : $\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{O_2F'_1} = \frac{A_1B_1}{O_2F_2}$.

3. $\frac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \frac{O_1F'_1}{O_2F_2} = \frac{f'_1}{f'_2}$; les angles sont petits, on peut confondre la mesure de tan θ avec celle de θ. D'où : $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{f'_1}{f'_2}$.

13 1. Les indications sont le diamètre de l'objectif D et distance focale de l'objectif f'_1.

2. D et f'_1 sont données en mm.

15 1. La distance focale de l'objectif devrait être 4 cm sur le schéma (20 cm à taille réelle) et celle de l'oculaire 1 cm (5 cm à taille réelle).

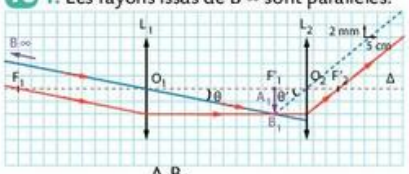


2. Le point objet B est à l'infini.

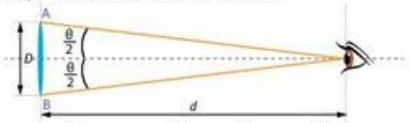
3. **a.** L'image intermédiaire B_1 se trouve dans le plan perpendiculaire à l'axe optique et contenant le foyer image F'_1, à l'intersection de ce plan avec le rayon émergeant de l'objectif.

b. L'expression « plan focal » signifie que ce plan perpendiculaire à l'axe optique contient le foyer objet de l'oculaire et image de l'objectif.
4. Voir figure.
5. a. et b. Cette image est rejetée à l'infini, dans l'espace objet de l'oculaire : pour la voir, l'œil doit se tourner vers l'oculaire et donc regarder à travers en se tournant vers la source (principe d'une loupe pour saisir une image « virtuelle »).
c. Voir figure.

16 **1.** Les rayons issus de B ∞ sont parallèles.

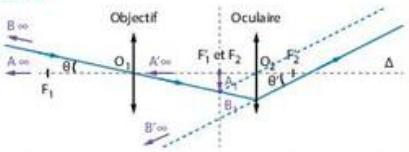


2. On a : $\tan\theta = \frac{A_1B_1}{O_1F'_1}$; on relève $A_1B_1 = 4$ mm (on compte 2 divisions et 1 division fait 2 mm).
On relève aussi : $O_1F'_1 = 500$ mm.
On en déduit $\tan\theta = 8 \times 10^{-3}$.
Cette tangente étant petite, on l'assimile à l'angle. L'angle sous lequel on voit la Lune à l'œil nu est $\theta = 8 \times 10^{-3}$ rad, soit environ 0,5 °.
3. Diamètre apparent de la Lune est l'angle sous lequel on voit la Lune à l'œil nu :



On a : $\frac{D}{2} = d \times \tan\frac{\theta}{2}$; ici $\frac{D}{2} = d \times \frac{\theta}{2}$ (angle θ petit) et donc : $D = d \times \theta$ d'où l'on tire : $d = \frac{D}{\theta}$.
Par application numérique, avec $D = 3{,}47 \times 10^3$ km et $\theta = 8{,}8 \times 10^{-3}$ rad, on trouve que la distance Terre-Lune est : $d = 3{,}94 \times 10^5$ km.
4. $\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \frac{A_1B_1}{O_2F'_1}$; ici : $O_2F'_1 = 125$ mm et $A_1B_1 = 4{,}0$ mm ; on calcule alors l'angle sous lequel on voit l'image donnée par la lunette : $\theta' = 3{,}2 \times 10^{-2}$ rad, soit 1,8 °.

20 **1.** 1 degré d'arc = 3 600 secondes d'arc
360 ° d'arc = 2π radians.
$\theta = \frac{1° \times 34\,s \times 2\pi\ \text{rad}}{3\,600\,s \times 360°} = 1{,}6 \times 10^{-4}$ rad
2. a.



La lunette est afocale de sorte que le foyer objet F_2 de l'oculaire est confondu avec le foyer image F'_1 de l'objectif : $O_2F'_1 = O_2F_2 = O_2A_1$.
Dans le triangle $O_2A_1B_1$ rectangle en A_1, l'angle $\widehat{A_1O_2B_1}$ est égal à θ' (angles correspondants).
On a donc : $\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{O_2A_1} = \frac{A_1B_1}{O_2F_2}$.
De même, $\tan\theta = \frac{A_1B_1}{O_1F'_1}$.
Si les angles sont petits, on peut confondre la tangente et l'angle.
Donc $G = \frac{\theta'}{\theta} = \frac{\tan\theta'}{\tan\theta} = \frac{O_1F'_1}{O_2F_2} = \frac{f'_1}{f'_2}$.
b. Le grossissement maximal est obtenu avec l'oculaire de plus petite distance focale.
On a alors : $G = \frac{f'_1}{f'_2} = \frac{700\ \text{mm}}{10\ \text{mm}} = 70$.
3. $\theta' = G \times \theta = 70 \times 1{,}6 \times 10^{-4}$ rad
$\theta' = 1{,}1 \times 10^{-2}$ rad.
4. Cet angle est supérieur au pouvoir séparateur de l'œil humain. Les deux étoiles sont vues séparément à travers cette lunette.

Chapitre 20

QCM

1. C ; **2.** C ; **3.** A ; **4.** B ; **5.** B ; **6.** A ; **7.** B ; **8.** C.

3 L'effet photoélectrique est le phénomène d'éjection d'électrons d'un métal sous l'effet de radiations lumineuses.
Schéma : voir p. 410.

5 **1.** Des électrons sont arrachés au zinc métallique, ce qui entraîne un déficit de charges négatives et donc un excès de charges positives.
2. L'énergie d'un photon est donnée par :

$$\mathcal{E}_{photon}\ (\text{en J}) = \frac{h\ (\text{en J·s}) \times c\ (\text{en m·s}^{-1})}{\lambda\ (\text{en m})}$$

Cela conduit à :

λ (nm)	$\mathcal{E}_{photon}$ (J)
330	$6{,}03 \times 10^{-19}$
400	$4{,}97 \times 10^{-19}$

3. La radiation de longueur d'onde $\lambda_2 = 400$ nm ne permet pas à la plaque de zinc de se charger positivement car aucun photon ne possède une énergie suffisante pour arracher un électron à la surface du métal.

7 **1.** $\mathcal{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathcal{E}_{C\,max}$
2. $\mathcal{E}_{C\,max} = \mathcal{E}_{photon} - W_{extraction}$
$\mathcal{E}_{C\,max} = (5{,}03\ \text{eV} - 4{,}67\ \text{eV}) \times 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J·eV}^{-1}$
d'où : $\mathcal{E}_{C\,max} = 5{,}76 \times 10^{-20}$ J

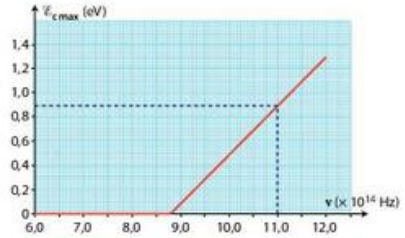
9 **1.** La puissance électrique disponible diminue lorsque l'éclairement décroît.
2. $\eta = \frac{\mathcal{P}_{élec}}{\mathcal{P}_{lum}}$ avec $\mathcal{P}_{lum} = E \times S$.
3. La surface du panneau est $S = 1{,}1$ m².
D'après le graphique on a donc :

$\mathcal{P}_{lum}$ (W)	$\mathcal{P}_{élec\,max}$ (W)
1100	100
660	60
220	20

Dans tous ces cas, $\eta_{max} = 9$ %. Ce rendement ne dépend pas de l'éclairement.

11 – Dans le capteur de lumière d'un appareil photographique numérique des photons sont absorbés, leur énergie permet d'arracher des électrons au semi-conducteur constituant le capteur.
– Dans une diode électroluminescente le courant électrique provoque l'émission de photons.

13 **1. a.** On relève graphiquement la valeur de la fréquence seuil à partir de laquelle un électron est expulsé : $\nu_s \approx 8{,}8 \times 10^{14}$ Hz.
On en déduit la longueur d'onde seuil $\lambda_S = \frac{c}{s}$
Donc $\lambda_S = \frac{3{,}00 \times 10^8\ \text{m·s}^{-1}}{8{,}8 \times 10^{14}\ \text{Hz}} = 3{,}4 \times 10^{-7}$ m
soit environ 340 nm.
b. C'est la longueur d'onde qui correspond à l'énergie minimale permettant d'arracher un électron à la surface du zinc. C'est donc la longueur d'onde maximale au-delà de laquelle il ne sera plus possible d'arracher un électron à ce métal.
2. On a $\mathcal{E}_{photon}(\text{J}) = h(\text{J·s}) \times \nu(\text{Hz} = \text{s}^{-1})$
et $\mathcal{E}_{photon} = W_{extraction} + \mathcal{E}_{Cmax}$ avec $W_{extraction} = h \times \nu_S$
Donc $\mathcal{E}_{C\,max} = \mathcal{E}_{photon} - h \times \nu_S = h \times \nu - h \times \nu_S$
$= h \times (\nu - \nu_S)$
$\mathcal{E}_{C\,max} = 6{,}63 \times 10^{-34}\ \text{J·s} \times (1{,}1 \times 10^{15}\ \text{s}^{-1} - 8{,}8 \times 10^{14}\ \text{s}^{-1}) = 1{,}5 \times 10^{-19}$ J
Soit : $\mathcal{E}_{C\,max} = 0{,}91$ eV.
3. Graphiquement, on recherche l'énergie correspondant à une fréquence égale à $1{,}1 \times 10^{15}$ Hz.



Graphiquement, on relève : $\mathcal{E}_{C\,max} = 0{,}9$ eV.
Cette valeur et en accord avec la précédente.

14 **1.** Les différentes puissances mises en jeu s'écrivent : $\mathcal{P}_{élec} = 305$ W
$\mathcal{P}_{lum} = E \times S$ où S est la surface totale de toutes les cellules :
$\mathcal{P}_{lum} = 1000\ \text{W·m}^{-2} \times (160 \times 10^{-3}\ \text{m})^2 \times 60$
$= 1{,}54 \times 10^3$ W.
2. $\eta = \frac{\mathcal{P}_{élec}}{\mathcal{P}_{lum}}$.
3. $\eta_{max} = \frac{305\ \text{W}}{1{,}54 \times 10^3\ \text{W}} = 0{,}200$, soit 20,0 %.

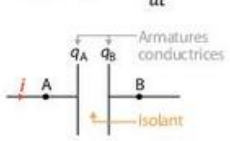
Chapitre 21

QCM

1. C ; **2.** A et C ; **3.** B ; **4.** C ; **5.** A ; **6.** A et B ; **7.** B et C ; **8.** A, B et C ; **9.** A, B et C ; **10.** A et C.

2 **1.** La relation qui permet de définir l'intensité du courant électrique durant une durée Δt est : $I = \frac{Q}{\Delta t}$ où Q est la quantité de charge, exprimée en coulomb (C), traversant une section de conducteur durant une durée $\Delta t = t_2 - t_1$, exprimée en seconde (s).
Voir schéma A p. 428.
2. Dans une portion de conducteur, l'intensité est définie comme la dérivée de la charge électrique par rapport au temps : $i = \frac{dq}{dt}$.

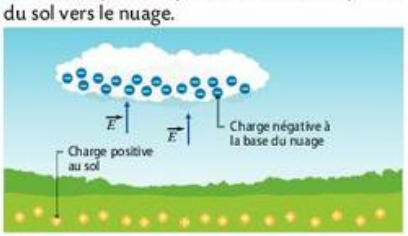
4 **1.**



2. On a : $i = \frac{dqA}{dt} > 0$: la charge q_A est une fonction croissante du temps puisque sa dérivée est positive.

6 **1.** Le bas du nuage et la surface du sol ont des charges, de signes opposés, qui sont localisées sur des surfaces en regard. C'est l'analogue des deux armatures d'un condensateur. L'air qui s'interpose constitue l'isolant.

2. Le champ électrique $\vec{E}$ est vertical et pointe du sol vers le nuage.



8 **1.** La relation est $q_A = C \times u_C$ avec ici $u_C = u_{AB}$. La représentation graphique montre que la charge q varie proportionnellement à la tension ; le coefficient de proportionnalité correspond à la capacité du condensateur. On a donc $C = \dfrac{\Delta q_A}{\Delta u_C}$, soit ici : $C = \dfrac{6{,}0 \times 10^{-6}\,\text{C}}{2{,}7\,\text{V}} = 2{,}2 \times 10^{-6}\,\text{F}$.

2. L'ordre de grandeur de la capacité est le microfarad, ce qui est un ordre de grandeur usuel.

10 La charge correspond au circuit pour lequel l'interrupteur est en position 1. La tension aux bornes du condensateur évolue selon le schéma **b.** La décharge correspond au circuit pour lequel l'interrupteur est en position 2. La tension aux bornes du condensateur évolue selon le schéma **a.**

12 **1.** D'après la loi des mailles : $u_R + u_C = E$.

2. D'après la loi d'Ohm, $u_R = R \times i$.
Ainsi : $R \times i + u_C = E$.

3. Comme $i = C \times \dfrac{du_C}{dt}$, on en déduit l'équation différentielle :

$$R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E\ .$$

14

$y' = 2y + 3$ avec $y(0) = -1$	$y = \dfrac{9}{2} \times e^{2x} - \dfrac{3}{2}$
$y' = 2y$ avec $y(0) = 5$	$y = \dfrac{1}{2} \times e^{2x} - \dfrac{3}{2}$
$y' = 2y + 3$ avec $y(0) = 3$	$y = 5 \times e^{2x}$

15 **1.** Les solutions d'une équation différentielle $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$) sont de la forme $y = K \times e^{ax} - \dfrac{b}{a}$ avec K une **constante d'intégration** réelle.

2. Par identification, on trouve $a = -\dfrac{1}{R \times C}$ et $b = \dfrac{E}{R \times C}$ donc $\dfrac{b}{a} = -E$. La solution générale est :

$$u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$$

17 **1.** Le temps caractéristique est $\tau = R \times C$, soit $\tau = 1{,}0 \times 10^3\,\Omega \times 47 \times 10^{-6}\,\text{F} = 47 \times 10^{-3}\,\text{s}$.
Le temps caractéristique est 47 ms.

2. D'après la loi d'Ohm $u = R \times i$,
donc $1\,\Omega = 1\,\text{V} \cdot \text{A}^{-1}$.
D'après la relation $i = C \times \dfrac{du_C}{dt}$, on déduit :

$$1\,\text{F} = 1\,\text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1}.$$

Donc le produit $R \times C$ s'exprime en :

$$\text{V} \cdot \text{A}^{-1} \times \text{A} \cdot \text{s} \cdot \text{V}^{-1} = \text{s}.$$

19 **1.** Pour que le condensateur se charge, il est nécessaire de placer l'interrupteur en position 1.

2. D'après la loi des mailles :

$$u_R + u_C = E$$

D'après la loi d'Ohm $u_R = R \times i$ avec :

$$i = \frac{dq}{dt} = C \times \frac{du_C}{dt}\ .$$

On en déduit l'équation différentielle vérifiée par la tension aux bornes du condensateur lors de sa charge :

$$R \times C \times \frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

Ce qui s'écrit aussi :

$$\frac{du_C}{dt} = \frac{-1}{R \times C}\,u_C + \frac{E}{R \times C}$$

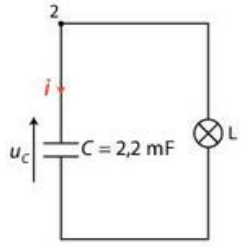
3. Les solutions d'une équation différentielle $y' = ay + b$ (avec $a \neq 0$) sont de la forme $y = K \times e^{ax} - \dfrac{b}{a}$ avec K une **constante d'intégration** réelle.
Par identification, on trouve $a = -\dfrac{1}{R \times C}$ et $b = \dfrac{E}{R \times C}$ donc $\dfrac{b}{a} = -E$.

La solution générale est : $u_C = K \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E$

Pour $t = 0$ s, on a $u_C = K + E = 0$ V d'après les conditions initiales. Ainsi $K = -E$ et :

$$u_C = -E \times e^{-\frac{t}{R \times C}} + E = E \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

4. Le condensateur se décharge quand l'interrupteur est en position 2 :



5. La durée nécessaire pour que le condensateur soit déchargé à 99 % est $\Delta t = 5\tau$. Ainsi :

$$\Delta t = 5 \times R \times C \Rightarrow R = \frac{\Delta t}{5C}$$

soit $R = \dfrac{0{,}1\ \text{s}}{5 \times 2{,}2 \times 10^{-3}\,\text{F}} = 9\,\Omega$.

21 **1.** Pour $t \to \infty$ on a u_C qui tend vers :

$$E \times \left(1 - e^{-\frac{\infty}{\tau}}\right) = E \times (1 - 0) = E\ .$$

Graphiquement, on repère l'asymptote horizontale de la courbe lorsque t tend vers l'infini, on trouve $E = 8{,}8$ V.

2. On retrouve graphiquement le temps caractéristique à partir de l'une des deux méthodes suivantes : – la tangente à l'origine coupe l'asymptote d'équation $u_C = E$ pour $t = \tau$;
– pour $t = \tau$, on a $u_C = 0{,}63\,E$
Dans les deux cas, on trouve $\tau = 0{,}7$ ms.

3. Par définition :

$$\tau = r \times C \Rightarrow r = \frac{\tau}{C} \text{ soit } r = \frac{0{,}7 \times 10^{-3}\,\text{s}}{0{,}10 \times 10^{-3}\,\text{F}} = 7\,\Omega.$$

27 **1.** La pression relative mesurée est nulle.

2. Le capteur peut être assimilé à un condensateur plan car il est constitué de deux armatures planes ou quasiment séparées par un isolant (couche d'air).

3. Si la pression externe à la base du capteur augmente et devient supérieure à la pression atmosphérique, l'épaisseur du condensateur diminue. D'après la relation du document B, la capacité est inversement proportionnelle à l'épaisseur e donc la capacité du capteur augmente.

4. a. $C = \dfrac{8{,}85 \times 10^{-12} \times S}{e}$ avec $S = \dfrac{\pi \times D^2}{4}$;
on trouve $C = \dfrac{8{,}85 \times 10^{-12} \times \pi \times D^2}{4e}$

soit $C = \dfrac{8{,}85 \times 10^{-12} \times \pi \times \left(10 \times 10^{-2}\ \text{m}\right)^2}{4 \times 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}}$

$C = 7{,}0 \times 10^{-11}$ F

4. b. L'ordre de grandeur 10^{-11} F est usuel.

Index

Absorbance 33
Absorption ou émission de photons 441
Accélération normale 223
Accélération tangentielle 223
Accélérateur linéaire de particules 245
Acide 16
Acide α-animé 159
Acide carbonique 17
Acide carboxylique 17
Acide chlorhydrique 17
Acide éthanoïque 17
Acide faible 156
Acide fort 157
Acide nitrique 17
Acte élémentaire 97
Activité 117
Addition 196
Albédo 328
Amine 194
Amide 194
Ammoniac 17
Amphion 159
Amphotère 159
Angle caractéristique de diffraction 371
Atténuation géométrique 352
Atténuation par absorption 352
Autoprotolyse de l'eau 156
Base 16
Base faible 156
Base forte 157
Becquerel 117
Bilan énergétique de l'effet photoélectrique 410
Bouteille de Leyde 425
Capacité (d'un condensateur) 428
Capacité électrique d'une pile 139
Capacité thermique massique 306
Capteur capacitif 429
Caractéristiques d'une lunette commerciale 372
Catalyseur 98
Cellule photoélectrique 411
Centre de masse 223
Champ de gravitation Newtonien 264
Champ de pesanteur terrestre 242
Champ électrique uniforme 242
Champ vectoriel uniforme 242
Charge (d'un condensateur) 430
Charge électrique 428
Choc efficace 97
Coefficient d'échange convectif 328
Concentration standard 17
Condensateur 428
Condition d'interférences constructives 372
Condition d'interférences destructives 372
Conditions initiales 243
Conductance 33
Conduction thermique 326
Conductivité 33
Constante d'acidité 157
Constante d'équilibre 137
Constante d'intégration 243
Constante de Faraday 176
Construction du faisceau traversant une lunette afocale 390
Convection thermique 326
Conversion de l'énergie 176
Coordonnées cartésiennes 221
Corps noir 327
Couple acide/base 16
Critère d'évolution 176
Datation 117
Débit volumique 282
Décalage Doppler 353
Décharge (d'un condensateur) 430
Décroissance radioactive (loi de) 116
Demi-pile 138
Demi-vie 117
Densité (d'un liquide) 55
Désintégration radioactive 115
Diagramme de distribution 158
Différence de chemin optique 373
Dipôle RC 429
Distance focale de l'objectif 372
Distance focale de l'oculaire 372
Domaine de prédominance 158
Dosage par étalonnage 33
Dosage spectrophotométrique 33
Dosage suivi par conductimétrie 55
Dosage suivi par pH-métrie 55
Effet de serre 328
Effet Doppler 353
Effet Doppler et vitesse d'un véhicule 350
Effet Doppler-Fizeau 353
Effet photoélectrique 409
Effet Venturi 283
Électrolyse 176
Électrolyseur 176
Élimination 196
Ellipse 265
Équation d'état du gaz parfait 33
Équilibre dynamique 136
Électron libre 410
Énergie cinétique 245
Énergie cinétique maximale 410
Énergie d'un photon 409
Énergie interne 305
Énergie potentielle 245
Énergie totale d'un système 305
Espèce amphotère 16
Ester 194
État d'équilibre 136
Équation de la trajectoire 244
Évolution forcée 176
Évolution spontanée 137
Facteur cinétique 77
Familles fonctionnelles 194
Flèche courbe (modèle de la) 99
Fluide incompressible 281
Flux thermique 326
Force de gravitation 264
Formule semi-développée 14 ; 17
Formule topologique 194
Foyers 265
Franges brillantes 373
Franges sombres 373
Gaz parfait 34 ; 303
Grand axe 265
Grossissement 391
Halogénoalcane 194
Hydroxyde de sodium 17
Image finale 390
Image intermédiaire 390
Inclinaison 262
Indicateur coloré 158
Intensité (du courant électrique) 428
Intensité sonore 351
Intensité sonore de référence 351
Interférences constructives 372
Interférences destructives 372
Interfrange 373
Intermédiaire réactionnel 98
Ion ammonium 17
Ion hydrogène 16
Ion oxonium 17
Isomérie de constitution 195
Kepler (lois de) 265
Ligne de courant 283
Logarithme décimal 17
Loi de Beer-Lambert 33
Loi de Kohlrausch 33
Loi de Newton 306
Loi de Torricelli 295
Loi de vitesse 78
Loi des aires 265
Loi des orbites 265
Loi des périodes 265
Loi fondamentale de la statique des fluides 281
Lunette astronomique afocale 390
Mécanisme réactionnel 97
Mélange stœchiométrique 55
Méthode de la dérivée 55
Méthodes des tangents 55
Modèle particulaire 410
Monomère 197
Mouvement circulaire uniforme 223
Mouvement circulaire varié 223
Mouvement rectiligne uniforme 222
Mouvement rectiligne uniformément varié 222
Newton (deuxième loi de) 223
Newton (loi de) 328
Niveau d'intensité sonore 351
Nomenclature 194
Nombre de charges 115
Noyau fils 115
Noyau père 115
Objectif 390
Oculaire 390
Orbite géostationnaire 262
Orbite polaire 262
Période de révolution 263
pH d'une solution 17
Phénomène d'interférences 372
Phénomène de diffraction 371
Pile 138 ; 176
Plan équatorial 262
Polymère 197
Pont salin 139
Poussée d'Archimède 281
Premier principe de la thermodynamique 306
Pression 305
Primitive par rapport au temps 243
Produit ionique de l'eau 156
Protection de fonction 196
Puissance électrique 303
Quotient de réaction 137
Radioactivité 115
Rayonnement 326
Rayonnement gamma 115
Rayonnement ionisant 115
Réactif titrant 55
Réactif titré 55
Réaction acide/base 17
Référentiel galiléen 223
Référentiel géocentrique 223
Référentiel héliocentrique 223
Référentiel terrestre 223
Régime permanent indépendant du temps 282
Rendement 195
Rendement d'une cellule photovoltaïque 411
Relation d'équivalence 55
Relation de Bernoulli 283
Repère de Frenet 223 ; 264
Résistance thermique 326
Satellite artificiel 262
Satellite géostationnaire 264
Schéma de Lewis 14
Signe du décalage Doppler 353
Solution tampon 159
Sonde de Pitot 293
Sources ponctuelles en phase 372
Spectre d'absorption 34
Spectroscopie infrarouge 32 ; 35
Spectroscopie UV-visible 34
Squelette carboné 195
Stefan (loi de) 327
Stockage de l'énergie 176
Substitution 196
Synthèse multiétapes 197
Taux d'avancement 136
Teinte sensible 159
Température 305
Temps caractéristique 431
Temps de demi-réaction 78
Tension à vide 138
Tension électrique 428
Titrage 55
Titre massique en pourcent 55
Transfert thermique 306
Transformation forcée 176
Transformation non totale 136
Transformation totale 136
Travail 306
Travail d'extraction 410
Vase de Mariotte 280
Vecteur accélération 221
Vecteur position 221
Vecteur vitesse 221
Volume molaire 34

La sécurité au laboratoire de chimie

1 Avant la séance de travaux pratiques



- Porter des chaussures fermées et un vêtement couvrant les jambes.
- Maintenir les cheveux attachés lorsqu'ils sont longs.
- Le port de lentilles est vivement déconseillé.

2 Avant la manipulation



- Se vêtir d'une blouse en coton et porter des lunettes de protection.
- Laisser libres les accès et les lieux de passage.
- Lire entièrement l'étiquette des flacons et respecter les consignes de sécurité correspondantes.
- Porter des gants lorsque le risque chimique l'impose.

3 Pendant la manipulation

- La verrerie de chimie est chère, la manipuler avec précaution.
- Manipuler debout et limiter les déplacements, ranger les tabourets sous les paillasses.
- Garder un plan de travail propre et dégagé.
- Ne pas trop enfoncer la pipette dans la propipette pour éviter de la casser.
- Utiliser des spatules pour prélever des solides.
- Toujours reboucher un flacon immédiatement après usage.
- Manipuler sous la hotte lorsque le produit utilisé présente des risques par inhalation.
- Assurer la stabilité des montages en fixant la verrerie avec des pinces et des noix de serrage.
- Chauffer un tube à essais en l'agitant et en évitant de diriger son extrémité vers une autre personne.
- Plonger progressivement les récipients dans les bains chauds ou froids.
- Ne jamais sentir un produit quel qu'il soit. Ne pas boire, ne pas manger et ne jamais rien porter à la bouche.

4 Après la manipulation



- Verser les résidus dans les bacs de récupération prévus à cet effet.
- Ne pas réintroduire les produits chimiques dans les flacons.
- Laver la verrerie et ranger la paillasse.
- Se laver les mains en fin de séance.

Utiliser des produits chimiques : consignes de sécurité

Certains produits présentent des risques et doivent être manipulés en respectant des consignes de sécurité.

Un nouveau **système européen de classification et d'étiquetage des produits chimiques,** basé sur le Système Général Harmonisé (SGH), **est entré en vigueur en décembre 2010.**

L'étiquette du produit doit obligatoirement porter les indications suivantes :

- Un ou plusieurs **pictogrammes SGH** de DANGER choisi(s) parmi les 9 pictogrammes du tableau ci-contre.
- Une **mention d'avertissement** en rouge :
  DANGER pour les produits les plus dangereux.
- Une ou plusieurs **mention(s) de danger.** Chaque phrase correspond à un code formé par la lettre **H** suivie de 3 chiffres.
  L'étiquette peut comporter aussi une **mention additionnelle de danger** dont le code est **EUH** suivi de 3 chiffres.
- Un ou plusieurs **conseil(s) de prudence** pour manipuler le produit en toute sécurité. Chaque conseil correspond à un code formé par la lettre **P** suivie de 3 chiffres.

Exemples de mentions de danger :

H225 : Liquides et vapeurs très inflammables.
H304 : Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires.
H315 : Provoque une irritation cutanée.
H319 : Provoque une sévère irritation des yeux.
H336 : Peut provoquer somnolence et vertiges.
H340 : Peut induire des anomalies génétiques (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger).
H350 : Peut provoquer le cancer.
H361d : Susceptible de nuire au fœtus.
H372 : Risque avéré d'effets graves pour les organes (à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée).
H373 : Risque présumé d'effets graves pour les organes.

EUH014 : Réagit violemment au contact de l'eau.
EUH031 : Au contact d'un acide, dégage un gaz toxique.
EUH059 : Dangereux pour la couche d'ozone.

Exemples de conseils de prudence :

P102 : Tenir hors de portée des enfants.
P210 : Tenir à l'écart de la chaleur/des étincelles/des flammes nues/des surfaces chaudes. Ne pas fumer.
P262 : Éviter tout contact avec les yeux, la peau ou les vêtements.
P273 : Éviter le rejet dans l'environnement.
P280 : Porter des gants de protection/des vêtements de protection/un équipement de protection des yeux/du visage.
P310 : Appeler immédiatement un CENTRE ANTIPOISON ou un médecin.
P351 : Rincer avec précaution à l'eau pendant plusieurs minutes.
P403 : Stocker dans un endroit bien ventilé.

@ Liste complète sur le site de l'UNECE



SGH01 : EXPLOSIF
Peut exploser au contact d'une flamme ou d'une étincelle, par élévation de température, par frottement, par choc.



SGH02 : INFLAMMABLE
Peut s'enflammer au contact d'une flamme ou d'une étincelle, par élévation de température, par frottement, par choc, au contact de l'air, au contact de l'eau.



SGH03 : COMBURANT
Peut PROVOQUER OU AGGRAVER UN INCENDIE et même provoquer une explosion en présence de produits inflammables.



SGH04 : GAZ SOUS PRESSION
Peut EXPLOSER sous l'effet de la chaleur ou PROVOQUER DES BRÛLURES PAR LE FROID s'il s'agit d'un gaz réfrigéré.



SGH05 : CORROSIF
Peut ATTAQUER LES MÉTAUX par contact, RONGER LA PEAU / LES YEUX par contact avec la peau / les yeux ou projection.



SGH06 : TRÈS TOXIQUE
Par voie orale ou cutanée, par inhalation. Peut EMPOISONNER rapidement même à faible dose et PROVOQUER DES EFFETS SUR L'ORGANISME comme nausées, vomissements, maux de tête, perte de connaissance et même ENTRAÎNER LA MORT.



SGH07 : NOCIF OU IRRITANT
Peut EMPOISONNER à forte dose, IRRITER la peau, les yeux, le nez, la gorge, PROVOQUER DES ALLERGIES cutanées, PROVOQUER UNE SOMNOLENCE ou des VERTIGES.



SGH08 : DANGEREUX POUR LA SANTÉ
Peut PROVOQUER DES LÉSIONS GRAVES. Peut être cancérogène, mutagène, toxique pour la reproduction. Peut modifier le fonctionnement de certains organes ou provoquer des allergies respiratoires ou des lésions pulmonaires.



SGH09 : DANGEREUX POUR L'ENVIRONNEMENT
A des effets NÉFASTES pour l'environnement ou le milieu aquatique. Sa toxicité peut être aiguë ou chronique. Ne pas le jeter à l'égout.

Crédits photographiques

Couverture : Tammy 616 / Getty Images ; Pascal Kiszon / Getty Images ; David H. Carrière / Getty Images ;

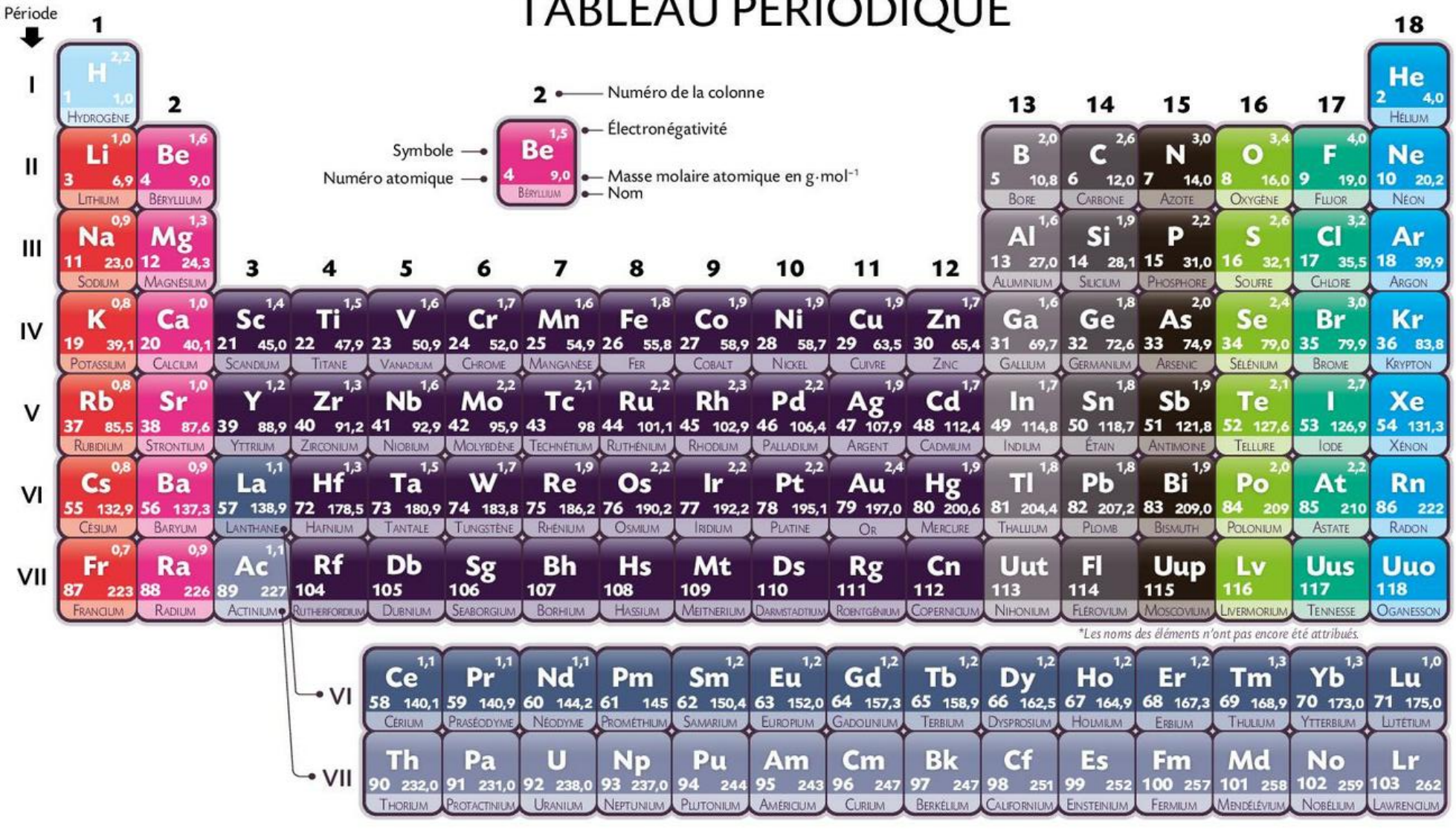
10 : DUCEPT Pascal / hemis.fr ; **12h :** Vink Fan* ; **12b :** AN Images* ; **13 :** acro_phuket* ; **14 :** AB ; **15 :** Wikipédia ; Merck ; **17 :** AB ; **18 :** Choksawatdikorn* ; **19 :** AB ; **20 :** Irina Kozorog* ; **21 :** AN Photographer2463* ; **22 :** AB ; **23 :** sirirak kaewgorn* ; acro_phuket* ; **24 :** Philippe Dubreuil / EsTrial poursuite cuisine / Photononstop ; Mieuxa ; Dariusz Majgier* ; **25 :** hedgehog94* ; **26 :** Kateryna Kon* ; **27 :** Avdeyukphoto* ; **28h1 :** Mike_shots* ; **28h2 :** Phonlamai Photo* ; **28mg :** Emily frost* ; **28md :** George Socka* ; **29 :** cristovao* ; **31 :** NERYXCOM* ; AB ; **32 :** Igor Marusichenko* ; **34 :** AB ; **38 :** Iurii Stepanov* ; **39 :** gazéificateur ; **41 :** NASA/JPL-Caltech/Cornell Univ./Arizona State Univ. ; aomnet7* ; **42 :** Iusia83* ; **43 :** SOLGAR ; **44 :** cristovao* ; Jiri Hera* ; ONYX ; **45 :** Vadym Stock* ; **49 :** Christophe Péan ; **50 :** AB ; **51 :** AB ; **52 :** AB ; **56 :** AB ; **61 :** igorsm8* ; **62 :** bitt24* ; **63 :** AB ; **64 :** Photo12/Alamy ; **67 :** Christophe Péan ; **69h :** ekipaj* ; **69b :** Foodpictures* ; **70 :** mentatdgt* ; **71 :** Akg Images / Eric Lessing ; **72 :** Akg Images / Eric Lessing ; Akg Images ; **73 :** DeLonghi ; **74 :** schankz* ; **76 :** AB ; **77 :** Jean-Luc & Françoise Ziegler / Biosphoto ; Yuri Gurevich* ; Irene_A* ; AB ; **85 :** Berzilius © Mikimedia ; **87 :** Orapi Europe ; AB ; **88 :** Fast and Furious8-2017 Réal. F.Gary Gray-Collection Christophel ©Universal Pictures ; ESB Professional* ; **89 :** Olena Yakobchuk* ; **90 :** Anna Kucherova* ; **91 :** Einar Muoni* ; **93 :** Michel de Groot / Hollandse Hoogte / REA ; **98 :** Julia Kuznetsova* ; **98 :** Greg Epperson* ; **102 :** Noppadon stocker* ; **106 :** Nataliya Hora* ; **106 :** SPL / Science Source / GLPhotoStock ; **107 :** Photo12 / Alamy / Pictorial Press Ltd ; **108 :** Roger-Viollet / Musée Carnavalet ; **109 :** AB ; **110 :** Mangostar* ; **111 :** Javier Trueba / LookatSciences ; **114 :** Gregory Gerault / AFP ; **115 :** Photo12/Heritage Images/The Print Collector ; **117 :** BURGER/PHANIE ; **118 :** Alamy/Photo12 ; **121 :** Publiphoto Diffusion/SPL/Phanie ; **123 :** Kenzo Tribouillard/AFP ; **124 :** Carlos Munoz-Yagüe / LookatSciences ; BURGER/PHANIE ; **125 :** Boris Horvat/AFP ; **127 :** centre Jean Perrin / ISM ; Vogt / AFP ; **129 :** Kristina Baker/AP/SIPA ; Photo12/Alamy/Science History Images ; **131 :** Santi Rodriguez* ; **132 :** AB ; **133 :** AB ; **135 :** AB ; **137 :** AB ; **139 :** AB ; **142 :** ISM ; **144 :** AB ; **147 :** AB ; **149 :** Santi Rodriguez* ; Georgi Roshkov* ; **150 :** Bayer ; **151 :** little birdie* ; **152 :** StockSmartStart* ; **153 :** Ian Cumming/Axiom/Design Pix/Photononstop ; **154 :** AB ; **155 :** BAYER ; **156 :** Phonlamai Photo* ; **159 :** AB ; **166 :** JBL ; Photografiero* ; Ewa Kondracka* ; **168 :** Ian Cumming/Axiom/Design Pix/Photononstop ; **170 :** ASTERIX-OBELIX-IDEFIX / ©2020 LES ÉDITIONS ALBERT RENÉ / GOSCINNY-UDERZO ; **173 :** Istock/Media Production/GettyImages ; **174 :** Istock/Media Production/GettyImages ; **175 :** Mission hYdrogène Renouvelable pour l'inTégration au réseau Electrique / Corse Aérovision / Sébastien Aude ; **176 :** AB ; **177 :** Mission hYdrogène Renouvelable pour l'inTégration au réseau Electrique / Corse Aérovision / Sébastien Aude ; **178 :** AB ; **180 :** chuyuss* ; **183 :** Le Rétamage de Marius Roy-Musée Paul Valéry à Sète-Wikimedia ; doomu* ; **184 :** Jordijacobson/IstockGgettyImages ; **185 :** Massimo Brega/LookatSciences ; **186 :** SPL/Turtle Rock Scientefic ; **187 :** demarcomedia* ; Kevin Tichenor* ; **189 :** nd 3000/Getty Images ; **191 :** bjul* ; **192 :** AB ; **200 :** Alyona Budkivska* ; **201 :** Sciences Photo Library ; **204 :** Yatra* ; **206 :** Anton Kozyrev* ; **208 :** nd 3000/Getty Images* ; **209 :** Alf Ribeiro* ; **214 :** Sylvain Girardot / Naturagency ; **216h :** Vera Larina* ; **216b :** f11 photo* ; **217 :** Gerain0812* ; **218 :** MICHEL HANS ; **219 :** alexfan32* ; AB ; **220 :** Shahjehan* ; **225 :** ATTILA Barsan* ; **229 :** Bernd Rohrschneider/AGE ; **230 :** HAMILTON/REA ; RED BULL CONTENT POOL/SIPA ; **231 :** Leonid Andronov* ; Alamy/Photo12 ; Elena11* ; **233 :** S-F* ; Granger NYC/Rue des Archives ; **234 :** AB ; **237 :** Will Russell/GETTY IMAGES ASIAPAC/Getty Images/AFP ; **238 :** kudla* ; **239 :** Bjoern Wylezich* ; **240 :** Guy Bettencourt/Studios Fotonum ; **241** Science Photo Library/Marazzi, Dr. P. ; **247 :** Simonkr/istockphoto ; **248 :** ©andyparant.com ; **251 :** REUTERS/Andrew Boyers ; **254 :** Photo12/Alamy/Aerial Archives ; **255 :** Will Russell/GETTY IMAGES ASIAPAC/Getty Images/AFP ; **256 :** REUTERS/Russell Cheyne ; **257 :** Sebastien ORTOLA/REA ; **259 :** Westend61/Getty ; **260 :** Sundry Photography* ; **261 :** ©ESA/NASA ; **262 :** ©ESA/NASA ; CNES/D.Ducros/Novapix/Leemage ; ESA/P.Carril/Novapix/Leemage ; 263 : Science Photo Library/Lodriguss, Jerry ; **266 :** Elena11* ; CNES/D.Ducros/Novapix/Leemage ; Science Photo Library/Garlick, Mark ; **268 :** Science Photo Library/EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY ; **270 :** P.Carril/Novapix/Leemage ; Science Photo Library/Van Ravenswaay, Detlev ; **271 :** Don Dixon/Novapix/Leemage ; CNES/Oliver SATTLER, 2017 ; **272 :** Science Photo Library/Garlick, Mark ; Nasa/Roscosmos/Novapix/Leemage ; NASA/ESA/Leemage ; **273 :** ©2019 ESA-CNES-ARIANESPACE/Optique Vidéo du CSG-JM Guillon ; Lockheed Martin ; **275 :** Siberian Art* ; **276 :** Timbre reproduit avec l'aimable autorisation de la Poste Tchèque ; **277 :** CHICUREL Arnaud/hemis.fr ; **278 :** Jag_cz* ; 279 : liseykina* ; AB ; **280 :** Big Joe* ; Mary Evans/Bridgeman images ; **281 :** Alones* ; **282 :** CLIPAREA I Custom media* ; **285 :** Photo12/Alamy/Suzanne Long ; **286 :** Photo by Eric BRISSAUD/Gamma-Rapho via Getty Images ; **288 :** Dmitry Gritsenko* ; **290 :** iStock/Getty Images Plus ; **291** Science Photo Library/SciePro ; ©Claber – photo reproduite avec l'aimable autorisation de Claber ; **292 :** Andrew V Marcus* ; zhao jiankang* ; **293 :** freevideophotoagency* ; **294 :** Sergiy Zavgorodny* ; **295 :** AB ; **296 :** Naeblys* ; **297 :** Photo by Richard Heathcote - World Rugby/World Rugby via Getty Images ; **298 :** SOUMILLARD Annette / hemis.fr ; **300h :** Bilanol* ; **300b :** Varavin 88* ; **301 :** OSTILL/Getty ; **302 :** Frank Hoensch/Redferns/Getty ; **303 :** Petr Malyshev* ; AB ; **304 :** S.Borisov* ; AB ; **306 :** Sordalab ; **307 :** Eskay Lim/EyeEm/Getty ; **309 :** Thomas JÇger/AGE ; Kutlayev Dmitry* ; **310 :** AB ; **311 :** chiakto* ; **313 :** Kotomiti Okuma* ; Vadim Sadovski* ; Egoitz Bengoetxea Iguaran/AGE Fotostock ; Lukas Gojda* ; **314 :** Melissa Castillo/EyeEm/Getty ; tribalmark* ; bitt24* ; **315 :** LUDOVIC/REA ; Photo12/Alamy/Hufton+Crow-VIEW ; Suhaimi Sulaiman* ; **316 :** Photo12/Alamy/Steven Sanders ; AlexLMX/Getty ; Photo by Paul CHARBIT/Gamma-Rapho via Getty Images ; **317 :** Photo12/Alamy/Andrei Nekrassov ; Photo12/Alamy/stockphoto-graf ; **318 :** OSTILL/Getty ; **320 :** Gyavcin* ; **321 :** Vova Shevchuk* ; **322 :** Science Photo Library/Landmann, Patrick ; AB ; 323 : iStock/Getty Images Plus ; AB ; **325 :** Maridav* ; **331 :** Verena Joy* ; KARL-JOSEF HILDENBRAND/DPA/dpa Picture-Alliance ; Photo12/Alamy/Chad Ehlers ; **332 :** Guy Bouyrie ; **334 :** Neirfy* ; Science Photo Library/NASA/SDO ; **335 :** Vixit* ; MShev* ; **336 :** Tatiana Foxy* ; **337 :** Vova Shevchuk* ; **338 :** Brizmaker* ; everst* ; **339 :** Dotted Yeti* ; Dotted Yeti* ; Dotted Yeti* ; Dotted Yeti* ; NASA ; **340 :** onzon* ; **341 :** Rainer Albiez* ; Ozgur Coskun* ; **342 :** valjakum* ; **343 :** Nagy-Bagoly Arpad* ; **344 :** Photo12/Alamy/dpa picture alliance ; **346h :** Suriyachan* ; **346b :** Over Space* **347 :** Ev. Safronov* ; **348 :** Tatiana Popova* ; 349 : Alamy/Photo12 ; JRJfin* ; ©NoisePlanet ; AB ; **350 :** Ev. Safronov* ; AB ; **351 :** Stephane AUDRAS/REA ; **353 :** Richard DAMORET/REA ; **354 :** Christophe Lehenaff/Photononstop ; Olesia Bilkei* ; **357 :** Mile Atanasov* ; **358 :** DELTAPLUS® ; DELTAPLUS® ; **359 :** Baptiste FENOUIL/REA ; **360 :** Lukassek* ; **361 :** Third of november* ; **363 :** ricochet64* ; RickDeacon* ; **366 :** Photo12/Alamy/Peter Lopeman ; **367 :** Henk Bogaard/iStock/Getty Images Plus ; **368 :** Photo12/Alamy/Christian Kober 1 ; AB ; 369 : Science Photo Library/Public Health England ; **370 :** AB ; AB ; **371 :** Photo12/Alamy/Christian Kober 1 ; AB ; AB ; **372 :** AB ; **373 :** AB ; **374 :** AB ; AB ; AB ; **375 :** AB ; AB ; AB ; Photo12/Alamy/Esa Hiltula ; **378 :** AB ; AB ; PHOTOPQR/LA DEPECHE DU MIDI/EMILIE CAYRE ; ALB ; AB ; **380 :** AB ; AB ; **381 :** AB ; AB ; **382 :** KrimKate* ; Henk Bogaard/iStock/Getty Images Plus ; **383 :** AB ; AB ; 384 : AB ; AB ; AB ; AB ; AB ; AB ; **385 :** AB ; AB ; AB ; AB ; **386 :** Photo12/Alamy/durk gardenier ; **387 :** AstroStar* ; **388 :** Apirak Suwan* ; 389 : AstroStar* ; © Nature et Découvertes ; AB ; **390 :** Sandratsky Dmitriy* ; **391 :** DR ; **392 :** Sandratsky Dmitriy* ; **394 :** DR ; **398 :** © Nature et Découvertes ; **399 :** Claudio Divizia* ; Léon et Lévy/Roger-Viollet ; **400 :** Monique Hersin ; Bridgeman/Leemage ; **401 :** Wikipedia ; AstroStar* ; **403 :** photoJS* ; AB ; **404 :** Victor Josan* ; **405 :** Soonthorn Wongsaita* ; **407 :** akg-images/TT News Agency/SVT ; 408 : Ian HANNING/REA ; AB ; **409 :** Selva/Leemage ; **410 :** Everett/Bridgeman images ; **411 :** VioNetta* ; 25krunya* ; **412 :** Heintje Joseph T. Lee* ; VioNetta* ; Photo12/Alamy/Mikael Karlsson ; Krasowit* ; **413 :** thoughtsofjoyce* ; **414 :** LuYago* ; **415 :** Diyana Dimitrova* ; **416 :** Everett/Bridgeman images ; Science Photo Library ; **417 :** Science Photo Library/ANTONIO ROMERO ; Photo12/Alamy/David J. Green ; Roman Borodaev* ; Michael Dechev* ; **418 :** VDB Photos* ; **420 :** Diyana Dimitrova* ; **421 :** AB ; **423 :** Robert Postma/Design Pics/Photononstop ; **424 :** kryzhov* ; **425 :** Science Photo Library/Chillmaid, Martyn F. ; AB ; **426 :** AB ; AB ; **427 :** Andriy Popov/AGE ; AB ; **428 :** Photo12/Alamy/Yuriy Zahachevskyy ; Pictureguy* ; **429 :** Jacques Loic/Photononstop ; **433 :** Alamy/photo12 ; **437 :** AB ; **438 :** Koldunov* ; **439 :** Man Truck & Bus France ; **440 :** Alamy/photo12 ; **443 :** Caspar Benson/AGE ; iStock/Getty Images Plus ; **444 :** Selva/Leemage ; **445 :** nattapon supanawan* ; **446 :** moprea* ; **447d :** Tero Vesalainen* ; **447g :** AB ; **448d :** Natursports* ; **448g :** AB ; **449 :** AB ; **450 :** Hafiz Johari* ; **451 :** Beautiful landscape* ; **458 :** Blablareau

Photographies d'expériences : Alain Béguerie (AB)

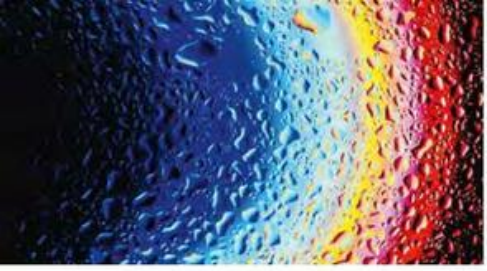
*: /Shutterstock

Édition : Nathalie Legros, Fanny Morquin
Maquette de couverture : Guylaine Moi
Maquette intérieure : Anne-Danielle Naname
Composition : Soft Office
Iconographie : Michèle Kerneïs, Candice Renault
Photographies d'expériences : Alain Béguerie
Schémas : Lionel Buchet, Jean-Luc Manioulox, Christophe Michel - Domino, Loan Nguyen Thanh Lan
Illustrations : Hubert Blatz
Fabrication : Miren Zapirain, Victor Grimaldi

TABLEAU PÉRIODIQUE



*Les noms des éléments n'ont pas encore été attribués.



Physique Chimie

Tle SPÉCIALITÉ

Pour bien se former à la démarche scientifique

ACCÈS LIBRE :
Mon manuel toujours accessible en ligne
sur **mesmanuels.fr/4605033**

LE MANUEL NUMÉRIQUE PREMIUM



Fini les sacs trop lourds !

Avec :

- Des vidéos de cours avec quiz, pour mieux comprendre et réviser
- Des vidéos « Les bons gestes », pour préparer l'ECE
- Des QCM interactifs pour s'auto-évaluer

→ *En vente sur https://kiosque-edu.com/familles*

RESSOURCES EN +

Les ressources numériques du manuel en accès direct



Avec les QR-codes
dans le manuel



Sur le site collection
→ *lycee.hachette-education.com/pc/tle*

Dans la même collection :



34/2222/6
ISBN 978-2-01-786609-1
9 782017 866091

hachette ÉDUCATION
www.hachette-education.com