

Année universitaire 2021

Module

Moteur à Combustion Interne

Partie III

**Théorie des Moteurs à Combustion
Interne**

Théorie des Moteurs à Combustion Interne

Préface

Ce cours est réalisé en utilisant les informations et illustrations mis à la disposition du grand publique sur l'industrie automobile dans les livres et les sites spécialisés supportés par : Google, You tube etc.

Mis à part l'organisation et le choix du contexte conformément au module Moteur à Combustion Interne du programme officiel de la filière.

L'auteurship des illustrations, des schémas et des démonstrations, revient de droit à leurs auteurs d'origines comme mis à la disposition du grand publique.

Note:

Certains contenus ne sont peut être pas retracables, vu leur ancienneté, leur retrait par leurs auteurs ou simplement sont dépassés et remplacés par du matériels nouveaux.

Théorie des Moteurs à combustion interne

IMPORTANT :

Des démonstrations du fonctionnement des moteurs à combustion interne sont disponibles sur You Tube en différentes langues.

Il est conseillé à l'étudiant de les visualiser pour comprendre ce qui se passe à l'intérieur d'un moteur à combustion interne Essence ou Diesel. Chose qui est impossible sur un vrai moteur en marche.

Des vidéos du fonctionnement des différentes parties et des mécanismes automobiles sont aussi disponibles.

L'utilisation de mots clés, des moteurs, des systèmes qui le constituent, des mécanismes ou des parties de l'automobile, vous dirigera vers des pages web spécialisées ou de démonstrations. Voire même de publicité sur l'évolution mécanique, électronique et informatique dans ce domaine. Exemple :



Étude thermodynamique.zip



Moteur Diesel - YouTube.flv



How Diesel Engines Work - Part - 1 (Four Stroke Combustion Cycle).mp4

Introduction

La base du fonctionnement des moteurs est la transformation de l'énergie

L'énergie est tirée de différentes sources; Bois, charbon, poudre de charbon, Alcool, minéraux, biomasse, etc.

Les sources d'énergies actuellement la plus utilisées dans le transport sont le pétrole et le gaz. L'énergie électrique elle aussi est utilisée à moindre échelle pour des raisons techniques.

Dans le transport, ces énergies se présentent sous forme de carburants avec les critères suivants; disposition, coût et rendement.

Ces combustibles sous formes de liquide ou de gaz doivent subir des transformations pour libérer leur énergie intrinsèque afin qu'elle puisse être utilisée mécaniquement.

**Ces transformations sont des cycles thermodynamiques.
Cycles de Beau de Rochas, Cycle Diesel, Cycle de Carnot, Cycle de Lenoir**

La combustion du combustible dans une enceinte close fournit une pression. Cette pression à travers un mécanisme est transformée en mouvement.

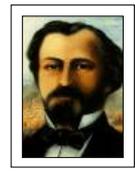
Cycles thermodynamiques

⊖ Cycle de BEAU de ROCHAS ⊖

Beau de Rochas :
Ingénieur français qui conçoit, en 1862, le principe du moteur à explosion à quatre temps.

Cette invention fut mise en pratique, en 1867, par un industriel allemand : Otto.

C'est pour cette raison que ce cycle est souvent appelé cycle d'Otto.

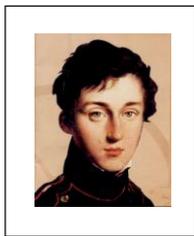


1815 - 1893

⊖ Cycle de CARNOT ⊖

En 1824, il publie « *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* ».

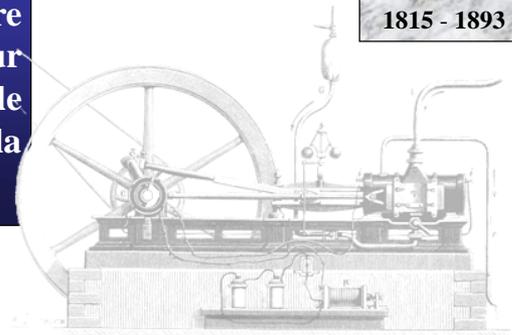
Dans cet ouvrage, il traite du rendement maximal d'une machine thermique ; le travail produit par une machine thermique dépend de la différence de température entre la source chaude et la source froide.



1796 - 1832

⊖ Cycle de LENOIR ⊖

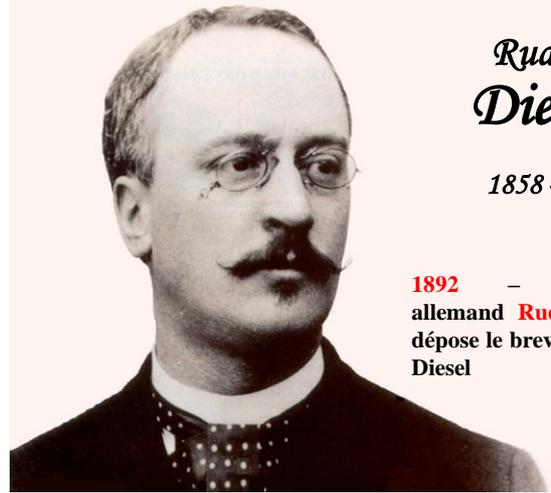
Etienne Lenoir fut le premier à construire avec succès un moteur fonctionnant selon le principe de la combustion interne.



Moteur à deux temps de Lenoir - 1862



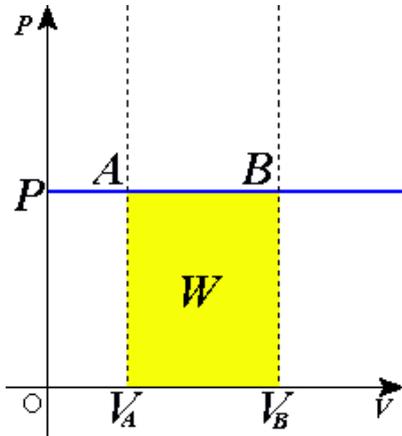
1815 - 1893



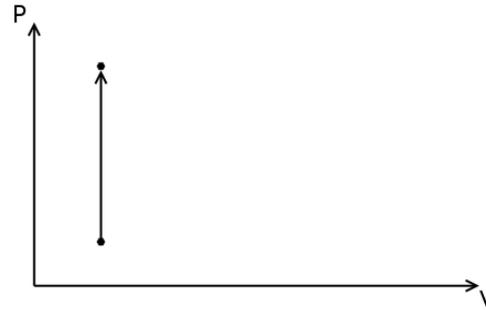
Rudolf Diesel
1858 - 1913

1892 – L'ingénieur allemand **Rudolf DIESEL** dépose le brevet du moteur Diesel

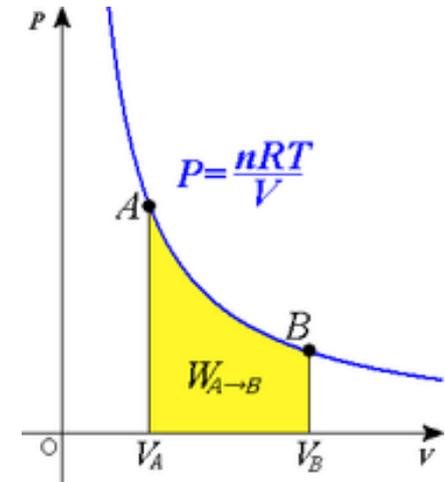
Transformations thermodynamiques



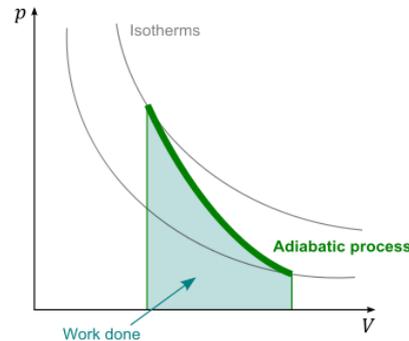
Isobare



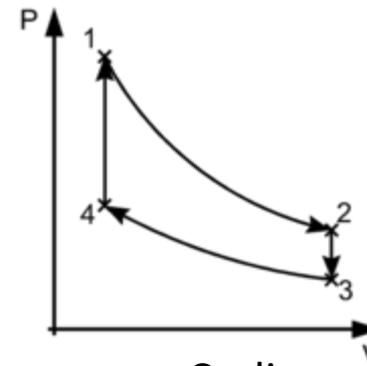
Isochore



Isothermique
 $\Delta T = 0$ but $Q \neq 0$



Adiabatique
 $\Delta T \neq 0$ but $Q = 0$



Cyclic

Si sens horaire – Moteur à combustion
Si sens anti-horaire – pompe à chaleur

Que se passe t'il à l'intérieur du Moteur à Combustion interne ?

But :

Retirer l'énergie calorifique du combustible et la transformée en énergie mécanique

L'énergie calorifique est extraite sous forme de chaleur
Combustion

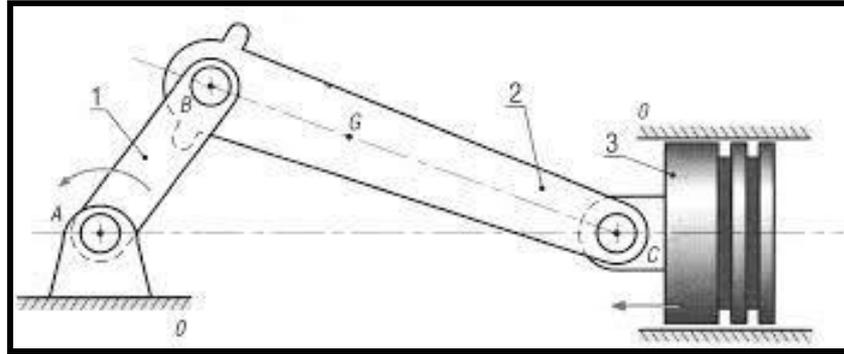
Mécanisme de combustion



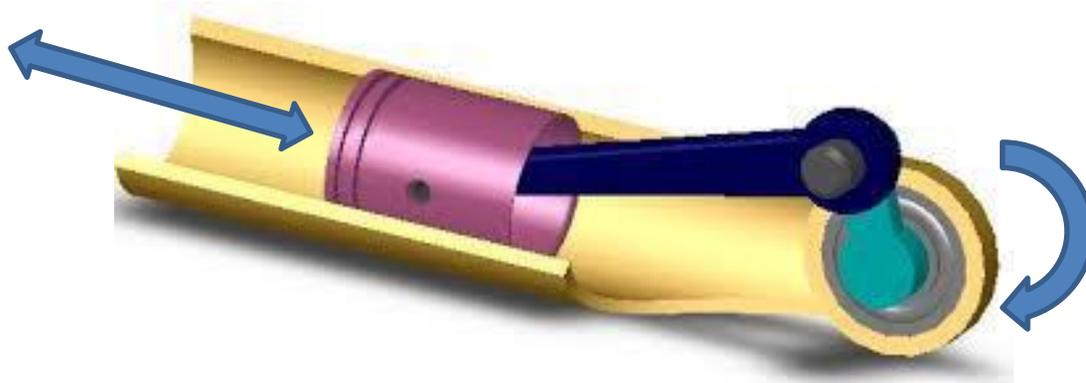
Pression

L'énergie mécanique est recueillit sous forme de mouvement
Translation/Rotation

Transformation de la pression



Systeme bielle - manivelle



Comment ca marche ?

Pour réaliser cette transformation plusieurs opérations sont nécessaires

Une opération pour amener le combustible et l'air à l'intérieur du cylindre.

Une opération pour comprimer le mélange Air/Combustible.

Une opération pour enflammer le mélange à l'intérieur du cylindre.

Une opération pour transformer le mouvement de translation en rotation.

Une opération pour permettre le passage du mélange (ou de l'air) et des gaz brûlés dans et hors du cylindre.

Éléments concernés dans les opérations

- Soupapes d'admission
 - Cylindre
 - Piston
 - Bielle
 - Vilebrequin
 - Bougies
 - Injecteurs
- Soupapes d'échappement

Systemes assurant les opérations

- Système de Distribution
- Système d'Alimentation Essence ou Diesel
- Système d'Allumage
- Système d'Injection

Mécanismes des transformations

Important

Dans un moteur à 4 temps, la transformation énergétique (1 cycle) s'accomplit en :

- 2 rotations du vilebrequin.
- 1 rotation du vilebrequin comprend; 1 descente et 1 montée du piston.
- 1 cycle = 2 rotations = 2 descentes et 2 montées.

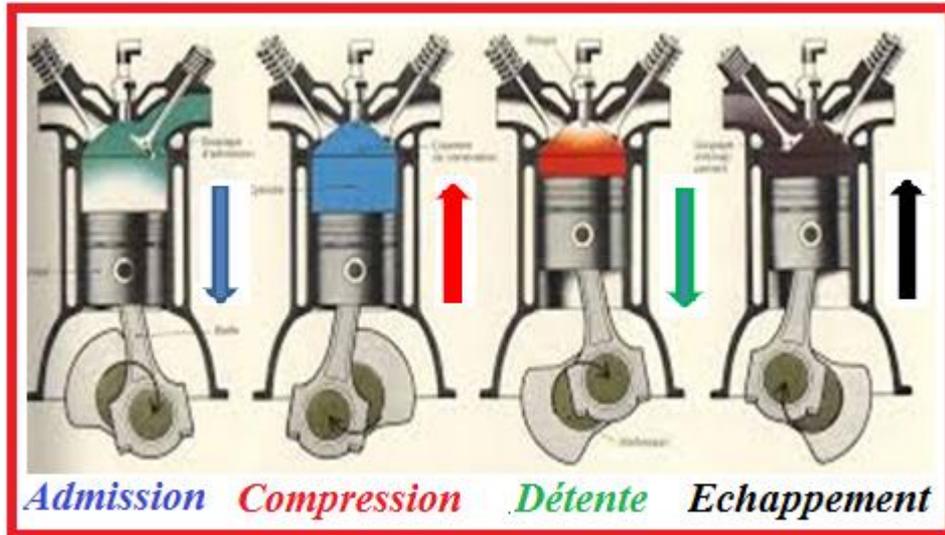
La Transformation de l'énergie calorifique en énergie mécanique se fait pendant un Cycle soit : 2 rotations du vilebrequin = 2 descentes et 2 montées du piston.

A chaque déplacement du piston vers le haut ou vers le bas, à lieu un changement d'état de l'air, de l'air + l'essence, l'air + gasoil.

Dans le langage des moteurs nous utilisons le mots "Temps" pour décrire la montée ou la descente du piston d'où l'appellation moteurs à "4 temps". (Stroke en Anglais)

- Le **1^{er}** temps correspond à la première descente du piston ou temps **Admission**.
- Le **2^{ième}** temps correspond à la première montée du piston ou temps **Compression**.
- Le **3^{ième}** temps correspond à la deuxième descente du piston ou temps **Détente**.
- Le **4^{ième}** temps correspond à la deuxième montée du piston ou temps **Echappement**.

Transformations Essence et Diesel

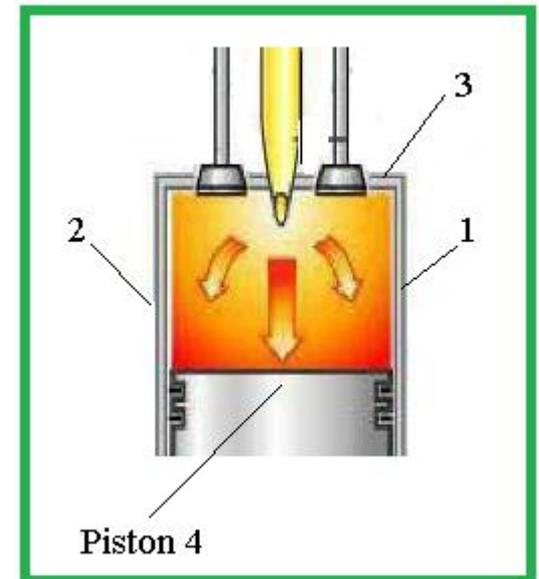


Séquences d'une transformation

Chambre à Combustion

La chambre à combustion est composée de :

- Trois parois rigides (le cylindre 1, 2 et 3).
- Et d'une paroi mobile le piston (4).
- Les soupapes sont à l'opposé du piston



Moteur à Essence

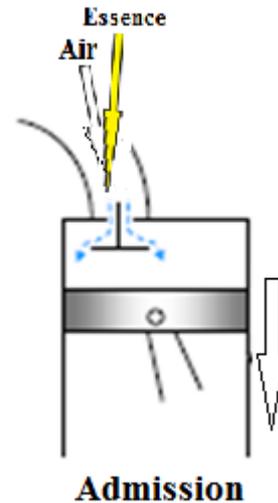
1 Premier Temps : ADMISSION

* La soupape d'admission est ouverte et la soupape d'échappement est fermée. L'admission c'est l'aspiration du mélange air/essence à l'intérieur de la chambre à combustion.

- **Le vilebrequin tire le piston vers le bas.**

En descendant le piston crée une dépression et le mélange s'écoule à l'intérieur par la soupape d'admission.

Arrivé au PMB (point mort bas), la soupape d'admission se ferme et le piston commence à remonter poussé par la rotation du vilebrequin.



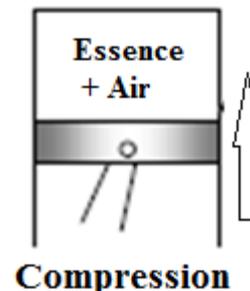
2 Deuxième Temps : COMPRESSION

* Les soupapes d'admission et d'échappement sont toutes les deux fermées.

- **Le vilebrequin pousse le piston vers le haut.**

La remontée du piston comprime le mélange du PMB au PMH (point mort haut). Sous l'effet de la poussée:

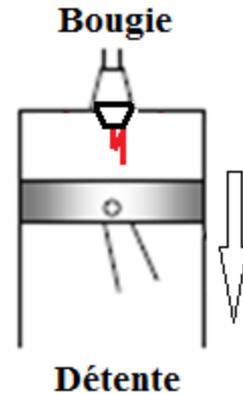
- Le volume est réduit d'un rapport de compression de 1/7 à 1/9.
- La pression du mélange augmente et la température augmente.



Moteur à Essence

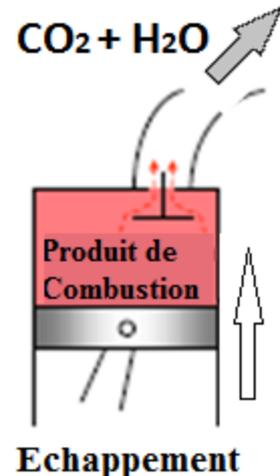
3 Troisième Temps : DETENTE

- * Les soupapes d'admission et d'échappement sont toutes les deux fermées. Une étincelle électrique est introduite par la bougie d'allumage. Le mélange s'enflamme instantanément (détonation/combustion). Les soupapes d'admission et d'échappement sont toutes les deux fermées. Sous l'effet de la poussée des gaz brûlés:
 - Le piston redescend sous l'effet de la pression jusqu'au PMB.
- **Le piston fait tourner le vilebrequin.**



4 Quatrième Temps : ECHAPPEMENT

- * La soupape d'admission est fermée et la soupape d'échappement est ouverte.
 - **Le vilebrequin pousse le piston vers le haut.**
- La remonté du piston pousse les gaz brûlés à travers la soupape d'échappement.



Moteur Diesel

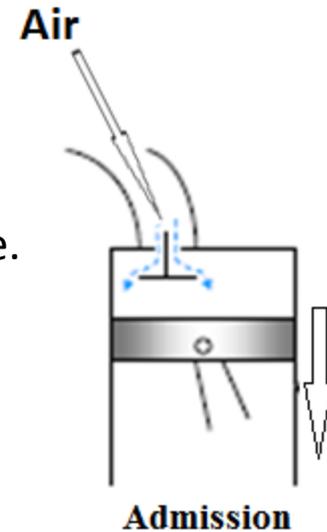
1 Premier Temps : ADMISSION

* La soupape d'admission est ouverte et la soupape d'échappement est fermée.

• **Le vilebrequin tire le piston vers le bas.**

L'air est aspiré à l'intérieur à travers la soupape d'admission.

Le cylindre est rempli seulement avec de l'air.



2 Deuxième Temps : COMPRESSION

* Les soupapes d'admission et d'échappement sont toutes les deux fermées.

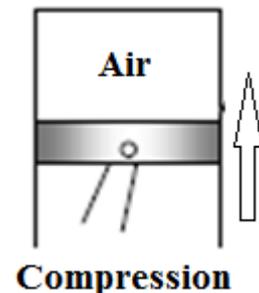
• **Le vilebrequin pousse le piston vers le haut.**

La remontée du piston comprime l'air.

Sous l'effet de la poussée:

- Le volume est réduit d'un rapport de compression de 1/15 à 1/17.

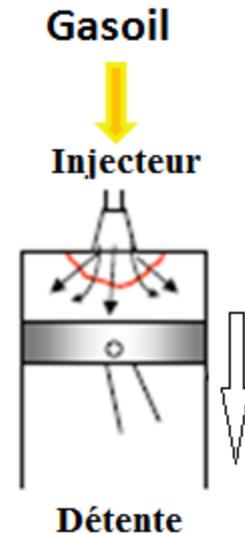
- La pression de l'air augmente et la température augmente.



Moteur Diesel

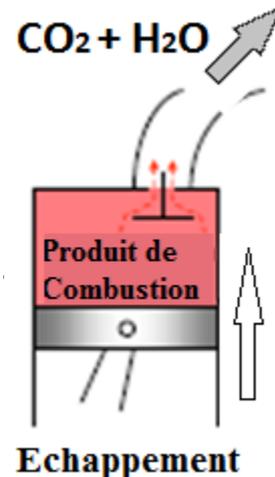
3 Troisième Temps : DETENTE

- * Les soupapes d'admission et d'échappement sont toutes les deux fermées. Le Gasoil est injecté à haute pression sous forme de gouttelettes. Le gasoil s'enflamme au contact de l'air chaud (détonation/combustion). Les soupapes d'admission et d'échappement sont toutes les deux fermées. Sous l'effet de la poussée des gaz brûlés:
 - Le piston redescend sous l'effet de la pression jusqu'au PMB.
 - **Le piston fait tourner le vilebrequin.**



4 Quatrième Temps : ECHAPPEMENT

- * La soupape d'admission est fermée et la soupape d'échappement est ouverte.
 - **Le vilebrequin pousse le piston vers le haut.**
- La remontée du piston pousse les gaz brûlés à travers la soupape d'échappement.



Comparaison entre les fonctionnements des moteurs Essence et Diesel

Moteurs	Essence	Diesel
Admission	Air+ Essence	Air
Compression	1/7 à 1/9	1/15 à 1/17 et plus
Combustion (détente)	Allumage commandé	Auto allumage
Echappement	CO ₂ + H ₂ O +.....	CO ₂ + H ₂ O +.....

Air + Essence = Mélange.

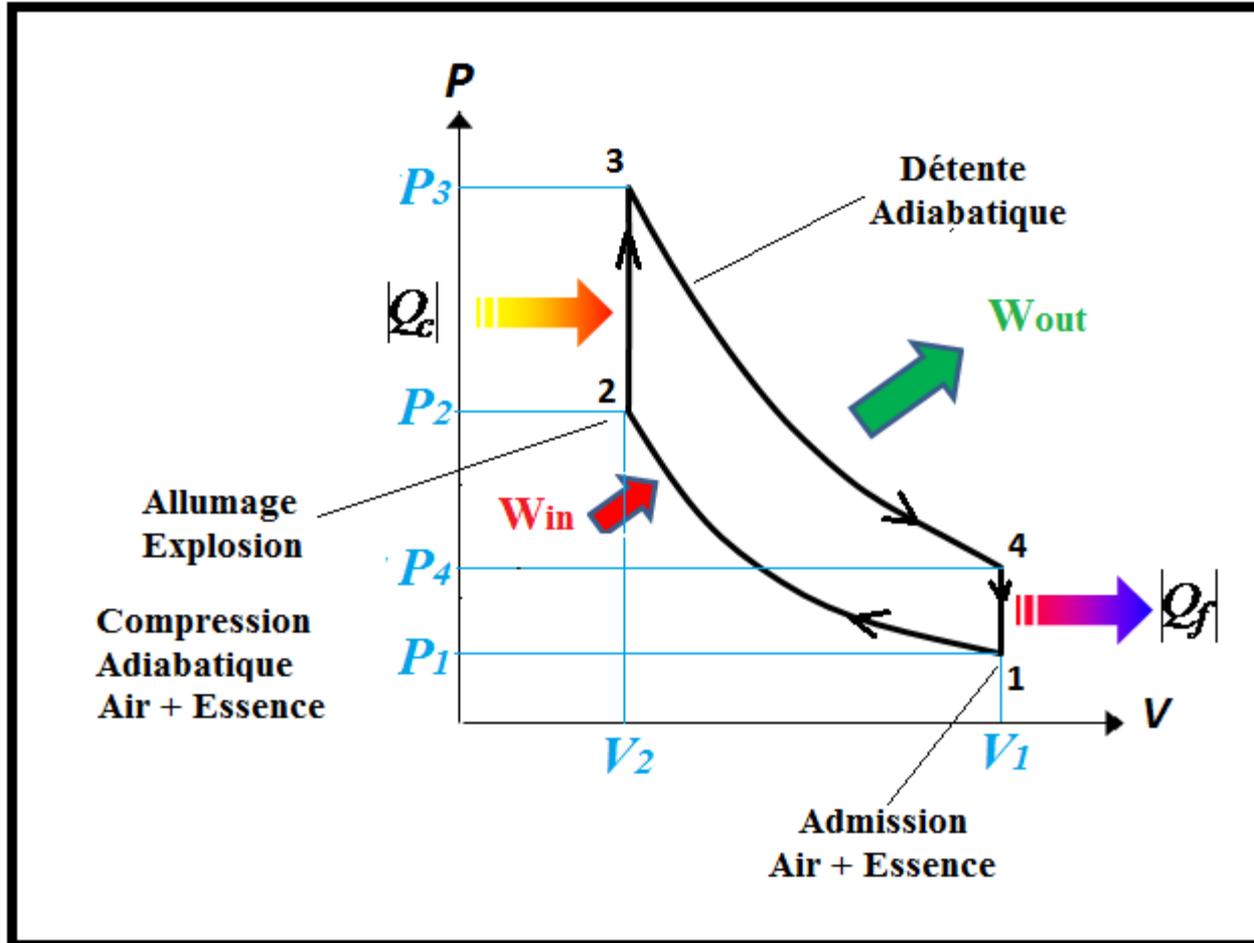
Le moteur Diesel fonctionne à des pressions supérieures à celles du moteur à Essence.

Allumage commandé = Allumage du mélange par une étincelle introduite.

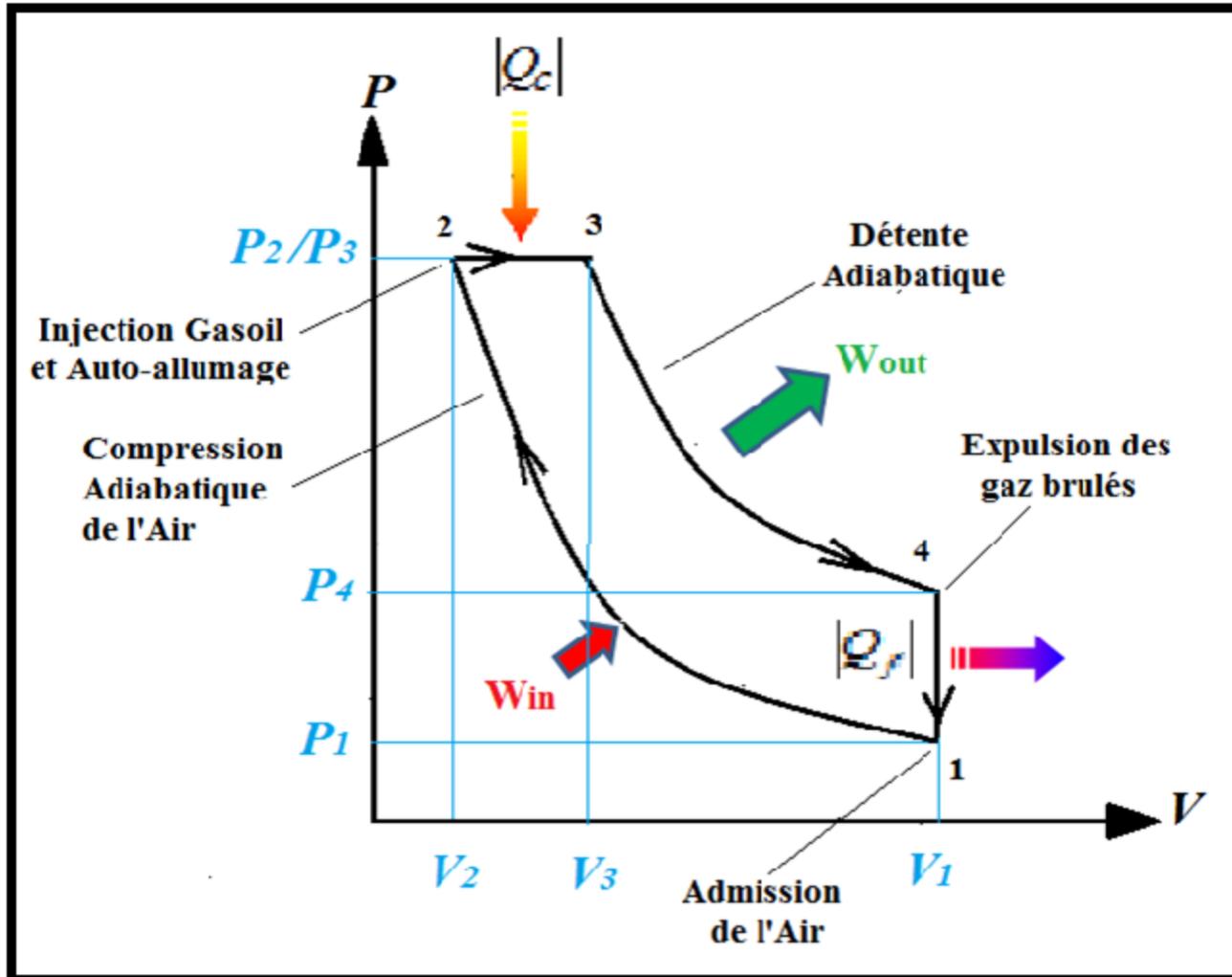
Auto allumage = Allumage spontané lorsque le gasoil pulvérisé entre en contact avec l'air chaud.

+..... = Carbone (suie); Monoxyde de carbone; Dioxyde de carbone; Oxygène; Vapeur d'eau; Azote; Oxydes d'azote; (p. ex. oxyde d'azote, dioxyde d'azote) Oxydes de soufre (p. ex. dioxyde de soufre).

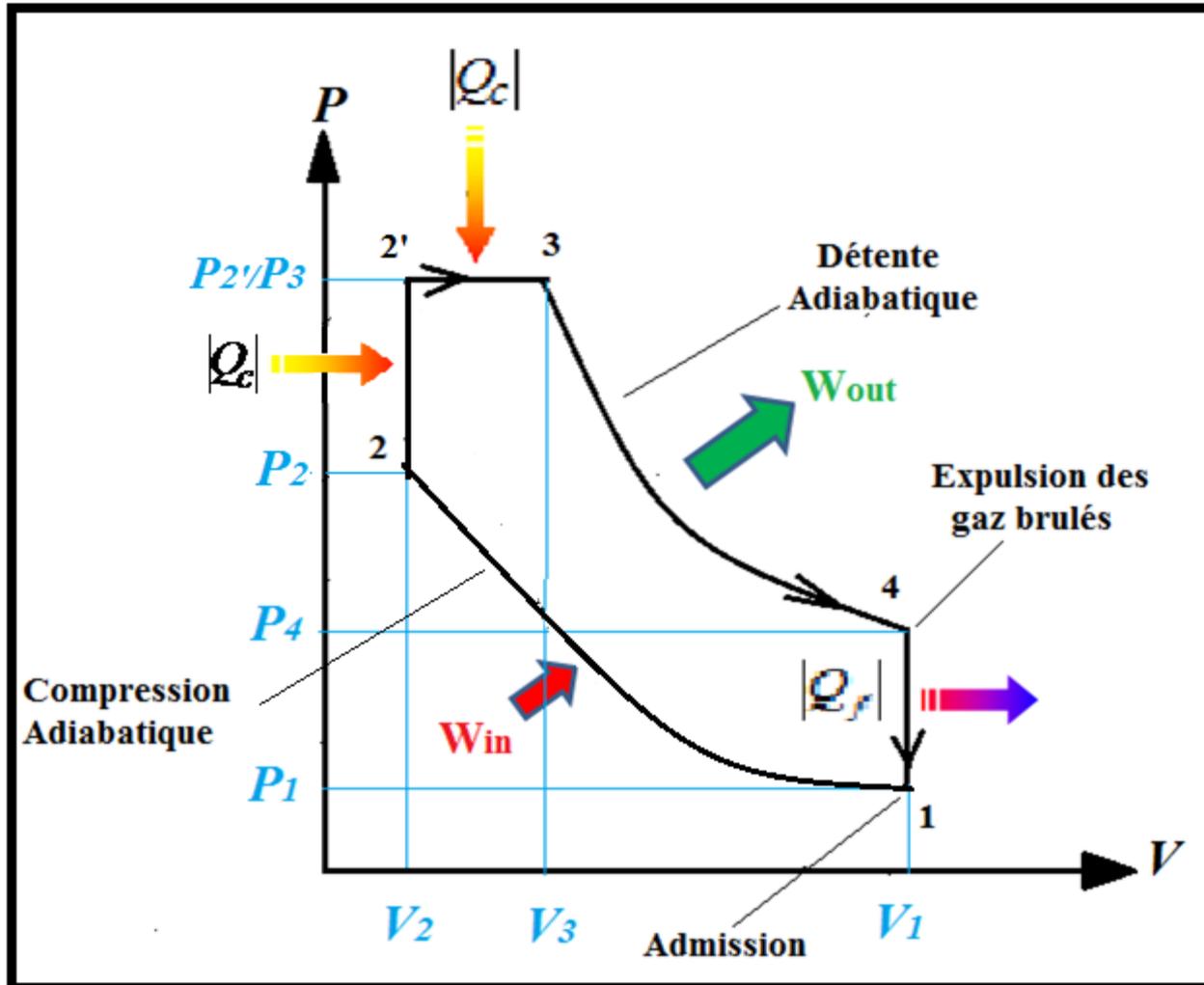
Cycle théorique Essence



Cycle théorique Diesel



Cycle mixte



Comparaison entre le cycle théorique et le cycle réel

Un premier constat

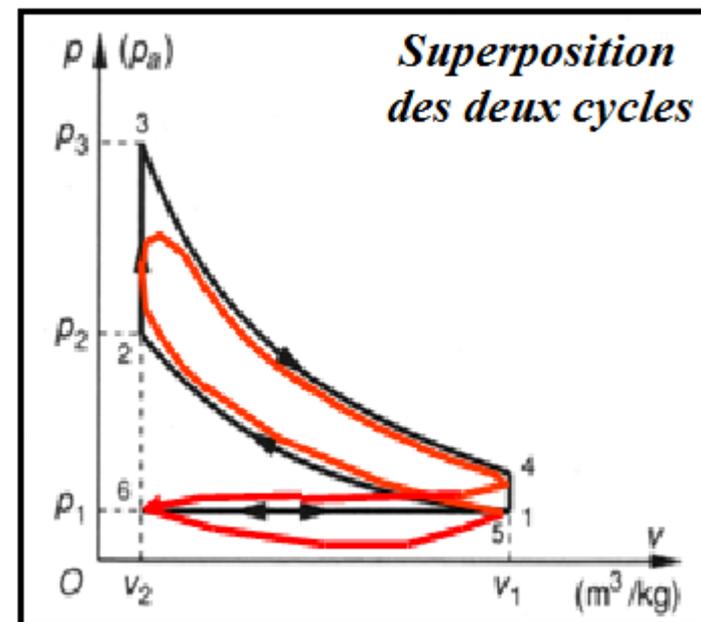
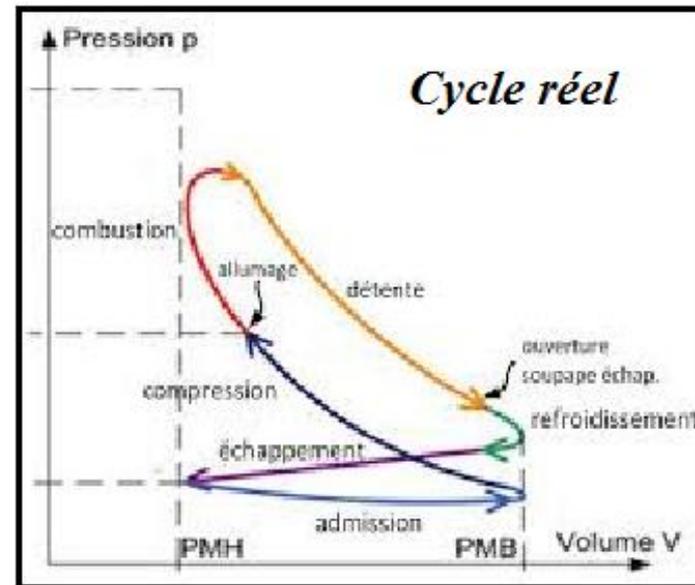
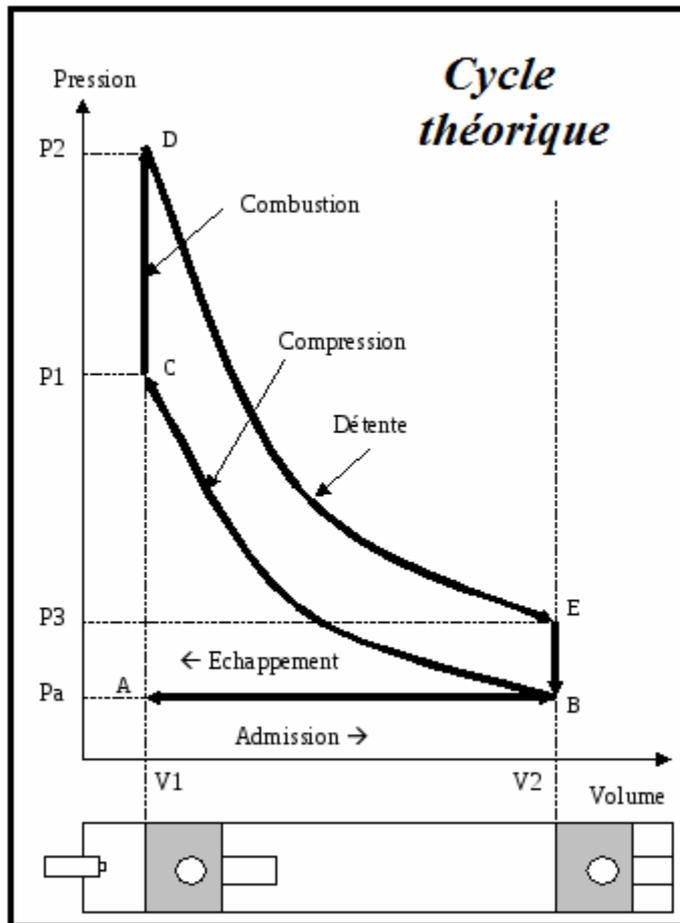
La première réalisation pratique d'un moteur à piston a été réussie par Otto chez Deutz à Cologne en 1876.

L'évolution des pressions dans la chambre de combustion en fonction du volume «cycle Beau de Rochas» est représentée dans un diagramme (P.V).

L'évolution de la pression relevée ne correspondait pas exactement au cycle théorique et le rendement en était très inférieur.

Plusieurs raisons en pratique, font que les diagrammes P.V des deux cycles sont différents.

Cycle théorique et cycle réel Essence sur diagramme P.V



Cycle théorique

Ce que suppose la théorie

- A→B : Aspiration du gaz à la **pression atmosphérique** dans le cylindre le long de la droite isobare AB ($P_A = P_B = P_a$).
- B→C : Compression **adiabatique** (sans échange de chaleur avec les parois du moteur) BC jusqu'au volume minimal V_1 , la pression devenant : P_1
- C→D : Combustion **instantanée** du gaz à volume constant le long de la droite isochore CD avec une forte élévation de température à T_2 et de la pression à P_2 .
- D→E : Détente du gaz chaud le long de l'**adiabatique** DE qui ramène le volume à V_2 , mais à une pression P_3 supérieure à celle de l'atmosphère.
- E→B : Détente théorique des gaz dans le cylindre donc la pression tombe **instantanément** à la pression atmosphérique le long de l'isochore EB, la température redescend.
- B→A : Echappement des gaz brûlés en décrivant l'**isobare** BA. Retour au point de départ A.

Cycle Réel

Les raisons qui font la différence entre les deux cycles

Admission : L'inertie des gaz augmentant avec la vitesse de rotation du moteur est responsable du remplissage **incomplet** du cylindre.

Compression : La compression **n'est pas adiabatique**. Du fait de la communication de la chaleur aux parois, la pression des gaz s'élève moins vite que dans la loi adiabatique.

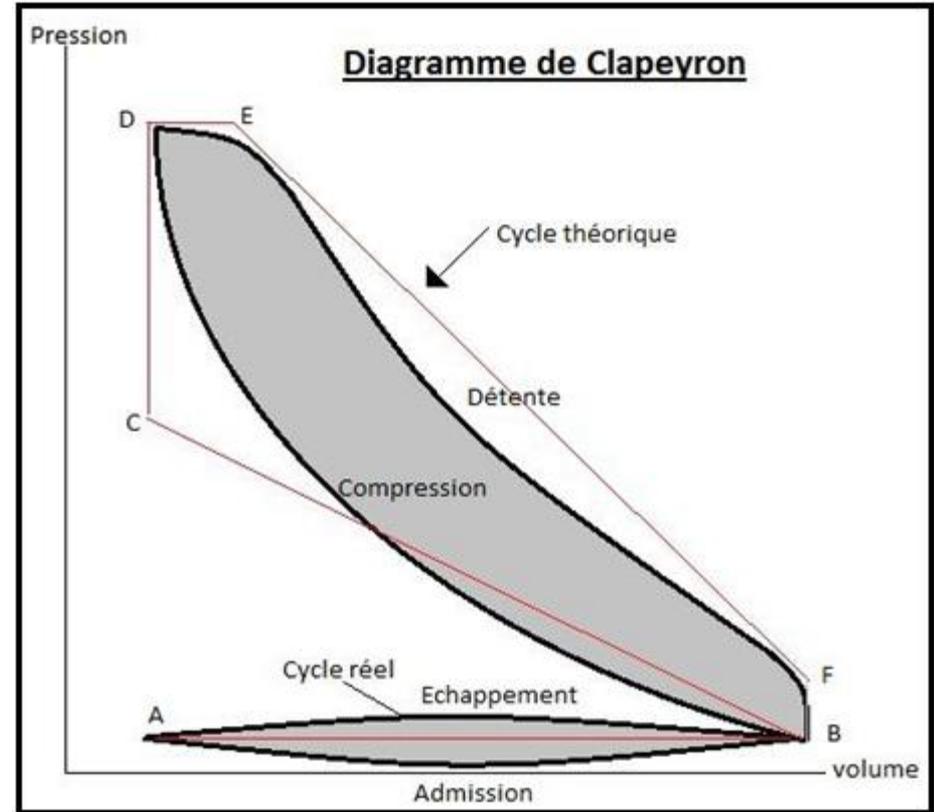
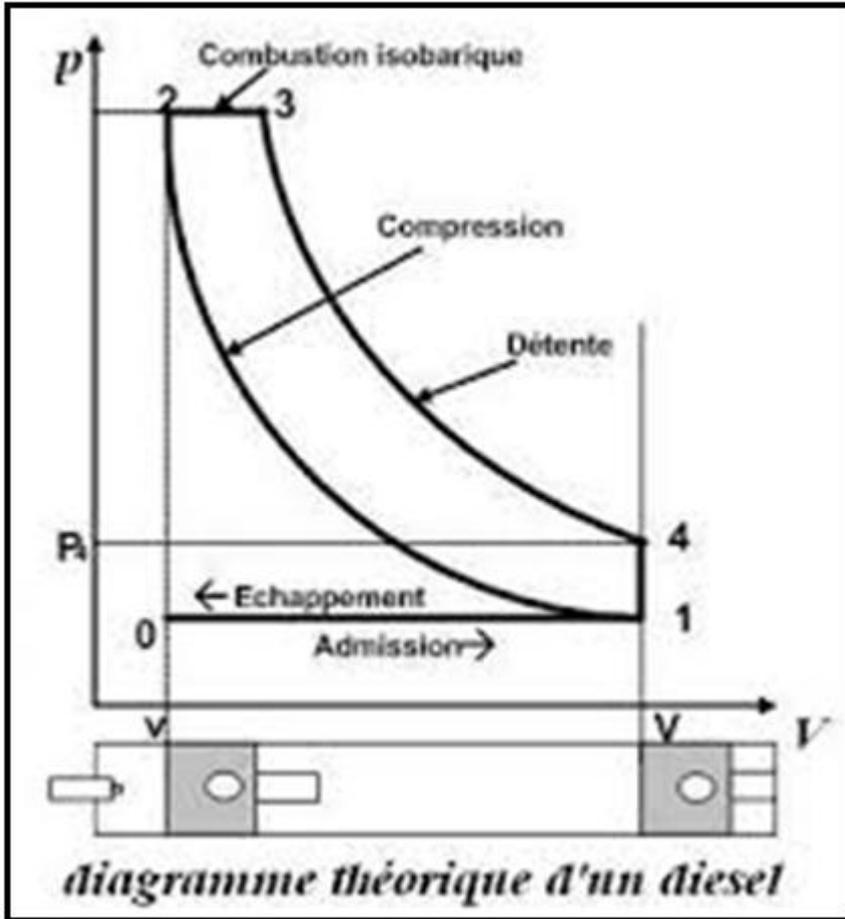
Combustion : La combustion du mélange air/essence **n'est pas instantanée** au PMH d'où une **zone de combustion arrondie** sur le diagramme.

Détente : La détente des gaz brûlés **n'est pas adiabatique** car les gaz cèdent une partie de leur chaleur aux parois.

Echappement : En fin de détente, la **pression des gaz** est nettement **supérieure** à la **pression atmosphérique**.

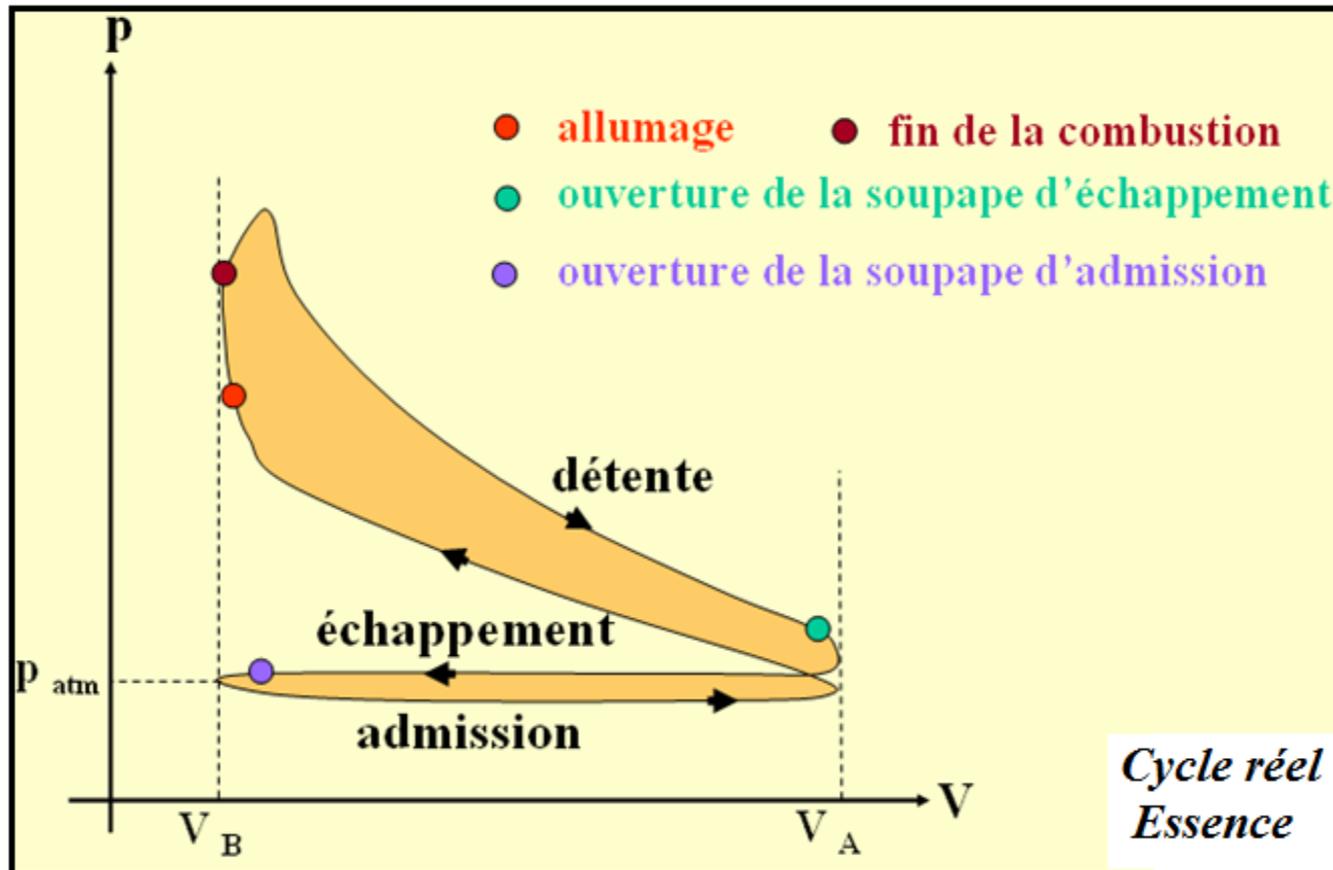
L'apport de chaleur : **Ne se fait pas à volume ou à pression constante** vu que le piston est toujours en mouvement à l'allumage ou à l'injection.

Cycle théorique et cycle réel Diesel sur diagramme P.V



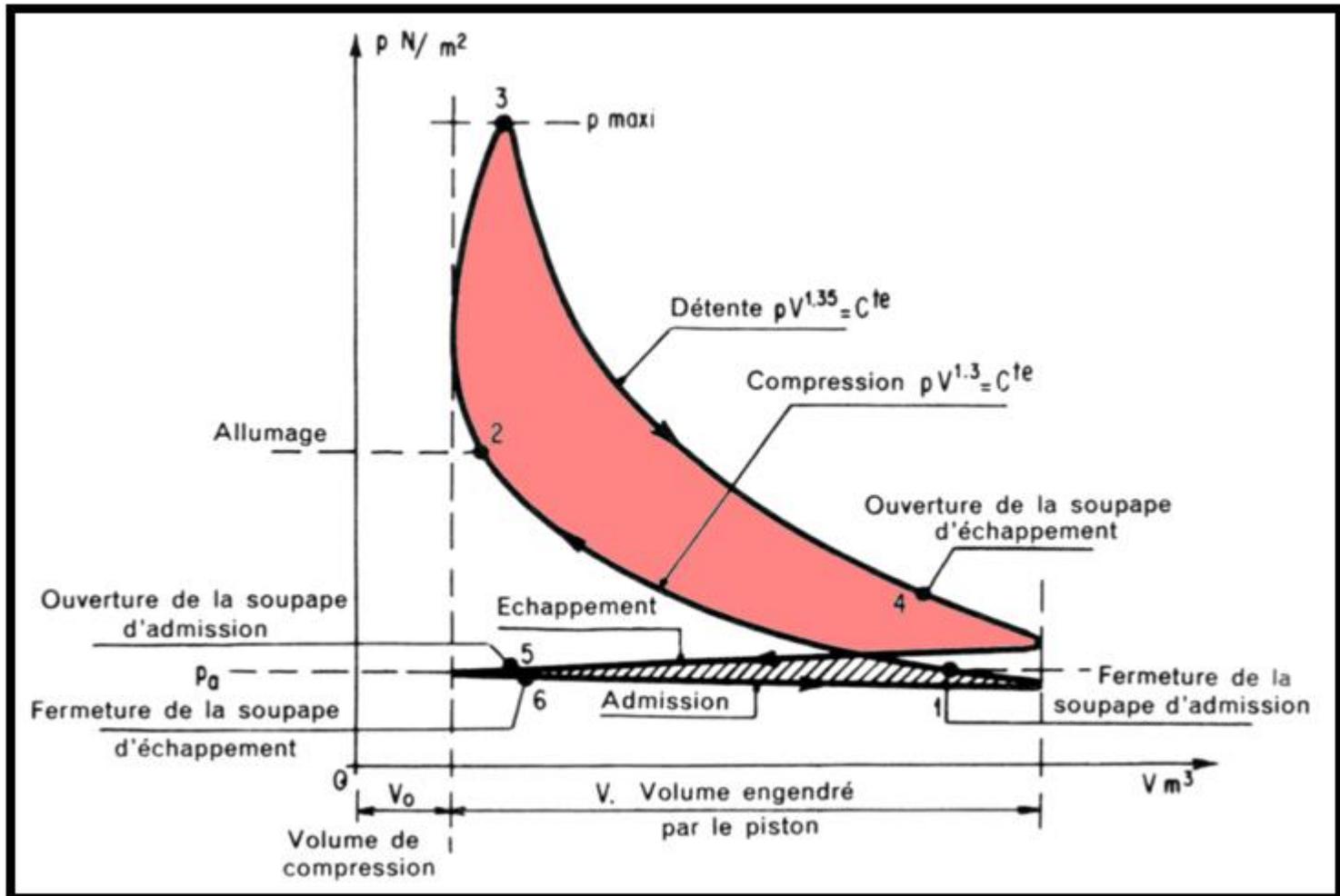
Points opérationnels stratégiques

Pour le bon fonctionnement du moteur, l'Allumage, l'injection, l'ouverture et la fermeture des soupapes doivent être effectués à des positions bien précises de la course du piston (pour un cycle).



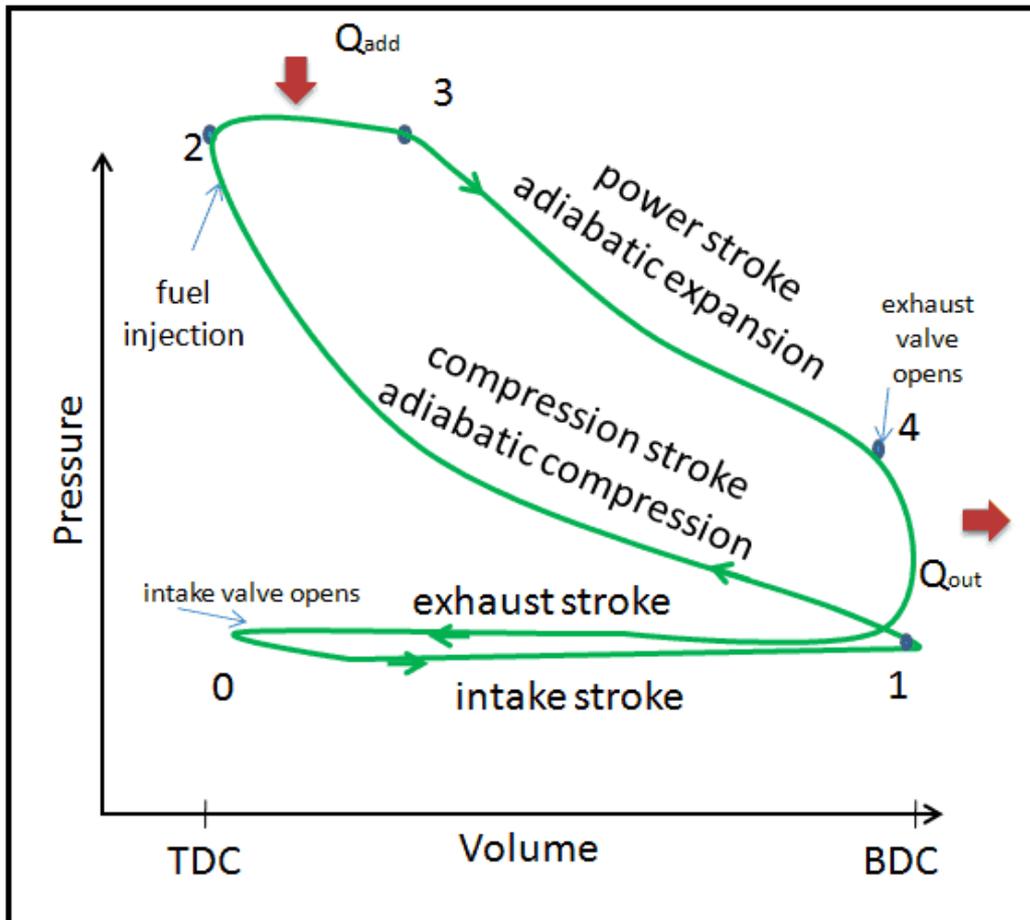
Points stratégiques sur le cycle réel de Beau De Rochas

Le choix des points 1, 2, 3, 4, 5 et 6 sur le diagramme, mène à : un bon remplissage du cylindre, une combustion complète, une optimisation de la détente, une évacuation totale des gaz brûlés.



Strategic points on Diesel real cycle

De la même manière que pour le cycle Otto, des points correspondants à l'ouverture, la fermeture des soupapes et de l'injection du gasoil sont représentés sur le diagramme.



Anglais	Français
Four strokes engines	Moteurs à quatre temps
Stroke	Se réfère au déplacement du piston (temps)
Intake stroke	Admission
Exhaust stroke	Echappement
Compression stroke	Compression
Power stroke	Détente
Fuel air mixture	Mélange air-carburant
Intake valve	Soupape d'admission
Exhaust valve	Soupape d'échappement
Compression	Compression
Expansion	Détente
Ignition	Allumage
Injection	Injection

Adresse utiles You tube

<https://www.youtube.com/watch?v=RvkSL9EP0Bk>



moteur à explosion.mp4

<https://www.youtube.com/watch?v=fTAUq6G9apg>



How Diesel Engines Work - Part - 1 (Four Stroke Combustion Cycle).mp4

<https://www.youtube.com/watch?v=qeGQgPQsJJI>



How a diesel engine works.mp4

Etude thermodynamique ; Moteur essence à 4 temps Publié par [Lucienne Janin](#)

<https://slideplayer.fr/slide/1639659/>

On injecte à des pressions plus fortes de 180 à 1.500 bars.

<http://autoreparateur.blogspot.com/p/moteur-thermique-fonctionnement-des.html>

CONCLUSION

Que se soit pour un moteur à Essence, à gaz ou à gasoil l'objectif est d'introduire le carburant avec de l'air à l'intérieur de la chambre à combustion et d'en extraire l'énergie calorifique par combustion créant une pression qui exerce une poussée sur le piston entraînant ainsi le vilebrequin dans un mouvement de rotation .

Des systèmes auxiliaires propres aux moteurs se chargeront :

D'alimenter le moteur en carburant et en air.

D'introduire une étincelle à l'intérieur du cylindre.

D'ouvrir et de fermer les soupapes d'admission et d'échappement.

De refroidir les chambre à combustion et les autres parties du moteur.

De lubrifier les pièces mécaniques en mouvement et de minimiser les frottements.

La synchronisation et la précision des opérations sont importantes pour avoir un bon rendement.

En utilisant l'électronique et l'informatique, les performances des moteurs ont beaucoup augmentées. Systèmes embarqués, électronique automobile, calculateurs, ordinateur de bord etc.

Année universitaire 2021

Module

Moteur à Combustion Interne

Partie IV

**Constitution des Moteurs à
Combustion Interne**