

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**BADJI MOKHTAR ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA**



جامعة باجي مختار عنابة

**FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGÉNIORAT
DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**

**MEMOIRE
PRÉSENTE EN**

**VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE MASTER
INTITULE**

**Etude de cycle et de performances d'un moteur à
combustion interne**

**DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : MASTER**

SPÉCIALITÉ : ENERGETIQUE

PRÉSENTÉ PAR : MEDELLEL AYMEN

EXAMINATEURS :

**PR.B-MERZOUG
PR.R-SARI
DR.A-HOUAM**

**UBM- ANNABA
UBM-ANNABA
UBM-ANNABA**

Sommaire:

Introduction Générale.

- **Chapitre I : Généralités sur les moteurs à combustion interne**

I.1/ Généralités Sur Les Moteurs Thermiques.

I.2/ Classification des moteurs à combustion interne.

I.3/ les moteurs alternatifs.

I.3.1/ Cycle théorique d'un moteur a quatre temps (à essence) .

I.3.2/Cycle théorique d'un moteur à quatre temps (Diesel).

I.3.3/ Les moteurs à deux temps.

I.4/ Rappels thermodynamiques .

I.4.1/ transformation de l'état d'un gaz

- I.4.2/ transformation isotherme.
- I.4.3/ transformations isobare et isochore.
- I.4.4 transformation adiabatique.
- I.5/ Etude thermodynamique d'un moteur a combustion interne.
- I.5.1/ Cycle de Carnot.
- I.5.2/ Rendement du cycle de Carnot.
- I.6. Les Organes D'un Moteur Thermique.
- I.7 / Les principales terminologies, formules et performance utilisées.
- I.7.1/ Terminologie.
- I.7.2/ Formules.
- I.7.3/ Paramètres de performance d'un moteur à combustion interne.

Chapitre II : Généralité sur les systèmes auxiliaires

- II.1/ Introduction.
- II.2/ Système d'allumage.
 - II.2.1/Différents types d'allumage.
 - II.2.2/L'allumage classique par batterie.
- II.3/ Système de lubrification.
 - II.3.1/ Les organes du système de lubrification.
 - II.3.2/ Le circuit de lubrification.
- II.4/ Système De Refroidissement.
 - II.4.1.Définition.
 - II.4.2/ Organes et accessoires du système de refroidissement.
-

II.4.3/ Circuit de refroidissement.

- II.5/ Système De Distribution.
- II.5.1/ les différents types de distribution.
- II.6/ Alimentation en carburant

Chapitre III : Etude du cycle théorique du moteur à explosion

- III.1/ déterminons les températures T_C T_D et T_E
- III.2/ Calcul du travail
- III.3 /Calcul du rendement

Introduction générale

Chapitre I : Généralités sur les moteurs à combustion interne

I.1/ GENERALITES SUR LES MOTEURS THERMIQUES

Les moteurs thermiques ont pour rôle de convertir l'énergie thermique en énergie mécanique. Généralement, les moteurs sont classés selon le mode de combustion en deux types:

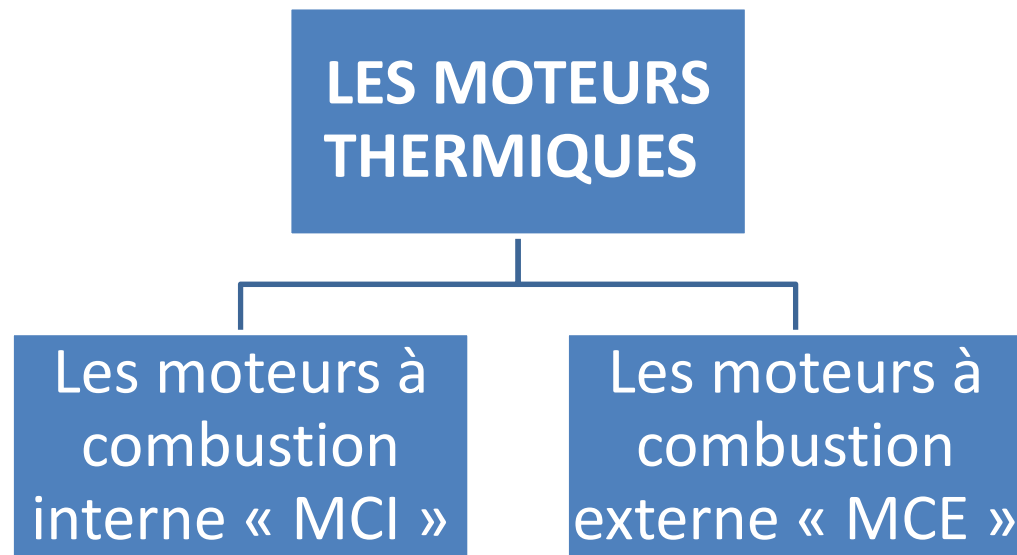


Fig. I.1 : classification des moteurs thermique

I.2/ Classification des moteurs à combustion interne :

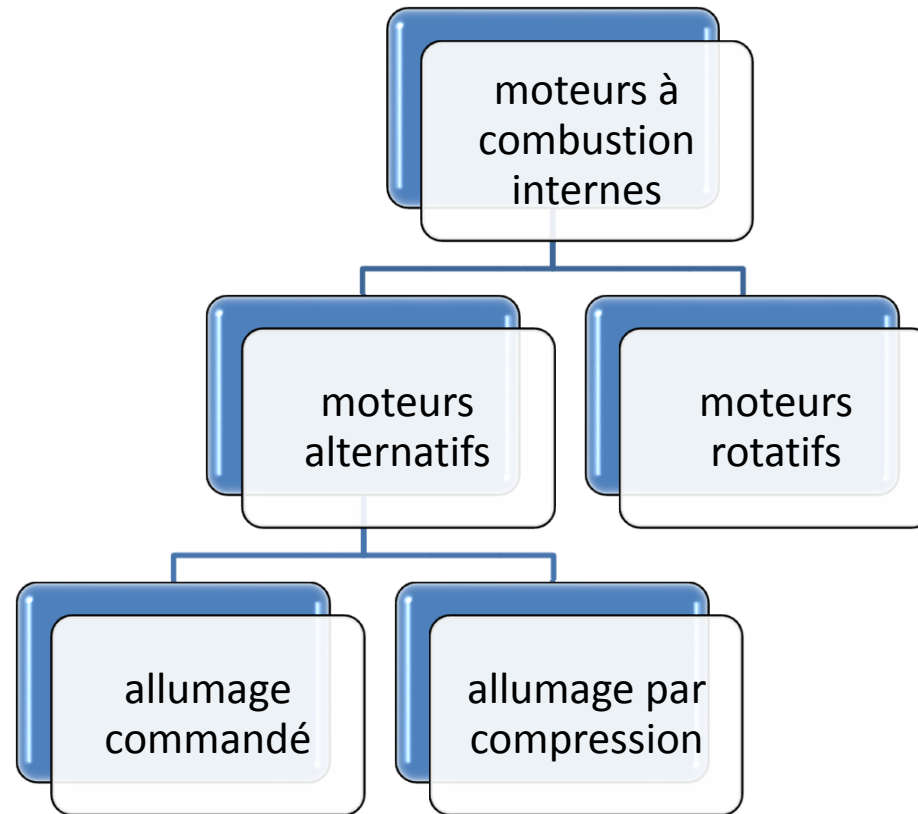


Fig. I.2 : classification des moteurs a combustion interne

I.3/ LES MOTEURS ALTERNATIFS :

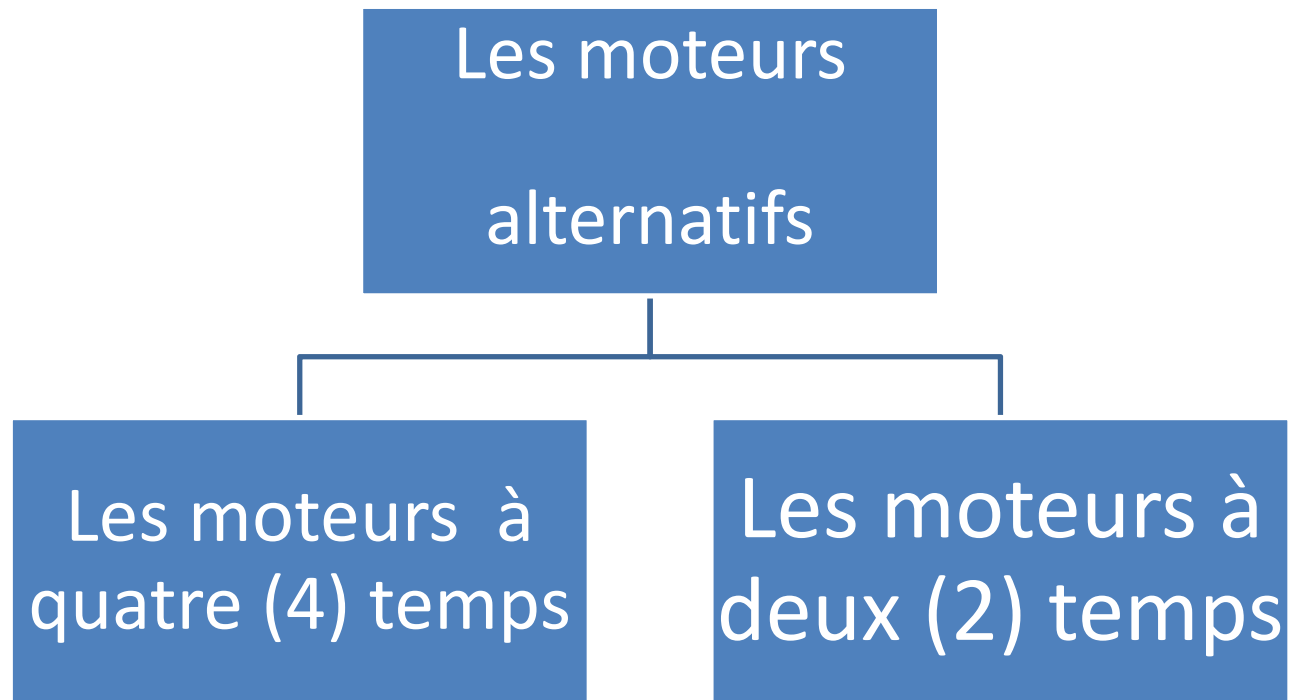


Fig. I.3 : classification des moteurs alternatifs

I.3.1/ Cycle théorique d'un moteur a quatre temps

(à essence) :

Le principe de fonctionnement d'un moteur à essence (moteur à 4 temps) repose sur les travaux de l'ingénieur français BEAU DE RECHAS.

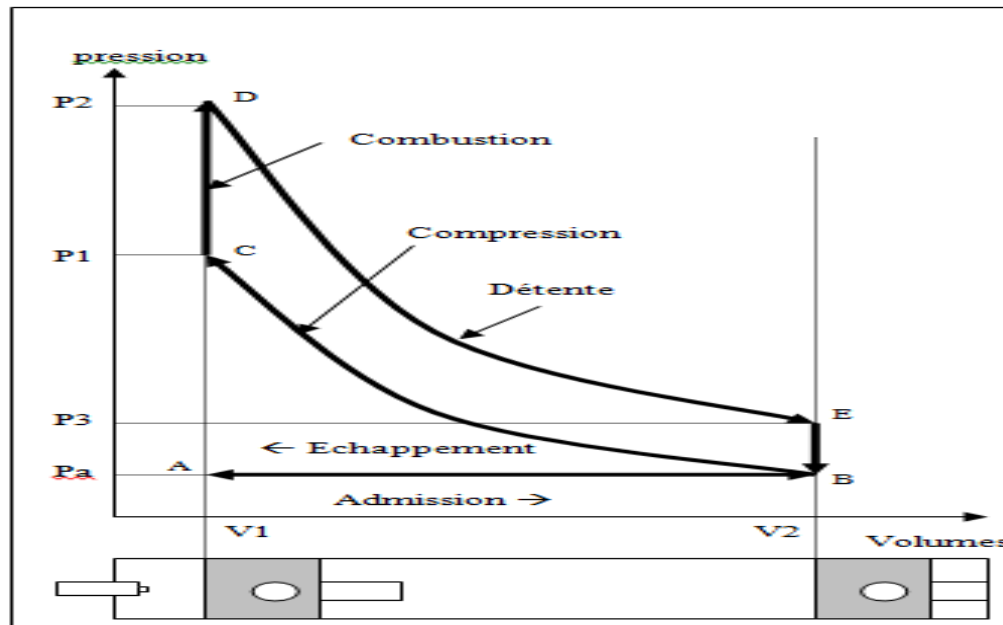


Fig. I.4 : Cycle de beau de rochas

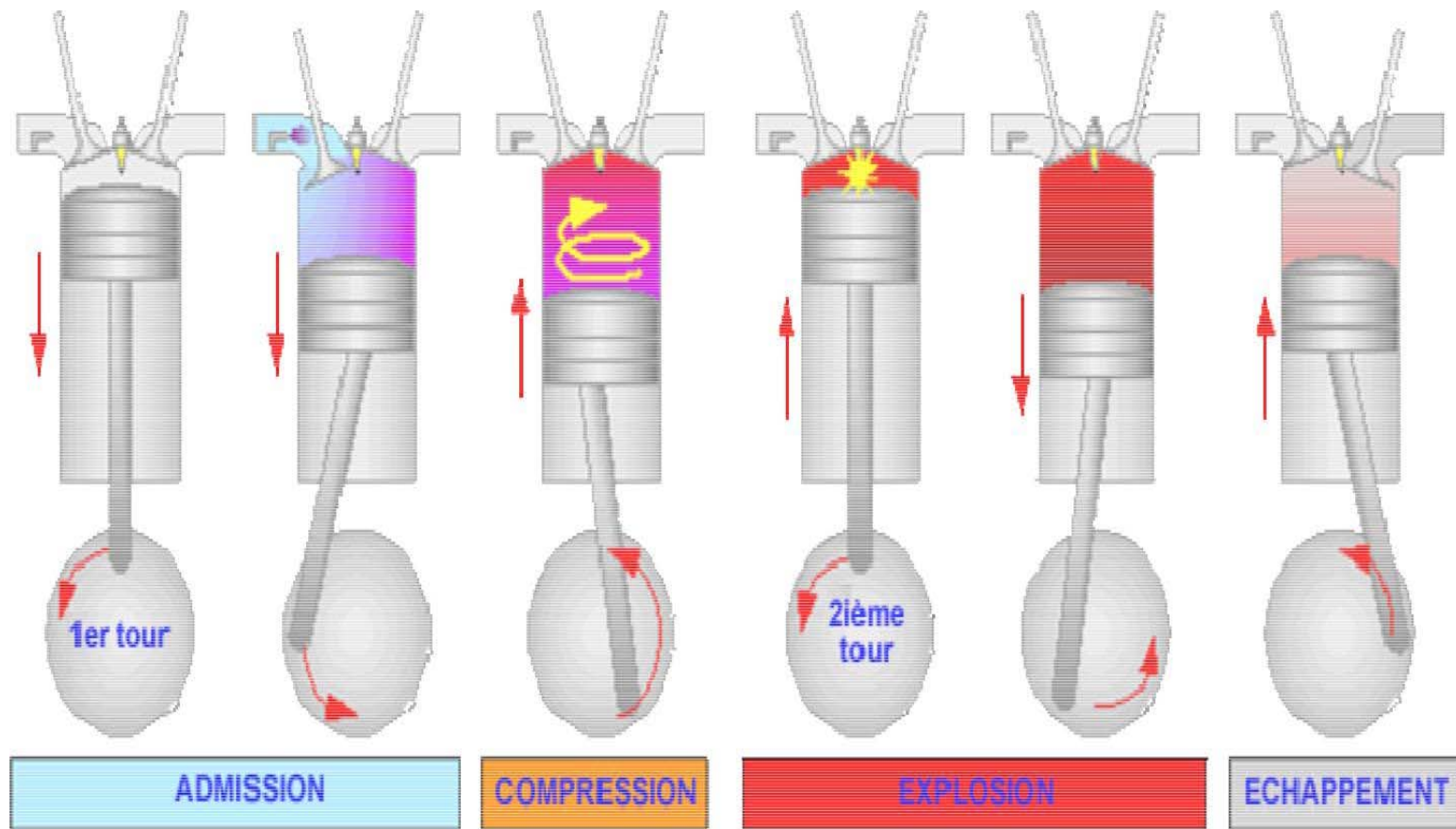


Fig. I.5 : Principe de fonctionnement d'un moteur à essence : Cycle d'un moteur à quatre temps.

I.3.2/Cycle théorique d'un moteur à quatre temps (Diesel) :

- Il est identique au précédent sauf pour le mode de combustion qui se fait dans un MCI à essence de manière isochore tandis que dans un moteur Diesel elle est isobare.

1^{er} différence

- C'est de l'air pur qui est admis et comprimé lors des temps 1 et 2, puis le carburant est introduit directement dans le cylindre (par injection) en de compression.

2^{eme} différence

- Le mélange s'enflamme spontanément, sans étincelle, du fait de l'élévation de la température de l'air liée à sa compression.

I.3.3/ Les moteurs à deux temps :

Cycle de Lenoir :

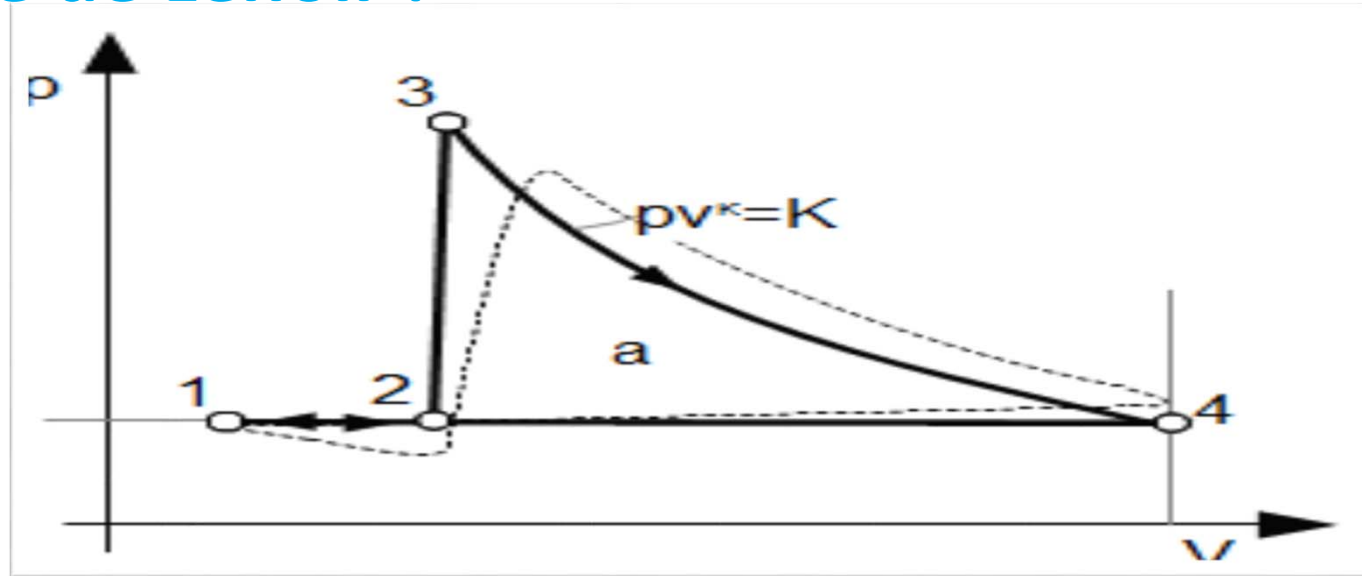


Figure .I.4 : Cycle de Lenoir

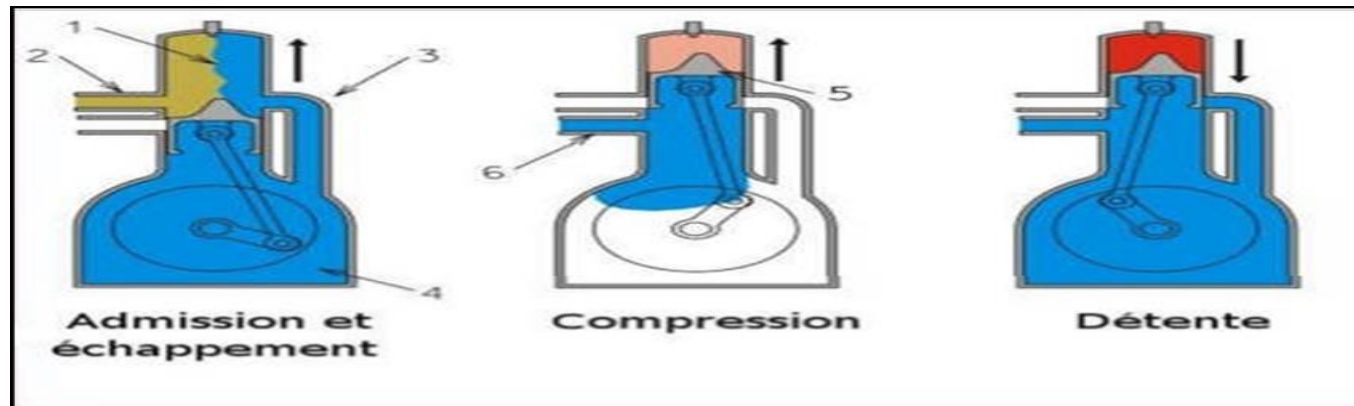


Fig. 1.6 : Cycle thermodynamique d'un moteur a 2 temps

I.4/ RAPPELS

THERMODYNAMIQUES :

- **I.4.1/ transformation de l'état d'un gaz :**

Les 3 facteurs de l'état d'une masse d'un gaz sont :

- La température T
- Le volume V
- La pression P

Dans un moteur à combustion interne, la masse gazeuse en action subit différentes transformations (isotherme, isobare, isochore, adiabatique) suivant la phase du cycle thermique.

I.4.2/ transformation isotherme :

$$P \times V = \text{constant}$$

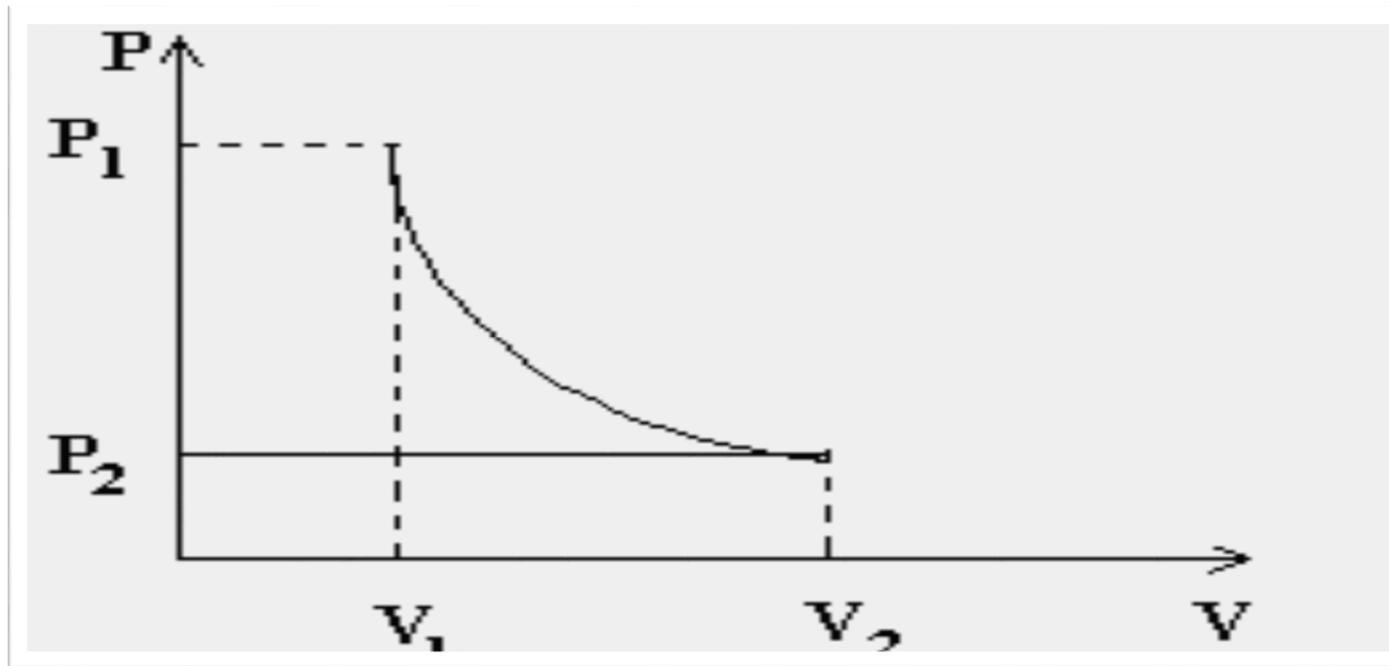


Fig. I.7 : Courbe représentant la transformation isotherme d'un gaz

I.4.3/ transformations isobare et isochore :

p = constante

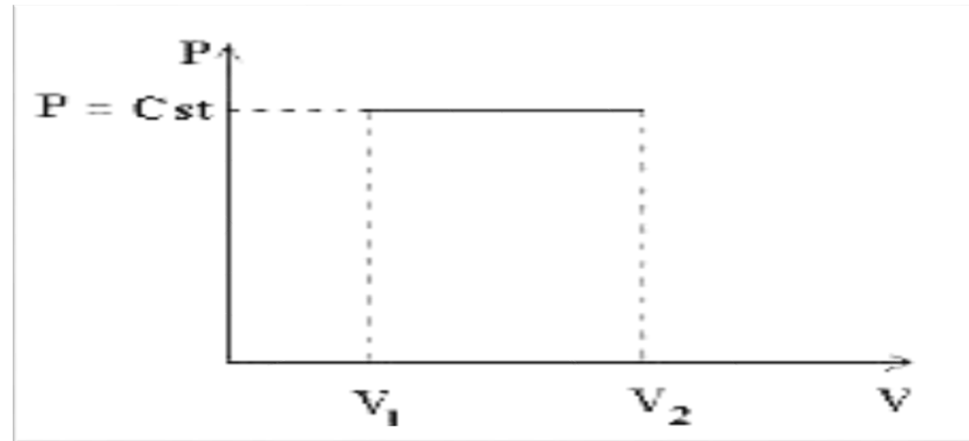


Figure I.8 : La transformation isobare.

Volume = constant

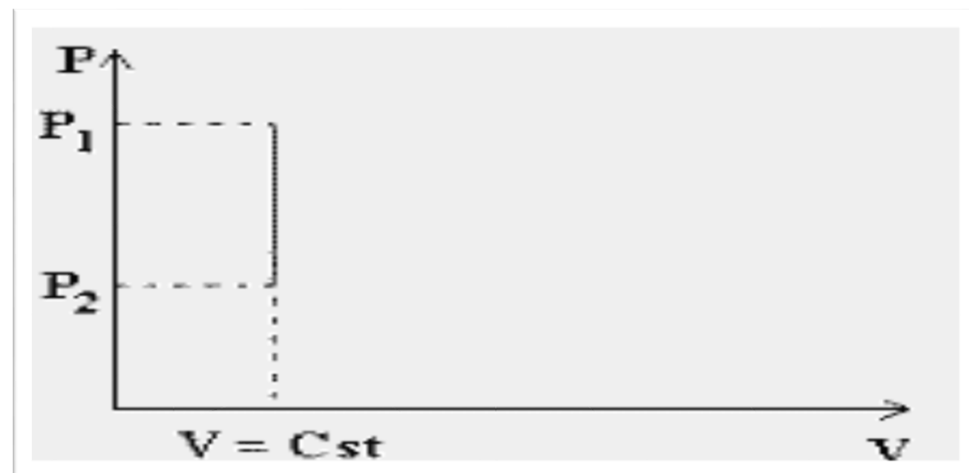


Figure I.9 : La transformation isochore,

I.4.4 transformation adiabatique :

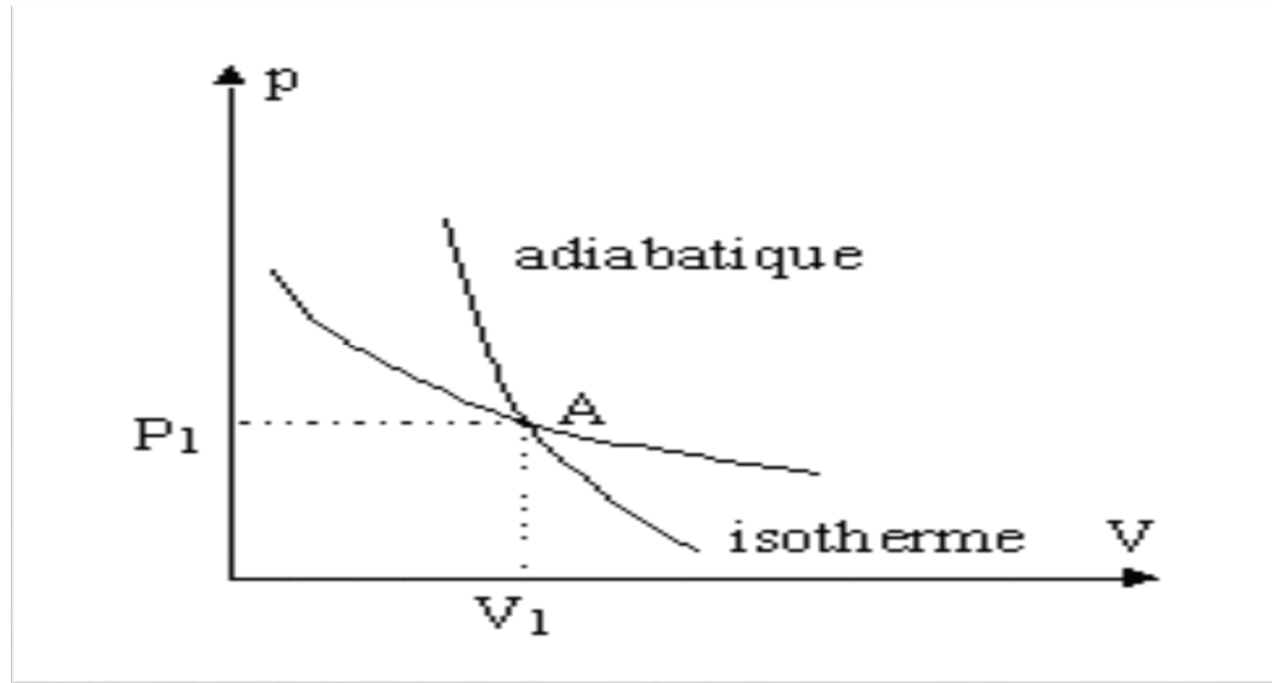


Figure I.10 : Transformation adiabatique

I.5/ ETUDE THERMODYNAMIQUE D'UN MOTEUR A COMBUSTION INTERNE :

- **I.5.1/ Cycle de Carnot :**

Le cycle de Carnot est un cycle fermé pour les gaz parfait, il contient de :

- Une détente isotherme AB
- une détente adiabatique BC
- une compression isotherme CD
- une compression adiabatique DA

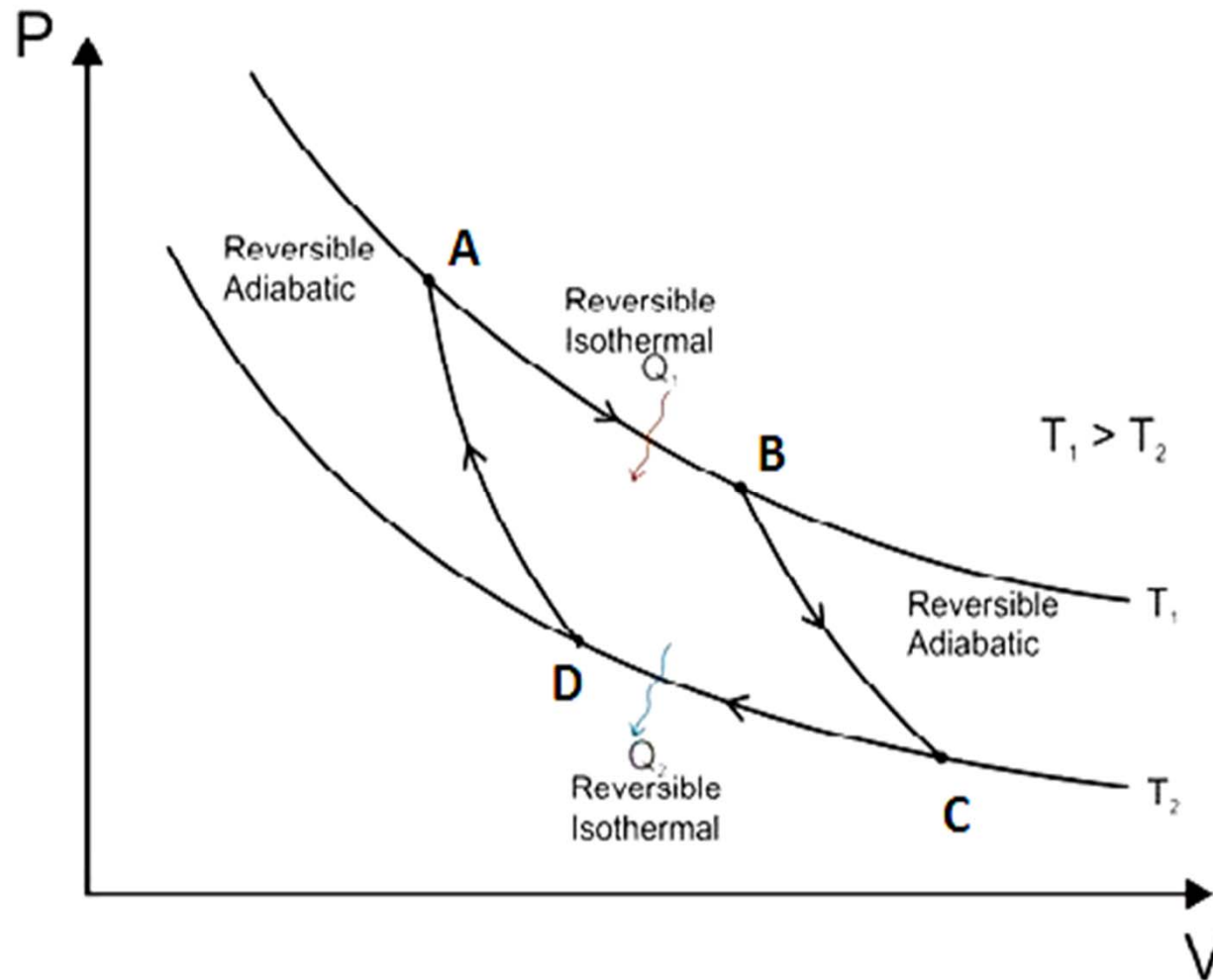


Figure. I.11: Diagramme pression/volume représentant le cycle de Carnot

I.5.2/ Rendement du cycle de Carnot :

- Le rendement de la transformation thermodynamique à travers cycle de Carnot est :

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (\text{Q en Joule})$$

Cas d'un gaz parfait :

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad [T^\circ] : \text{en kelvin} \quad \longrightarrow \quad \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

I.6. LES ORGANES D'UN MOTEUR THERMIQUE :

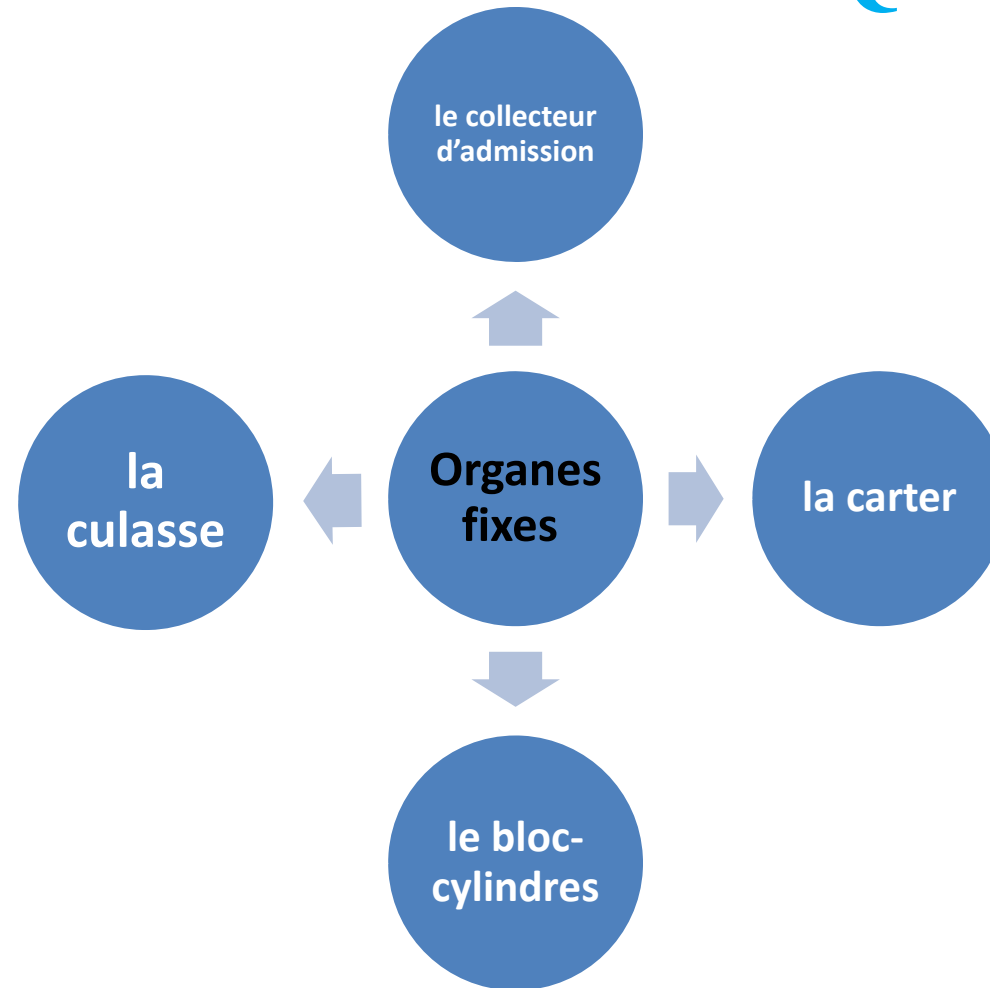


Fig. I 12 : Les organes fixes d'un moteur

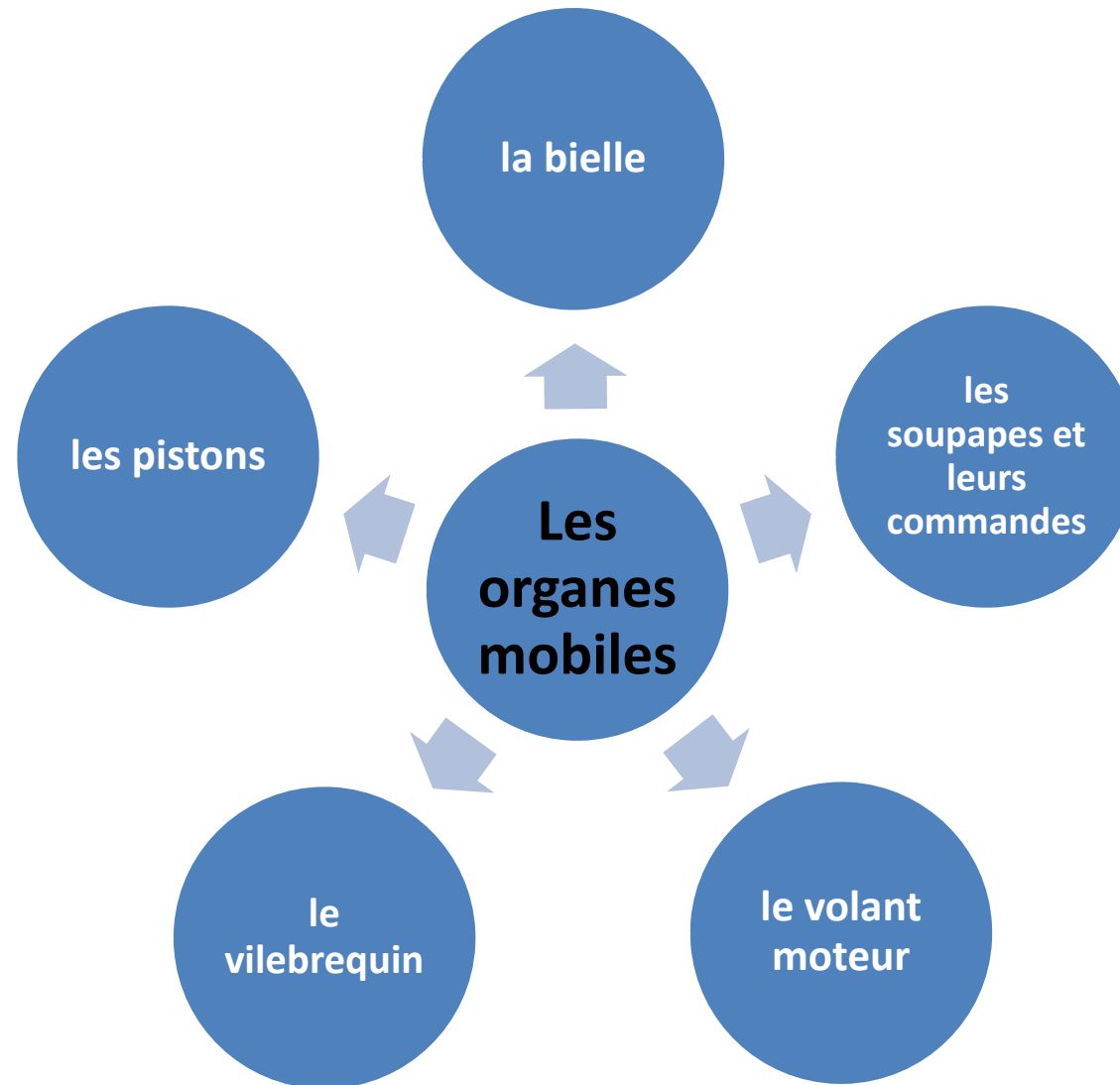


Fig. I 13 : Les organes mobiles d'un moteur

I.7 / LES PRINCIPALES TERMINOLOGIES, FORMULES ET PERFORMANCE UTILISEES :

I.7.1/ Terminologie :

- Alésage.
- Course.
- Points Morts.
- Volume mort.
- Cylindrée unitaire.
- LA CYLINDREE UNITAIRE .
- LA CYLINDREE TOTALE .

I.7.2/ Formules :

LA CYLINDREE UNITAIRE :

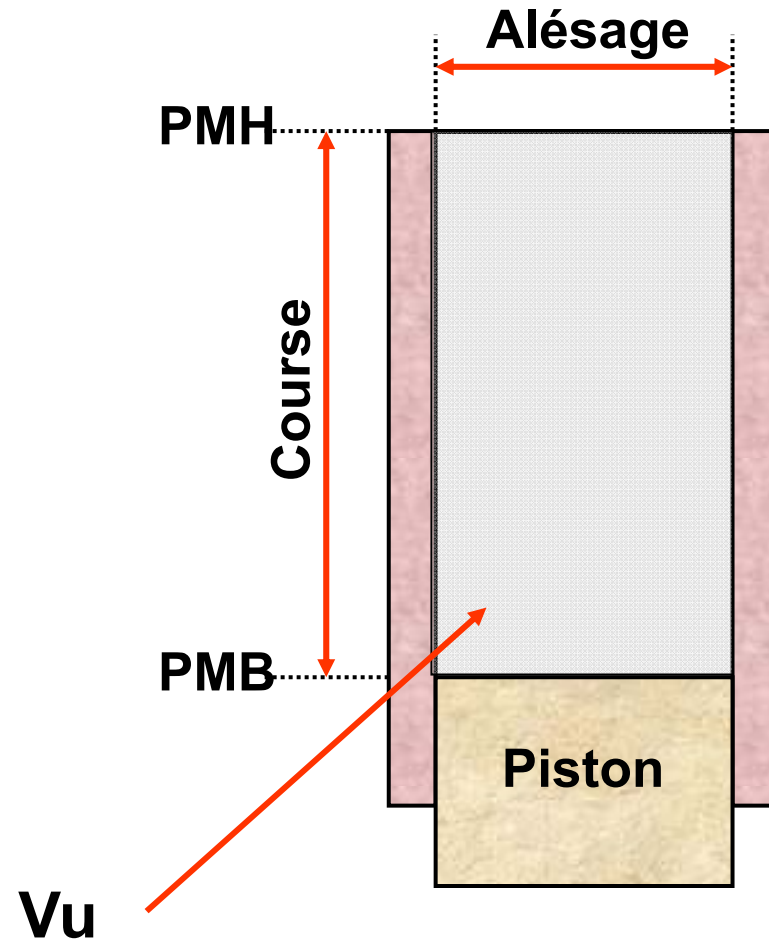
$$V_u = \frac{\pi \cdot A^2 \cdot C}{4}$$

Avec :

V_u en cm^3

A en cm

C en cm



LA CYLINDREE TOTALE :

$$V t = \frac{\Pi.A^2.C. n}{4}$$

Avec :

Vu en cm³

A en cm

C en cm

- **LE RAPPORT VOLUMETRIQUE (Taux de compression) :**

Le rapport volumétrique est représenté par le signe (rhô).

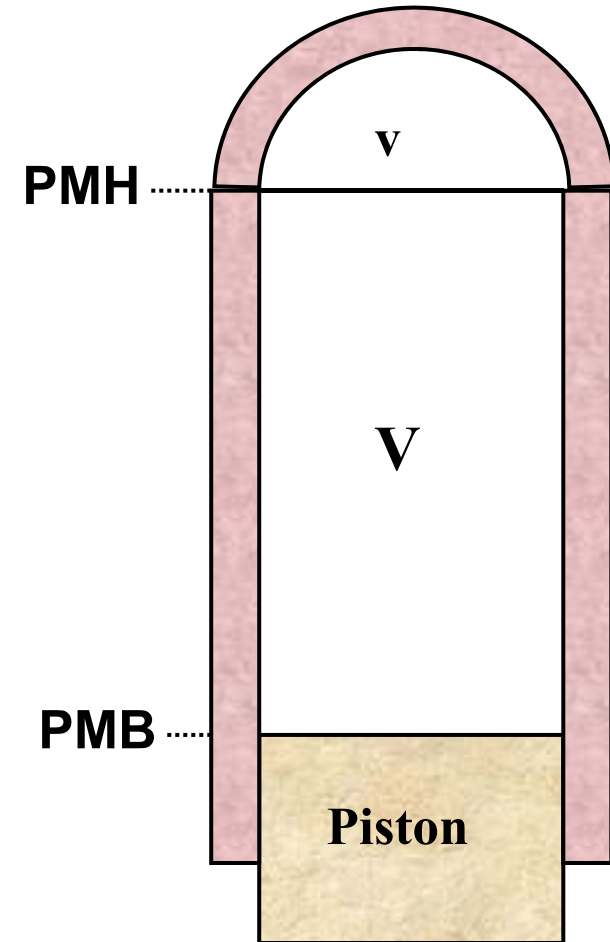
$$\rho = \frac{V + v}{v}$$

Avec :

V en cm³

v cm

ρ sans unité



LE TRAVAIL :

- Le déplacement de la force pour un tour est égal à : $2 \pi C$
- Donc le travail moteur pour 1 tour sera égal à : $W = C 2 \pi$
- Pour un nombre de tours donnés (n) : $W = C 2 \pi n$

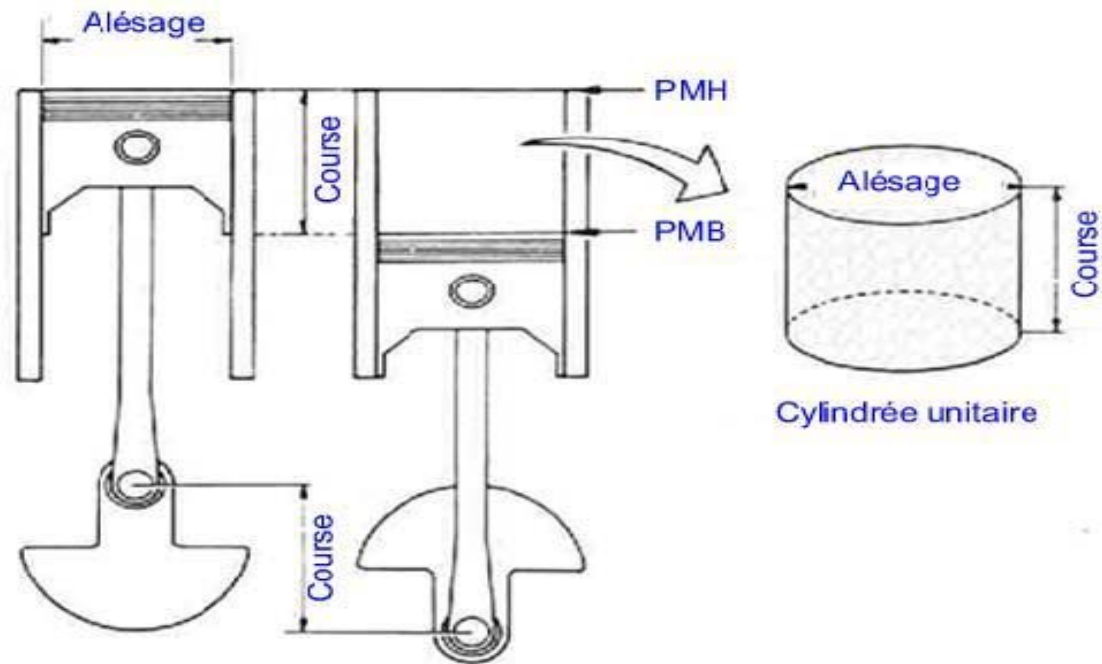


Fig. I.14: Quelques notions des moteurs

I.7.3/ Paramètres de performance d'un moteur à combustion interne:

- **LA PUISSANCE :**

$$P = \frac{\text{Travail}}{\text{Temps}} = \frac{W \text{ (en joules)}}{t \text{ (en secondes)}} = \frac{C \ 2 \ \Pi \ n}{60} = \text{Watts}$$

- La puissance peut s'exprimer en CHEVAUX (Ch.)
- 1 Ch = 736 watts
- OU:

$$P = C \times \omega \text{ avec } \omega = (\pi \times N) / 30 \text{ avec}$$

P en watt

C en mN

ω en radian / seconde

N en tours / min

Couple:

$$C = F \cdot r$$

- Avec : C en Newton x mètre (Nm).
F en Newton (N)
r en mètre (m)

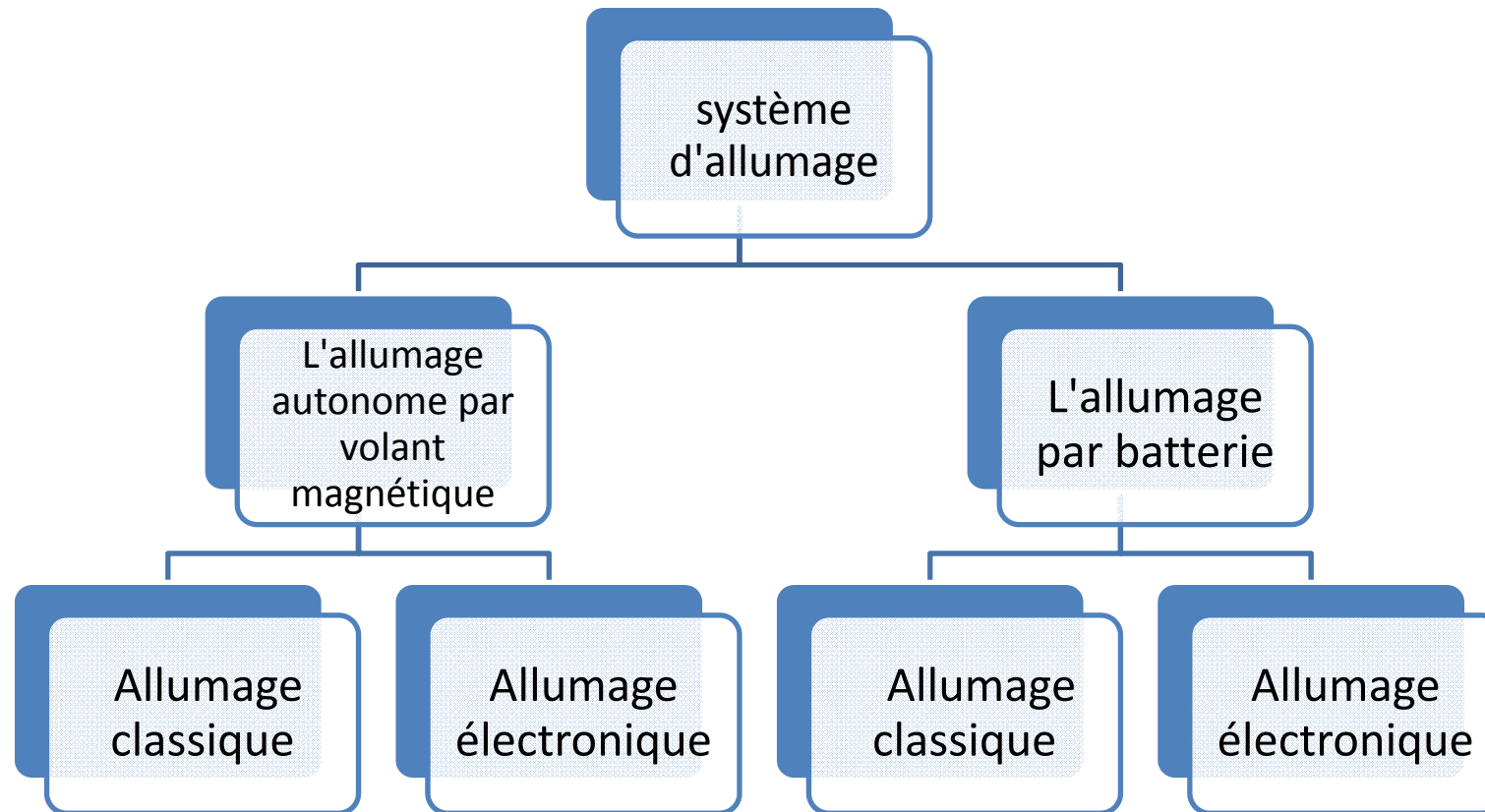
Chapitre II : Généralité sur les systèmes auxiliaires

II.1/ INTRODUCTION :

- Dans les secteurs de construction d'automobiles les éléments les plus intéressants sont les moteurs, ils sont alimentés par essence ou bien par gazole.
- Ses moteurs comportent plusieurs systèmes pour le but d'augmenter le rendement ou protéger les composantes.
- Ce chapitre est une étude des plusieurs systèmes de ses moteurs comme le système de lubrification, refroidissement, distribution.

II.2/ Système d'allumage :

- II.2.1/Différents types d'allumage:



II.1 Différents types d'allumage:

II.2.2/L'allumage classique par batterie :

- L'allumage par batterie est encore utilisé à l'heure actuelle, mais il est de plus en plus remplacé par l'allumage électronique plus performant et plus fiable.

Les organes de l'allumage classique et principe de fonctionnement :

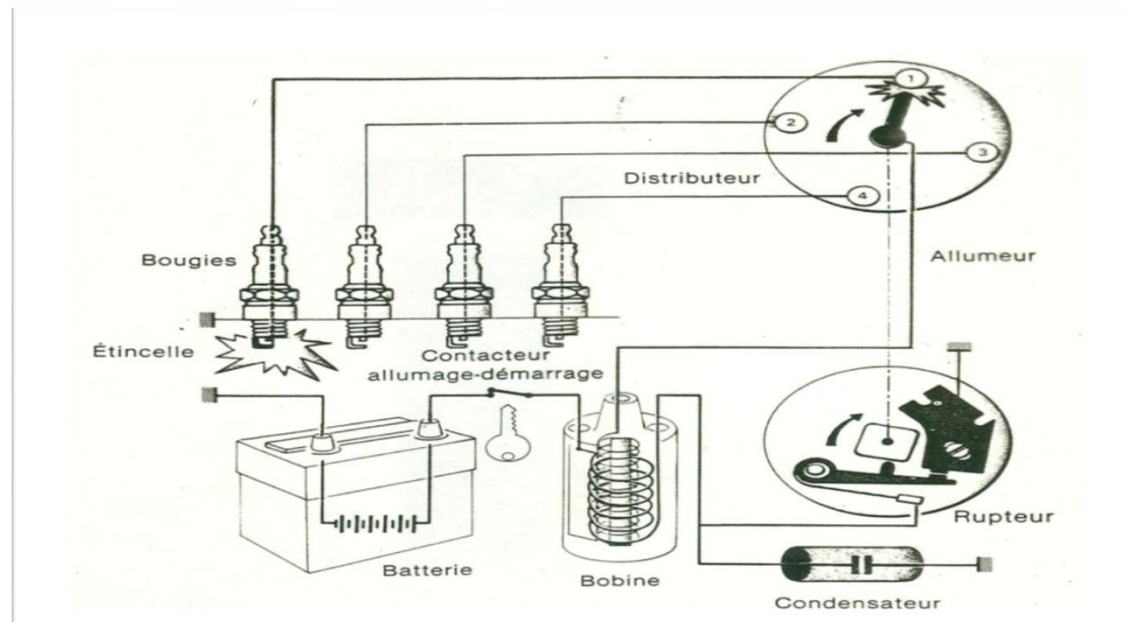
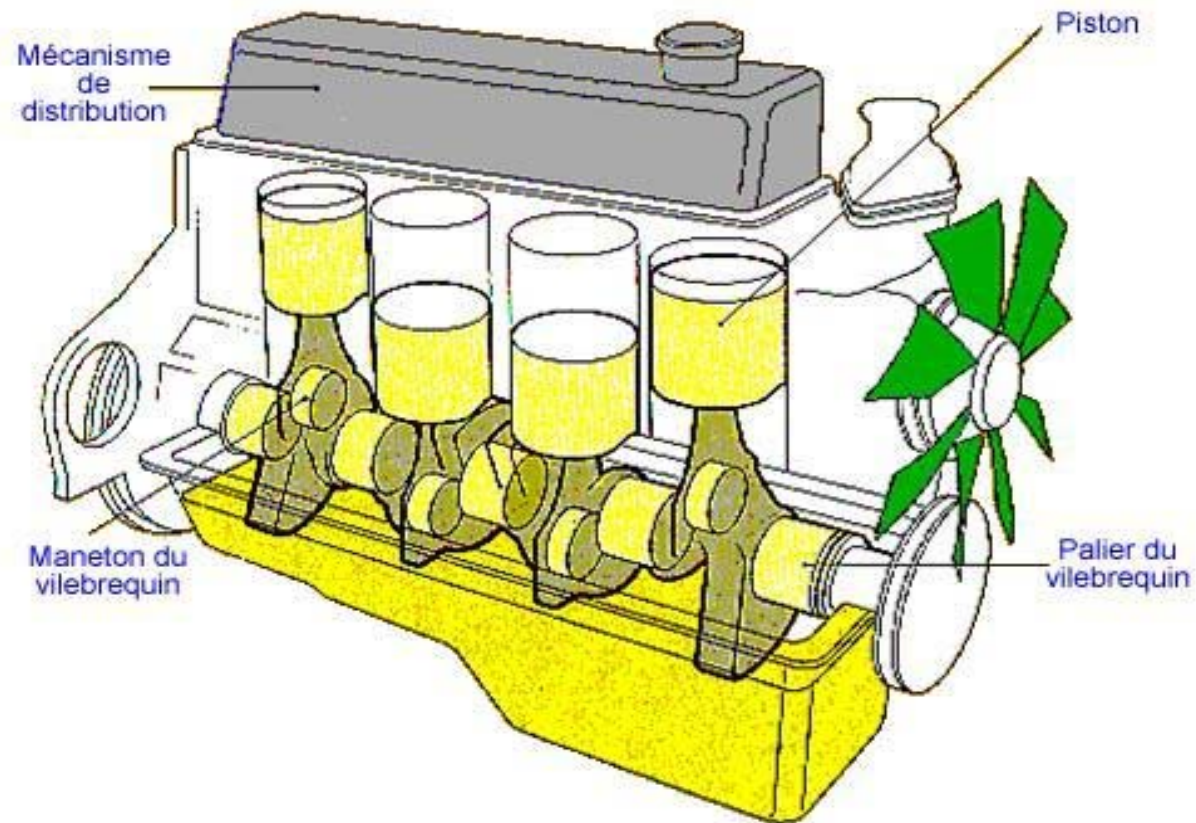


Fig. II .2 L'allumage classique par batterie

II.3/ SYSTEME DE LUBRIFICATION :



II.3.1/ Les organes du système de lubrification :

lubrification :

Le carter d'huile :

Il sert de réserve pour l'huile de graissage et participe également à son refroidissement

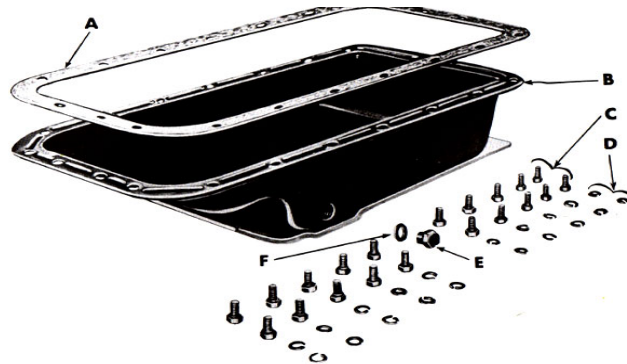


Figure II.4 : Carter d'huile

Canalisations :

Pour transporter l'huile dans le carter vers les organes lubrifier.

- **Le filtre à huile :**

il permet de retenir les impuretés en suspension dans l'huile qui ont pour origines :

- les particules de résidus de combustion.
- les particules provenant de l'usure des pièces.
- la détérioration de l'huile

- **La pompe à huile :**

Elle aspire l'huile dans le carter inférieur et la dirige sous pression, à travers les canalisations, vers les éléments à lubrifier. Ceux sont des pompes volumétriques.

Il en existe plusieurs types tel que :

Pompe à engrenages.

Pompe à rotor.

Pompe à palettes.

II.3.2/ Le circuit de lubrification (Circulation d'huile dans les moteurs) :

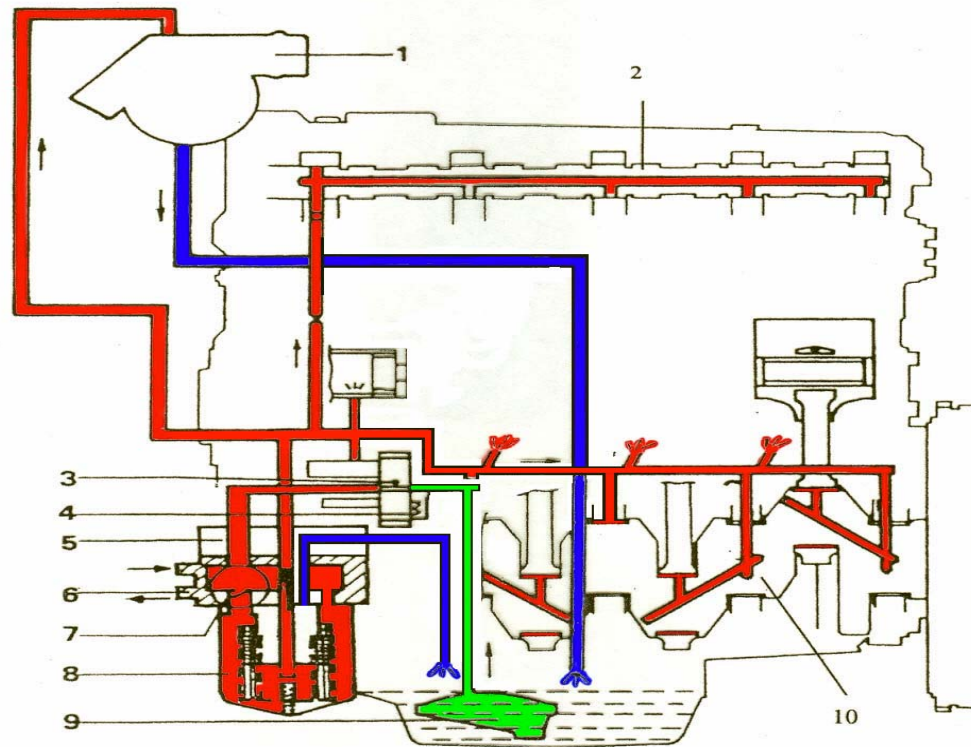


Fig. II .3 Circulation d'huile dans les moteurs

II.4/ SYSTEME DE REFROIDISSEMENT :

- **II.4.1.Définition :**
- Circuit fermé ou l'ensemble des mécanismes et dispositifs qui servent à évacuer l'énergie calorifique non transformée en énergie mécanique sous forme de chaleur.
- Le plus souvent, il s'agit d'eau avec un additif permettant d'augmenter la température d'ébullition et la résistance au gel.

II.4.2/ Organes et accessoires du système de refroidissement:

- Chemises d'eau
- Radiateur
- Ventilateur
- Pompe à eau
- Thermostat

II.4.3/ Circuit de refroidissement

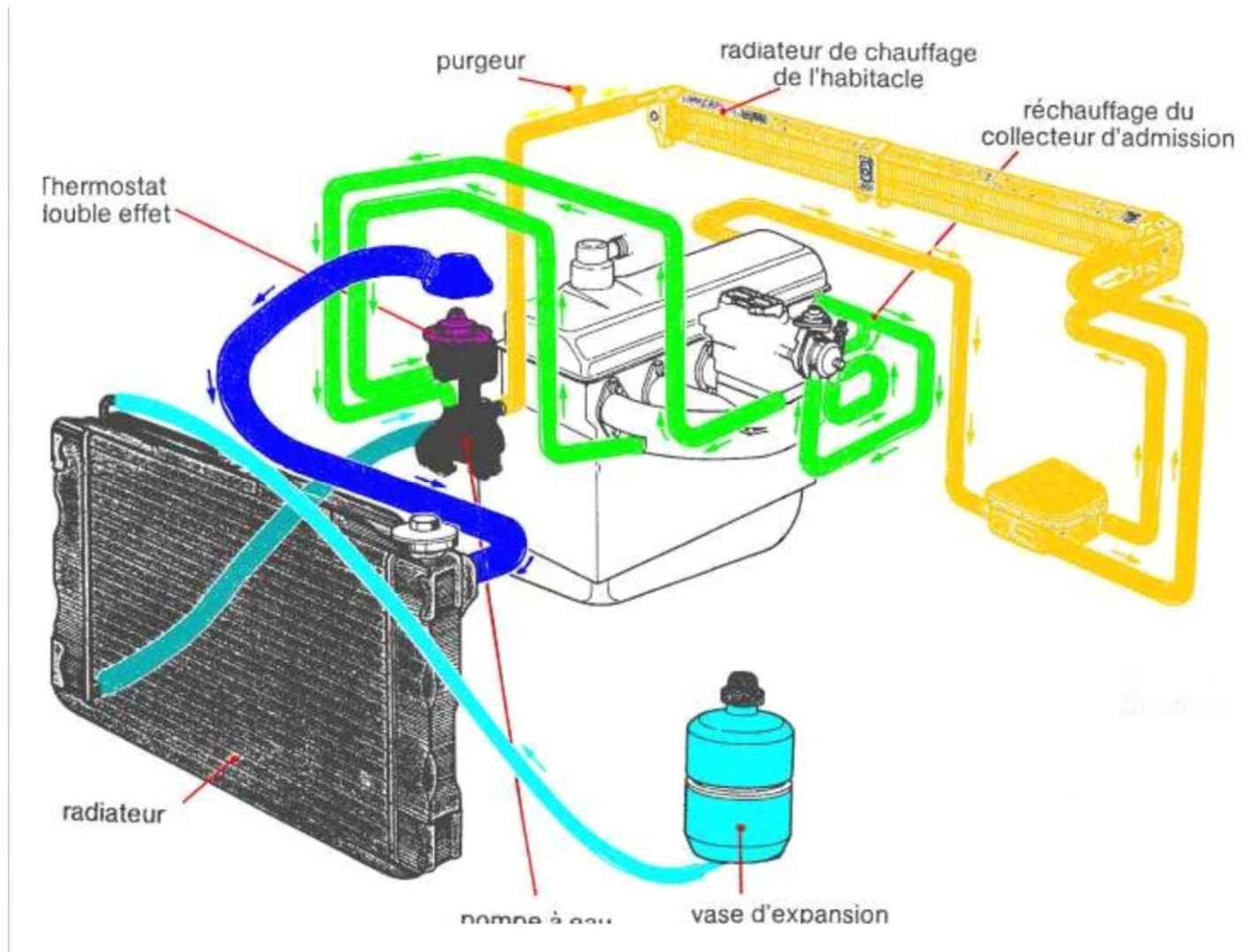


Fig. II.7 : Circuit de refroidissement

II.6/ ALIMENTATIONEN CARBURANT :



Moteur à essence

Dans les moteurs à allumage commandé, le carburateur le Plus employé actuellement.

L'essence entre par les soupapes d'admission reliés à l'arbre a came.

diesel

Les moteurs diesel comptent sur le système d'injection. Il met le carburant sous pression et l'injecte. Le carburant est ainsi éjecté à l'air qui a été comprimé à forte pression dans la chambre de combustion.

II.7/ Système d'échappement :

- Une fois le temps de combustion du moteur terminé, les gaz d'échappement produits par la combustion doivent être éliminés du cylindre par la soupape d'échappement et expulsés à l'extérieur du moteur. C'est à ce moment qu'intervient le système d'échappement. Il achemine les gaz brûlés vers l'arrière du véhicule, il réduit le bruit causé par la pression des gaz et la variation cyclique de cette pression.

Chapitre III : Etude du cycle théorique du moteur à explosion

III. Etude du cycle théorique du moteur à explosion : cycle Beau de Rochas

Données :

Masse molaire du fluide : $M = 29 \text{ g. mol}^{-1}$

$R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

$\gamma = 1,4$

Capacité thermique massique : $C_p = 1,0 \text{ kJ. K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

$C_v = C_p / \gamma = 0,71$

La surface de ce cycle ne dépend que de deux paramètres :

$\varepsilon = VBVC$ Et $\delta = TDTC = PDPC$

Le cycle théorique du moteur à explosion, supposé réversible, peut être assimilé au cycle schématisé de la façon suivante :

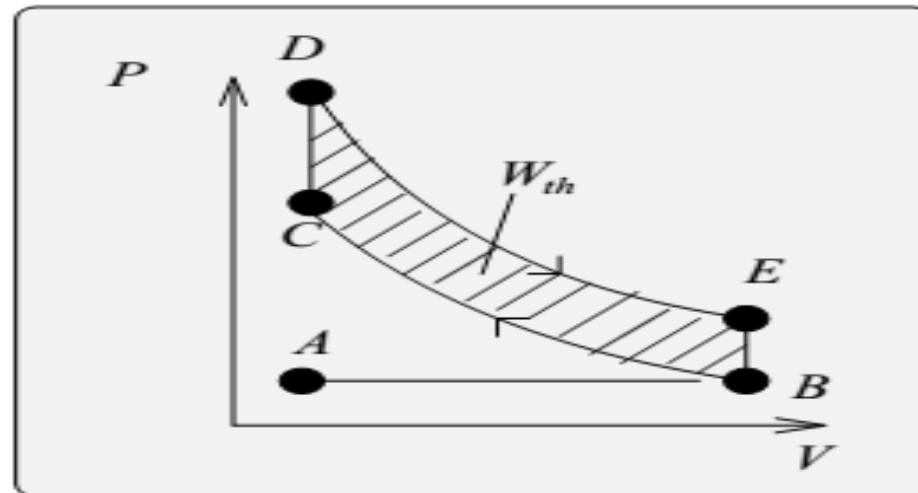


Figure III.1 : diagramme (P-V) du Cycle de Beau de Rochas

- AB: admission du mélange air-essence
- $T_B = 350 \text{ K}$, $P_B = 1,00 \times 10^5 \text{ Pa}$ et $V_B = 2,00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
- BC: compression adiabatique. On appelle taux de compression $\varepsilon = V_B/V_C = 8.4$
- CD: combustion du mélange gazeux à volume constant
- $T_D = T_C + 2000$ (T_C , Températures en C et en D du mélange mesurées en Kelvin)
- DE: détente adiabatique
- EB : refroidissement à volume constant
- BA: échappement
- On admet qu'au cours du cycle BCDEB, le fluide est assimilable à un gaz parfait dont le nombre de moles reste constant au cours des transformations (combustion comprise).

- **II.1.1 déterminons les températures T_C T_D et T_E**

- B→C transformation adiabatique → $T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1}$ (a)

- D→E transformation adiabatique → $T_D V_D^{\gamma-1} = T_E V_E^{\gamma-1}$ (b)

- Recherche de T_C :

(a) → $T_C = T_B \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^{\gamma-1} = T_B \varepsilon^{\gamma-1}$

$$T_C = T_B \varepsilon^{\gamma-1}$$

- AN :

$$T_C = 350 \times 8.4^{(1.4-1)}$$

$$T_C = 819.93 \text{ K}$$

- Recherche de T_D :

$$\delta = \frac{T_D}{T_C} = 3.43$$

$$T_D = \delta T_C = T_B \delta \varepsilon^{\gamma-1}$$

- AN :

$$T_D = 350 \times 3.43 \times 8.4^{(1.4-1)}$$

$$T_D = 2812.37 \text{ K}$$

- **Recherche de T_E :**

- (b) $\rightarrow T_E = T_D \left(\frac{V_D}{V_E}\right)^{\gamma-1} = T_D \left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{\gamma-1}$
 $= T_B \delta \varepsilon^{1-\gamma} \varepsilon^{\gamma-1}$
 $= T_B \delta$

- AN:

$$T_E = 350 \times 3.43$$
$$T_E = 1200.5 \text{ K}$$

- **III.2 Calcul du travail**

- Les travaux échangés pendant les opérations de transvasement AB et BA sont égaux et de signe opposés, ils s'annulent donc sur un cycle.

$$W_{tot} = W_{BC} + W_{CD} + W_{DE} + W_{EB}$$

- C-D : transformation isochore $W_{CD} = 0$

- E-B : transformation isochore $W_{EB} = 0$

- Donc

$$W_{tot} = W_{BC} + W_{DE}$$

- **Expression de W_{BC}**

- $$W_{BC} = \frac{P_C V_C - P_B V_B}{\gamma - 1} = \frac{C_V}{R} (P_C V_C - P_B V_B)$$
$$= C_V (T_C - T_B)$$
$$= C_V T_B (\varepsilon^{\gamma-1} - 1)$$

- AN :

$$W_{BC} = 0.71 \times 350(8.4^{(1.4-1)} - 1)$$
$$W_{BC} = 335.66 \text{ J}$$

- **Expression de W_{DE}**

$$W_{DE} = \frac{P_E V_E - P_D V_D}{\gamma - 1} = \frac{C_V}{R} (P_E V_E - P_D V_D)$$
$$= C_V (T_E - T_D)$$

- AN :

$$W_{DE} = 0.71(1200.5 - 2812.37)$$
$$W_{DE} = -1144.42 \text{ J}$$

- Le travail total échangé par le gaz au cours d'un cycle est donc :

$$W_{tot} = C_V T_B (\varepsilon^{\gamma-1} - 1) + C_V T_B (\delta - \varepsilon^{\gamma-1} \delta)$$

$$W_{tot} = C_V T_B (\varepsilon^{\gamma-1} - 1 + \delta - \varepsilon^{\gamma-1} \delta)$$

$$W_{tot} = C_V T_B (\varepsilon^{\gamma-1} (1 - \delta) - (1 - \delta))$$

$$W_{tot} = C_V T_B ((1 - \delta) - (\varepsilon^{\gamma-1} - 1))$$

- AN :

$$W_{tot} = -808.76 J$$

- **III.3 Calcul du rendement :**

- En considérant que C_V est constant au cours d'un cycle, les quantités de chaleur échangées
- avec l'extérieur sont :

$$\begin{aligned}\Delta Q_{CD} &= C_V(T_D - T_C) \\ \Delta Q_{EB} &= C_V(T_B - T_E) \\ \eta &= -\frac{W}{Q_{CD}} = \frac{Q_{CD} - Q_{EB}}{Q_{CD}} = 1 + \frac{Q_{EB}}{Q_{CD}} \\ &= 1 - \frac{T_B - T_E}{T_D - T_C} \\ \eta &= 1 - \frac{T_B \left(1 - \frac{T_E}{T_B}\right)}{T_C \left(1 - \frac{T_D}{T_C}\right)}\end{aligned}$$

Or: $\frac{T_E}{T_B} = \frac{T_D}{T_C}$

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_C} = 1 - \left(\frac{V_C}{V_B}\right)^{\gamma-1} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$$

- Evolution du rendement en fonction du rapport volumétrique ε et γ
- Calcul de rendement pour $\gamma = 1.4$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$$

1.4	1	0
	3	0.35
	5	0.47
	8	0.56
	10	0.6

Tableau III.1 : évolution du rendement en fonction du rapport volumétrique ε et pour $\gamma = 1.4$

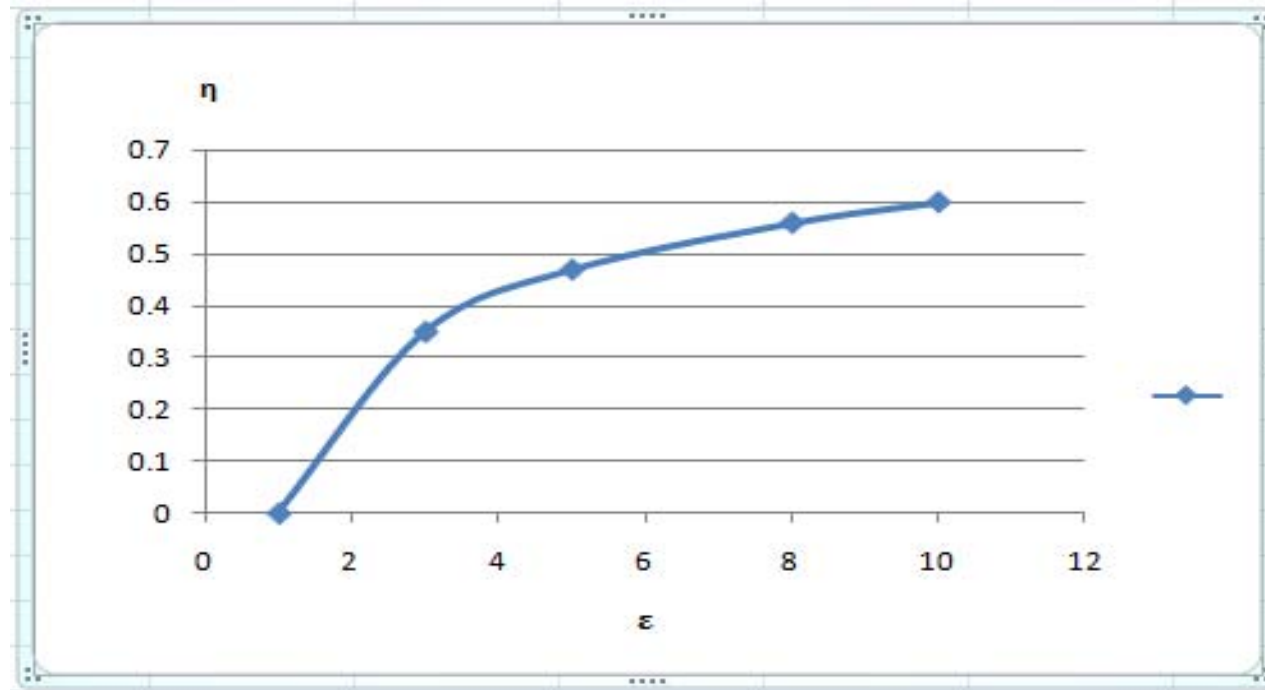


Figure III.2 : évolution du rendement en fonction du rapport volumétrique ε et pour $\gamma = 1.4$

- Calcule de rendement pour $\gamma = 1.6$

1.6	1	0
	3	0.48
	5	0.61
	8	0.71
	10	0.74

Tableau III.2 : évolution du rendement en fonction du rapport volumétrique ε et pour $\gamma = 1.6$

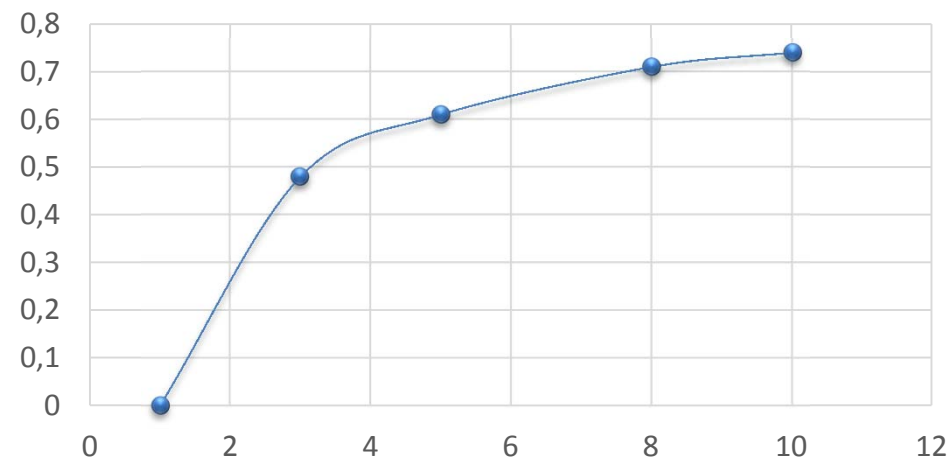


Figure III.3 : évolution du rendement en fonction du rapport volumétrique ε et pour $\gamma = 1.6$

Calcul de rendement pour $\gamma = 1.8$

1.8	1	0
	3	0.58
	5	0.72
	8	0.81
	10	0.84

Tableau III.3 : évolution du rendement en fonction du rapport volumétrique ε et pour $\gamma = 1.8$

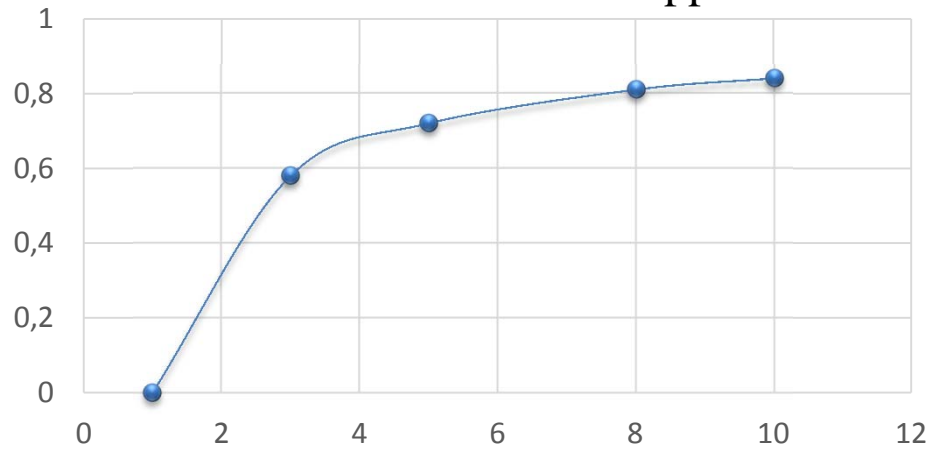


Figure III.4 : évolution du rendement en fonction du rapport volumétrique ε et pour $\gamma = 1.8$

commentaire :

- Le rendement de cycle croit avec :
- Le rapport volumétrique.
- Le rapport γ .

Conclusion générale

- Depuis le XIXème siècle les moteurs n'ont cessé d'évoluer, augmentant toujours leurs puissances et leurs performances. Mais le principe de moteur à explosion reste toujours et encore le même après tant d'années de recherche et d'amélioration.
- Nous avons vu au cours des paragraphes précédents que le dimensionnement général d'un moteur dépendait des choix faits pour le système de combustion, qu'il s'agisse d'injection directe et indirecte, et l'alimentation, positionnement de l'injecteur et de la bougie, pression maximale dans la chambre de combustion, refroidissement et de disposition des conduits dans la culasse.

D'après les calculs on observe que le rendement de cycle croit avec :

- Le rapport volumétrique.
- Le rapport γ .

Le rapport γ du mélange varie entre 1,4 pour l'air et 1,28 pour le mélange air-carburant. Lorsque la richesse du carburant décroît, γ augmente cette augmentation de γ provoque une augmentation du rendement. Si l'on souhaite augmenter le rendement.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION