

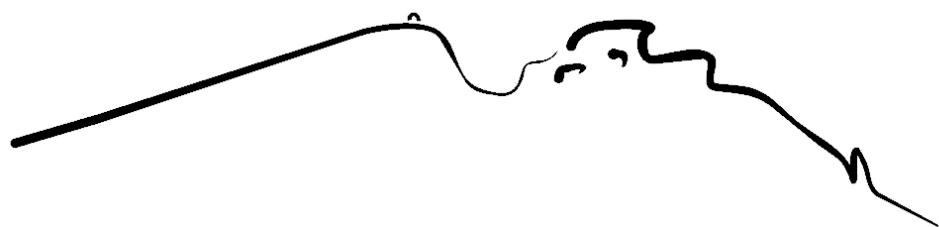
**ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
ENP D'ORAN « MAURICE AUDIN »**

**DÉPARTEMENT DE GÉNIE MÉCANIQUE**



**SUPPORT DE COURS N° 3**

**Complément de Master  
FONCTIONNEMENT ET ARCHITECTURE DU  
MOTEUR A COMBUSTION INTERNE**



# Fonctionnement et architecture du moteur à combustion interne

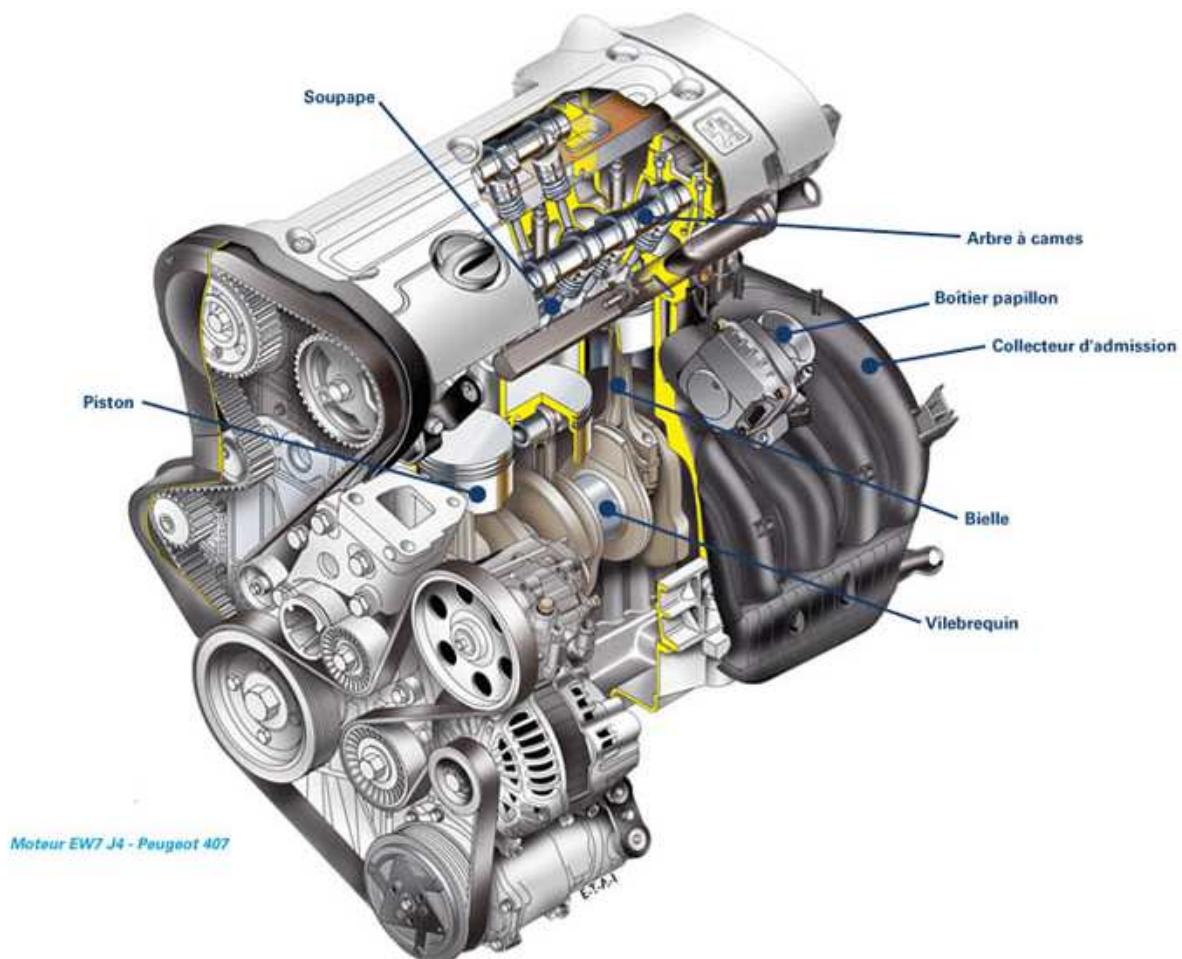
## I. Moteur à 4 temps

### I.1. Définition

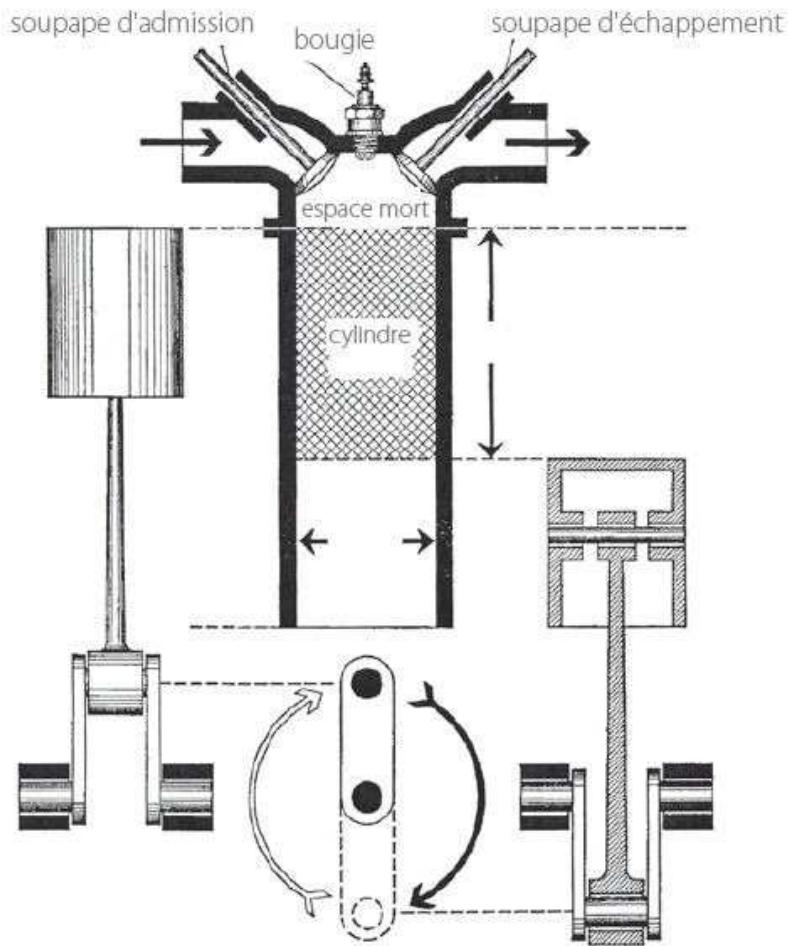
Un moteur à 4 temps est un moteur à pistons qui nécessite de faire deux tours complets pour revenir au point de départ. Le moteur a été inventé par Nicolaus Otto en 1876, c'est pourquoi on parle parfois aussi de moteur Otto.

On parle plus généralement de moteur à 4 temps car :

- Le processus de travail se déroule en 4 mouvements du piston ;
- Un mélange air-carburant est introduit dans le cylindre au cours de l'une de ces phases.



## I.2. Représentation schématique d'un moteur à 4 temps



## I.3. Fonctionnement

En partant d'un cylindre vide et du piston en position haute, les quatre temps sont :

- I.3.1. Temps d'admission
- I.3.2. Temps de compression
- I.3.3. Temps de détente (temps de travail)
- I.3.4. Temps d'échappement

Le carburant est consumé au fil d'une série d'explosions régulées de façon très précise. Suite aux explosions à l'intérieur des cylindres, les pistons sont repoussés vers le bas. Ceci fait tourner le vilebrequin qui transmet en partie la puissance du moteur à un arbre à cames. L'arbre à cames régule l'ouverture des soupapes. Ainsi chaque explosion peut-elle avoir lieu à un moment précis.

## I.4. Processus Diesel à 4 temps

Le processus de travail sur un moteur Diesel à 4 temps se déroule également en 4 mouvements du piston, à savoir le temps d'admission, le temps de compression, le temps de travail et le temps d'échappement. Cependant, le carburant n'est pas mélangé à l'air à l'extérieur du cylindre mais il est injecté directement dans le cylindre.

## I.5. Applications

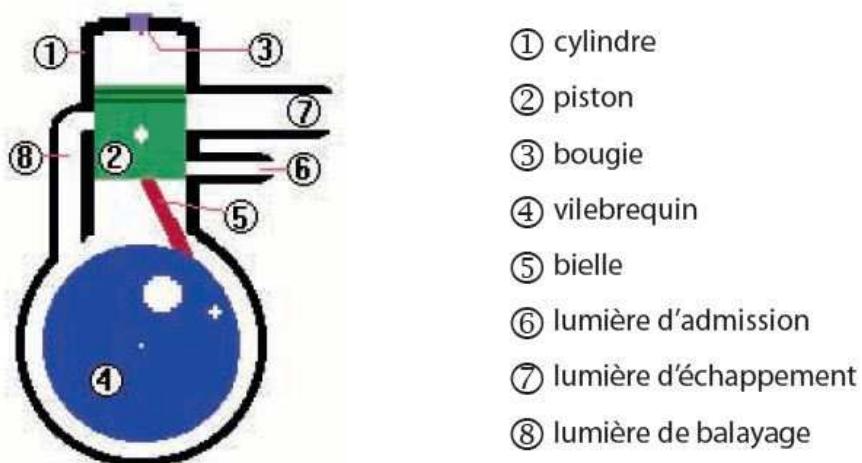
Un moteur à 4 temps délivre une puissance motrice utile à des véhicules et des machines. C'est le moteur à combustion interne le plus répandu.

## II. Moteur à 2 temps

### II.1. Définition

Un moteur à 2 temps est un moteur à pistons (de type moteur à combustion) qui délivre de la puissance à chaque descente des pistons dans les cylindres. Ceci diffère d'un moteur à 4 temps où les pistons ne délivrent de la puissance que lors d'une descente sur deux.

### II.2. Représentation schématique d'un moteur à 2 temps



---

Organes d'un moteur à deux temps (Essence)

---

### II.3. Fonctionnement

Le fonctionnement d'un moteur à 2 temps repose sur le même principe que le moteur à 4 temps mais le processus est différent. Au lieu des quatre phases, le moteur à 2 temps ne compte que deux phases tout en produisant le même effet que le moteur à 4 temps.

- Le moteur à 2 temps effectue uniquement un temps de travail et un temps de compression.
- Le moteur à 2 temps n'a pas de soupapes mais une lumière d'échappement.
- L'admission d'air frais s'effectue grâce à des lumières de balayage dans le bas de la chemise de cylindre, qui sont en communication avec le carburateur.
- Quand le piston se trouve dans la partie haute du cylindre et se déplace vers le bas, la lumière d'échappement va à un moment donné se dégager et les lumières de balayage seront ouvertes par le piston lui-même.

L'essence est aspirée en continu, en général, les moteurs à 2 temps sont plus puissants que les moteurs à 4 temps parce qu'avec le même nombre de cylindres, ils produisent deux fois plus de combustion à un régime donné.

## II.4. Cycle du moteur à 2 temps

Comme il a été cité auparavant, un moteur deux temps effectue toutes les phases nécessaires à un cycle sur un tour de vilebrequin.

Les figures suivantes expliquent étape par étape ce qui se produit dans et autour du cylindre au cours d'un tour de vilebrequin.

On retiendra le principe du moteur tel qu'il est appliqué dans les moteurs à 2 temps : c'est le piston qui ouvre et ferme les orifices.

### II.4.1. Point mort haut (Allumage)

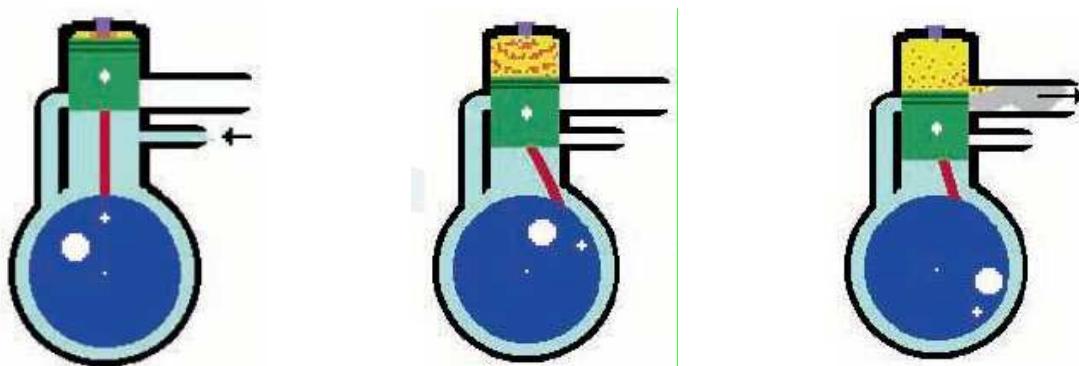
Au point mort haut (PMH), le mélange comprimé est allumé par l'étincelle de la bougie. Le front de flamme de l'explosion remplit la culasse d'une forte pression et d'une forte chaleur, ce qui repousse le piston vers le bas. Sous le piston, le volume de la chambre de vilebrequin est à son maximum, ce qui permet de bien aspirer le mélange frais à travers la lumière d'admission (en provenance du carburateur).

### II.4.2. Temps de travail

Quand le piston est poussé vers le bas par la dilatation des gaz de combustion, il atteint sa plus grande vitesse et peut transmettre une puissance optimale au vilebrequin. Sous le piston, la pression commence à monter du fait de la réduction de volume, l'admission est obturée.

### II.4.3. La lumière d'échappement s'ouvre

Dès que le piston atteint la lumière d'échappement ouverte, le mélange brûlé et chaud est refoulé vers l'extérieur à travers l'ouverture ainsi dégagée. De ce fait, la pression dans le cylindre diminue fortement. Sous le piston en revanche, la pression du mélange aspiré continue à augmenter.



Processus de déplacement du piston du PMH au PMB

### II.4.4. Point mort bas

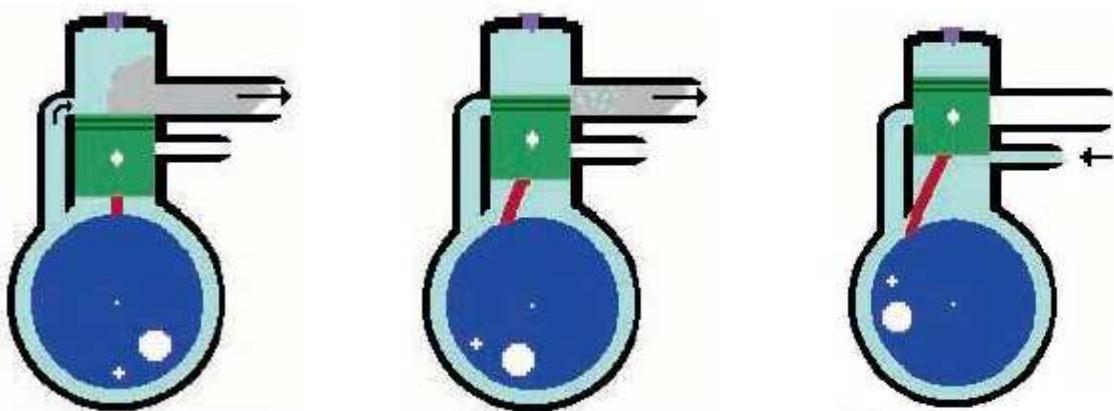
Les gaz brûlés sont refoulés vers l'extérieur à travers la lumière d'échappement par le mélange frais arrivant par la lumière de balayage. Le cylindre se remplit d'un mélange frais (froid) d'air et d'essence. Le mélange frais contient aussi de l'huile 2 temps, indispensable pour lubrifier le piston, le cylindre et les paliers du vilebrequin.

#### **II.4.5. La lumière de balayage se ferme**

Sous l'action du volant du vilebrequin, le piston remonte dans le cylindre et ferme la lumière de balayage. Les derniers résidus de mélange brûlé sont alors expulsés dans l'échappement (avec un peu de mélange frais).

#### **II.4.6. Temps de compression**

La lumière d'échappement est à présent fermée et le mélange frais est comprimé par le piston qui remonte. Sous le piston, la pression diminue, ce qui provoque l'aspiration du mélange délivré par le carburateur à travers l'admission alors ouverte.



Processus de déplacement du piston du PMB au PMH

### **II.5. Applications**

Les moteurs à essence à 2 temps sont d'ordinaire utilisés sur des véhicules dont la puissance importe plus que la consommation de carburant.

**Exemples :** Cyclomoteurs, tronçonneuses, tondeuses à gazon, etc.

La plupart des gros moteurs Diesel qui sont utilisés pour la propulsion de navires fonctionnent également suivant le principe à 2 temps. Ce type de moteur est également utilisé dans les locomotives diesel-hydrauliques et diesel-électrique.

Dans ces applications, on mélange un peu plus de lubrifiant dans le carburant (= mélange carburant/huile).

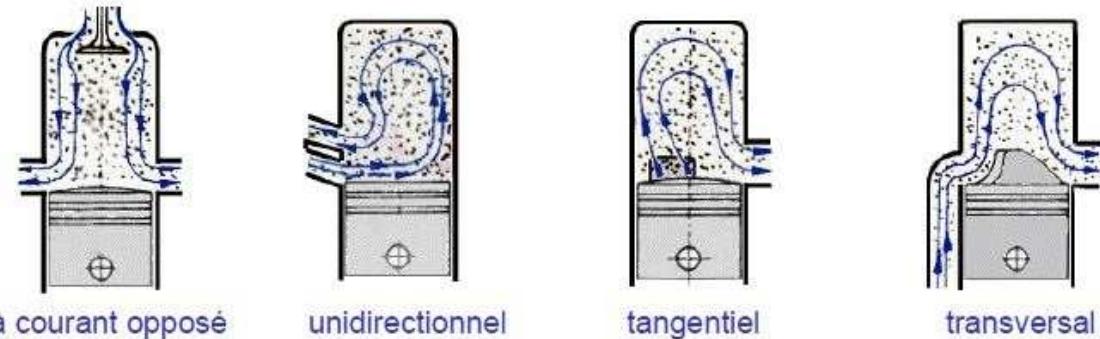
#### **Pourquoi ?**

Les organes internes du moteur ne disposent pas de leur propre alimentation en lubrifiant.

**Important :** Aujourd'hui, presque toutes les machines ont un moteur 4 temps plutôt qu'un moteur 2 temps.

## II.6. Types de balayage

Cette phase, qui correspond au refoulement des gaz brûlés par les gaz frais, est déterminée par la hauteur des lumières de transfert et d'échappement. En fonction de la disposition des lumières d'admission et de l'allure des courants de balayage dans le cylindre, on peut en distinguer quatre types.



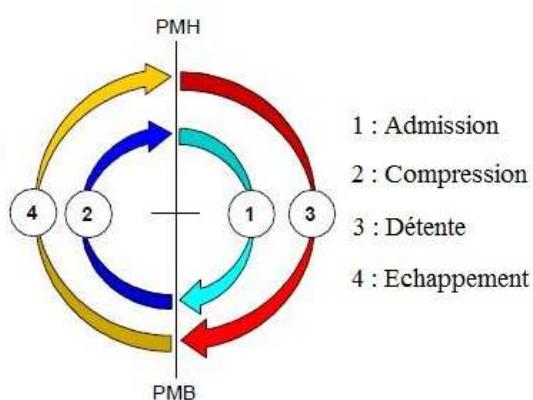
Les quatre types de balayage

Dans les moteurs à deux temps, le balayage est la phase de fonctionnement pendant laquelle s'effectue l'admission du gaz frais dans la chambre de combustion, en provoquant en même temps l'expulsion des gaz brûlés. La position relative des lumières de balayage et d'échappement est un élément important pour le rendement du balayage. On distingue plusieurs types de balayage, suivant la position des lumières

## Résumé : Cycles des moteurs à piston

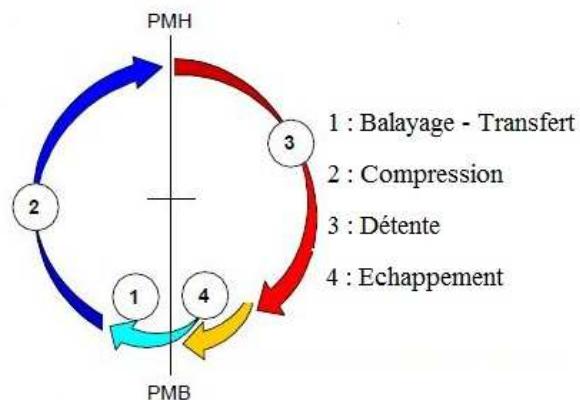
### Moteur à 4 Temps :

Cycle 4 Temps :  $4\pi$      $-360^\circ < \varphi < +360^\circ$



### Moteur à 2 Temps :

Cycle 2 Temps :  $2\pi$      $-180^\circ < \varphi < +180^\circ$



**Inconvénient :** Faible puissance spécifique  
(1 Combustion sur 2 tours)

**Avantage :** Souplesse ↑ Fiabilité ↑, Pollution ↓

Compromis entre évacuation des gaz et déperdition du mélange frais à l'échappement

**Inconvénient :** Pollution ↑, Plage d'utilisation ↓

**Avantage :** Puissance spécifique ↑

### III. Les organes d'un moteur à combustion interne

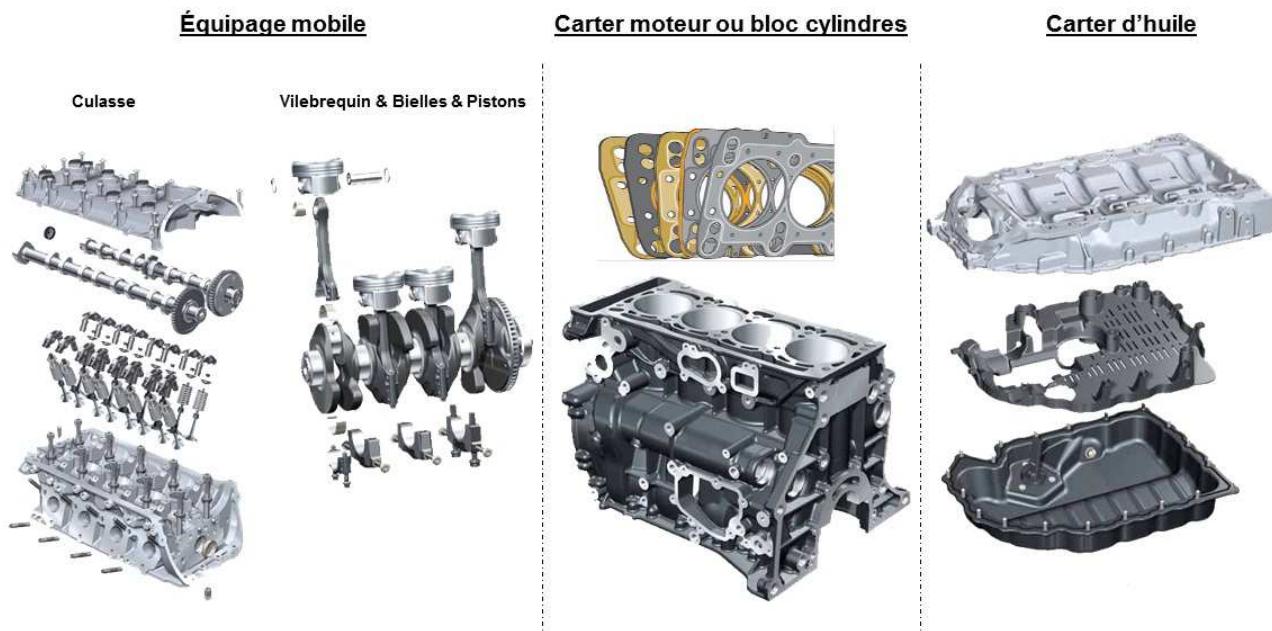
*De quoi est constitué en général un moteur à combustion interne ?*

D'une manière générale, nous pouvons dire que la conception des moteurs à combustion est relativement identique [1].

Les moteurs se divisent en trois éléments :

- **La Culasse** (partie supérieure)
- **Le Bloc Moteur** (partie centrale)
- **Le Carter d'huile** (partie inférieure)

En mécanique automobile, les pièces en mouvement dans le moteur sont désignées comme » équipage mobile ». (Arbre à came / Soupapes / Vilebrequin / Bielles / Pistons)



### III.1 Culasse

#### III.1.2. Rôle de la culasse

La culasse ferme la partie supérieure du bloc moteur. Les soupapes sont ménagées dans la culasse.

Compte tenu de la grande quantité de chaleur dégagée à cet endroit, le refroidissement doit être très efficace.

#### III .1.2. Matière

La culasse est une pièce en métal coulé. Ce procédé de fabrication s'explique par sa forme complexe comme c'est le cas pour le bloc-moteur.

##### Information :

La combinaison d'un bloc en fonte et d'une culasse en aluminium génère une énorme différence de dilatation.

- L'aluminium se dilate deux fois plus vite que l'acier.

##### III.1.2.1 Type

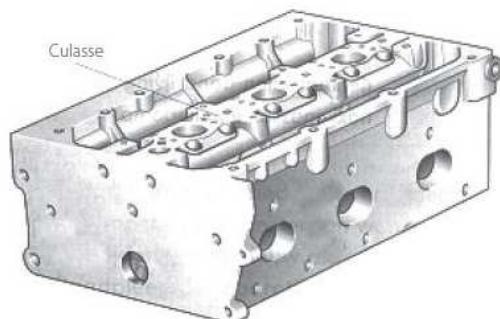
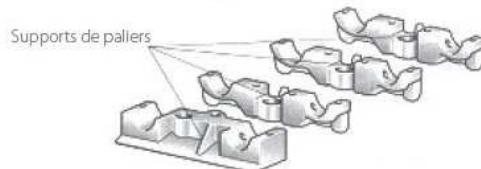
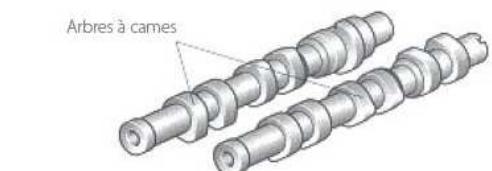
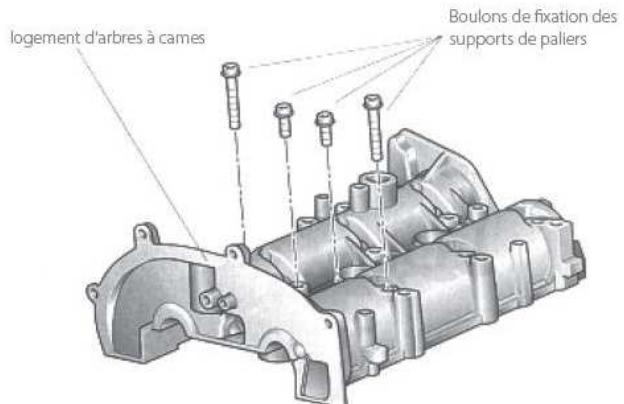
Comme matière première, on utilise

- l'aluminium
- la fonte

La qualité de la matière première revêt une grande importance.

##### Motif :

La culasse est très fortement sollicitée.



#### III.1.3.Types de culasses

Sur la plupart des moteurs, la configuration est la suivante :

- culasse en fonte d'acier et arbre à cames latéral : cet agencement ne se retrouve plus sur les voitures mais seulement sur les camions et engins de terrassement.

La culasse comprend deux ou quatre soupapes par cylindre. On trouve dans cette pièce coulée les conduits d'admission et les soupapes avec les culbuteurs.

- culasse en aluminium avec 2 ou 4 soupapes par cylindre et arbre à cames latéral.
- culasse en fonte d'acier et arbre à cames en tête :

Dans ce cas-ci, on ne peut pas placer l'arbre à cames dans plusieurs culasses distinctes.

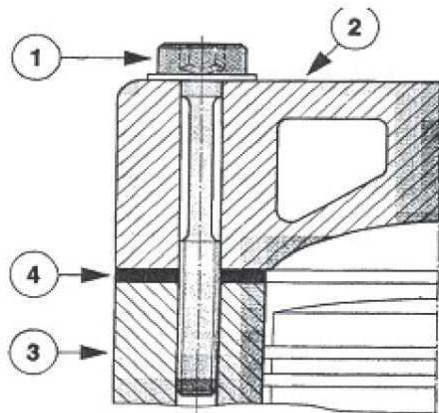
- culasse en aluminium avec arbre à cames en tête : actuellement la configuration la plus utilisée sur les voitures. Convient aux modèles à 2 soupapes ou plus par cylindre.

### III.1.4. Fixation de la culasse au bloc-moteur

Du fait que les deux parties (culasse et bloc-moteur) doivent être fermement assemblées mais doivent aussi pouvoir être séparées, on utilise un ensemble de boulons robustes.

Entre les deux parties se trouve le joint de culasse.

Pour fixer convenablement la culasse, il faut éliminer autant que possible les tensions dans la matière. C'est pourquoi on serre les boulons en procédant de l'intérieur vers l'extérieur suivant une séquence précise.



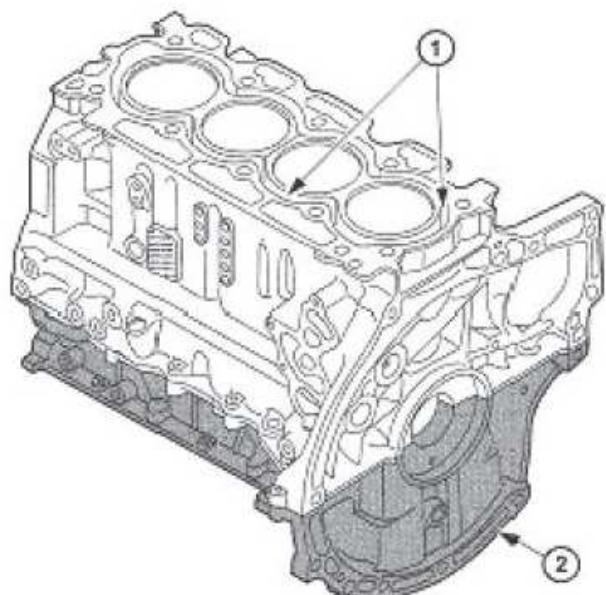
1. boulon de culasse  
2. culasse  
3. bloc-moteur  
4. joint de culasse

Avant de serrer les boulons, il convient de consulter les indications du constructeur.

## III.2. Bloc Cylindre

Le bloc-cylindres est également appelé bloc-moteur. C'est dans le bloc-moteur que se trouvent les cylindres.

Le bloc-moteur est fermé en dessous par le carter (ou carter d'huile) et au-dessus par la culasse.



### III.2.1 Matière

Du fait de sa forme complexe, le bloc-moteur est une pièce coulée généralement réalisée en fonte mais parfois aussi en aluminium.

Le bloc comporte de nombreuses cavités intérieures permettant le passage du liquide de refroidissement. Les pistons sont montés directement sur les blocs-moteurs en fonte.

Sur les blocs-moteurs en aluminium, il faut prévoir une chemise de cylindre résistante à l'usure. On peut aussi obtenir une surface résistante à l'usure en appliquant une couche de Nicasil.

**Information :** Nicasil est un alliage de nickel et de carbure de silicium.

### III.2.2. Types de refroidissement



Moteurs refroidis par air



Moteurs refroidis par eau (ou par liquide)

### III.3. pistons et segments de pistons

#### III.3.1. Pistons

Un piston est un élément cylindrique pouvant se déplacer en va-et-vient dans un cylindre. Ce mouvement génère un déplacement de gaz ou une variation de pression de ce gaz, qu'on appelle compression.

Dans les machines où le piston a une forme cylindrique, le piston est relié au vilebrequin par une bielle ou tige de piston. Le piston est entouré de segments de piston assurant une bonne étanchéité entre les deux côtés.



#### III.3.2. Objectif

- assurer l'étanchéité de la chambre de combustion
- produire une pression négative pour aspirer une nouvelle quantité de mélange
- pendant le temps de travail, transmettre les forces au vilebrequin via la bielle
- être aussi léger que possible pour limiter les forces massiques
- résister aux températures élevées sans subir une trop forte dilatation

#### III.3.3. Matière des pistons

Auparavant, le piston était fabriqué en fonte de fer en raison de ses bonnes aptitudes au frottement. Du fait de la masse élevée et des grandes forces massiques sur les pistons en fonte, on a par la suite adopté des métaux plus légers. On recourt aujourd'hui à un alliage d'aluminium

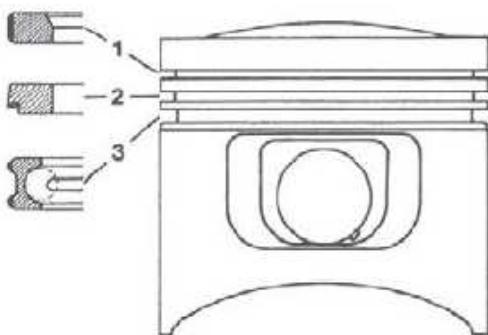
### III.3.4. Segments de pistons

#### III.3.4.1. Objectif

La fonction principale du segment de piston est d'assurer l'étanchéité, c'est-à-dire :

- empêcher l'air, le carburant et des résidus de combustion d'atteindre le carter en passant par les côtés du piston
- racler l'huile excédentaire adhérant à la paroi du cylindre et la ramener dans le carter
- évacuer une partie de la chaleur du piston vers la paroi du cylindre

De ce fait, le segment de piston détermine dans une large mesure le rendement du moteur, il doit pouvoir remplir son rôle dans des conditions extrêmes.



L'illustration ci-contre montre comment les segments de piston sont agencés sur le piston.

Les segments supérieurs sont appelés segments de compression.

**Objectif** : assurer l'étanchéité du piston dans le cylindre.

Sur l'illustration qui précède, ils sont repérés par les numéros (1) et (2).

Le segment inférieur (3) est un segment racleur d'huile.

**Objectif** : racler l'huile excédentaire sur la paroi du cylindre et la ramener dans le carter.

#### Attention

Les pistons doivent être bien lubrifiés au montage. Pendant les premiers tours, il n'y a pas encore de lubrification du moteur.

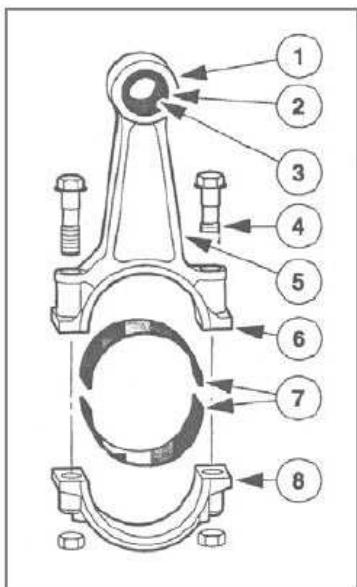
#### III.3.4.2. Types de segments

Généralement Il y a trois types de segment :

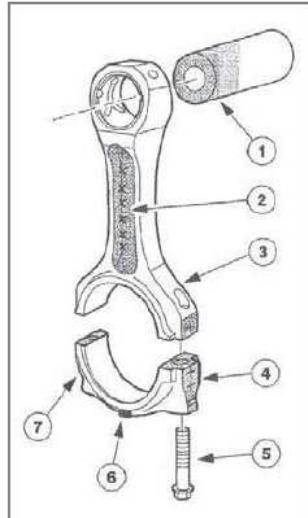
- Le premier, tout en haut, est là **pour protéger les deux autres du bas** : le but est que le moteur fonctionne longtemps !
- Le deuxième est certainement le plus important car **il s'occupe de garder bien étanche le haut du cylindre par rapport au bas**. Il doit donc pouvoir subir de grosses compressions.
- Celui qui est situé tout en bas sert à "balayer" l'huile pour la ramener vers le bas, **c'est le segment racleur**. Son but est donc d'éviter de laisser de l'huile sur les parois, ce qui provoquerait sa combustion quand le piston est tout en bas. Il a souvent l'allure de segments ondulés.

### III.4. Bielles

#### III.4.1. Représentation schématique



1. pied de bielle
2. bague de palier
3. passage d'huile
4. boulon élastique
5. corps de bielle
6. tête de bielle
7. coussinets
8. chapeau de bielle

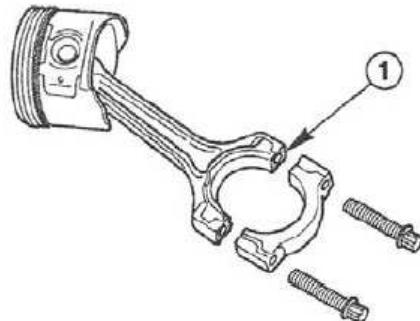


1. axe de piston
2. numéro de pièce
3. bielle
4. indication de longueur
5. boulon de chapeau de bielle
6. ergot pour indiquer la face avant
7. indication de poids

#### III.4.2. Objectif

La bielle est l'organe de liaison entre le piston et le vilebrequin. Il s'agit d'une tige forgée qui doit être aussi légère mais en même temps aussi solide que possible.

**Pièce forgée** : pièce ayant subi une trempe locale par magnétisme jusqu'à 1.400 °C.



1. chapeau de bielle séparé de la bielle par "cassure"

Le pied de bielle est enfilé sur l'axe de piston. Un palier (en bronze) se trouve entre la bielle et le vilebrequin de façon à transformer le mouvement vertical du piston en mouvement de rotation au niveau du vilebrequin.

La bague est souvent lubrifiée à partir du vilebrequin (canal d'huile). La bielle est également articulée du côté du piston.

La tête de bielle et le chapeau de bielle forment la liaison avec le vilebrequin. Aujourd'hui, ils sont de plus en plus fabriqués ensemble et ensuite "cassés".

On ne peut donc jamais monter un chapeau de bielle différent.

Sur les gros moteurs, la séparation entre la tête de bielle et le chapeau de bielle n'est pas perpendiculaire à l'axe longitudinal mais oblique.

Dans ce cas, le chapeau et la tête de bielle sont pourvus d'une denture.

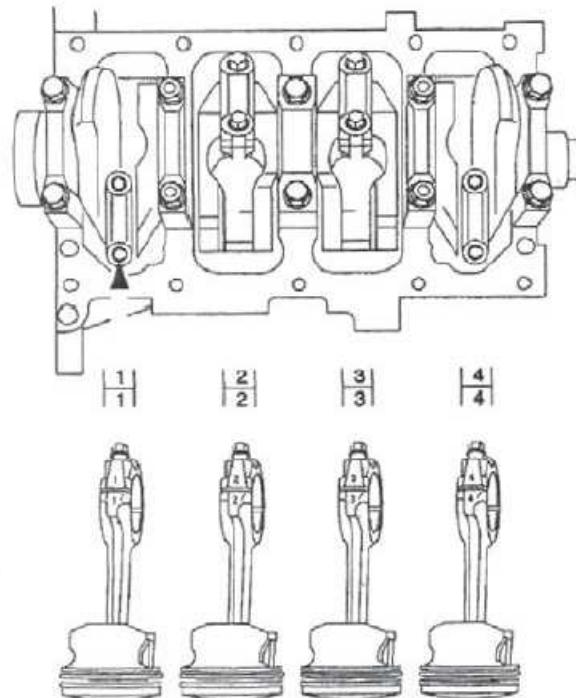
Les boulons avec lesquels la bielle est assemblée ont un pas de vis très fin et sont bloqués d'une manière ou d'une autre.

Le serrage des boulons s'effectue avec une clé dynamométrique. Les boulons élastiques d'une bielle doivent être remplacés lors de chaque démontage.

Les bielles et les chapeaux de bielle sont indissociables et ne peuvent pas être interchangés.

### III.4 .3. Numérotation des bielles et des chapeaux de bielles

1. Identification du chapeau de bielle
2. Identification de la bielle



## III.5. Vilebrequin

### III.5.1. Définition

Un vilebrequin est un axe excentrique qui convertit un mouvement rectiligne en un mouvement rotatif. Il constitue un élément essentiel des moteurs à essence, moteurs Diesel et autres moteurs à combustion. Il en existe de nombreuses formes et tailles selon le constructeur et le nombre de cylindres.



### III.5.2. Fonctionnement

Un vilebrequin est une tige ronde comportant une ou plusieurs manivelles qui sont reliées aux pistons mobiles par l'intermédiaire d'une bielle. Quand le piston descend, la manivelle est repoussée et fait tourner le vilebrequin.

Le vilebrequin est un élément important dans tout ensemble générant un mouvement motorisé ; il doit être conçu au millimètre près car il est soumis à de fortes pressions. De plus, comme il atteint des vitesses de rotation élevées, toute erreur de construction ou de montage entraîne de grosses dégradations.

### III.5.3. Matière

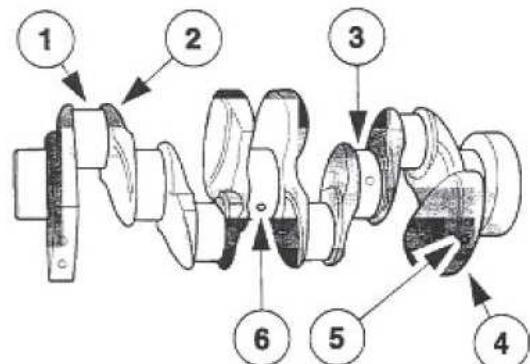
Les vilebrequins coulés sont fabriqués en acier pur de divers types.

#### Exemples :

- découpage de tôles à la presse
- Il s'agit d'emblée d'un produit de bonne qualité qui doit simplement recevoir encore quelques petites finitions.
- Le vilebrequin est usiné sur mesure, soumis à une trempe locale et ensuite équilibré

### III.5.4. Représentation schématique

- Le vilebrequin est relié à une bielle, chaque maneton est durci en surface et usiné.
- Le bras de manivelle se trouve entre le maneton et le tourillon.
- sur un moteur à 4 cylindres, le tourillon ou palier principal est presque toujours soutenu à cinq endroits par des paliers dans le bas du bloc-moteur.
- Des contrepoids sont fixés au vilebrequin. Ceux-ci servent à assurer l'équilibrage statique et dynamique.
- Pour équilibrer un vilebrequin, on enlève un peu de métal aux endroits trop lourds. sur les moteurs lourds, on ajoute des poids supplémentaires.
- Les tourillons et les manetons doivent être très bien lubrifiés. C'est pourquoi un canal d'huile aboutit à chaque palier principal dans le bloc-moteur. L'huile peut atteindre les manetons via des passages dans le vilebrequin. L'huile assure une lubrification sous pression et un refroidissement et ressort du palier par les côtés.



1. maneton
2. bras de manivelle
3. tourillon
4. contrepoids
5. alésage d'équilibrage
6. passage d'huile

Le volant moteur est fixé à l'autre extrémité. La fixation est assurée par des boulons à pas de vis très fin.

#### Important :

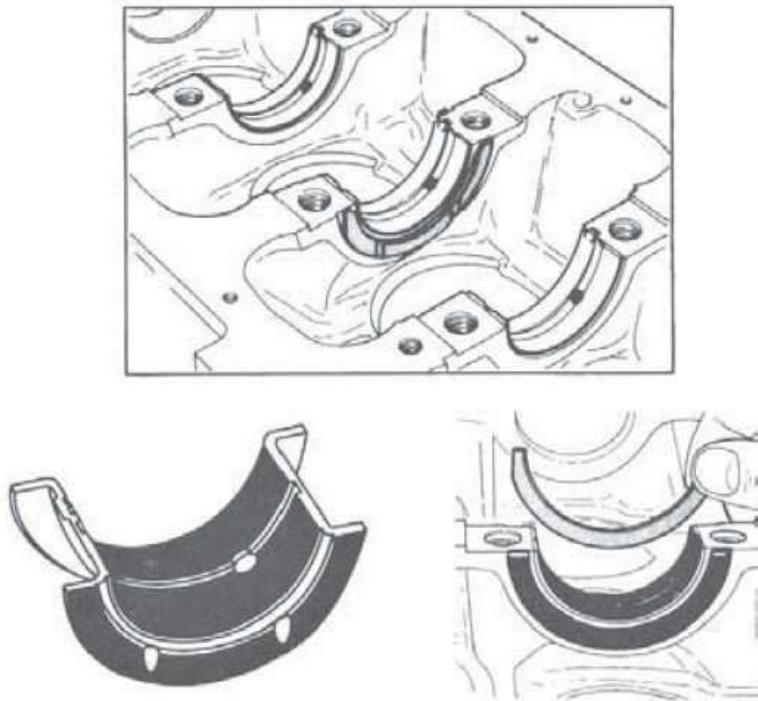
Observez que les trous ne sont pas répartis uniformément sur la circonférence.

Le volant est équilibré en même temps que le vilebrequin et ne peut donc être monté que dans une seule position.



### III.5.5. Paliers de vilebrequin

Des demi-paliers sont ménagés dans le bloc-moteur. Ces paliers sont composés d'un support en acier sur lequel la matière formant palier est appliquée en plusieurs couches. Ces demi-paliers sont appelés coussinets.



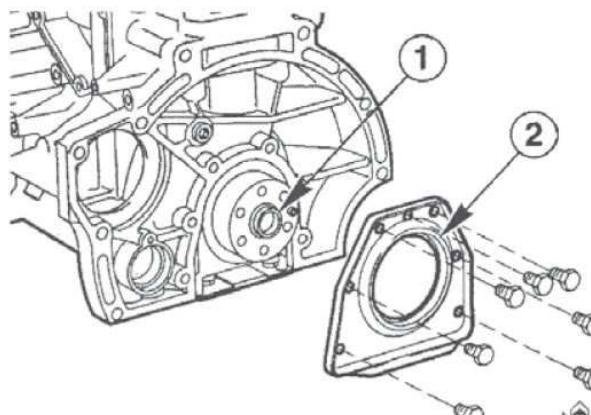
Il en existe deux modèles :

- le coussinet semi-circulaire classique
- le coussinet axial

Chaque coussinet comporte un ergot qui s'emboîte dans un évidement formé dans le bloc-moteur pour empêcher le coussinet de tourner.

Un trou est pratiqué dans l'un des deux coussinets associés. Celui-ci sert à favoriser l'apport en lubrifiant.

### III.5.6. Étanchéité du vilebrequin



1. Vilebrequin  
2. Bague d'étanchéité

Un vilebrequin doit être parfaitement étanche à l'huile. On ne peut tolérer aucune perte d'huile du côté distribution ou du côté volant. Le joint se compose d'une bague d'étanchéité qui est généralement montée dans une bride spéciale (voir figure ci-après).



### **III.6. Mécanisme à soupapes**

Les soupapes d'un moteur à combustion à quatre temps assurent l'admission du mélange air/carburant et l'évacuation des gaz de combustion hors des cylindres.

La soupape d'admission permet l'aspiration d'une quantité de mélange frais air/carburant dans le cylindre.

Les soupapes d'admission sont ouvertes pendant le temps d'admission.

La soupape d'échappement permet l'évacuation des gaz de combustion hors du cylindre qui sont expulsés par la remontée du piston pendant le temps d'échappement. Les soupapes se trouvent en général dans la culasse. Sur les moteurs plus anciens, chaque cylindre avait une seule soupape d'admission et une seule soupape d'échappement. Sur les moteurs modernes, il y a en général deux soupapes d'admission et deux soupapes d'échappement par cylindre. Les soupapes sont entraînées directement ou indirectement par l'arbre à cames.

Les moteurs modernes ont généralement un arbre à cames en tête, ce qui permet des régimes plus élevés que sur les moteurs avec arbre à cames latéral.

Le fonctionnement est également plus précis du fait de l'absence de tiges de pousoirs.

Certains moteurs ont deux arbres à cames séparés : l'un pour les soupapes d'admission et l'autre pour les soupapes d'échappement.

Le nombre de soupapes d'un moteur est généralement signalé à côté de la lettre V (de l'anglais "valve" qui signifie soupape).

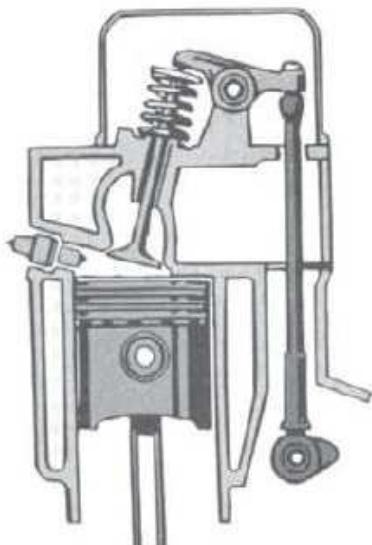
### III.6.1. Types de mécanismes à soupapes

#### III.6.1.1. Arbre à cames latéral

La distribution est donc très simple, il faut une longue tige de poussoir et un culbuteur.

*Inconvénients de cette construction :*

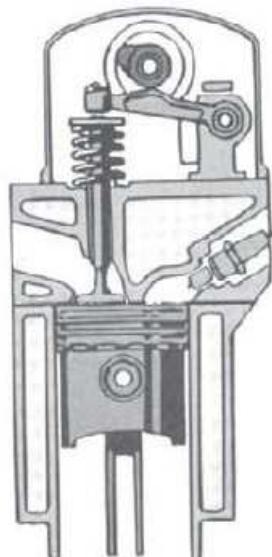
- système de commande plus lourd qui doit chaque fois être mis en mouvement
- ne convient pas aux régimes élevés



#### III.6.1.2. Arbre à cames en tête qui actionne un linguet

*Avantage :*

- système de commande simple
- autorise des régimes supérieurs

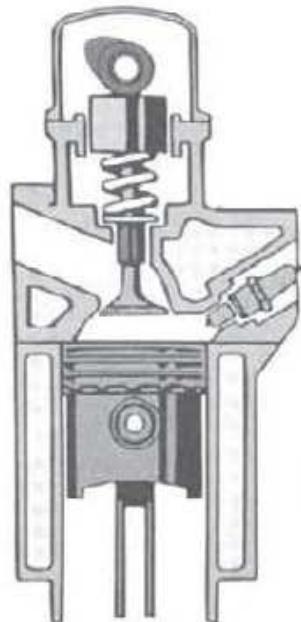


### **III.6.1.3. Système avec arbre à cames en tête mais sans linguet**

Pour ne pas trop solliciter le guide de soupape, on place une douille guidée entre la came et la soupape.

*Avantage :*

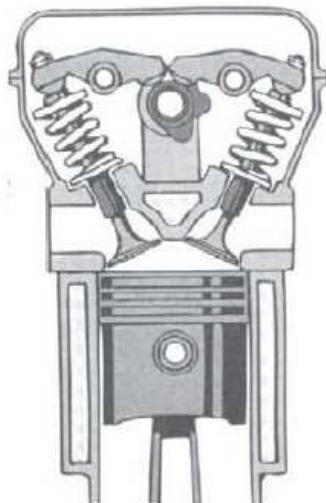
- poids moindre par rapport au système avec linguet



### **III.6.1.4. Système avec simple arbre à cames en tête pourvu de deux linguets**

*Avantage :*

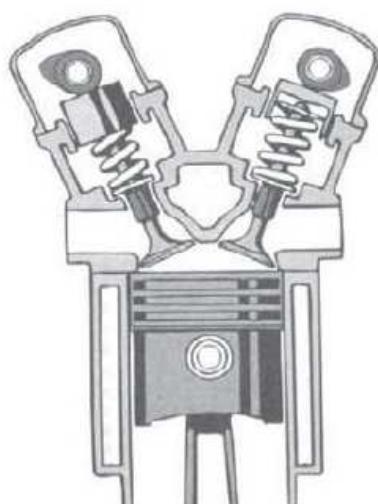
- commande simple
- autorise des régimes supérieurs



### **III.6.1.5. Système avec double arbre à cames en tête, actionnant chacun une douille guidée**

*Avantage :*

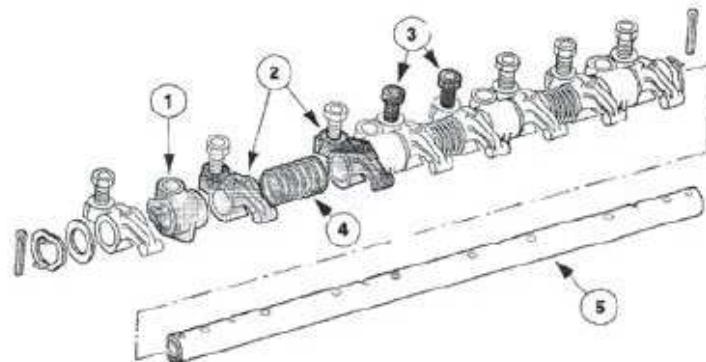
- commande simple
- autorise des régimes supérieurs
- très utilisé sur les moteurs modernes



### III.6.2. Axe de culbuteurs

Il s'agit généralement d'un axe creux car souvent il fait également office de canal d'huile pour la lubrification. L'axe de culbuteurs est un élément très sollicité que l'on retrouve parfois extrêmement usé sur de vieux moteurs. Cet axe assure l'actionnement des soupapes.

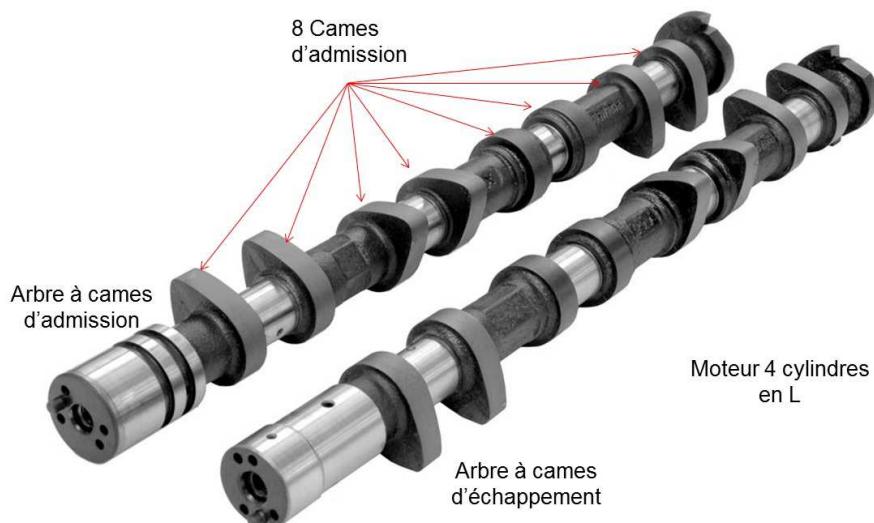
Avec l'essor des configurations à quatre soupapes par cylindre, les culasses à deux arbres à cames se sont largement développées.



1. support
2. culbuteur
3. boulon de réglage
4. ressort
5. axe de culbuteurs

### III.7. Arbre à cames

Un arbre à cames est un arbre pourvu de cames servant à convertir le mouvement rotatif de l'arbre en un mouvement alternatif (va-et-vient).



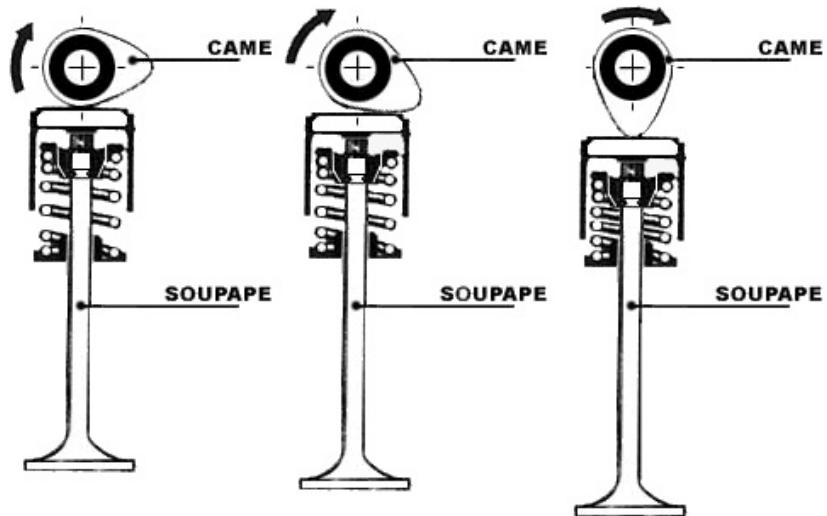
Un arbre à cames sert à commander les soupapes dans un moteur à 4 temps. Par la rotation de l'arbre, les cames poussent d'autres composants du moteur, qui exercent ainsi leur fonction [2].

Sur un moteur à 4 temps, l'arbre à cames commande la levée des soupapes, ce qui permet l'entrée du mélange dans les cylindres et l'évacuation des gaz brûlés.

- OHC = OverHead Camshaft = Simple arbre à cames en tête
- DOHC = Double OverHead Camshaft = Double arbre à cames en tête

### III.7.1. Fonctionnement de l'arbre à cames

L'arbre à cames commande les soupapes, il tourne à la moitié de la vitesse du moteur. Les moteurs à deux soupapes par cylindre n'ont généralement qu'un seul arbre à cames. Dès qu'il y a plus de deux soupapes par cylindre, on utilise souvent deux arbres à cames par culasse.



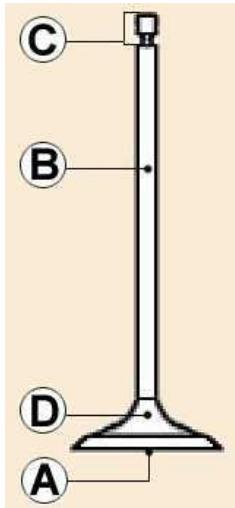
Généralement les arbres à cames sont forgés ou coulés en fonte nodulaire. Les cames sont soumises à une trempe superficielle.

### III.8. Soupapes

Les soupapes sont des composants très fortement sollicités au plan thermique. Même si elle bénéficie de l'effet refroidissant des gaz injectés, une soupape d'admission peut facilement atteindre une température de service de 500 °C. Sur une soupape d'échappement, la température peut monter jusqu'à 800 °C.

Les soupapes d'échappement sont parfois refroidies avec du sodium. Le sodium est incorporé dans la tige creuse et diffuse la chaleur de la tête de soupape vers la tige de soupape. Ainsi la chaleur peut s'évacuer plus facilement.

### III.8.1. Composition d'une soupape



**La tête (A) :** sa forme permet d'assurer l'étanchéité requise. la tête des soupapes d'admission sont de plus gros diamètre que celles d'échappements.

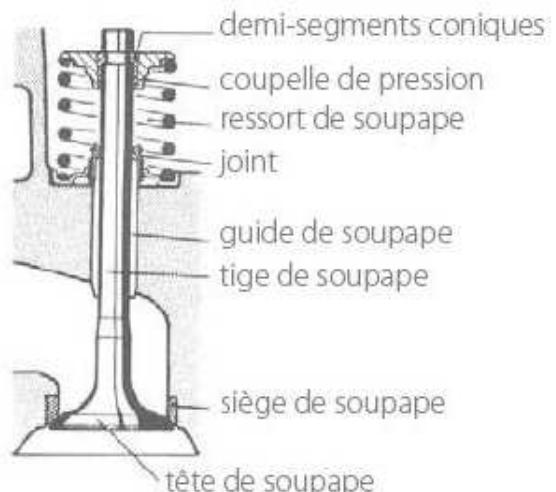
**La tige (B) :** coulissant dans les guides de soupape (eux même fixés sur la culasse) elle permet de guider la soupape lors de son mouvement alternatif d'ouverture et de fermeture.

**La queue (C) :** partie finale de la tige. Dispose d'une gorge qui permet de relier la soupape avec le dispositif qui déclenche la fermeture de la soupape.

**Le collet (D) :** c'est le renfort entre la tête et la tige.

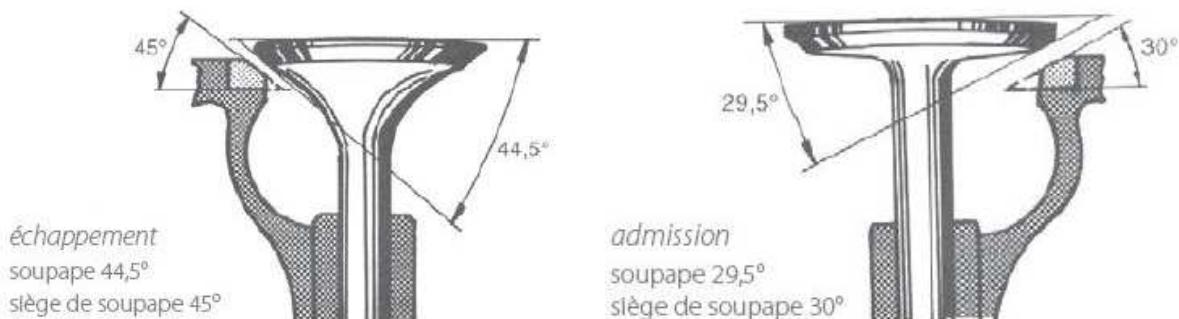
### III.8.2. Représentation schématique

La soupape se ferme grâce à l'action du ressort. Celui-ci est fixé par les demi-segments coniques.



La largeur du siège est généralement un peu plus grande sur la soupape d'échappement pour mieux évacuer la chaleur.

L'angle du siège de soupape côté admission est normalement toujours inférieur à celui d'une soupape d'échappement.

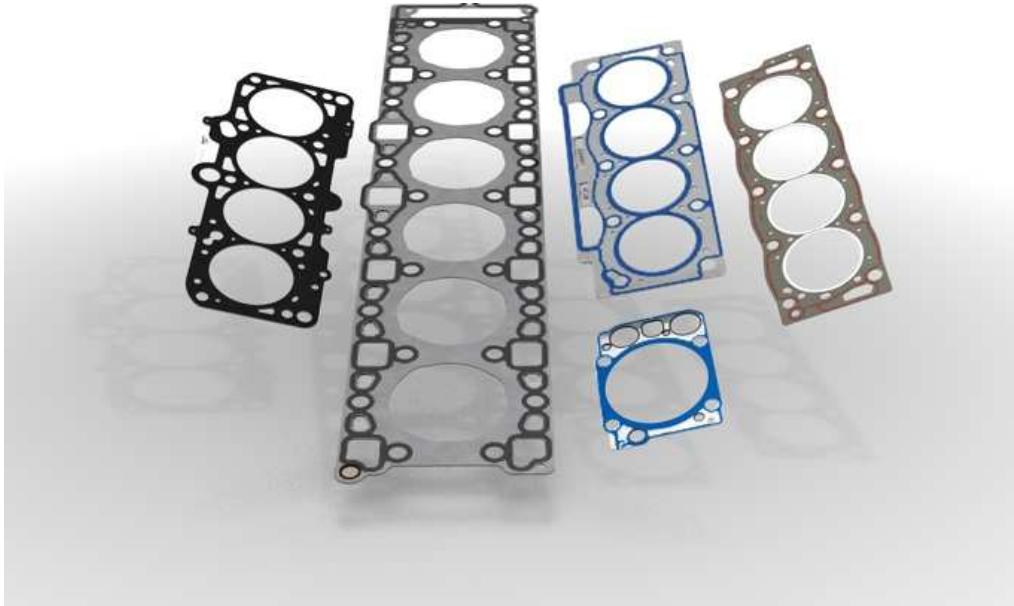


Géométrie des soupapes d'échappement et d'admission

En raison de la forte sollicitation mécanique, il est nécessaire de renforcer le bord de la soupape et le collet de la tige de soupape. Les sièges de soupapes dans la culasse peuvent être fraisés directement s'il s'agit d'une culasse en fonte. Sur une culasse en aluminium, il faut introduire ou emboutir une bague de siège en acier trempé.

### **III.9. Étanchéité du couvercle de culasse**

Le couvercle de culasse est étanché à l'aide d'un joint, fabriqué en caoutchouc ou en liège. Les couvercles de culasse en aluminium coulé ou en magnésium possèdent parfois un caoutchouc d'étanchéité intégré. Ces couvercles de culasse comportent de plus en plus souvent une couche d'insonorisation.



### **III.10. Systèmes d'entraînement des soupapes**

La distribution d'un moteur à 4 temps est le mécanisme par lequel le vilebrequin entraîne l'arbre à cames. L'entraînement de l'arbre à cames par le vilebrequin doit s'effectuer suivant le bon rapport de transmission. La transmission et l'entraînement peuvent se faire par :

- 1. Engrenages**
- 2. Une ou plusieurs chaînes**
- 3. Une ou plusieurs courroies crantées**

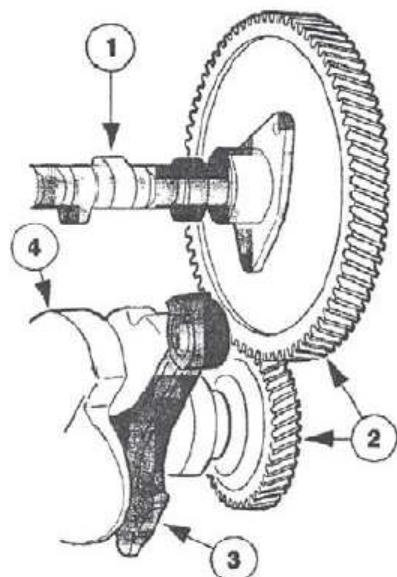
### III.10.1. Transmission par Engrenages

**Avantage :**

- très robuste, inusable

**Inconvénients :**

- bruit
- prix
- étanchéité contre les pertes d'huile



**Utilisation :**

- sur moteurs à rotation lente

1. arbre à cames
2. engrenages de distribution
3. bielle
4. vilebrequin

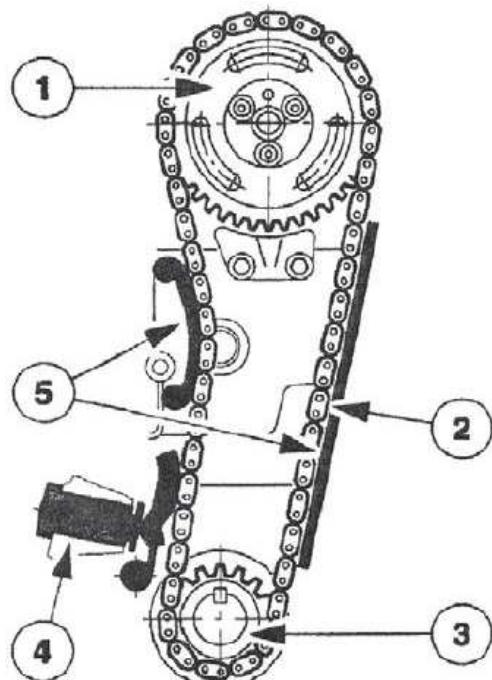
### III.10.2. Entraînement par chaînes

**Avantage :**

- robuste, ne doit pas être remplacée

**Inconvénients :**

- bruit
- prix
- étanchéité contre les pertes d'huile
- tension nécessaire
- requiert un bon tendeur de chaîne hydraulique, ainsi qu'une série de guides de chaîne en plastique



**Utilisation :**

- Concept utilisé sur tous types de moteurs

1. pignon d'arbre à cames
2. chaîne de distribution
3. pignon de vilebrequin
4. tendeur de chaîne hydraulique
5. guides de chaîne

L'entraînement de la pompe à huile dans le carter est parfois également assuré par une chaîne.

Le tendeur de chaîne hydraulique doit être à nouveau rempli après une réparation du moteur impliquant un démontage de la distribution.

Le tendeur de chaîne est généralement monté du côté libre de la chaîne.

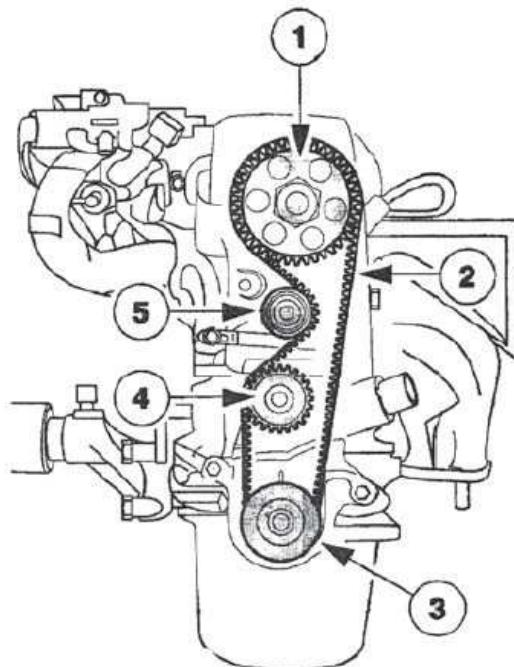
### III.10.3. Distribution par courroie crantée

#### *Avantage :*

- peu coûteux
- permet des régimes élevés
- peu bruyant

#### *Inconvénients :*

- Nécessite un remplacement planifié (selon prescriptions du fabricant)
- Risque de panne moteur plus élevé
- Attention aux pertes d'huile



#### *Utilisation :*

- Uniquement sur les moteurs à rotation rapide

1. entraînement d'arbre à cames
2. courroie crantée
3. entraînement de vilebrequin
4. pompe à eau
5. tendeur de courroie crantée

#### **Attention :**

Une tension excessive de la courroie crantée augmente le bruit et le risque de rupture. Une tension trop faible peut conduire à un patinage des crans. Les galets de tension doivent déterminer la force de tension appropriée.

### **III.11. Configurations de moteurs**

#### **III.11.1. Moteur en ligne**

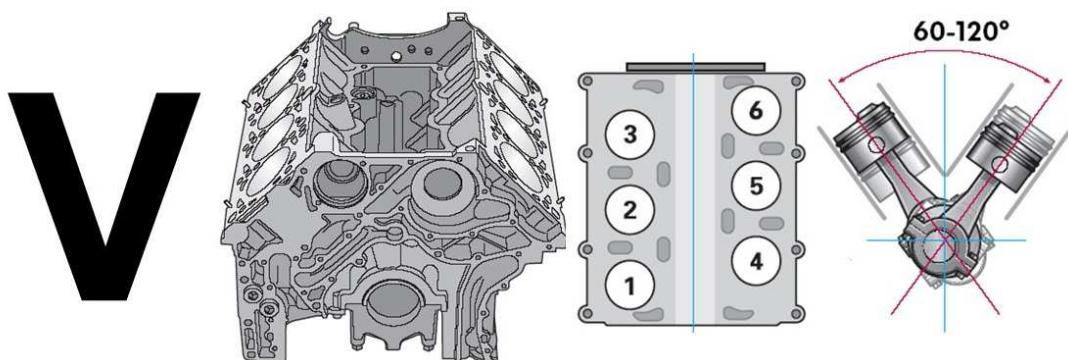
Sur ce type de moteur, les cylindres sont agencés sur une seule ligne. Il existe des moteurs à 2, 3, 4, 5 et 6 cylindres en ligne. Les moteurs en ligne peuvent être montés dans le sens de la longueur ou de la largeur.



#### **III.11.2. Moteur en V**

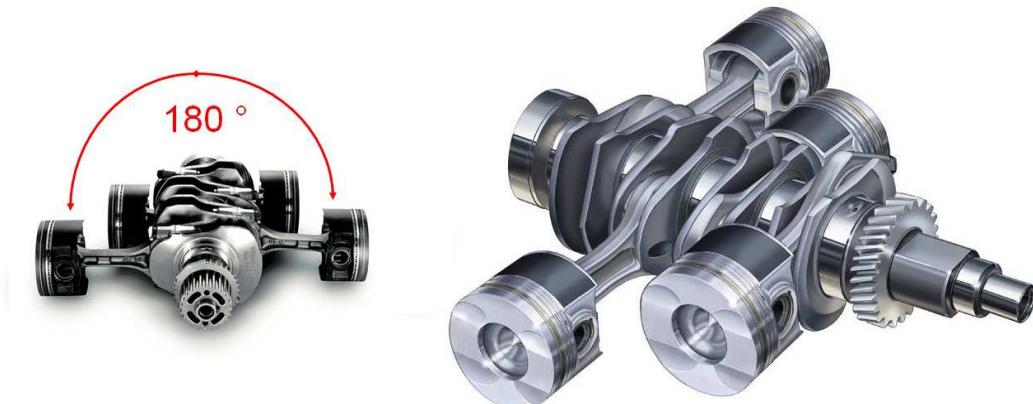
Ce type de moteur est plus compact qu'un moteur en ligne. Ce moteur est aussi robuste. il est aussi plus large, mais plus petit en hauteur et longueur.

Les moteurs en V peuvent également être montés dans le sens de la longueur ou de la largeur. Le nom de moteur en V est du au fait que les rangées de cylindres peuvent être agencées en forme de V.



### III.11.3. Moteur Boxer

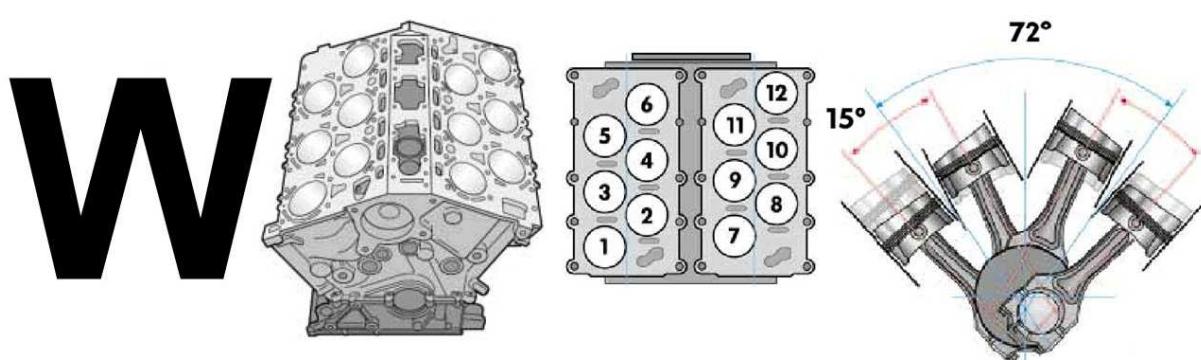
Les cylindres sont face à face, de part et d'autre du vilebrequin. Le principal inconvénient d'un tel moteur est sa construction mécanique très complexe.



### III.11.4. Moteur en W

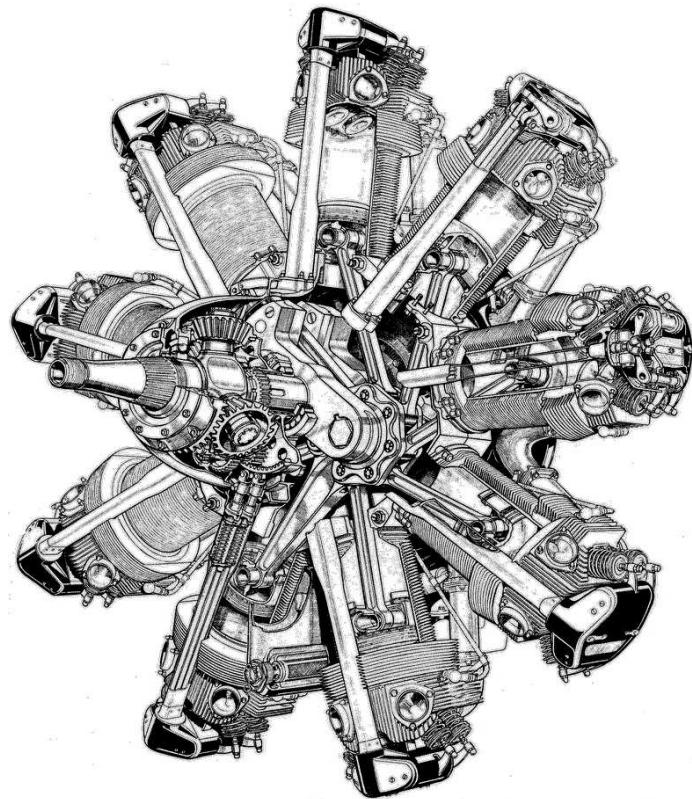
Les deux rangées de cylindres d'un bloc-moteur en V possèdent parfois leur propre vilebrequin. Dans ce cas, on parle de moteur en W.

Les avantages sont la construction compacte et du fait que l'on peut incorporer un grand nombre de cylindres dans un petit volume, on obtient un moteur compact.



### III.11.5. Moteurs radiaux / en étoile

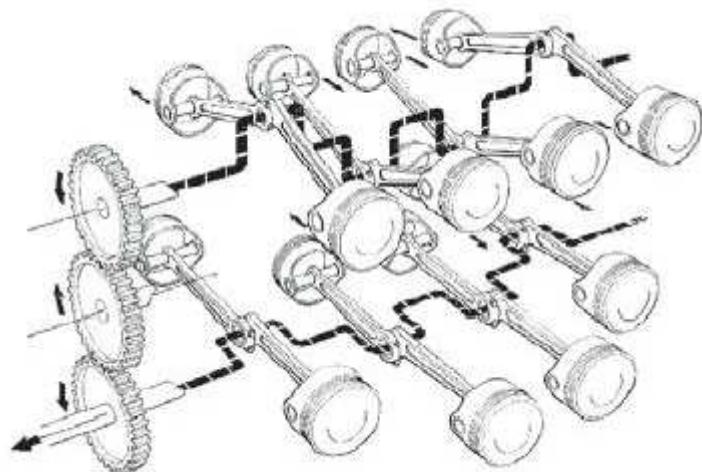
Aujourd'hui, ce type de moteur est surtout utilisé dans les avions à hélices. Sur les avions, il est très important que le moteur puisse être refroidi directement. Ce moteur fournit une très grande puissance, ce que nécessite justement un avion.



### III.11.6. Moteur en U

Le moteur en U est un type de moteur à combustion caractérisé par un agencement des cylindres en forme de U les uns par rapport aux autres et par rapport aux vilebrequins.

On obtient ce type de moteur quand on combine et relie entre eux deux moteurs en ligne.



## **IV. Références bibliographiques**

[1] Robert Vertenueil, "Connaissance des moteurs Moteurs à combustion- Description", Fonds de Formation professionnelle de la Construction - fvb.ffc (Constructiv), Bruxelles, 2012  
ffc.constructiv.be  
Site web consulté le 22 novembre 2018

[2] Hamida Nasf, "MOTEURS à COMBUSTION Description", Fonds de Formation Professionnelle de la Construction, Constructeurs d'Engins de Chantier, fvb-ffc - Constructiv