

Moteurs alternatifs

Code bibliothèque : 621-430

Journal : Ressources documentaires électroniques : mtz worldwide

Puissance : de 0,02 kW, 30000 tours/min (moteur de modélisme) jusqu'à 85 MW, 100 tours/min (construit par MAN en 2011 : 30 m longueur, 15 m hauteur, 4,5 m largeur, 2200 tonnes, 14 cylindres de \varnothing 1 m, consommation de gazole : 6300 l/h (navire, centrale électrique))

1 Principe de fonctionnement d'un moteur diesel à quatre temps (réalisé par Rudolf Diesel en 1897) : alimenté en **gazole** (ou gasoil de l'anglais : gas oil)

Quatre temps : 1 cycle = 1 aller, 1 retour, 1 aller, 1 retour

1^{er} temps :

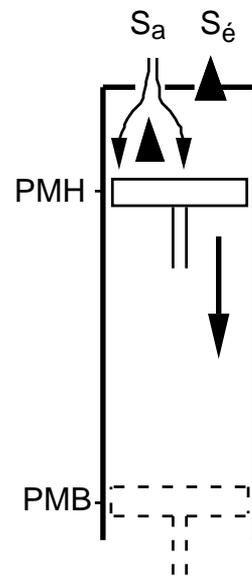
_____ de l'air

S_a : Soupape d'admission

S_e : Soupape d'échappement

PMH : Point mort haut

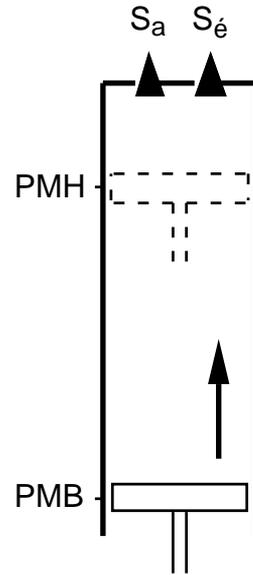
PMB : Point mort bas



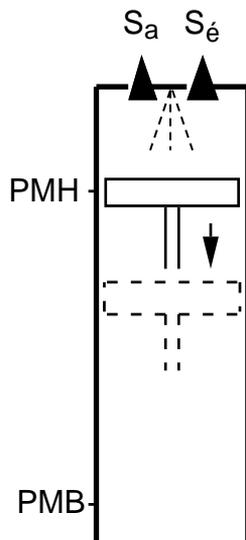
2^e temps :

_____ de l'air

$$\frac{V_1}{V_2} = 16 ; \quad p_2 = 40 \text{ bar} ; \quad \theta_2 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$$

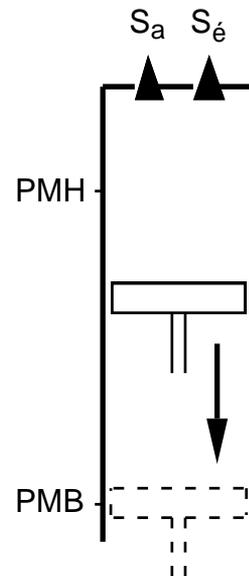


3^e temps :



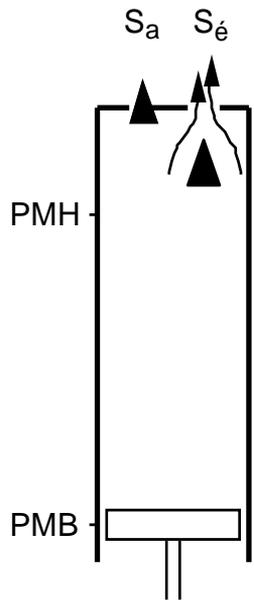
_____ du gazole au PMH,
 _____ du gazole
 (dû à la température élevée de l'air) et
 _____ .

$$p_3 = 80 \text{ bar} ; \quad \theta_3 = 2000 \text{ }^\circ\text{C}$$

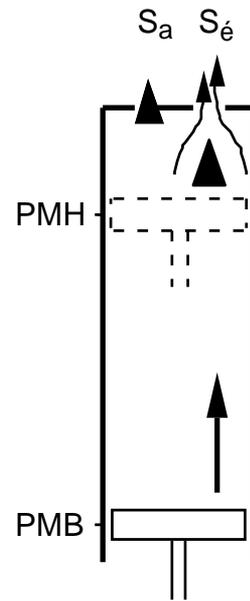


La combustion est finie.
 _____ des gaz
 d'échappement.

4^e temps :



_____ de la soupape
d'échappement.

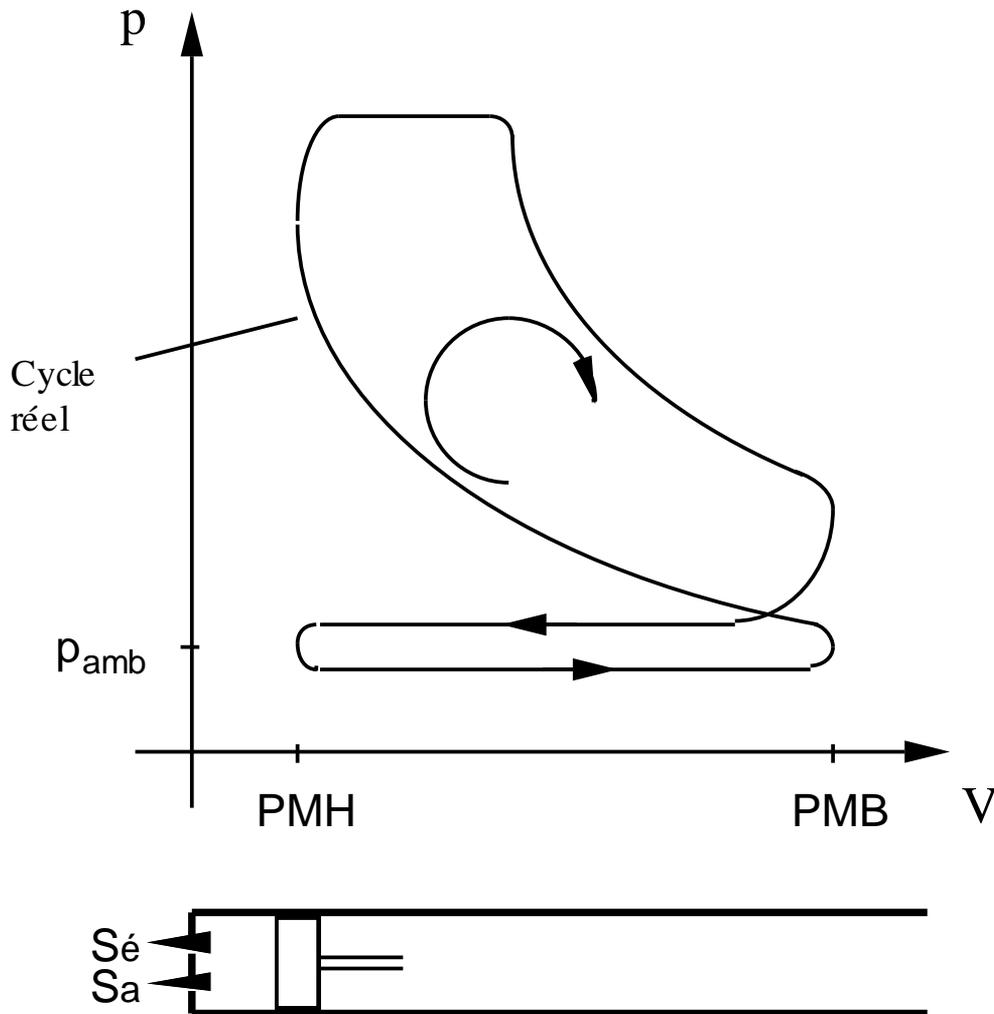


_____ des
gaz d'échappement par le pis-
ton.

2 Cycle thermodynamique réel et idéal d'un moteur diesel

On utilise un diagramme p/V :

Le volume V peut être facilement déterminé si on connaît la position du piston.



PPT appliqué au cycle idéal du moteur diesel :

Rappel : $Q_{e12} + W_{pV12} + W_{i12} = U_2 - U_1$ [TA: (1)]

$$W_{pV12} = \int_1^2 p \, dV$$

1 → 2 : Compression adiabatique et réversible de l'air :

$$W_{pV12} = \frac{1}{\gamma - 1} (p_2 V_2 - p_1 V_1) \quad [TA: (31)]$$

2 → 3 : Combustion isobare du mélange air/gazole :

$$W_{pV23} = -p(V_3 - V_2)$$

3 → 4 : Détente adiabatique et réversible des gaz d'échappement :

$$W_{pV34} = \frac{1}{\gamma - 1} (p_4 V_4 - p_3 V_3)$$

(4 → 1 Enlèvement de la chaleur à V = const.

$$Q_{e41} = U_1 - U_4 \quad)$$

3 Le rendement d'un moteur diesel

$$= 1 + \frac{Q_{e41}}{Q_{e23}} = 1 + \frac{U_1 - U_4}{U_3 - U_2 + p \cdot (V_3 - V_2)} = 1 + \frac{U_1 - U_4}{H_3 - H_2} = 1 + \frac{m \cdot c_v \cdot (T_1 - T_4)}{m \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2)}$$

(1.1)

Il est préférable d'exprimer le rendement en fonction de V et pas en fonction de T :

On définit : $\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_{PMB}}{V_{PMH}}$ rapport volumétrique (aussi appelé taux de compression)

$\varphi = \frac{V_3}{V_2} = \frac{V_{\text{fin de la combustion}}}{V_{\text{debut de la combustion}}}$ rapport volumétrique de la combustion

Reprenons l'expression pour le rendement thermique

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)^* T_1}{\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)^* T_2}$$

et remplaçons les rapports de température par des rapports de volume :

Nous avons vu pour la transformation isentropique 1 → 2 la relation suivante:

$$[\text{TA: (28)}] \tag{1.2}$$

Nous avons vu pour la transformation isobare 2 → 3 la relation suivante :

$$[\text{TA: (26)}] \tag{1.3}$$

On obtient pour le rapport T_4/T_1 :

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_2 * \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}}{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}} = \frac{\left(\frac{V_3}{V_2}\right)^{\gamma-1} * \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}}{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}} = \varphi * \frac{\left(\frac{V_3 * V_2}{V_2 * V_1}\right)^{\gamma-1}}{\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}} = \tag{1.4}$$

On obtient finalement pour le rendement thermique :

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\varphi^{\gamma} - 1}{\varphi - 1} * \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$$

4 Principe de fonctionnement d'un moteur à essence à quatre temps (théorie par Alphonse Beau de Rochas en 1862, réalisé par Nikolaus Otto en 1867, première automobile avec moteur à combustion par Carl Benz en 1887)

1^{er} temps : Aspiration du _____

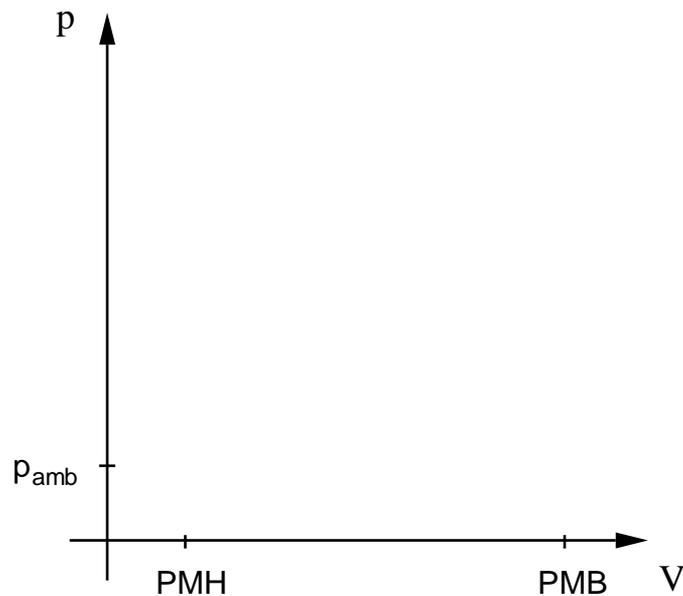
2^e temps : Compression du mélange air/essence $\theta_2 = 400\text{ °C}$

3^e temps : Inflammation du mélange air/essence _____
de la bougie d'allumage et combustion _____ .
 $p_3 = 50\text{ bar}$ $\theta_3 = 2500\text{ °C}$

Détente des gaz d'échappement.

4^e temps : Ouverture de la soupape d'échappement
et refoulement des gaz d'échappement par le piston.

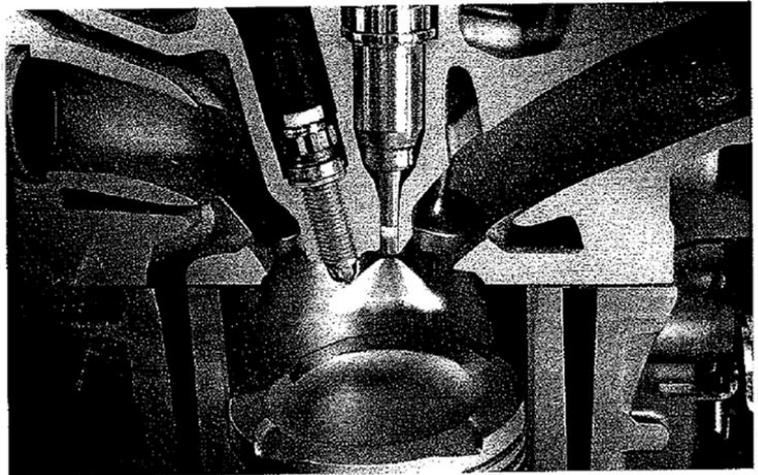
Cycle idéal :



Rendement : voir exercice 1

Nouveautés concernant le moteur à essence :

- Moteur HPi (ou FSI) :
- * Moteur à **Haute Pression** et **injection directe**, aussi appelé GDI (Gasoline Direct Injection), moteur à injection directe ou moteur à charge stratifiée
 - * sur le marché depuis 2001 (Citroën C5 et Peugeot 406)
 - * Aspiration _____ , _____ pendant la deuxième moitié de la compression, le nuage d'essence touche la bougie d'allumage et est allumé par une étincelle de la bougie.



- * Avantages : - plus grand taux de compression → 20 % moins de consommation et du CO₂ ; mais plus de NO_x, CO et de particules

Moteur CAI :

Autoallumage pré réglé (CAI : **C**ontrolled **A**uto**I**gnition ou GCI)

- * premiers prototypes (Daimler, Volkswagen, Opel) CAI entre 1000 et 3500 tours/min (en dehors : moteur à essence classique)
- * injection dans la chambre de combustion à la fin de l'aspiration ; allumage du mélange air/essence dans le cylindre _____ ; _____

- * Avantages : combustion quasiment instantanée = 20 % moins de consommation (en ville), jusqu'à 99 % moins de NO_x, moins de CO
- * Difficulté : enflammer le mélange air/essence au bon moment (obtenir 30 bar un peu avant le point mort haut)

Moteur RCCI :

RCCI : **R**eactivity **C**ontrolled **C**ompression **I**gnition (Delphi 2016)

- fonctionne comme un moteur CAI, mais la « pression critique de l'explosion du mélange air/essence » est atteinte par la combustion d'une petite quantité de gazole injecté un peu avant le PMH.

-
- Moteur SPCCI : SPCCI : **S**Park **C**ontrolled **C**ompression **I**gnition (Mazda 3 Skyactiv-X, commercialisé en 2019)
- fonctionne comme un moteur CAI, mais la « pression critique de l'explosion du mélange air/essence » est atteinte par l'allumage par une bougie d'une petite quantité d'essence injecté un peu avant le PMH.
Ce moteur émet beaucoup moins de CO₂ qu'une voiture d'essence, mais un peu plus qu'une voiture diesel.

5 Comparaison entre un moteur diesel et un moteur à essence

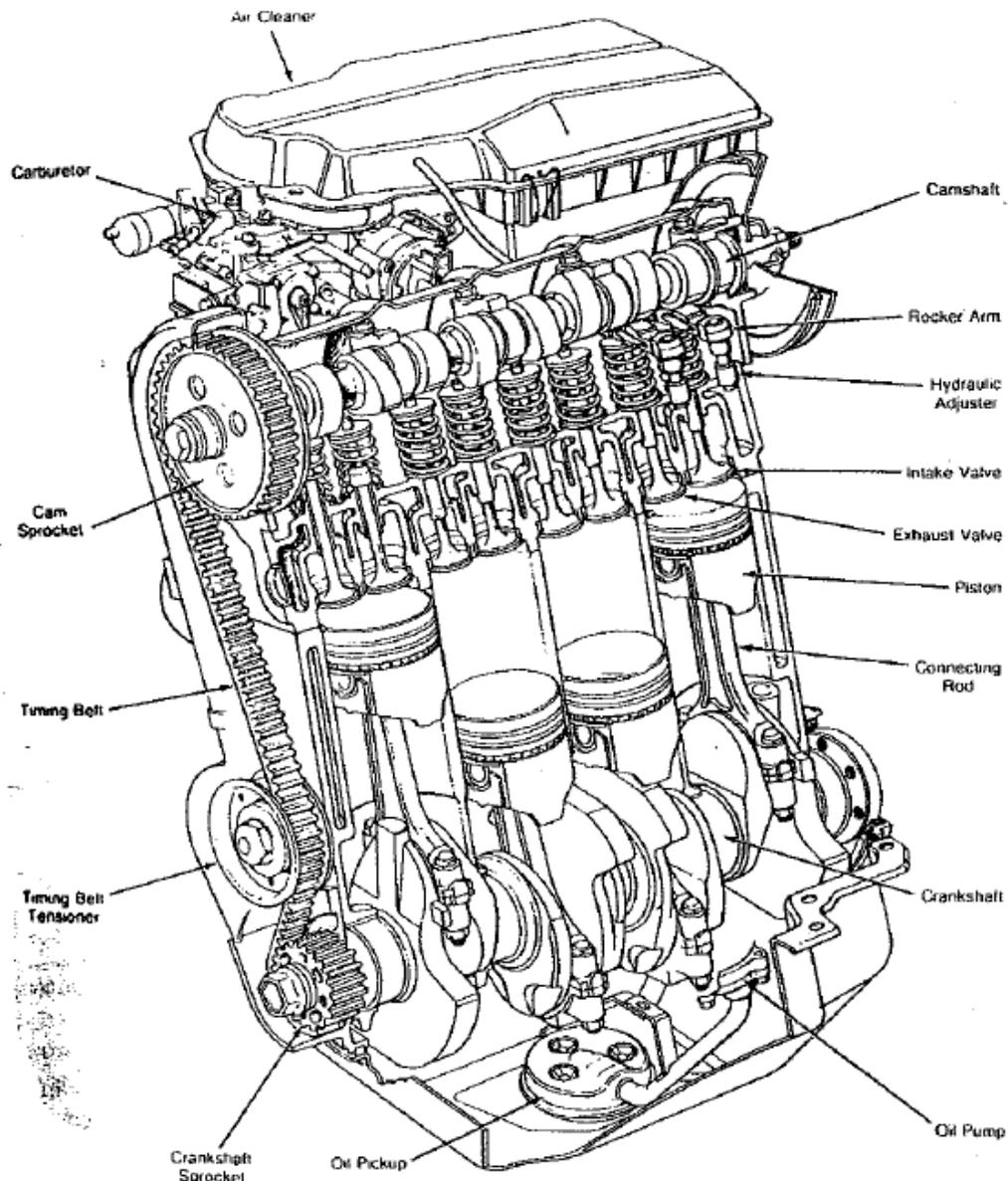
	Moteur diesel	Moteur à essence
Inflammation	Le gazole s'enflamme _____ qu'il est injecté dans l'air comprimé et chaud du cylindre.	Avant que l'inflammation commence le mélange air/essence est déjà dans le cylindre. L'inflammation de l'essence est _____ à l'aide de l'étincelle de la bougie d'allumage (ou par compression du mélange air/essence (moteur CAI)).
Rapport volumétrique (taux de compression)		
Rendement effectif (à l'arbre de sortie du moteur)		

Différence entre le carburant « essence » et le carburant « gazole » :

La différence concerne la facilité avec laquelle le carburant _____.

- Dans le moteur à essence le carburant est mélangé avec de l'air avant d'entrer dans le cylindre. On a besoin d'un carburant qui s'évapore et mélange rapidement avec l'air : l'essence.
- Dans le moteur diesel le carburant est injecté dans le cylindre. On a besoin d'un carburant qui ne s'évapore pas trop vite (autrement tout le carburant brûle près de l'orifice de l'injecteur) et pas trop lentement (autrement du carburant liquide se dépose sur les parois du cylindre) : le gazole.

6 Moteur à essence à quatre temps



La figure au dessus montre un moteur à quatre cylindres. Chaque cylindre se trouve dans un autre temps :

- le 1^{er} piston de droite commence à aspirer le mélange air/essence (1^{er} temps)
- le 2^e piston de droite commence à comprimer le mélange air/essence (2^e temps)
- le 4^e piston de droite commence à détendre les gaz d'échappement. (3^e temps)
- le 3^e piston de droite commence à refouler les gaz d'échappement. (4^e temps)

C'est donc _____ qui fournit un travail entraînant le vilebrequin, l'arbre à cames et les trois autres cylindres qui consomment du travail pour aspirer, comprimer et refouler le gaz.