



Moteur Diesel & Cycle de Joule-Brayton

Thermodynamique – Phénomènes thermiques et mécaniques essentiels



Mécaniques



Thermiques



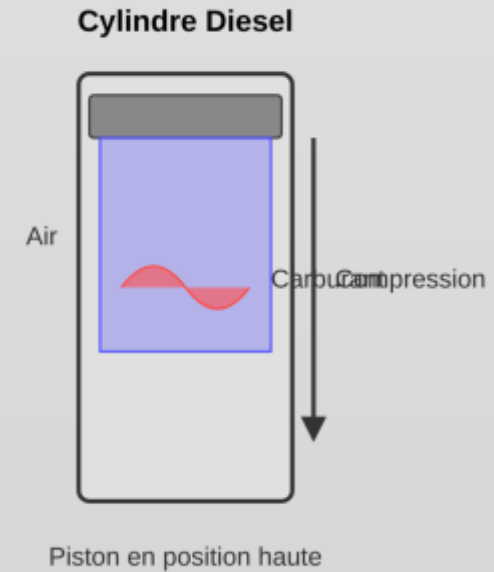
Cycles

🔥 Allumage Spontané

Contrairement aux moteurs à essence, le moteur Diesel n'a pas de bougie d'allumage. Le carburant s'enflamme grâce à la forte compression de l'air, ce qui augmente énormément sa température.

🌡️ Conditions de Compression

- 🔧 Pression élevée : **40 à 80 bar**
- 📏 Rapport volumétrique : **14 à 25**
- 🌡️ Température : **600 à 900°C**



💡 Points Clés

- Pas de bougie d'allumage
- Compression sans étincelle
- Température suffisante
- Rendement thermique élevé



1. Admission

Le piston descend, la soupape d'admission s'ouvre et l'air frais est aspiré dans le cylindre.



Mécanique : Piston descendant, volume augmentant



Thermique : Air à pression atmosphérique



2. Compression

Le piston remonte, les deux soupapes sont fermées. L'air est fortement comprimé, augmentant sa pression et sa température.



Mécanique : Piston remontant, réduction rapide du volume



Thermique : Température atteignant 600-900°C



3. Combustion

Juste avant le point mort haut, le carburant est injecté et s'enflamme spontanément. La combustion isobare pousse le piston vers le bas.



Mécanique : Piston descendant sous l'effet de la pression



Thermique : Apport de chaleur Q_1 , température élevée



4. Échappement

Le piston remonte, la soupape d'échappement s'ouvre et les gaz brûlés sont expulsés du cylindre.



Mécanique : Piston remontant, expulsion des gaz



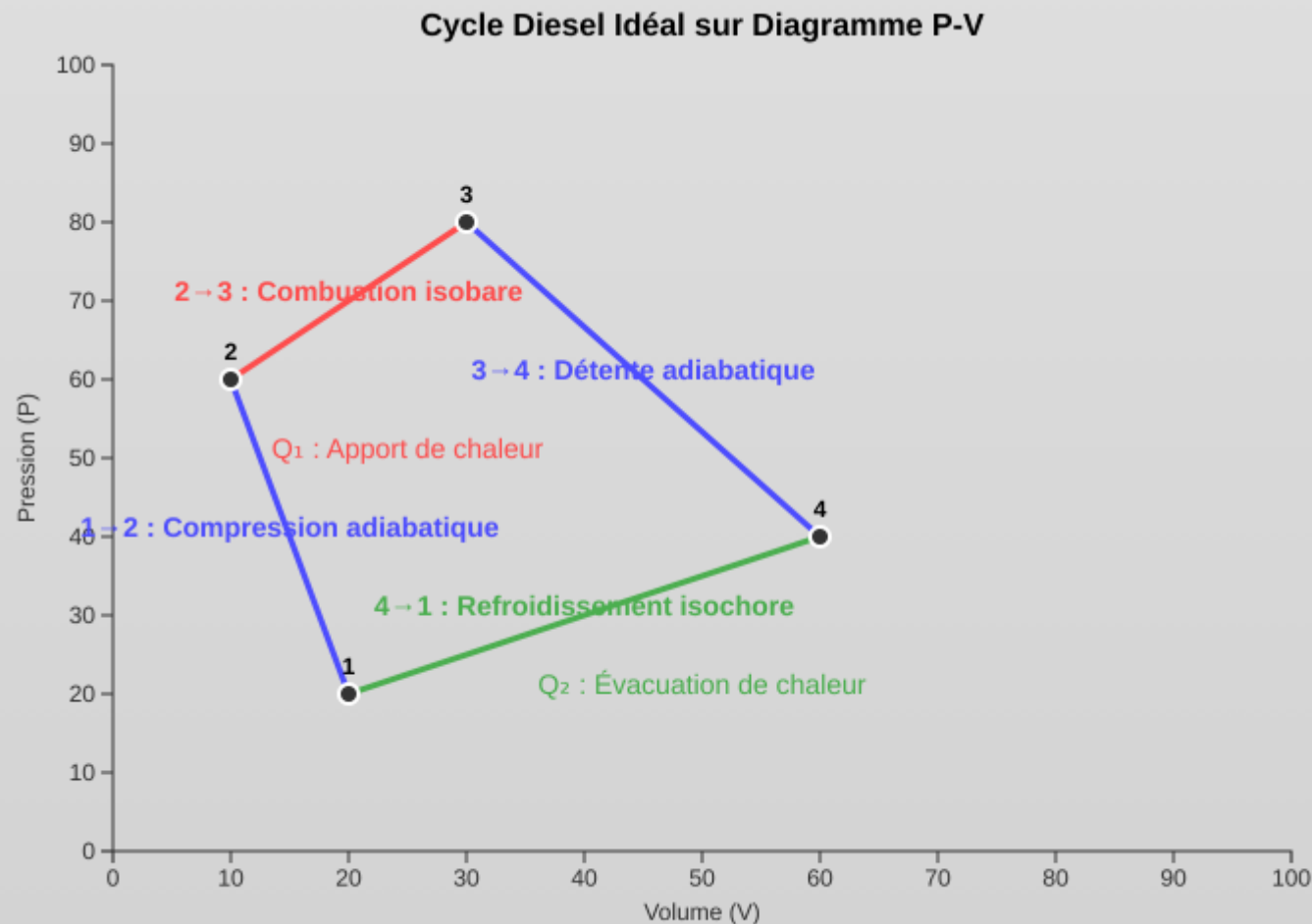
Thermique : Évacuation de chaleur Q_2

Diagramme de Clapeyron

Le cycle Diesel théorique est représenté sur un diagramme de Clapeyron (Pression-Volume), illustrant les quatre phases idéalisées du fonctionnement du moteur.

Paramètres Importants

- ↳ Rapport de compression : $a = V_1/V_2$
- ↳ Rapport de détente : $b = V_4/V_3$





Processus 1 → 2 : Compression Adiabatique

Le piston comprime l'air sans échange de chaleur ($Q=0$). La pression augmente de P_1 à P_2 , la température de T_1 à T_2 , et le volume diminue de V_1 à V_2 .



Processus 2 → 3 : Combustion Isobare

Le carburant est injecté et s'enflamme spontanément. L'apport de chaleur Q_1 augmente la température de T_2 à T_3 , la pression reste constante ($P_2 = P_3$).



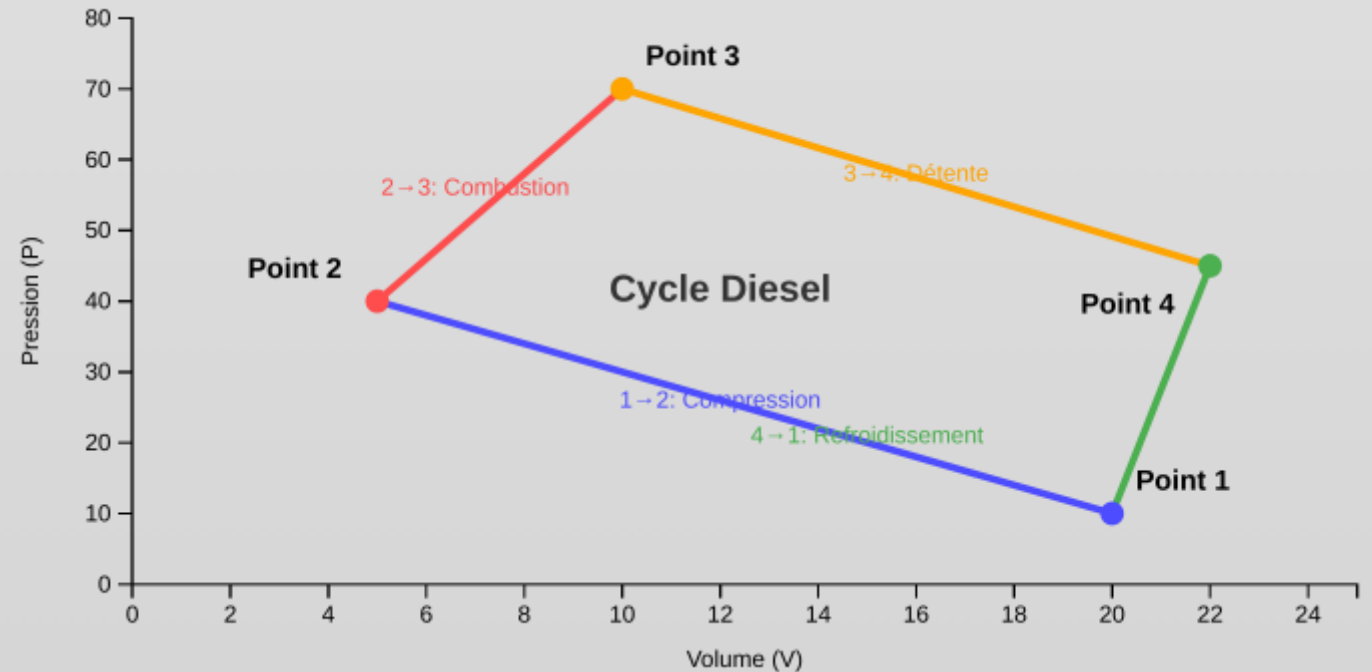
Processus 3 → 4 : Détente Adiabatique

Les gaz chauds se détendent sans échange de chaleur ($Q=0$). Le volume augmente de V_3 à V_4 , la pression diminue de P_3 à P_4 , et la température de T_3 à T_4 .



Processus 4 → 1 : Refroidissement Isochore

Le volume reste constant ($V_4 = V_1$). La chaleur Q_2 est évacuée, la pression diminue de P_4 à P_1 , et la température revient à son état initial ($T_4 \rightarrow T_1$).



Paramètres Influençant le Rendement



Rapport de Compression ($a = V_1/V_2$)

- ✓ Typique : 14 à 25
- ✓ Augmente la température d'auto-inflammation
- ✓ Impact direct sur la pression de compression (40-80 bar)



Rapport de Détente ($b = V_4/V_3$)

- ✓ Détermine l'efficacité de la détente
- ✓ Influence la température de sortie
- ✓ Optimisation pour maximiser le travail utile

⚙️ Principales Applications

Le cycle de Joule-Brayton est utilisé dans des applications nécessitant une puissance continue et élevée, caractérisées par un fluide en circuit ouvert.



Turbines à Gaz

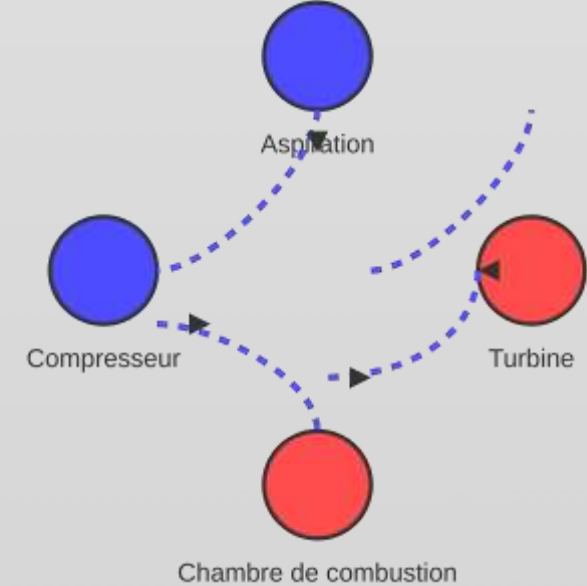
- ✓ Avions
- ✓ Centrales électriques



Moteurs à Réaction

- ✓ Propulsion aéronautique
- ✓ Applications spatiales

Cycle de Joule-Brayton (Circuit Ouvert)



💡 Caractéristiques du Cycle Ouvert

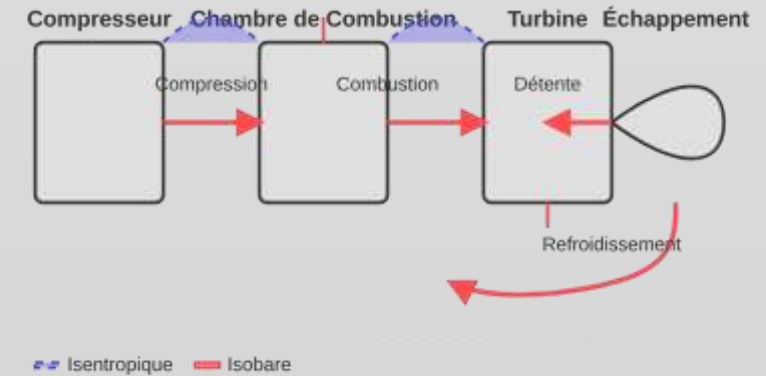
- ✓ Le fluide (généralement de l'air) circule à travers des composants rotatifs
- ✓ Aspiration, compression, combustion et détente dans des machines tournantes
- ✓ Adapté aux applications nécessitant une puissance continue et élevée

⇒ Principe de Base

Le cycle de Joule-Brayton est le fondement thermodynamique des turbines à gaz et des moteurs à réaction. Contrairement aux moteurs à piston, il s'agit d'un cycle à flux continu, où le fluide de travail (généralement l'air) circule à travers des composants rotatifs.

⚙️ Processus Clés

- ✈️ **1 → 2** : Compression isentropique par le compresseur
- 🔥 **2 → 3** : Apport de chaleur isobare (combustion)
- 📉 **3 → 4** : Détente isentropique par la turbine
- ⇒ **4 → 1** : Rejet de chaleur isobare (atmosphère)



💡 Points Clés

- ✓ Cycle à flux continu
- ✓ Combustion stable
- ✓ Compresseur rotatif
- ✓ Turbine entraînée

Diagramme P-V

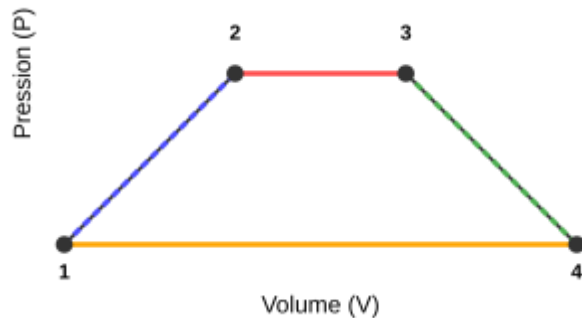
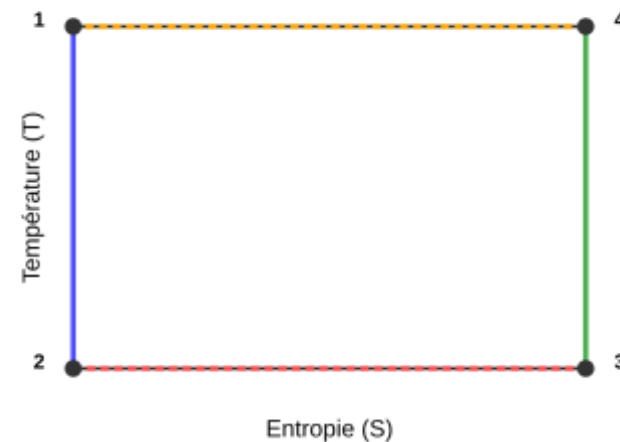


Diagramme T-s



Processus du Cycle Brayton sur P-V

- (1 → 2) : Compression isentropique
- (2 → 3) : Apport de chaleur isobare
- (3 → 4) : Détente isentropique
- (4 → 1) : Rejet de chaleur isobare

Caractéristiques des Diagrammes

P-V :

- Représente les transformations du fluide de travail
- Chaque quadrant correspond à un processus
- L'aire à l'intérieur du cycle = travail net

T-s :

- Isentropiques = lignes verticales
- Isobares = courbes ascendantes/descendantes
- Aire sous les courbes = chaleur échangée

Critère	 Cycle Diesel	 Cycle Brayton
Machine	 Moteur à piston	 Turbine à gaz
Allumage	 Spontané (par auto-inflammation)	 Continu (par brûleur)
Apport de chaleur	 Isobare (pression constante)	 Isobare (pression constante)
Compression	 Très élevée (rapport volumétrique 14 à 25)	 Plus faible (par rapport au Diesel)
Usage	    	  

Moteur Diesel



- ✓ Haute compression (14-25)
- ✓ Allumage par auto-inflammation
- ✓ Couples élevés

Cycle Brayton



- ✓ Compression et détente continues
- ✓ Flux continu de carburant
- ✓ Applications aéronautiques

Compression

- ↓ Mouvement du piston vers le haut
- ↑ Augmentation de pression et température

Combustion

- 🛢️ Injection et auto-inflammation du carburant
- 🔥 Apport de chaleur à pression constante

Détente

- ↓ Piston poussé vers le bas par les gaz chauds
- ⚡ Conversion de chaleur en travail mécanique

Échappement

- ↑ Soupape d'échappement ouverte
- 🚪 Évacuation des gaz brûlés et refroidissement

Comparaison des Phénomènes dans les Deux Cycles

Phénomène	Moteur Diesel	Cycle Brayton	Différences Clés
Compression	Très élevée (rapport 14-25)	Moins élevée	La compression dans le Diesel atteint des rapports volumétriques beaucoup plus élevés
Combustion	Isobare (pression constante)	Isobare (pression constante)	Les deux cycles ont une combustion à pression constante, mais dans des contextes différents
Détente	Adiabatique (sans échange de chaleur)	Adiabatique (sans échange de chaleur)	Les deux cycles ont une détente adiabatique, mais le Diesel a une phase de détente motrice plus longue
Application	Moteurs à piston	Turbines à gaz	Le Diesel est optimisé pour les applications nécessitant un couple élevé, tandis que le Brayton est pour les applications requiring une puissance continue

Moteur Diesel

Le moteur Diesel est particulièrement adapté aux applications nécessitant un couple élevé et une robustesse mécanique.



Véhicules Lourds

- ✓ Camions et transport de marchandises
- ✓ Bus en commun (économique)



Applications Industrielles

- ✓ Locomotives et trains
- ✓ Navires et embarcations

Avantages pour les applications industrielles

- ★ Rendement thermique élevé
- ★ Robustesse mécanique
- ★ Couple élevé au démarrage
- ★ Disponibilité de carburant

Cycle de Joule-Brayton

Le cycle de Brayton est idéal pour les applications nécessitant une puissance continue et élevée, grâce à son architecture à flux continu.



Aviation

- ✓ Moteurs à réaction
- ✓ Turbines aéronautiques



Production d'Électricité

- ✓ Centrales électriques
- ✓ Turboalternateurs

Avantages pour les applications aéronautiques et électriques

- ★ Puissance continue élevée
- ★ Efficacité à haute vitesse
- ★ Fiabilité en vol
- ★ Moins de vibrations

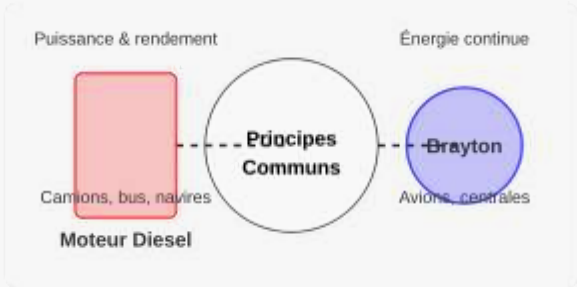
Principes Thermodynamiques Communs

Le moteur Diesel et le cycle de Joule-Brayton partagent des fondements thermodynamiques : compression, apport de chaleur et détente pour produire du travail.

Comparaison

Critère	Moteur Diesel	Cycle Brayton
 Machine	Moteur à piston	Turbine à gaz
 Allumage	Spontané (auto-inflammation)	Continu (brûleur)
 Compression	Très élevée (14-25)	Moins élevée
 Usage	Camions, bus, navires	Avions, centrales électriques

Optimisation selon les besoins



Conclusion

- ✓ Le Diesel excelle par sa puissance et rendement grâce à compression intense, idéal pour applications nécessitant un couple élevé.
- ✓ Le Brayton génère une énergie continue via des machines rotatives, parfait pour aéronautique et production d'électricité.