Cycles thermodynamiques appliqués au moteurs

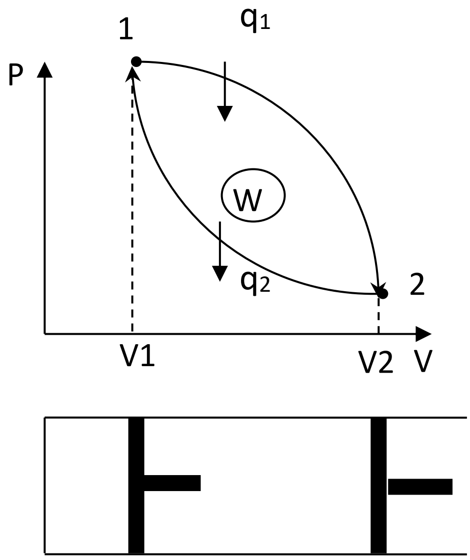
II.1 Introduction :

Un gaz enfermé dans un cylindre à piston peut effectuer un travail en subissant les transformations provoquant une variation de volume (augmentation) grâce à une quantité de chaleur reçue de l'extérieur.

II.2 Les cycles thermodynamique du moteur :

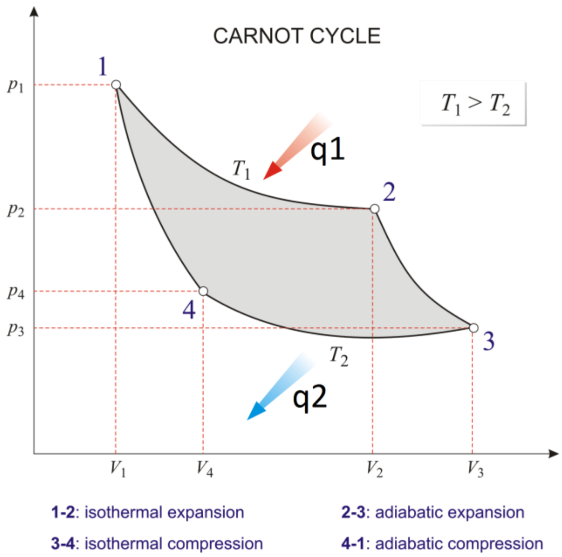
II.2.1 Cycle de Carnot :

Pour assurer un fonctionnement continu, on doit répéter périodiquement le phénomène de détente en portant le gaz à l'état initial après chaque détente par une compression telle que le travail de compression soit inférieur au travail de détente.



$$\eta_{th} = \frac{w}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$
$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

D'après la théorie de la thermodynamique le cycle le plus simple et donnant le maximum de rendement et le cycle de Carnot.



Constitué de deux isothermes et de deux adiabatique

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_2}{q_1}, \delta q = Tds$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{-T_2(s_2 - s_1)}{T_1(s_1 - s_2)}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Le rendement théorique du cycle de Carnot dépend uniquement des températures des deux sources T_1 et T_2.

II.2.2 Cycles idéaux du moteur à combustion interne :

Le cycle de Carnot n'est pas réalisable réellement à cause des imperfections constructives et thermodynamiques. En effet le cycle met en jeu des pressions et des volumes très importants, d'autre part le taux de compression ρ peut dépasser 400 ce qui n'est pas réalisable. La pratique a montré qu'il est plus convenable d'élaborer 3 types fondamentaux de cycles idéaux.

a) Cycle avec apport de chaleur à V= constant

b) Cycle avec apport de chaleur à P=constant

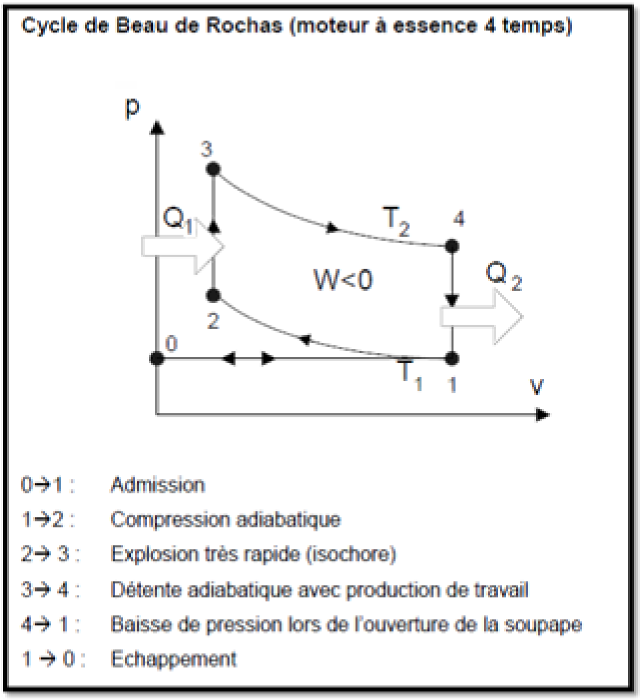
c) Cycle avec apport de chaleur mixte (V=const. Et P=const.)

On admet pour un cycle idéal :

- Fluide moteur parfait
- Transformation réversible
- Paroi thermiquement isolé

II.2.3 Cycle avec apport de chaleur à volume constant (cycle de BEAU DE ROCHAS, **OTTO):**

La combustion se produit à volume constant ce type de diagramme est utilisé dans les moteur à allumage commandé.



On définit :

$\beta = \frac{P_3}{P_1}$ Rapport manométrique ou taux d'élévation de pression

$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$ Taux de compression

$k = \frac{c_p}{c_v}$ coef. Adiabatique

II.2.3.1 Paramètres pour les différents états :

Transformation 1-2 (adiabatique):

On a :

$$p_1 v_1^K = p_2 v_2^K$$

$$p_2 = p_1 \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^K$$

$$p_2 = p_1 (\varepsilon)^K$$

D'autre part :

$$\frac{v_1}{v_2} = \varepsilon$$

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$$

Pour T :

$$T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_2^{k-1}$$

$$T_2 = Tp_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$
$$T_2 = T_1(\varepsilon)^{k-1}$$

Transformation 2-3 (isochore):

On a donc :

$$V_2 = V_3$$

Et :

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \beta$$
$$P_3 = P_2\beta$$
$$P_3 = P_1(\varepsilon)^K\beta$$

Pour T :

$$T_3 = T_2\beta$$
$$T_3 = T_1(\varepsilon)^{k-1}\beta$$

Transformation 1-2 (adiabatique):

On a :

$$p_3v_3^K = p_4v_4^K$$
$$p_4 = p_3\left(\frac{v_3}{v_4}\right)^K$$
$$p_4 = p_3\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^K$$
$$p_4 = p_3\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^K$$
$$p_4 = p_1\frac{\beta\varepsilon^K}{\varepsilon^k}$$
$$p_4 = p_1\beta$$

D'autre part :

$$\frac{v_1}{v_2} = \varepsilon$$
$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$$

Pour T :

$$T_3V_3^{k-1} = T_4V_4^{k-1}$$
$$T_4 = T_3\left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1}$$
$$T_4 = T_3\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^{k-1}$$

$$T_4 = T_1 \frac{\beta\varepsilon}{\varepsilon^{k-1}}^{k-1}$$

$$T_4 = T_1\beta$$

	1	2	3	4
P	P_1	$P_1\varepsilon^k$	$\beta P_1\varepsilon^k$	βP_1
V	V_1	$\frac{V_1}{\varepsilon}$	$\frac{V_1}{\varepsilon}$	V_1
T	T_1	$T_1\varepsilon^{k-1}$	$\beta T_1\varepsilon^{k-1}$	βT_1

II.2.3.2 Le billon du cycle :

$$\eta_{th} = \frac{|w|}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

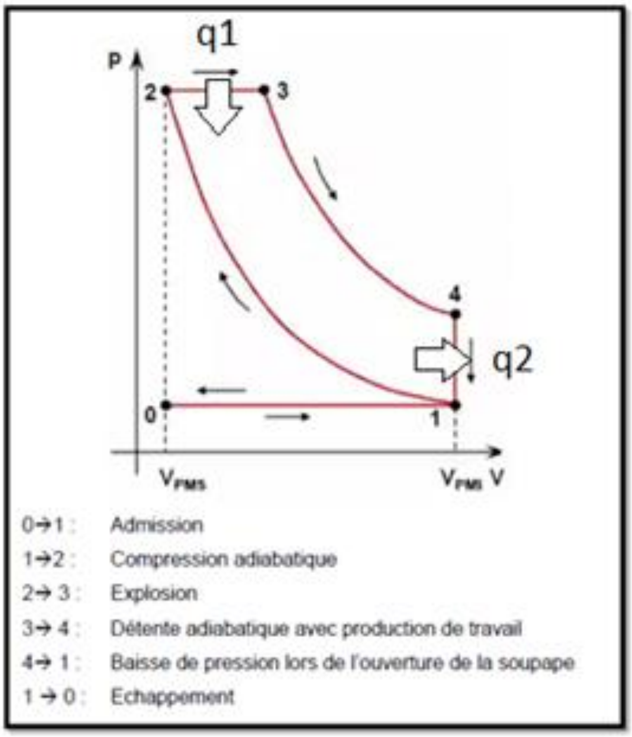
$$\eta_{th} = 1 - \frac{mC_v(T_4 - T_1)}{mC_v(T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{(\beta T_1 - T_1)}{(\beta T_1\varepsilon^{k-1} - T_1\varepsilon^{k-1})}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

II.2.4 Cycle avec apport de chaleur à pression constante (cycle diesel):

La combustion se produit à pression constante sur le cycle Diesel généralement utilisé pour moteur diesel fixe ayant une puissance de 500 à 1500 Chauveau.



II.2.4.1 Paramètres pour les différents états :

	1	2	3	4
P	P_1	$P_1\varepsilon^k$	$P_1\varepsilon^k$	$\varphi^k P_1$
V	V_1	$\frac{V_1}{\varepsilon}$	$\frac{\varphi V_1}{\varepsilon}$	V_1
T	T_1	$T_1\varepsilon^{k-1}$	$\varphi T_1\varepsilon^{k-1}$	$\varphi^k T_1$

$\varphi = \frac{V_3}{V_2}$: Coefficient de détente préalable

II.2.4.2 Le billon du cycle :

$$\eta_{th} = \frac{|w|}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

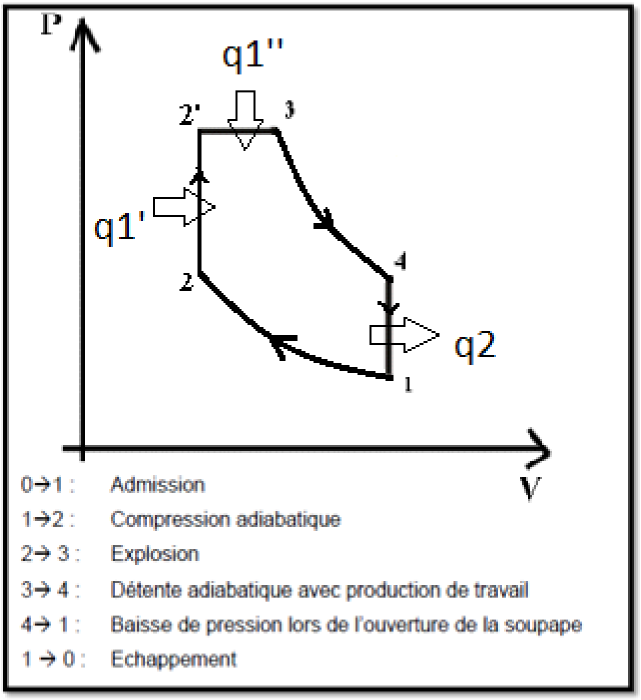
$$\eta_{th} = 1 - \frac{mC_v(T_4 - T_1)}{mC_p(T_3 - T_2)}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{(\varphi^k T_1 - T_1)}{(\varphi T_1\varepsilon^{k-1} - T_1\varepsilon^{k-1})}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}\left(\frac{\varphi^k - 1}{k(\varphi - 1)}\right)$$

II.2.5 Cycle avec apport de chaleur à volume et pression constants (cycle mixte):

le cycle utilisé pour pratiquement tous les moteurs diesel (routier, léger, auto…).



II.2.5.1 Paramètres pour les différents états :

	1	2	2'	3	4
P	P_1	$P_1\varepsilon^k$	$\beta P_1\varepsilon^k$	$\beta P_1\varepsilon^k$	$\beta\varphi^k P_1$
V	V_1	$\frac{V_1}{\varepsilon}$	$\frac{V_1}{\varepsilon}$	$\frac{\varphi V_1}{\varepsilon}$	V_1
T	T_1	$T_1\varepsilon^{k-1}$	$\beta T_1\varepsilon^{k-1}$	$\varphi\beta T_1\varepsilon^{k-1}$	$\beta\varphi^k T_1$

II.2.5.2 Le billon du cycle :

$$\eta_{th} = \frac{|w|}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}, \; q_1 = q_1' + q_1''$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{mC_v(T_4 - T_1)}{mC_v(T_{2'} - T_2) + mC_p(T_3 - T_{2'})}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{\beta\varphi^k - 1}{\varepsilon^{k-1}(\beta - 1 + \beta(\varphi - 1)}$$