

Chapitre 1 : Les cycles thermodynamiques moteurs 3^{ème} séance

3. Cycles moteurs

3.1. Cycles moteurs à gaz

3.1.1. Moteurs à combustion interne (MCI)

Le moteur à combustion interne (MCI) est une machine qui convertit, à l'intérieur d'une chambre de combustion, l'énergie chimique recélée dans un carburant en chaleur et en énergie mécanique.



Les MCI peuvent être classés en deux catégories :

← Les moteurs à écoulement continu
(Turbines à gaz "TAG")

← Les moteurs à mouvement alternatif
(Moteurs à allumage commandé "Moteurs à essence"
ou à allumage par compression "Moteurs Diesel")

Tous les MCI à mouvement alternatif sont régis par le même principe de fonctionnement ; on y trouve essentiellement les mêmes éléments :

- la **chambre de combustion** qui est le volume à l'intérieur duquel pénètrent et réagissent chimiquement les gaz ;
- le **cylindre** qui est le prolongement de la chambre de combustion ;
- le **piston** qui se déplace dans le cylindre et fait varier le volume de la chambre de combustion ;
- le système **bielle-manivelle** qui est solidaire, à une extrémité, du piston et, à l'autre, du **vilebrequin**, et qui transforme le mouvement de va-et-vient du piston en un mouvement de rotation ;
- le **bloc-moteur** qui constitue l'enveloppe mécanique de l'ensemble.

<https://youtu.be/BcRvhP5oKJU>
<https://youtu.be/ASxtRMEs5xg>
<https://youtu.be/iXIXYdvu50M>

C'est à l'intérieur de la **chambre de combustion**, délimitée par le cylindre et le piston, que se déroule le **cycle thermodynamique** qui peut être un cycle à quatre temps ou à deux temps.

Durant le cycle thermodynamique, l'échange des gaz avec l'extérieur se fait au moyen des **soupapes d'admission** (l'admission des gaz à l'intérieur du cylindre) et de **soupapes d'échappement** (l'échappement des gaz vers l'extérieur).

Le **piston** se déplace dans le cylindre entre deux positions extrêmes : le **point mort bas** (PMB) du côté de la **manivelle** (le volume du cylindre est alors maximal, V_{\max}) et le **point mort haut** (PMH) du côté de la tête (le volume du cylindre est alors minimal, V_{\min}). Ce volume minimal est appelé le **volume de compression**.

La distance séparant le PMB du PMH est la **course du piston**, et le diamètre du cylindre est appelé l'**alésage**.

La différence entre V_{\max} et V_{\min} est la **cylindrée**.

$$V_{\max} - V_{\min} = \text{Cylindrée}$$

Le rapport du volume maximal du cylindre au volume minimal, appelé le **taux de compression**, est :

$$\tau = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{V_{\text{PMB}}}{V_{\text{PMH}}}$$

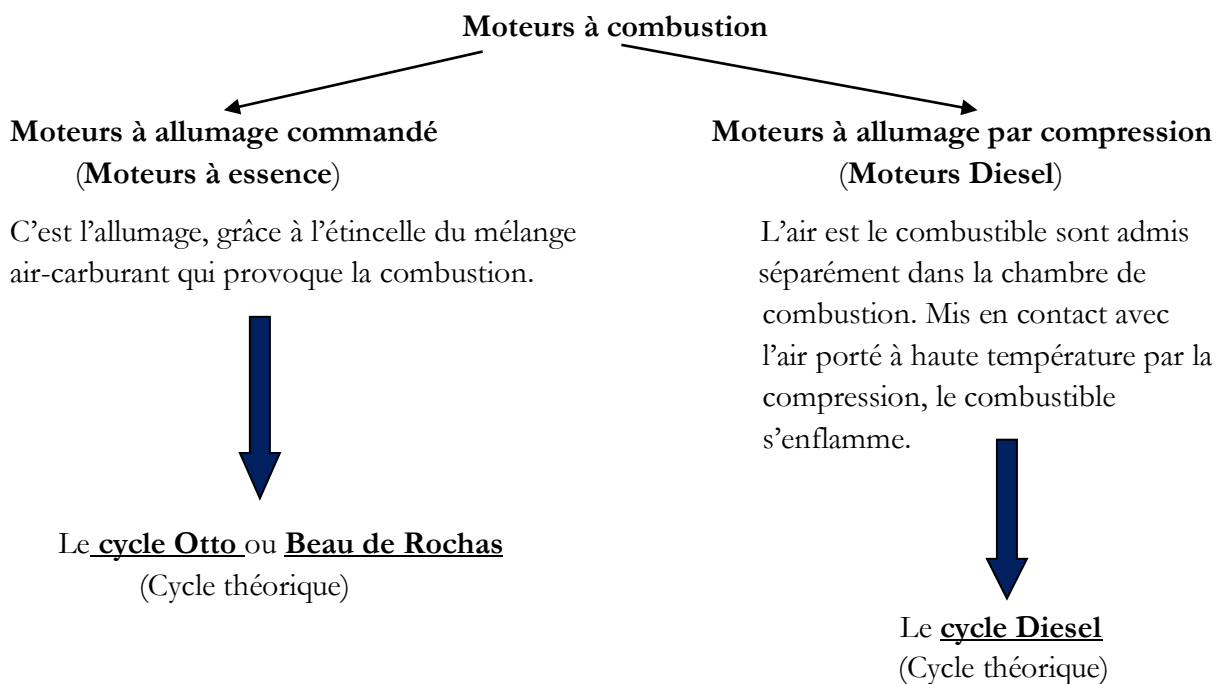
La **pression moyenne effective** (PME) est définie comme la pression qui, si elle agissait sur le piston pendant toute la course motrice, ferait un travail égal au travail réel sur le piston.

Le travail effectué au cours d'un cycle est le produit de cette pression moyenne effective par l'aire du piston et par la course ($W_{\text{net}} = \text{PME} \times \text{Aire} \times \text{Course} = \text{PME} \times \text{Cylindrée}$). Alors :

$$\text{PME} = \frac{W_{\text{net}}}{V_{\max} - V_{\min}} = \frac{W_{\text{net}}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

L'intérêt de PME est qu'elle permet de comparer entre eux des moteurs de mêmes cylindrées. Plus cette pression est élevée, plus le travail produit à chaque cycle est grand.

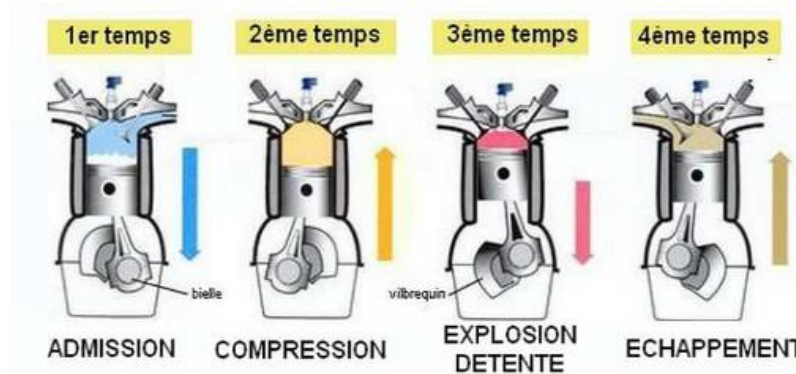
Parmi les moteurs à combustion, on distingue les **moteurs à allumage commandé** des **moteurs à allumage par compression**.



Cycle Otto

Le Français **Beau de Rochas** a proposé le moteur à allumage commandé en **1862** et l'Allemand **Nikolaus Otto** l'a construit en **1876**. Ce moteur à allumage commandé décrit un cycle thermodynamique en quatre temps ou en deux temps, et le cycle est connu sous le nom de **cycle Otto** ou **cycle Beau de Rochas**.

Dans le **moteur à quatre temps**, le piston exécute quatre courses complètes (deux cycles mécaniques) au sein du cylindre, et le vilebrequin effectue deux révolutions pour chaque cycle thermodynamique. On peut comparer le cycle réel d'un moteur à allumage commandé au cycle Otto théorique.



<https://youtu.be/BcRvhP5oKJU>
<https://youtu.be/ASxtRMEs5xg>
<https://youtu.be/iXIXYdnu50M>

Si on admet les hypothèses d'air standard simplifiées, le cycle Otto théorique comprend les quatre évolutions réversibles intérieurement :

- La compression isentropique 1 – 2 ;
- L'apport de chaleur à volume constant 2 -3 ;
- La détente isentropique 3 – 4 ;
- L'évacuation de chaleur à volume constant 4 – 1.

Le cycle est illustré dans le diagramme T – s de la figure suivante :

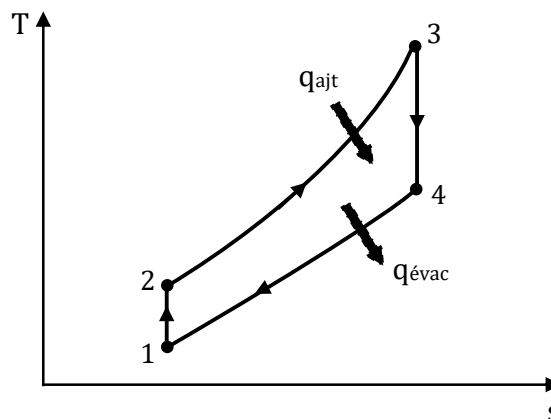


Diagramme T – s du cycle Otto théorique

Le cycle Otto théorique est exécuté dans un système fermé pour lequel la variation des énergies cinétique et potentielle est négligeable.

Le bilan d'énergie pour l'ensemble du cycle est :

$$(q_{\text{ajt}} - q_{\text{évac}}) + (w_{\text{ajt}} - w_{\text{évac}}) = \Delta u \quad (\text{kJ/kg})$$

Or, la chaleur ajoutée au système est :

$$q_{\text{ajt}} = u_3 - u_2 = c_v (T_3 - T_2)$$

et la chaleur évacuée est :

$$q_{\text{évac}} = u_4 - u_1 = c_v (T_4 - T_1)$$

Le rendement thermique du cycle est donc :

$$\eta_{\text{th,Otto}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{ajt}}} = 1 - \frac{q_{\text{évac}}}{q_{\text{ajt}}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Les évolutions 1 – 2 et 3 – 4 sont isentropiques, et $V_2 = V_3$ et $V_4 = V_1$. Alors :

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{\gamma-1} = \frac{T_4}{T_3}$$

Si on substitue l'expression précédente dans l'expression du rendement thermique, on obtient :

$$\eta_{\text{th,Otto}} = 1 - \frac{1}{\tau^{\gamma-1}}$$

Le taux de compression est :

$$\tau = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

et le rapport des chaleurs massique est

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

On constate que le rendement du cycle Otto théorique ne dépend que du taux de compression du moteur et du rapport des chaleurs massiques du fluide moteur. Le rendement thermique croît en fonction de ces deux paramètres. Cette conclusion s'applique également aux moteurs à allumage commandé.

Pour réaliser une combustion complète d'1g de carburant conventionnel (Essence ou gazole), il faut, en théorie, environ 14.6 g d'air. Ce mélange idéal est appelé mélange stœchiométrique.