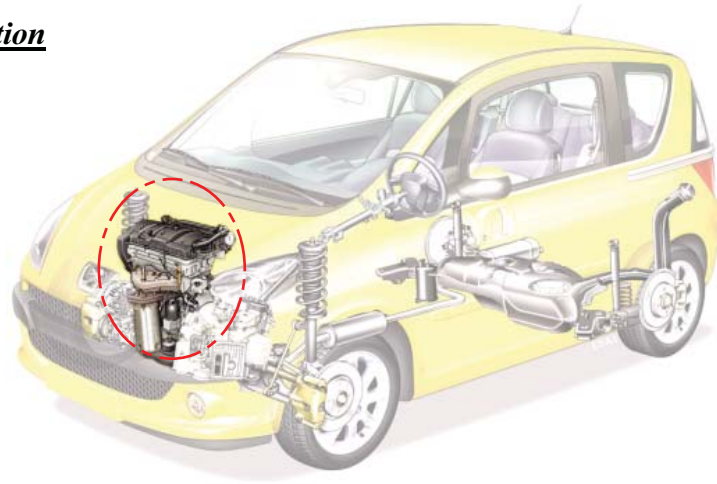




# LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

## 1/ Mise en situation



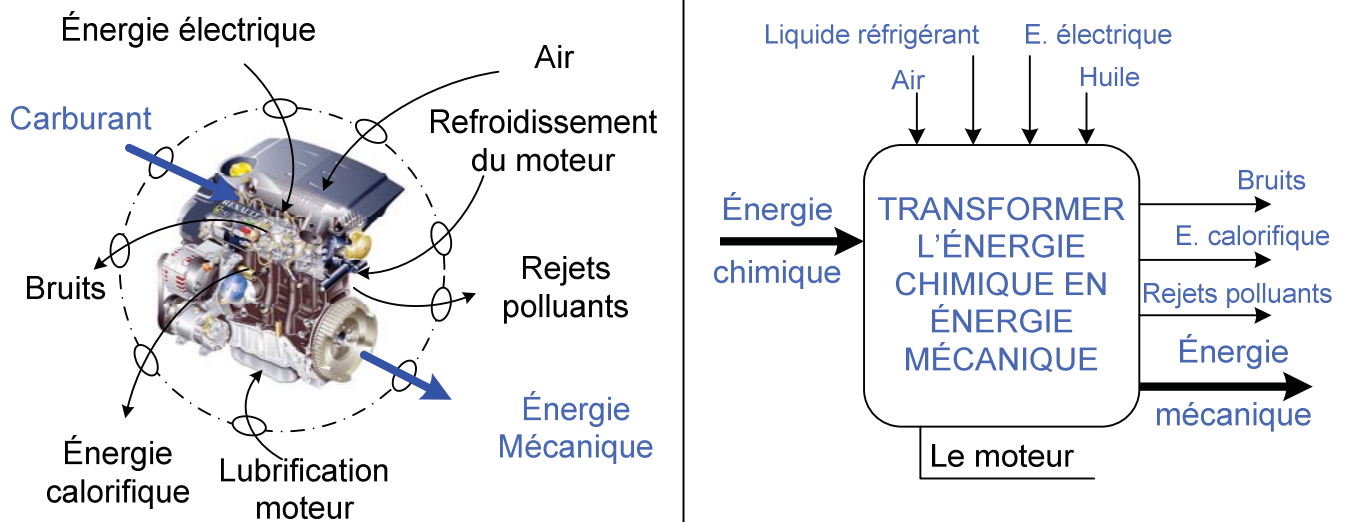
## 2/ Définition

On appelle moteur thermique une machine qui reçoit de l'énergie sous forme de chaleur et qui la restitue sous forme de travail mécanique.

La transformation en chaleur se produisant à l'intérieur même du moteur, nous appellerons celui-ci : **moteur thermique à combustion interne**.

## 3/ Analyse fonctionnelle

Le moteur à combustion interne permet de transformer par combustion l'énergie contenue dans le combustible en énergie mécanique.



## 4/ Principe de fonctionnement

Le moteur transforme l'énergie chimique contenue dans le carburant en énergie mécanique.

Pour libérer l'énergie chimique potentielle du carburant, il est nécessaire d'effectuer une transformation chimique appelée combustion.

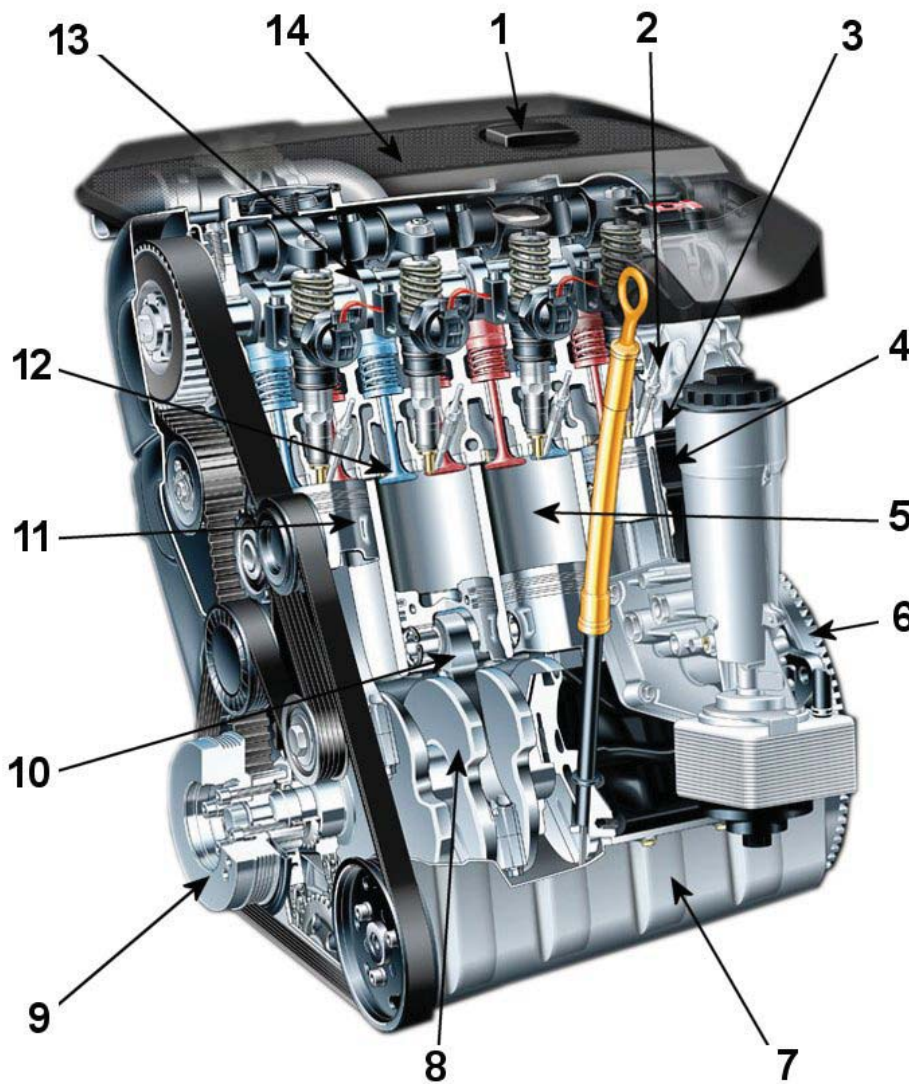
Par la combustion, le carburant est transformé en énergie calorifique ou thermique.

Cette énergie thermique est enfin transformée en travail mécanique. Celui-ci étant ensuite appliqué aux roues motrices par l'intermédiaire de la transmission.



# LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

## 5/ Analyse technologique



1	Remplissage d'huile
2	Culasse
3	Joint de culasse
4	Bloc moteur
5	Cylindre
6	Volant moteur
7	Carter inférieur
8	vilebrequin
9	Poulie de vilebrequin
10	Bielle
11	Piston
12	Soupape
13	Arbre à cames
14	Couvre culasse

### 5.1/ L'enceinte thermique :

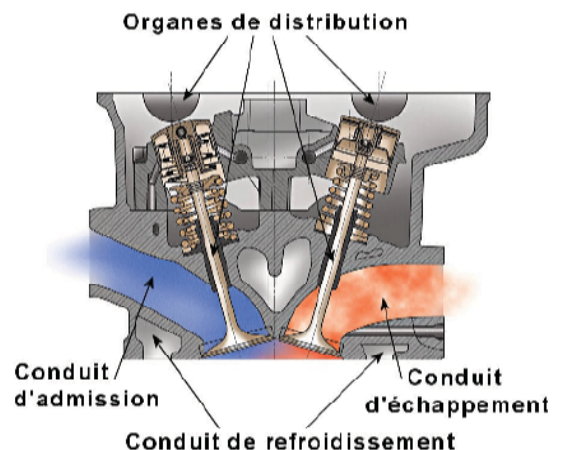
Elle se compose de la culasse et de ses chambres de combustion, du joint de culasse et des cylindres du bloc moteur.

#### a/ La culasse :



La culasse en alliage léger est rapportée sur la partie supérieure du bloc cylindre et permet :

- L'étanchéité de l'enceinte thermique à l'aide du joint de culasse et des vis de serrage,
- L'admission d'air ou de mélange (air / carburant) et l'évacuation des gaz brûlés,
- Le refroidissement des chambres de combustion,
- De supporter les organes de distribution, d'injection, d'allumage ou de préchauffage.





# LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

## b/ Le joint de culasse :

C'est un joint multi feuilles ayant un sens de montage (repères ou détrompeurs) et qui doit être remplacé à chaque dépose de la culasse. Il peut être disponible en plusieurs épaisseurs dans le cas d'un montage après rectification de la culasse.

Il permet :

- D'assurer l'étanchéité entre la culasse et le bloc moteur.



## c/ Le bloc moteur ou bloc cylindre :

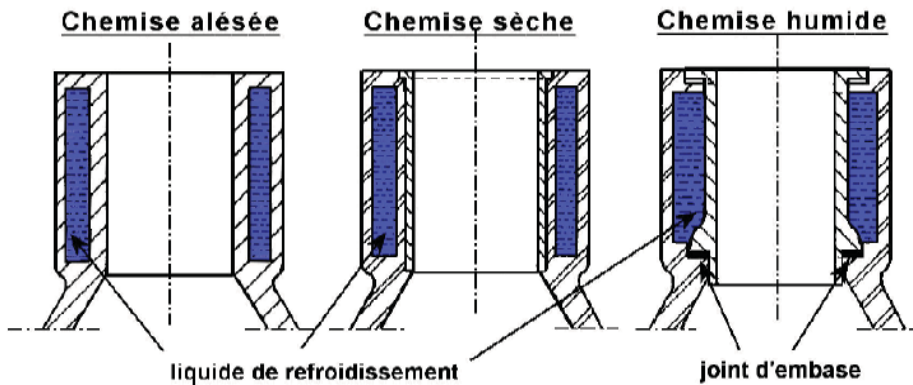
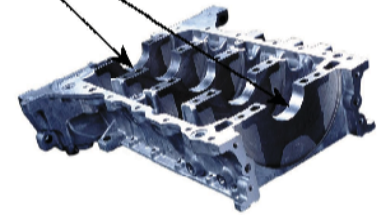
Il est fabriqué en fonte ou en alu (alliage léger). Le bloc moteur doit pouvoir :

- Accueillir les chemises,
- Résister aux efforts et pressions engendrés par la combustion,
- Évacuer l'excédent de chaleur par conduction et circulation du liquide de refroidissement,
- Supporter l'équipage mobile et organes annexes (démarreur, alternateur, boîte de vitesses...),
- Assurer la fixation du moteur sur le châssis.

chemises



paliers de vilebrequin

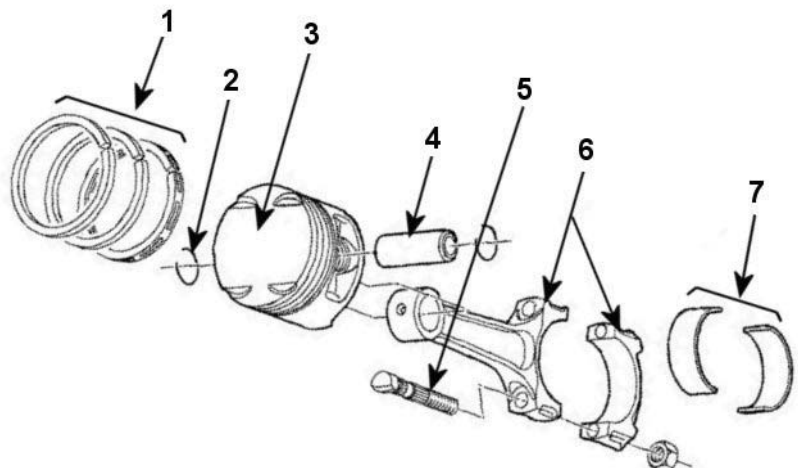


## 5.2/ L'équipage mobile :

Il se compose des pistons, des bielles, du vilebrequin et du volant moteur.

### a/ L'ensemble piston-bielle :

1	Segmentation
2	Jonc d'arrêt
3	Piston
4	Axe de piston
5	Vis d'assemblage
6	Bielle
7	Coussinets



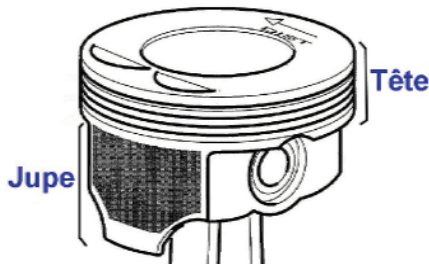


# LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

## Le piston

Il est fabriqué en alliage d'aluminium et doit :

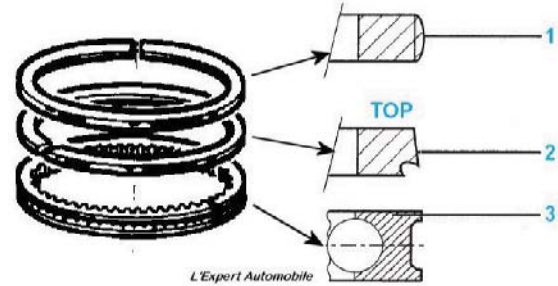
- Transmettre à la bielle la force due à la combustion par l'intermédiaire de son axe,
- Résister aux frottements et à une température élevée (~ 700°C).



## La segmentation

Les segments doivent :

- Assurer l'étanchéité de la chambre à combustion,
- Empêcher l'huile de remonter vers la chambre,
- Guider le piston en translation,
- Faciliter l'échange calorifique entre le piston et la chemise.



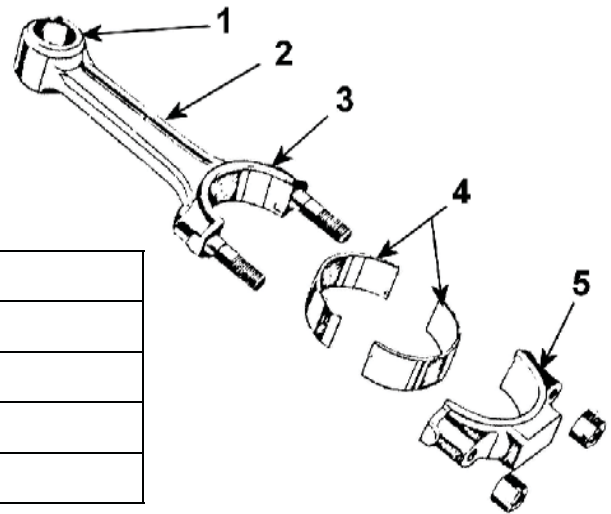
1	Segment coup de feu	Réalise la première étanchéité et résiste aux températures et pression élevées.
2	Segment d'étanchéité	Assure l'étanchéité entre la chambre et le bas moteur.
3	Segment racleur	Évite les remontées d'huile en laissant un film d'huile pour la lubrification.

## La bielle

Elle doit :

- Transmettre la force du piston au vilebrequin,
- Résister aux efforts et aux températures élevées.

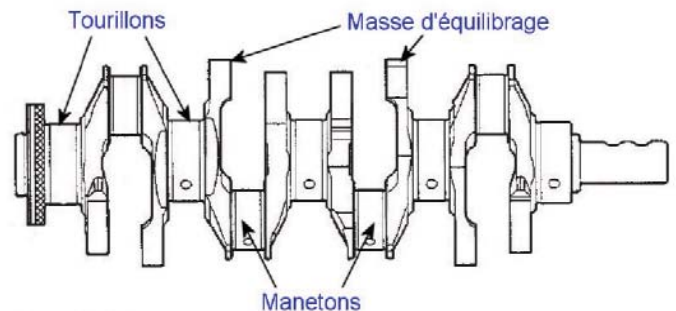
1	Pied de bielle
2	Corps de bielle
3	Tête de bielle
4	1/2 Coussinets
5	Chapeau de bielle



## b/ Le vilebrequin :

Il est monté avec des coussinets sur les paliers du bloc moteur et permet :

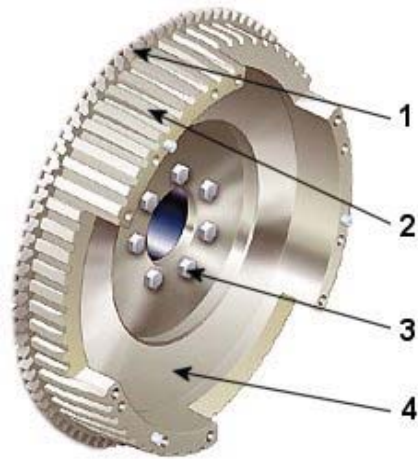
- La transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement rotatif continu,
- De transmettre à l'ensemble bielle / piston les forces d'inertie du volant moteur pour vaincre les "temps morts".





# LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

## c/ Le volant moteur :



Il est fabriqué en acier traité et possède une couronne dentée servant au démarrage, une roue phonique (ou cible) pour le déclenchement de certains capteurs et une face d'appui servant de support au système d'em-brayage. Il permet :

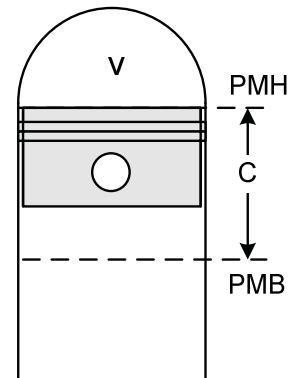
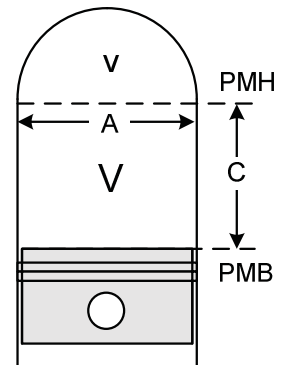
- De transmettre au vilebrequin l'inertie nécessaire permettant la rotation du moteur pendant les "temps morts" du cycle,
- L'entraînement du moteur pendant la phase démar-rage,
- La transmission du couple moteur au système de transmission.

1	Couronne dentée	3	Fixation sur vilebrequin
2	Roue phonique	4	Face d'appui

## 6/ Caractéristiques utiles des moteurs

### 6.1/ Terminologie

Alésage (A)	Diamètre intérieur du cylindre (en mm).
Course (C)	Déplacement du piston entre le PMH et le PMB (en mm). <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C &gt; A</math> : <b>moteur à course longue</b>,</li> <li>• <math>C = A</math> : <b>moteur carré</b>,</li> <li>• <math>C &lt; A</math> : <b>moteur super carré</b>.</li> </ul>
PMH	Point mort Haut : position du piston pour laquelle le volume de la chambre de combustion est minimal.
PMB	Point mort Bas : position du piston pour laquelle le volume de la chambre de combustion est maximal.
Cylindrée	Elle est obtenue par le volume balayé par le piston entre le PMH et le PMB. On distinguera la cylindrée unitaire (un seul cylindre) et la cylindrée totale (tous les cy-lindres).
Rapport volumétri-que $\rho$ (ou taux de compression)	C'est le rapport entre le volume de la cham-bre de combustion lorsque le piston est au PMB et le volume lorsque le piston est au PMH.

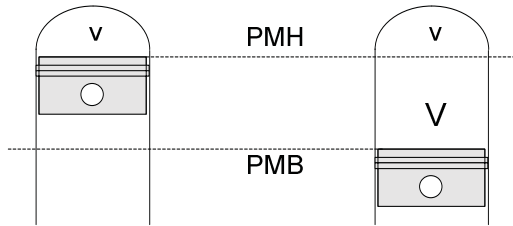




## LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

### 6.2/ Calcul

a/ Le rapport volumétrique :



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

Avec :

$\rho$  : rapport volumétrique (sans unité),

V : cylindrée unitaire (en cm<sup>3</sup>),

v : volume de la chambre de combustion, piston au PMH (en cm<sup>3</sup>).

Moteurs essence : de 8 à 12

Moteurs diesel : de 17 à 24

b/ La cylindrée :

Rappel du volume d'un cylindre :

$$V = \pi . R^2 . h = \frac{\pi . D^2}{4} . h$$

Avec :

V = volume

$\pi$  = pi (3,1416)

R = rayon du cylindre

D = diamètre du cylindre

h = hauteur du cylindre

En remplaçant le diamètre par l'alésage et la hauteur par la course, on obtient :

$$C_u = \frac{\pi . A^2}{4} . C$$

Avec :

C<sub>u</sub> = cylindrée unitaire

$\pi$  = pi (3,1416)

A = alésage

C = course

Pour calculer la cylindrée totale, on multiplie la cylindrée unitaire par le nombre de cylindre du moteur :

$$C_t = \frac{\pi . A^2}{4} . C . N$$

Avec :

C<sub>t</sub> = cylindrée totale

$\pi$  = pi (3,1416)

A = alésage

C = course

N = nombre de cylindre

Nota : l'unité de la cylindrée dépendra de l'unité de l'alésage et de la course.

Alésage	Course	Cylindrée
mm	mm	mm <sup>3</sup>
cm	cm	cm <sup>3</sup>
dm	dm	dm <sup>3</sup> (litre)



## LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

### 7/ Le cycle à 4 temps

#### 7.1/ Déroulement du cycle

PHASES	Déplacement du PISTON	Position soupape ADM	Position soupape ECH	Évolution des gaz		Déplacement du MANETON	Fonction de la PHASE
				Pression	T°c		
Admission	↓	O	F	Cte	Cte	180°	Aspiration de l'air ou d'un mélange air/essence (suivant le type d'injection).
Compression	↑	F	F	↗	↗	180°	Le mélange est comprimé par la diminution de volume.
Combustion Détente	↓	F	F	↘ ↗	↘ ↗	180°	Apport d'une énergie calorifique provoquant l'amorçage de la combustion. Détente des gaz, le piston descend violemment. C'est le <b>TEMPS MOTEUR</b> .
Echappement	↑	F	O	↘	↘	180°	Ouverture de la soupape, chute brutale de la pression, le piston en remontant chasse les gaz brûlés
FIN	Le cycle est terminé, le piston a parcouru 4 courses, dont une seule est moteur et dont trois sont résistantes ; le maneton quant à lui a parcouru 4 fois 180° = 720° soit 2 tours vilebrequin.						



## LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

### 7.2/ Le diagramme du cycle théorique de Beau de Rochas

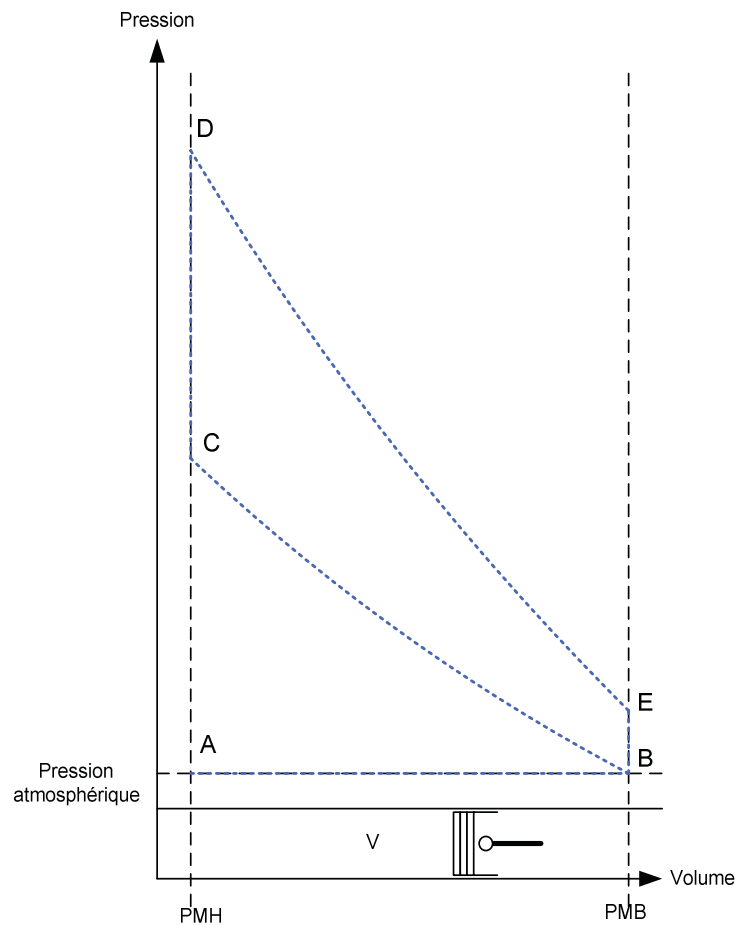
C'est la représentation graphique des **variations de pression** dans le cylindre en fonction des **variations de volumes**.

#### Etude du diagramme du cycle théorique

Nous avons vu précédemment que chaque course du piston modifiait la pression dans le cylindre.

Le diagramme théorique nous permet, pour chaque temps, de suivre l'évolution des pressions dans le cylindre pour les quatre courses du piston.

Sur le graphique, nous placerons :  
En abscisse (horizontalement) les déplacements du piston déterminant les volumes.  
En ordonnée (verticalement) les pressions régnant dans le cylindre.



#### Descriptif du diagramme du cycle théorique

#### De A à B : ADMISSION

Le piston descend du PMH au PMB. La soupape d'admission est ouverte. Le volume augmente dans l'enceinte thermique et la pression est égale à la pression atmosphérique.

#### De B à C : COMPRESSION

Le piston remonte du PMB au PMH. Les soupapes sont fermées. Le volume dans l'enceinte thermique diminue et la pression et la température augmentent.

#### De C à D : ALLUMAGE ET COMBUSTION

La combustion est déclenchée au point C par le système d'allumage. La température et donc la pression augmentent fortement très rapidement.

#### De D à E : DETENTE

Sous l'action de la forte pression due à la combustion, les gaz se détendent violemment et repoussent le piston qui redescend du PMH au PMB. **C'EST LE TEMPS MOTEUR.**

#### De E à A : ECHAPPEMENT

L'ouverture de la soupape d'échappement fait chuter la pression résiduelle dans l'enceinte thermique (E-B). Le piston remonte du PMB au PMH et chasse les gaz brûlés. Au PMH, la soupape d'échappement se ferme et la soupape d'admission s'ouvre : le cycle recommence.





## 7.3/ Le diagrammes réel

Le cycle théorique ne peut être réalisable car il ne tient pas compte de différents paramètres existant dans la pratique :

- Temps mis par les soupapes pour s'ouvrir et se fermer ;
- Inertie des gaz ;
- Délai d'inflammation du mélange ;
- Échange de chaleur avec l'extérieur.

Afin que les moteurs puissent fonctionner, il faut donc réaliser certains réglages :

- Augmenter le temps d'ouverture des soupapes,
- Avancer le point d'allumage.

On obtient ainsi le diagramme réel :

### AOA

#### Avance ouverture admission

L'AOA permet de bénéficier de l'inertie des gaz aspirés dans le cylindre voisin pour améliorer le remplissage.

### RFA

#### Retard fermeture admission

Le RFA permet d'améliorer le remplissage en profitant de la vitesse des gaz.

### AOE

#### Avance ouverture échappement

L'AOE permet d'éviter les contre-pressions à la remontée du piston.

### RFE

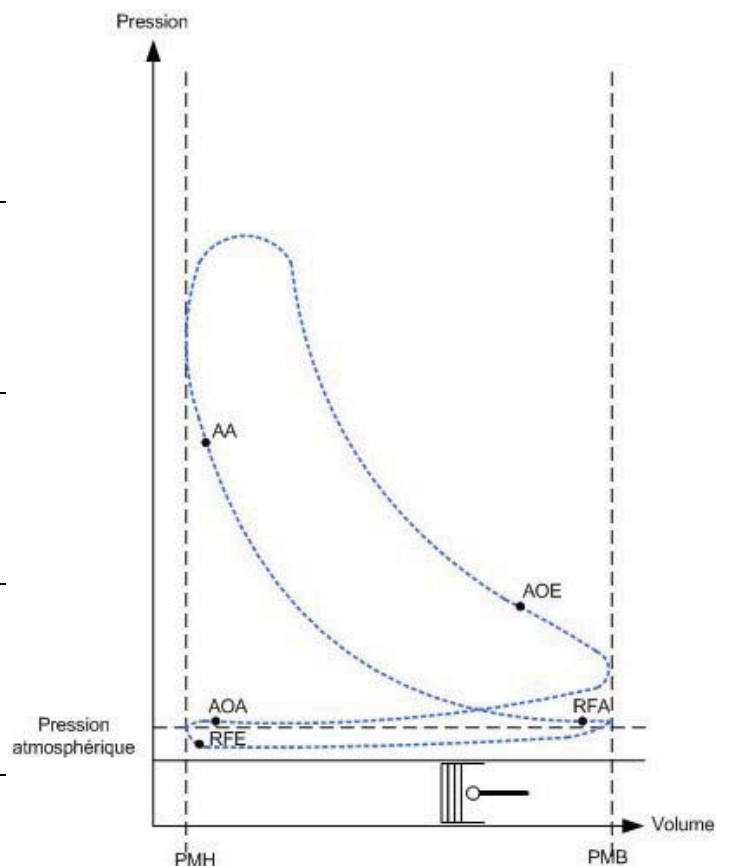
#### Retard fermeture échappement

Le RFE permet l'évacuation par inertie de tous les gaz brûlés.

### AA (AI pour moteur diesel)

#### Avance allumage (avance injection)

L'AA ou AI permet de tenir compte du délai d'inflammation ou d'injection et de la combustion qui n'est pas instantanée.



## 8/Couple et puissance moteur

Le couple moteur ( $C_m$ ) est le produit de la force qu'exerce la combustion sur la tête des pistons et la longueur du bras de manivelle du vilebrequin (hauteur des manetons). Ce couple est mesuré sur un appareil : **le banc d'essai moteur**.

La puissance effective d'un moteur ( $P_e$ ) est calculée à partir du couple moteur ( $C_m$ ) et de sa vitesse angulaire ( $\omega$ ).



## LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

La vitesse angulaire est obtenue à partir du régime de rotation par la relation suivante :

$$\omega = \frac{2.\pi.N}{60}$$

Avec :

$\omega$  : vitesse angulaire en radian par seconde (rad/s),

N : régime moteur en tours par minute (tr/mn),

Puissance effective :

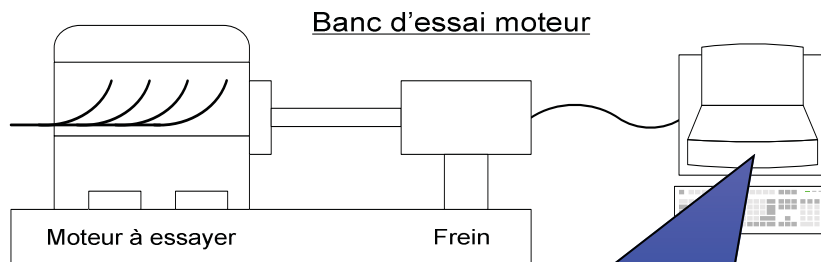
$$P = C . \omega$$

Avec :

P : puissance effective en watt (W),

C : couple moteur en Newton mètre (Nm),

$\omega$  : vitesse angulaire en radian par seconde (rad/s).



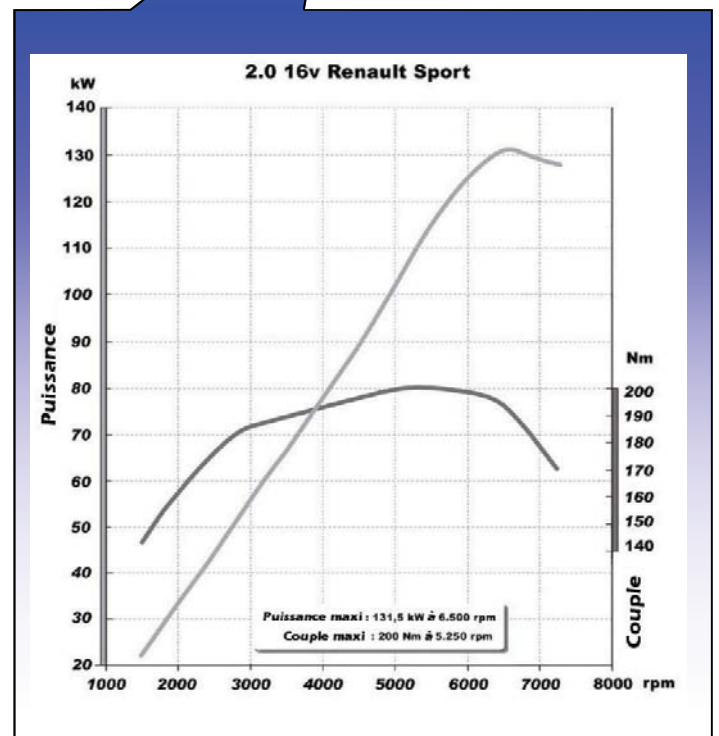
Normes **I.S.O.** : normes internationales qui imposent le Watt comme unité de puissance universel.

Puissance **S.A.E.** (Society of Automobile Engineers) : système américain qui consiste à relever la puissance du moteur dépourvu de ses accessoires et consommateurs de puissance (alternateur, pompe à eau, ventilateur...).

Puissance D.I.N. (Deutsche Industrie Normen, dite norme européenne) : dans ces essais, le moteur doit entraîner tous ces accessoires, aucun réglage en cours de mesure.

Puissance **fiscale** : puissance administrative.

Nota : 1 cheval (ch) = 736 watts



### 9/ Les différents types de moteurs

#### 9.1/ Classification suivant le type de carburant utilisé

On distingue deux grandes familles de moteurs à combustion interne utilisés en automobile :

- Le moteur à allumage commandé (moteur essence ou bi-carburants ess/GPL ou ess/GNV) ;
- Le moteur à allumage par compression ou auto-inflammation (moteur diesel).

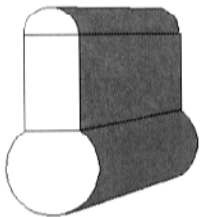


## LE MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

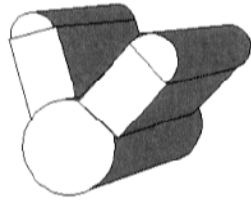
Il y a deux variantes dans chacun de ces deux types de moteur qui sont fonction du mode d'alimentation du combustible :

- Si le combustible est injecté directement dans la chambre à combustion, le moteur est dit à "**injection directe**" ;
- Si le combustible est injecté dans une préchambre ou dans la tubulure d'admission, le moteur est dit à "**injection indirecte**".

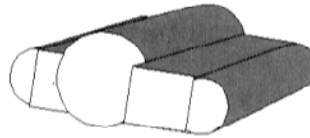
### 9.2/ Classification suivant la disposition des cylindres



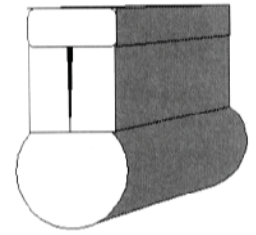
Moteur en ligne



Moteur en V



Moteur à plat



Moteur VR

Moteurs en ligne :

Ex : Laguna, Clio, 407, 307, C3, C5, BMW série 3...

Moteurs en V :

Ex : 407 V6, Espace IV V6, F430, M5...

Moteurs à plat :

Ex : 911, Impreza...

Moteurs VR :

Ex : Golf VR5 et VR6, Passat...

### 10/ Ordre de fonctionnement des moteurs

Tableau de fonctionnement d'un 4 cylindres en ligne

Ordre : 1-3-4-2

	0°	180°	360°	540°	720°
1	ADM	COMP	DETENTE	ECH	
2	COMP	DETENTE	ECH	ADM	
3	ECH	ADM	COMP	DETENTE	
4	DETENTE	ECH	ADM	COMP	

Autres ordres de fonctionnement :

- 6 cylindres en ligne : 1-5-3-6-2-4
- 6 cylindres en V : 1-6-3-5-2-4