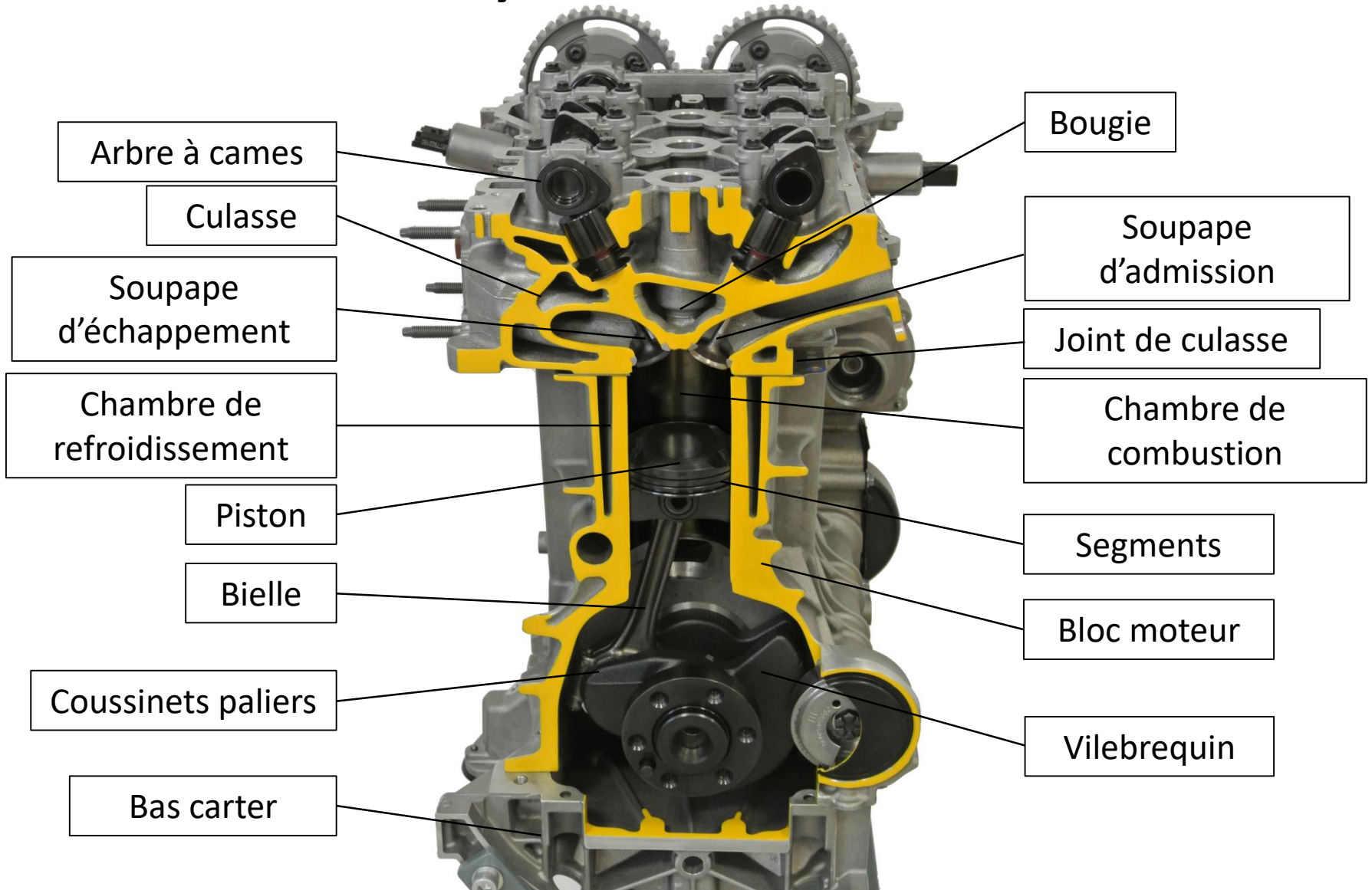


COURS D'INTRODUCTION SUR LES MOTEURS THERMIQUES

Analyse fonctionnelle



Bloc moteur



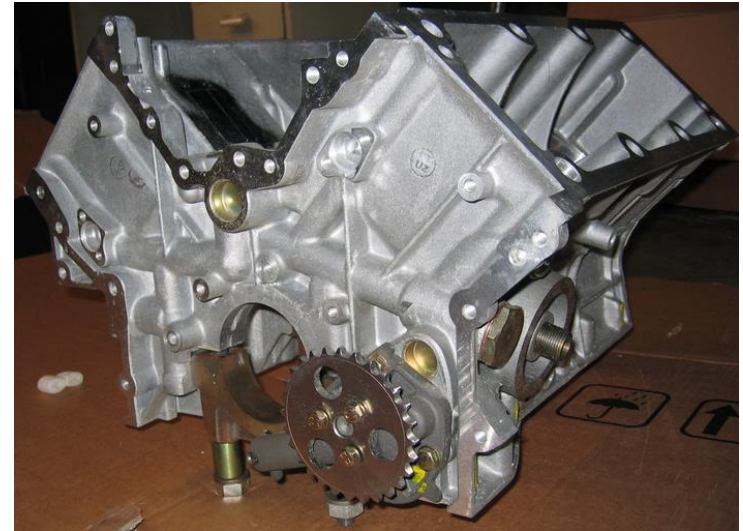
fonte



Non chemisé



Chemise rapportée



aluminium

Le bloc est en fonte ou en alliage d'aluminium moulé. Il constitue le bâti du moteur et dont la partie intérieure est usinée pour former les cylindres ou les logements de chemises s'il s'agit d'un moteur à chemises rapportées.

L'eau de refroidissement circule librement à l'intérieur du carter-moteur.

Sa partie supérieure est dressée pour former **plan de joint** : la culasse vient, en effet, s'appuyer sur le plan de joint supérieur pour coiffer les cylindres.

Bloc moteur

Bloc à alésage direct

Certains blocs en fonte sont directement alésés, les cylindres et le bloc ne faisant qu'une seule pièce. En cas d'usure des cylindres, il est nécessaire de réaliser à une cote supérieure et d'adapter des pistons de plus fort diamètre.

Bloc à chemises amovibles

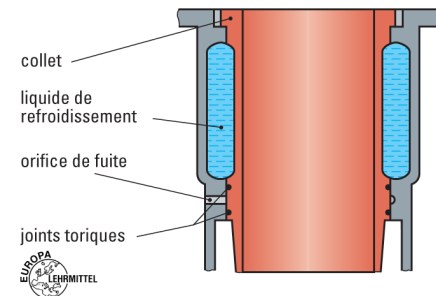
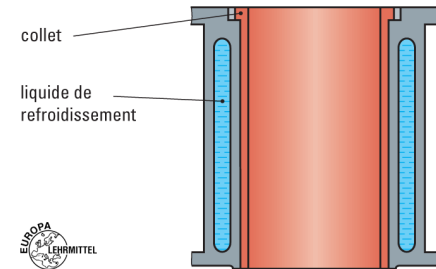
Ce système facilite la fabrication ; il permet l'utilisation de matériaux différents pour le bloc et pour les cylindres (cylindres en fonte, bloc en alliage léger) ; la réparation est facilitée (remontage de chemises d'origine).

Chemises sèches

Fourreau de faible épaisseur emmanché dans un bloc en fonte ou en alliage léger ; le remplacement est possible mais l'ajustement est serré ; il n'y a aucune communication avec l'eau de refroidissement.

Chemises humides

La chemise sert même temps de paroi pour les conduits de refroidissement ; leur remplacement est aisé, mais l'étanchéité doit être particulièrement soignée. Les chemises sont en fonte centrifugée, elles sont également alésées, rectifiées et rodées.



Culasse

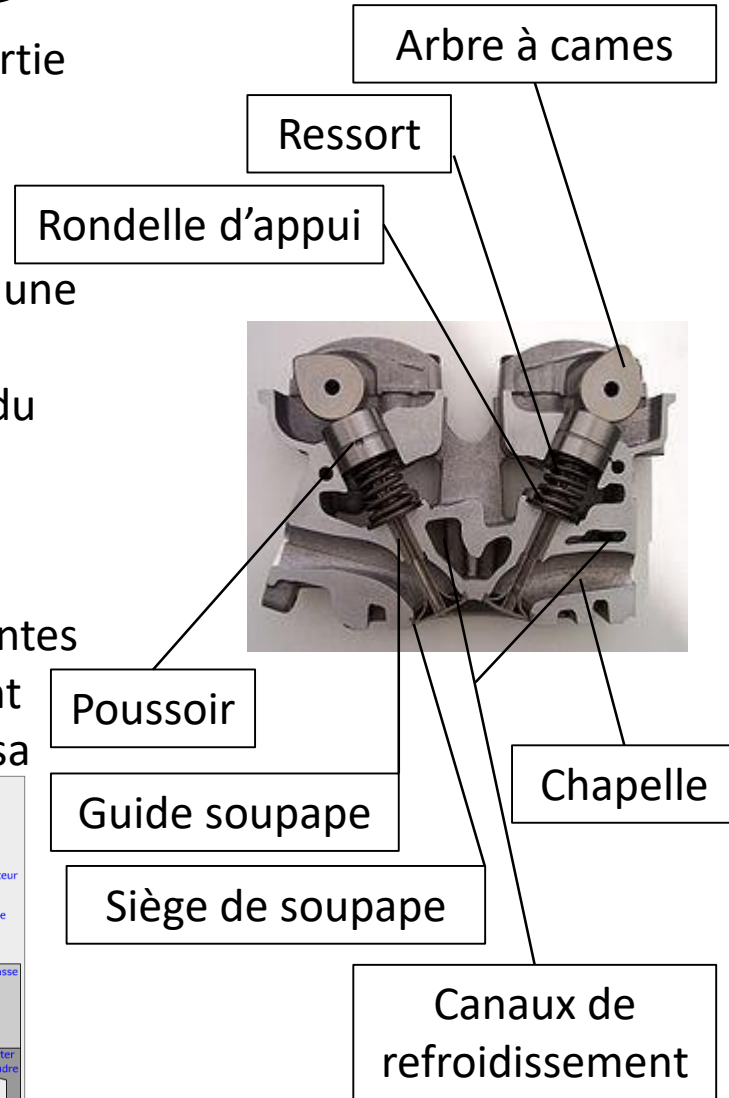
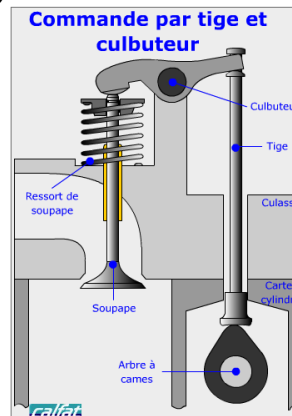
La culasse assure la fermeture des cylindres dans leur partie supérieure, constituant ainsi la chambre de combustion.

Elle permet :

- l'arrivée et l'évacuation des gaz;
- la mise en position des éléments de la distribution et d'une partie de l'allumage;
- l'évacuation rapide des calories, le point le plus chaud du moteur étant précisément la chambre de combustion.

La culasse est aussi en fonte ou en alliage d'aluminium moulé. Les contraintes mécaniques étant moins importantes que pour le bloc-moteur, les constructeurs ont quasiment abandonné la fonte au profit d'aluminium, en raison de sa légèreté et sa très bonne conductibilité thermique.

Un réseau de conduits d'eau et d'huile est pratiqué dans la culasse, l'étanchéité bloc-culasse est assurée par le joint de culasse.



Piston

Le piston est l'organe qui, en se déplaçant dans le cylindre ou la chemise, transmet la poussée des gaz au vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle.

Le piston supporte 4 sortes d'effort :

- Pression des gaz et température de l'explosion.
- Réaction de l'axe de la bielle (axe de piston).
- Réaction de la paroi du cylindre.
- Force d'inertie.

Il est en général moulé dans un matériau léger et d'une bonne conductibilité thermique comme les alliages d'aluminium.

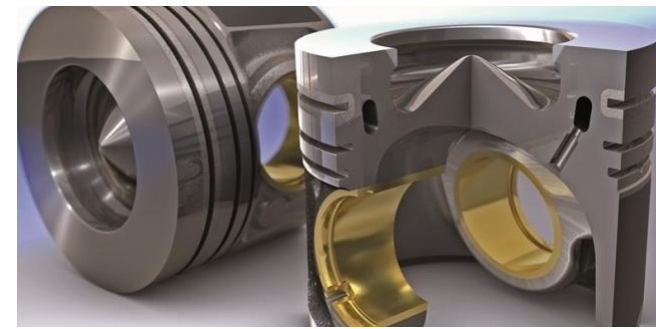
La tête et le support d'axe, devant transmettre l'énergie mécanique, sont particulièrement renforcés.

Il se compose :

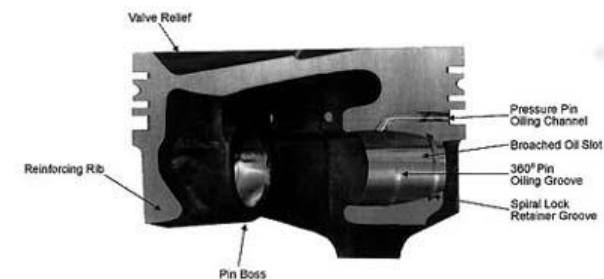
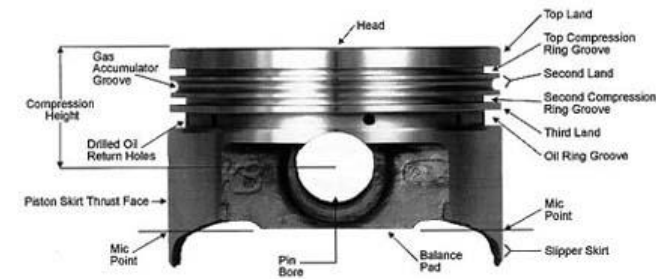
▫ d'une tête ou culot dont le diamètre doit être inférieur à l'alésage du cylindre quelles que soient les dilatations.

L'étanchéité est assurée par des segments situés dans des gorges pratiquées sur le pourtour du piston.

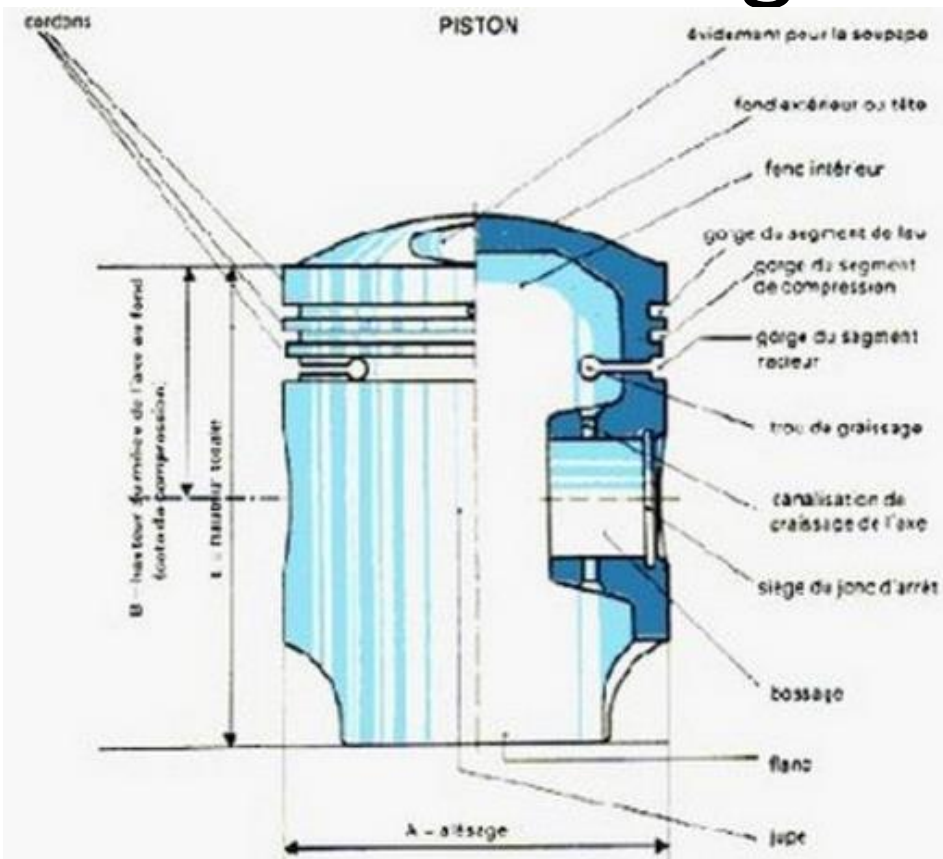
La jupe doit assurer le guidage à froid comme à chaud avec un minimum de frottement.



La coupe du piston du 6-cylindres Diesel tri-turbo BMW révèle le passage d'huile annulaire à la base de la chambre de combustion intégrée. On distingue aussi le changement de teinte du métal sur le pourtour du rebord du bol, conséquence du traitement thermique de durcissement du métal.

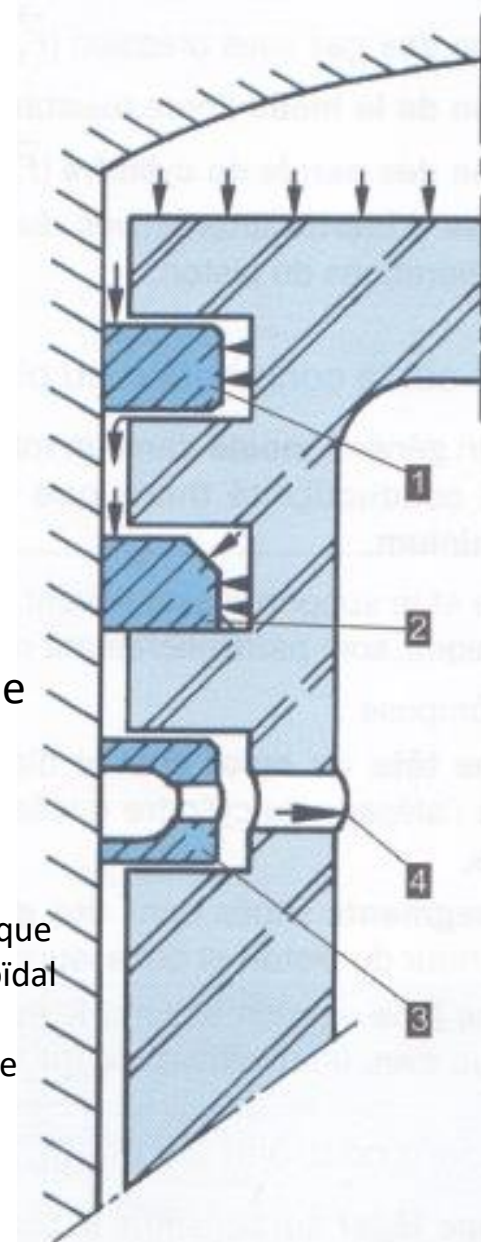


Segmentation



Le premier est le **segment de feu**, le deuxième est le **segment d'étanchéité** et le dernier est le **racleur**.

Ils sont généralement en fonte douce pour accepter les déformations avec un revêtement de chrome pour limiter l'usure.



1 : Il assure l'étanchéité de la chambre de combustion. Il doit tenir à la température, au manque de lubrification, à la pression et à la corrosion. Il est généralement en fonte à graphite sphéroïdal durcie et chromée.

2 : Il assure l'étanchéité et évite la consommation d'huile. Il peut être en fonte grise à graphite lamellaire.

3 : Il empêche l'huile pour éviter les remontées tout en laissant une certaine pellicule pour permettre la lubrification. Il possède des rainures ou encoches autorisant le retour d'huile. Il peut être en fonte grise ou en acier traité.

Bielle



La bielle est la pièce mécanique dont une extrémité est liée au piston par l'axe de piston et l'autre extrémité au maneton du vilebrequin. Elle permet la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement circulaire continu du vilebrequin.

Elle se compose de trois parties :

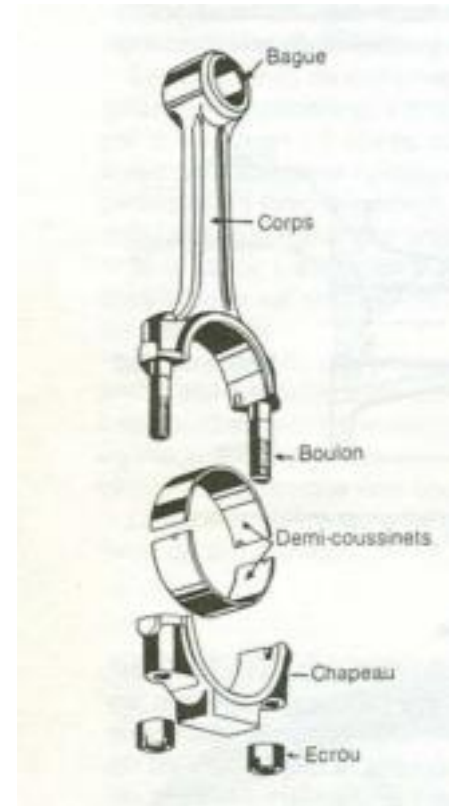
Le pied relié à l'axe du piston, soit généralement avec une bague bronze, emmanchée à force, soit dans certains cas avec une bague à aiguilles.

Le corps est la partie comprise entre le pied et la tête.

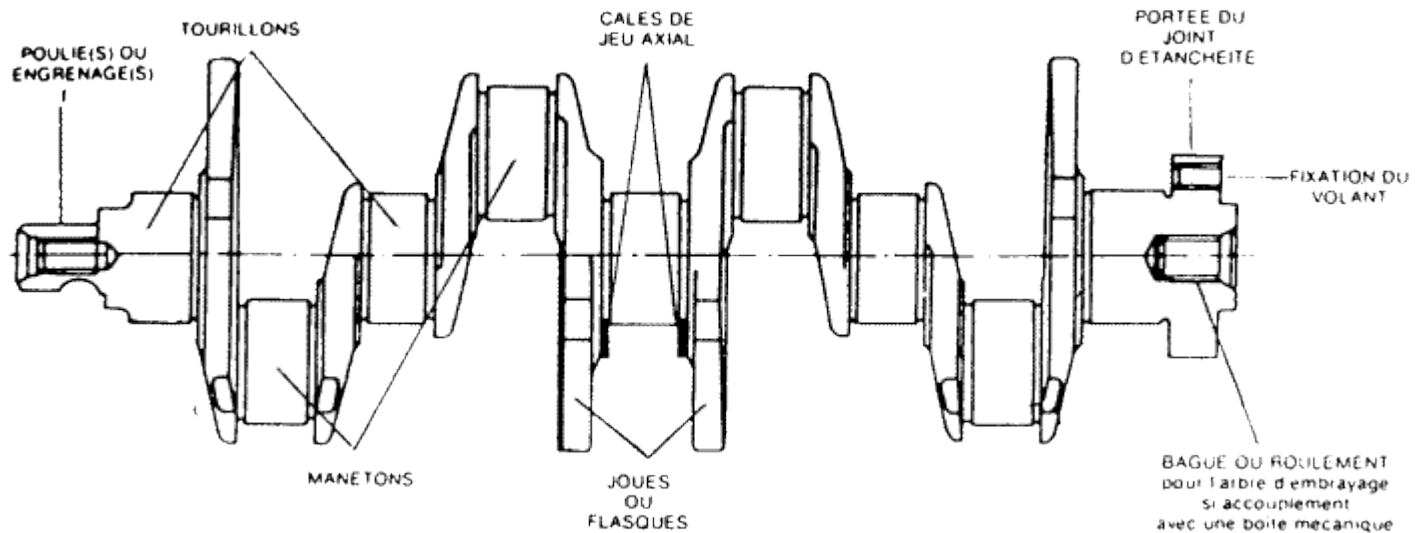
Il est de section en forme de "H" ou "I" pour résister aux divers efforts de compression et de traction et pour éviter ainsi le flambage.

La tête de bielle qui tourne sur le maneton du vilebrequin est coupée dans un plan perpendiculaire à l'axe de la bielle pour permettre la pose des coussinets et son montage sur le maneton du vilebrequin.

La partie inférieure qui vient coiffer le maneton est appelée chapeau. Ce dernier est généralement fixé par des boulons et des écrous auto-serreurs. La coupe peut être droite ou oblique par rapport à l'axe de la bielle.



Vilebrequin



Le vilebrequin est la manivelle qui reçoit la poussée de la bielle et fournit un mouvement rotatif à partir du mouvement alternatif du piston.

La force exercée par la bielle applique au vilebrequin un couple qui se retrouve au bout de celui-ci sous forme de couple moteur.

A l'une des extrémités du vilebrequin, le couple moteur est utilisé pour entraîner le véhicule. A l'autre extrémité, une fraction du couple disponible est prélevée pour entraîner les auxiliaires du moteur : la distribution (arbre à cames, soupapes, etc.), le générateur électrique (dynamo ou alternateur), le compresseur de climatisation, etc.

Vilebrequin



Le vilebrequin est soumis notamment :

- aux torsions provenant des efforts opposés du couple moteur et du couple résistant.
- aux flexions, compressions, allongements et cisaillements.
- aux frottements au niveau des portées.
- aux vibrations provenant de la masse du vilebrequin lancé à grande vitesse (force centrifuge).

Il doit être conçu de manière à résister aux efforts qui lui sont demandés :

- Bras de manivelle robustes :

▣ Grande surface des portées, manetons et tourillons;

▣ Géométrie indéformable ;

▣ Alignement des axes de tourillons (ligne d'arbre) ;

▣ Distance entre axes de manetons et axes de tourillons (1/2 course piston).

- Equilibrage parfait tant en conditions statiques que dynamiques.

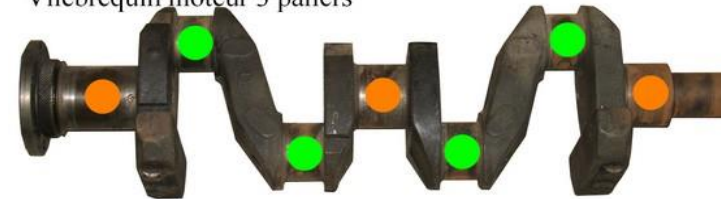
Le vilebrequin peut être réalisé :

- par forgeage, en acier au nickel-chrome ou manganèse.
- par moulage, en fonte au chrome ou silicium.

Il reçoit des traitements thermiques.

Les manetons et tourillons sont tournés, puis rectifiés.

Vilebrequin moteur 3 paliers



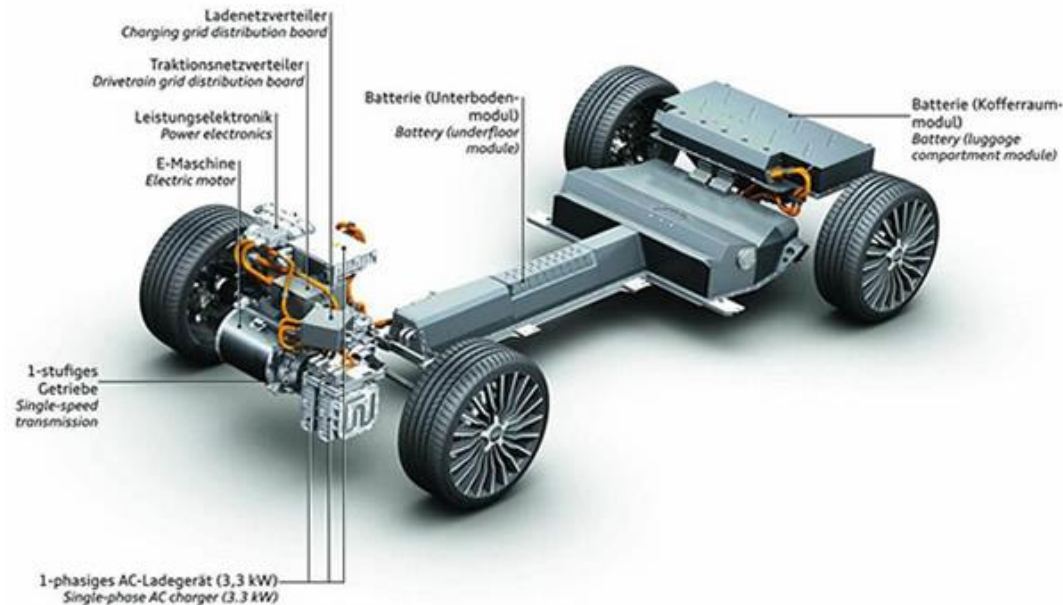
Manetons ● Paliers ●



Vilebrequin moteur 5 paliers

Thermique vs Electrique

Thermique	Electrique
Rendement (30-35% moteur essence – 35-40% moteur diesel)	Rendement (80-95%)
Rapport Masse/Puissance supérieur	Silence de fonctionnement
Autonomie	Pollution quasiment nulle



Essence vs Diesel

Essence	Diesel
Moteur à explosion : combustion à partir d'une étincelle d'un mélange air/essence	Moteur à combustion : combustion par auto-inflammation d'un mélange de gazole injecté dans de l'air
Existence d'un système d'allumage commandée	Injection du gazole de façon directe ou indirecte
Injection d'essence soit par carburation soit par injection	

Cycle moteur thermique

Beau de Rochas en 1862 a défini 4 phases :

- 1 : **Admission**
- 2 : **Compression**
- 3 : **Inflammation*** et détente rapide du piston (moteur)
- 4 : **Echappement**

* Aussi appelée combustion, elle doit s'effectuer par couches successives et à vitesse élevée (propagation de l'ordre de 40m/s mais sans atteindre la détonation ($v > 70\text{m/s}$))

Alphonse Eugène Beau dit Beau de Rochas, 1815 - 1893 ingénieur thermodynamicien français

Cylindrée d'un moteur

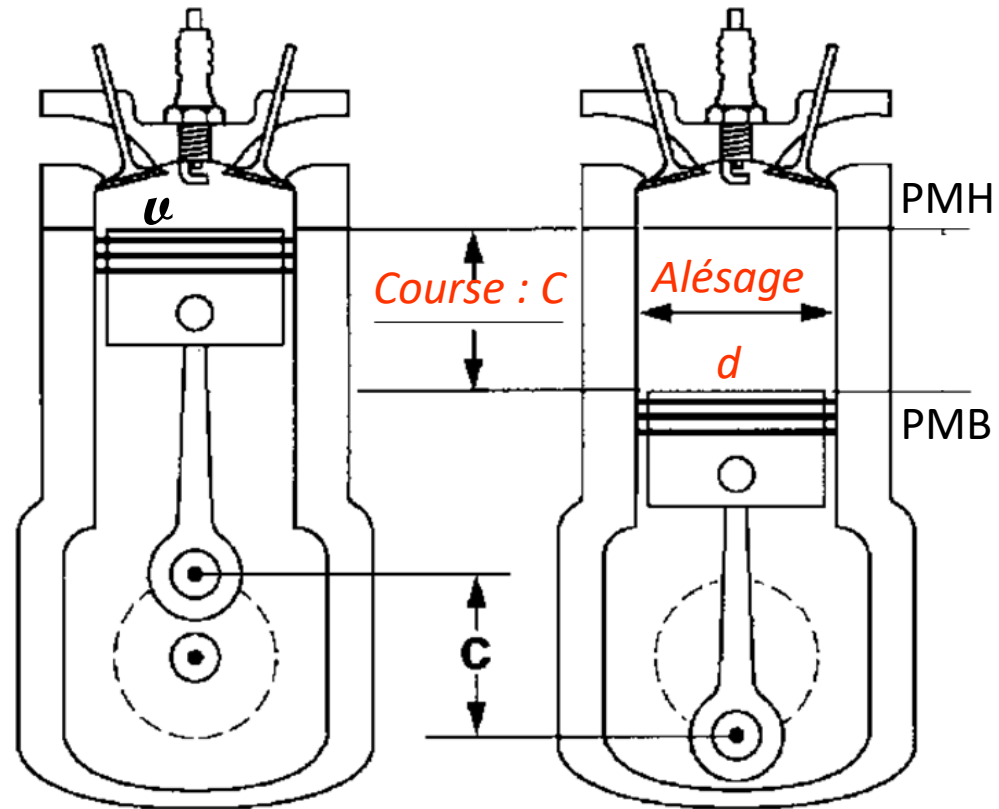
$$Cyl = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot C \cdot N$$

Rapport volumétrique ρ :

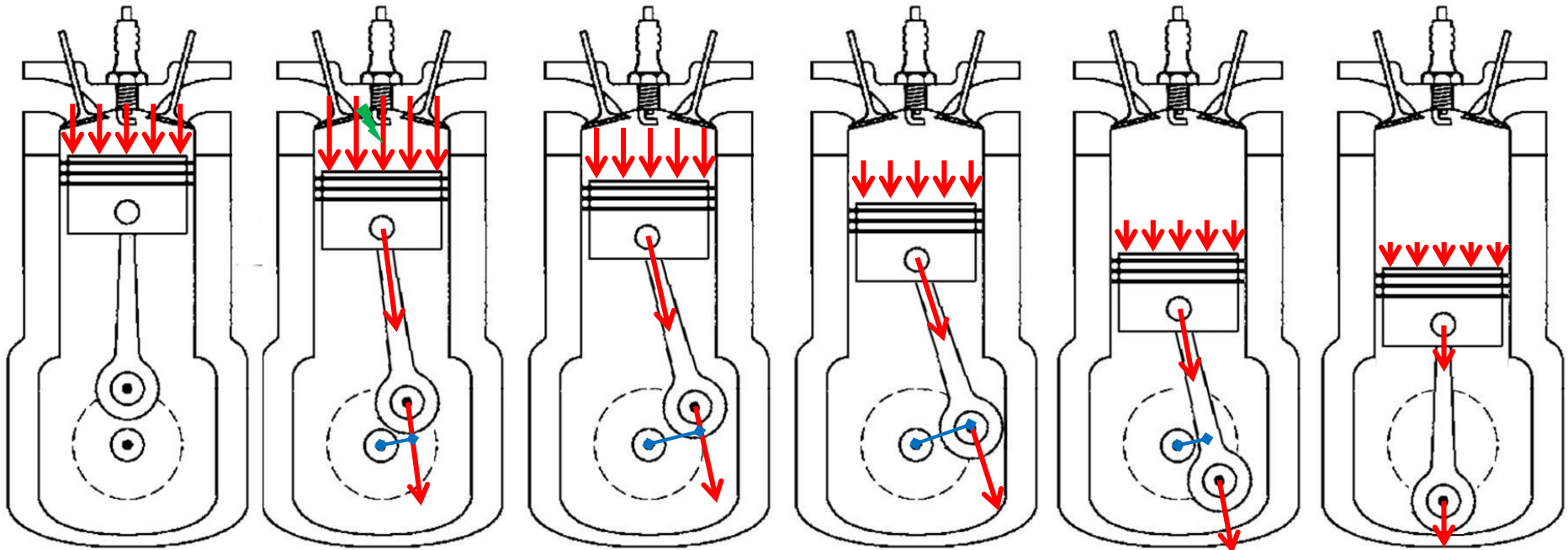
Il est exprimé sous forme fractionnaire 9:1. Plus le rapport est grand plus la pression de compression est importante (7:1 10 bars - 9:1 16 bars) et plus la température est grande et donc l'efficacité thermodynamique augmente.

$$\rho = \frac{V + u}{u} = \frac{V}{u} + 1$$

Remarque : On limite ρ à 17:1 car après l'efficacité mécanique diminue.



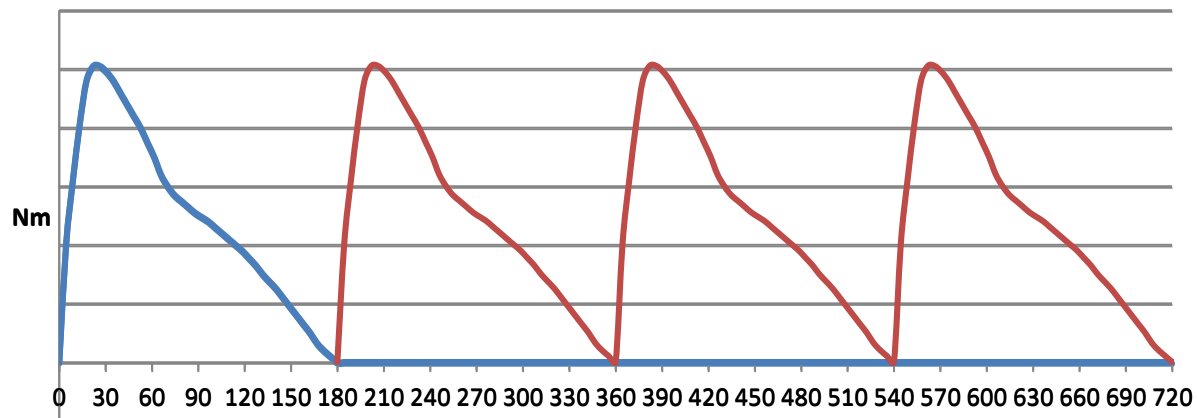
Couple d'un moteur



Couple instantané sur les 2 tours

Le couple : $C = F \cdot \text{distance}$

A chaque nouvelle position, la force diminue. La distance augmente jusqu'à la demie course puis re-diminue.



Puissance d'un moteur

La Puissance est le quotient du travail par le temps mis pour effectuer ce travail.

$$P = \frac{W}{t} = C \cdot \omega = C \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60}$$

P : puissance en Watts

C : couple en Nm

W : travail en Joules

ω : vitesse de rotation en radians par seconde

t : temps en secondes

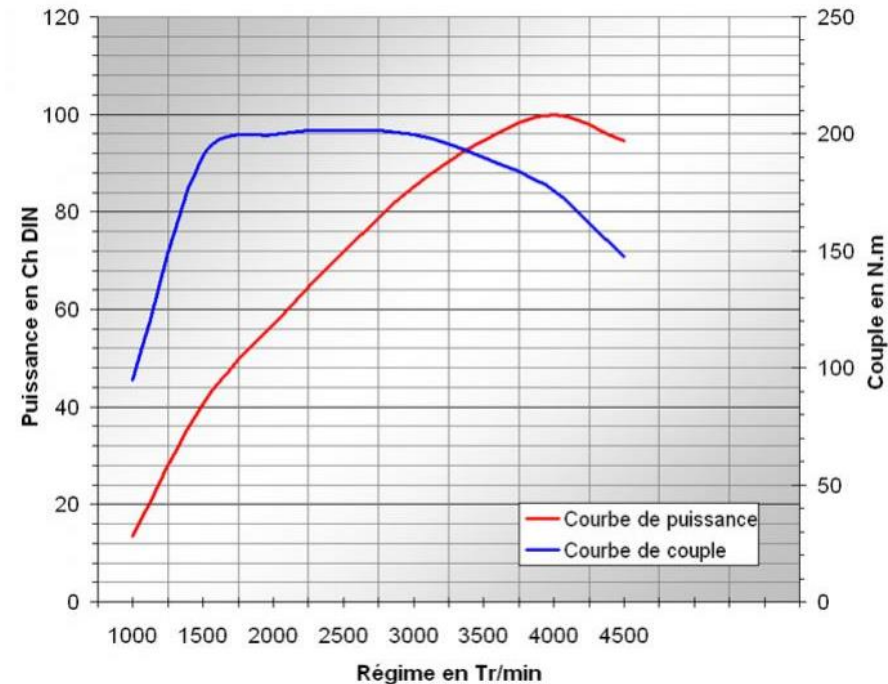
N : vitesse de rotation en tours par minute

2 autres puissances sont également utilisées :

Puissance spécifique 1000.P/Cyl

Rapport poids puissance en kg/ch

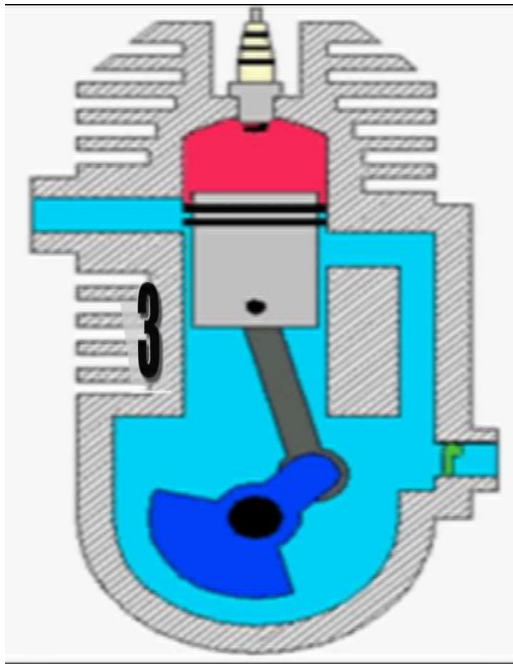
Un large régime de couple constant



2 temps vs 4 temps

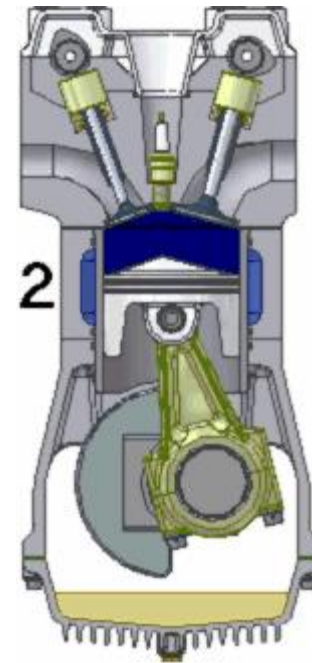
2 temps

2 courses de pistons
1 tour de vilebrequin



4 temps

4 courses de pistons
2 tours de vilebrequins



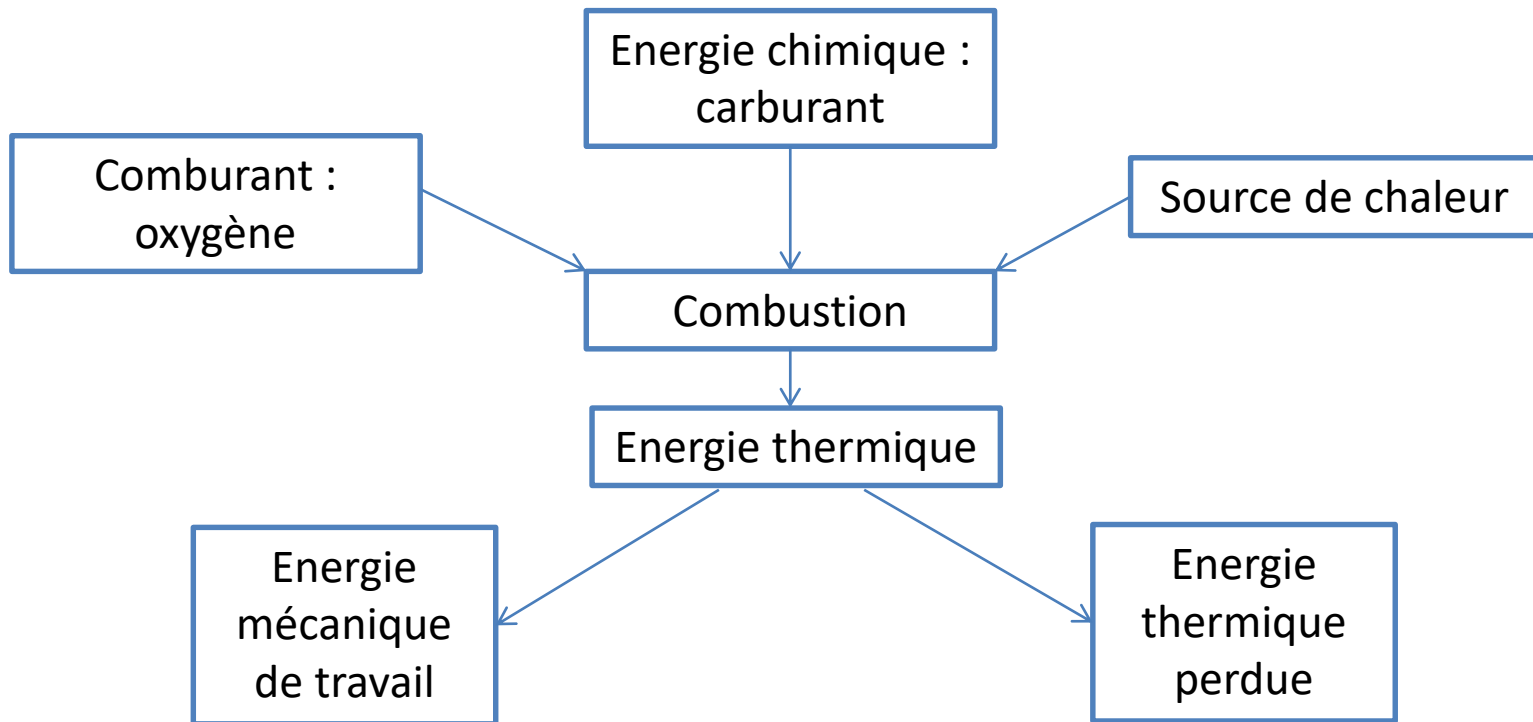
2 temps vs 4 temps (avantages)

2 temps	4 temps
Peu de pièces (pas de soupape)	Consommation
Compacité	Ralenti simple et constant
Poids (60% plus léger)	Frein moteur possible
Démarrage à froid	Pas d'ajout d'huile
Entretien	Le niveau de pollution par hydrocarbures imbrûlés
Accepte les surrégimes	
Travail en théorie double (1 cycle / 1 tour)	

Injection vs Carburation

Avant d'aborder les différences entre carburation et injection il est indispensable d'aborder la notion de mélange air (comburant)/carburant (ou hydrocarbure) pour permettre la combustion et ainsi créer la puissance utile disponible.

Les principaux carburants (essence , gazole) sont issus de la distillation du pétrole brut.

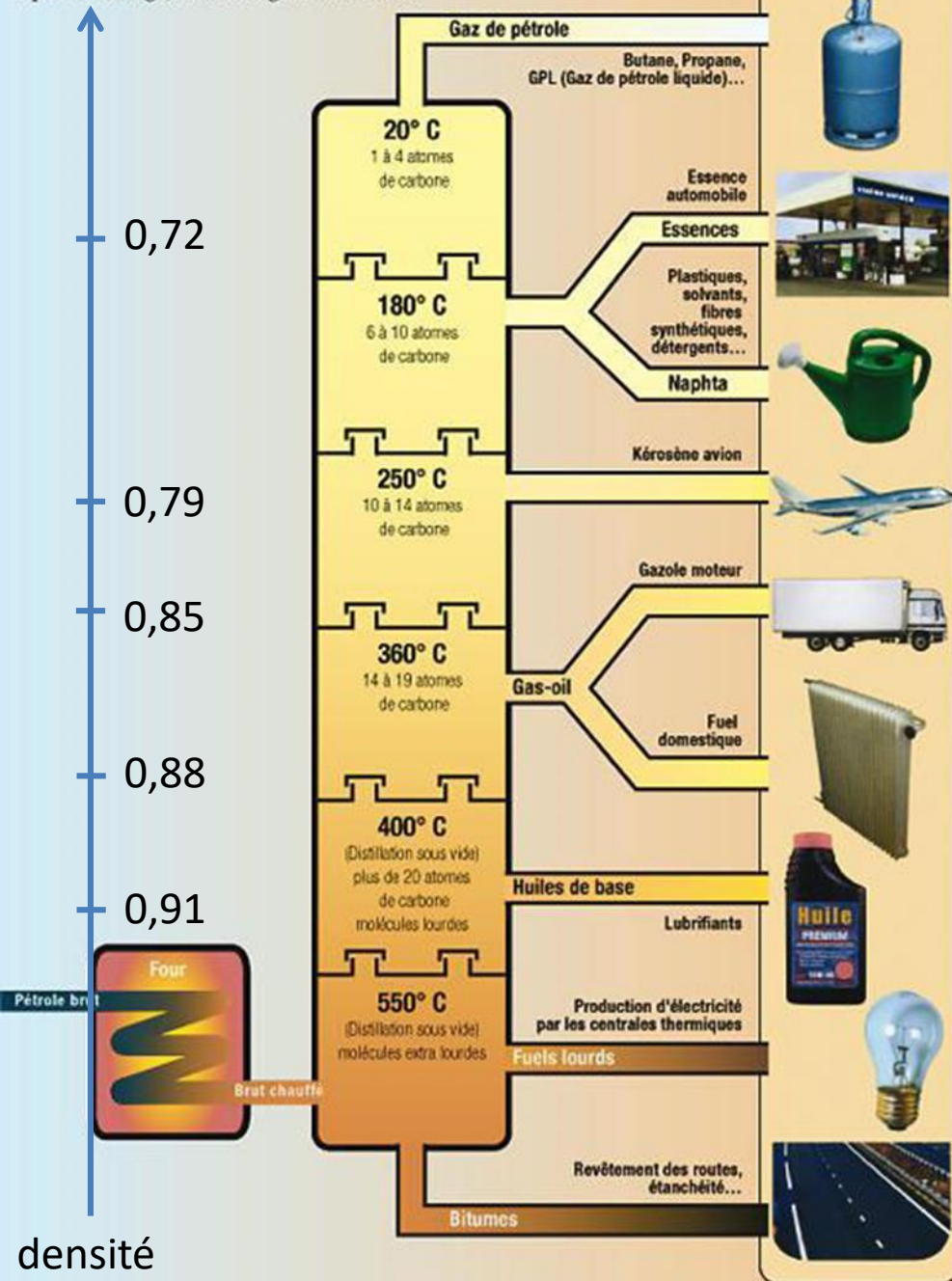


Injection vs Carburation

La carburation est le fait de mélanger carburant et comburant en phase gazeuse, dans les bonnes proportions, permettant d'obtenir une combustion rapide et complète. Il s'agit d'un dosage mécanique. Il y a donc la carburation par carburateur (simple ou double cœur) et la carburation par injection (monopoint ou multipoints). Pour augmenter la puissance on peut y rajouter une compression par turbo (centrifuge) ou par compresseur mécanique débrayable (volumétrique).

Pétrole : des utilisations multiples

après raffinage, marketing et distribution



Production standard d'une raffinerie en Europe, à partir de 100 t de brut moyen (qualité Brent Mer du Nord et Arabe léger) :

- 3 à 5 t de GPL (propane+butane);
- 4 à 5 t de naphta (pour industrie pétrochimique) ;
- 25 à 30 t d'essence (SP 95) ;
- 7 à 8 t de kérosène ;
- 28 à 32 t de gazole;
- 7 à 8 t de fioul domestique;
- 11 à 21 t de fioul lourd.
- Le reste : autoconsommation de la raffinerie (environ 7 à 8 t de brut

Pouvoir calorifique :

- Essence 11 à 12000 cal/kg
- Gazole 10 à 11000 cal/kg

Température d'inflammation :

- Essence 380 °C
- Gazole 400 °C

Indice d'octane

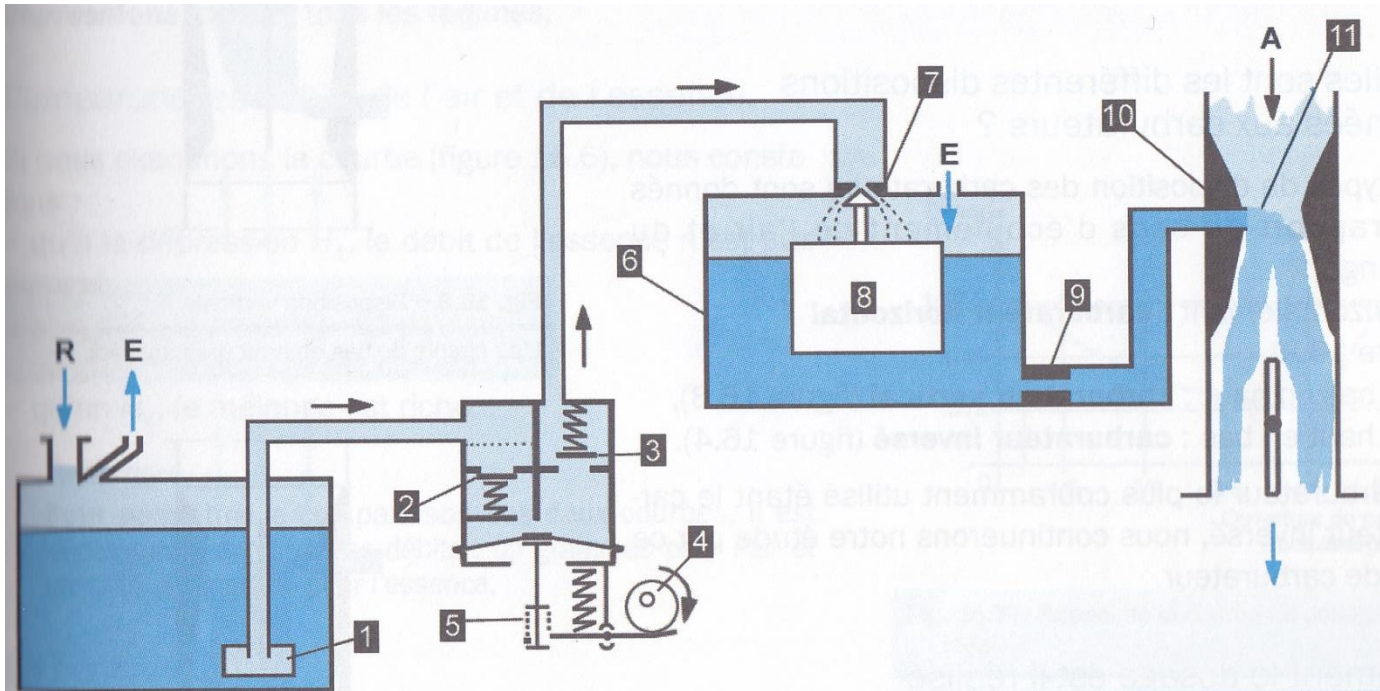
Pour qu'une combustion soit optimale il faut que la vitesse d'inflammation soit la plus élevée possible sans atteindre la détonation (changement brusque d'état ou de volume).

L'indice d'octane (nombre sans dimension) représente la résistance à la détonation. Ce nombre est issu de la comparaison avec deux produits, l'un très facilement détonant (l'heptane) indice 0 et l'autre très difficilement détonant (l'octane) indice 100.

Un indice 90 correspond à un produit qui se comporterait comme un mélange de 90% d'octane et 10% d'heptane.

Carburateur

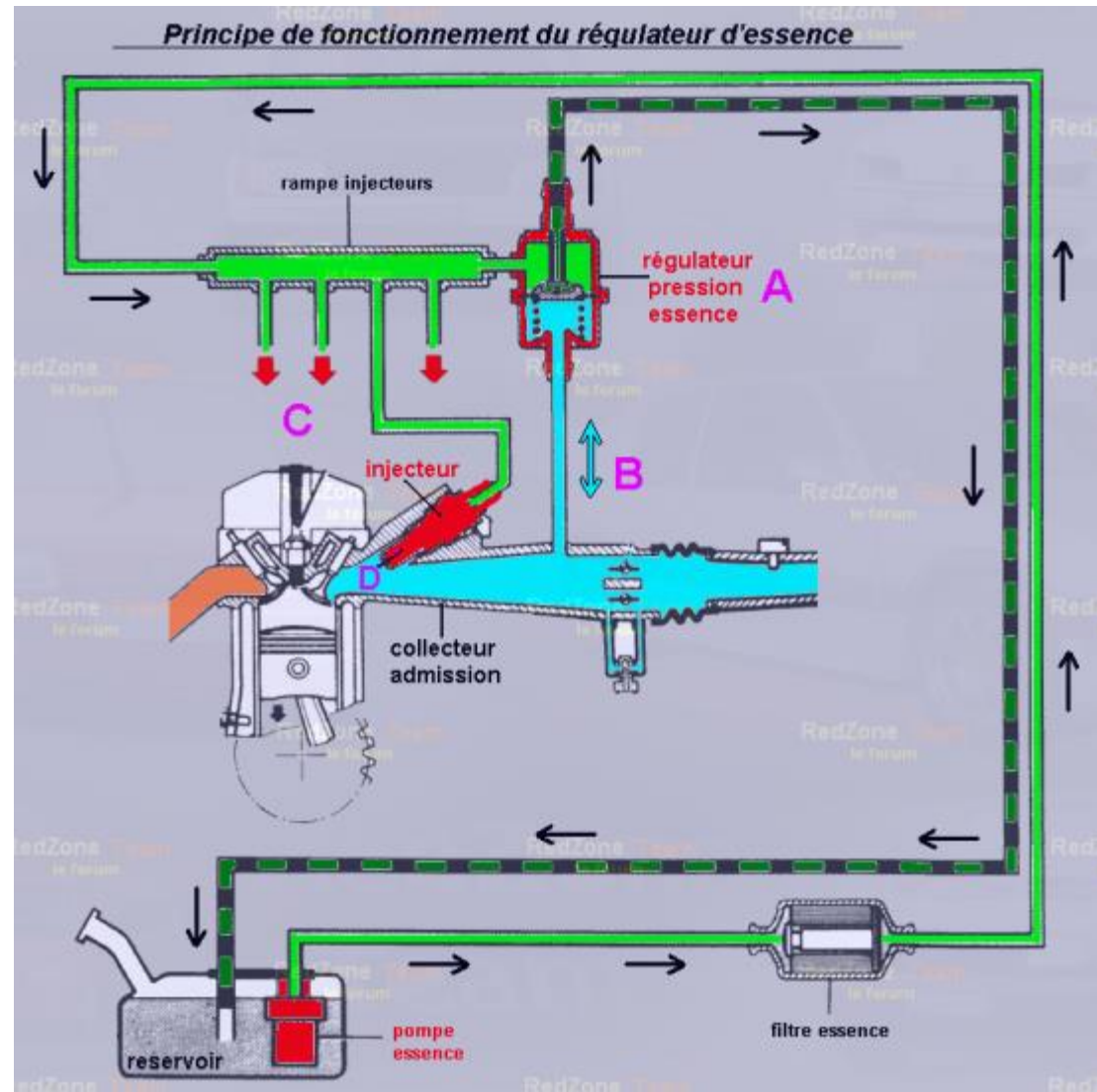
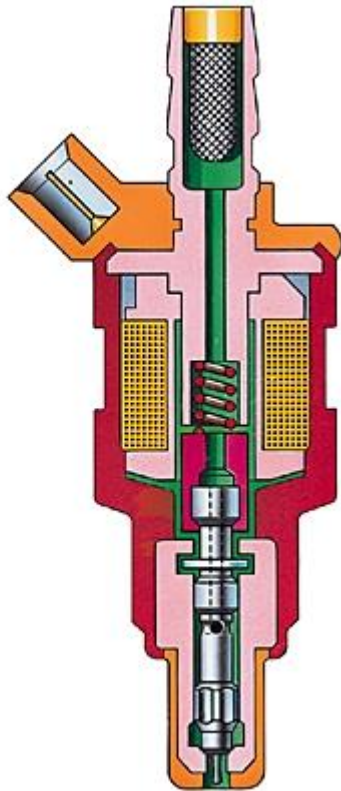
A : air
E : événements
R : remplissage



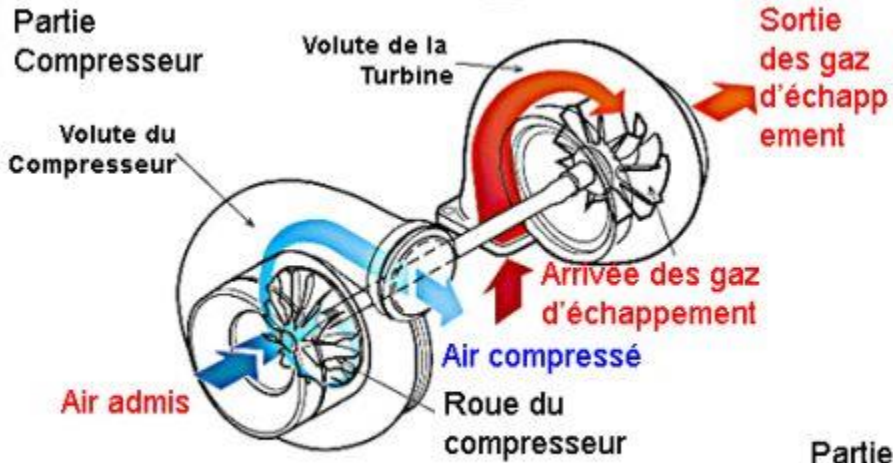
- 1 : filtre à carburant
- 2 : clapet d'aspiration
- 3 : clapet de refoulement
- 4 : excentrique
- 5 : régulation
- 6 : cuve à niveau cst
- 7 : pointeau
- 8 : flotteur
- 9 : gicleur
- 10 : buse
- 11 : giclage

Le carburateur fonctionne par différence de pression entre la cuve qui est à pression atmosphérique et la buse qui est en dessous de la pression atmosphérique du fait du Venturi

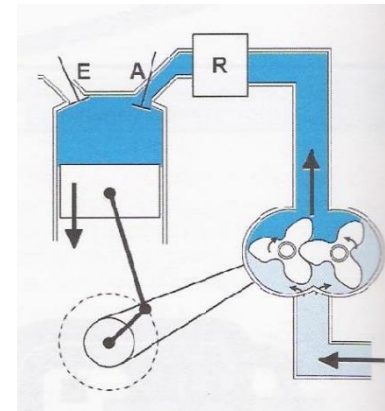
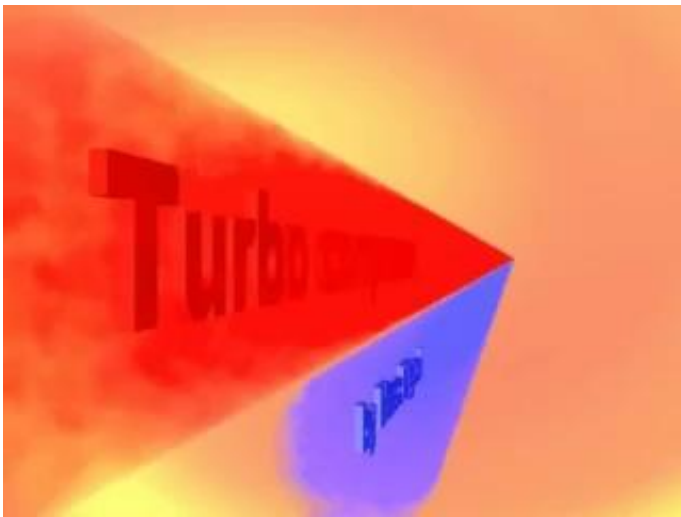
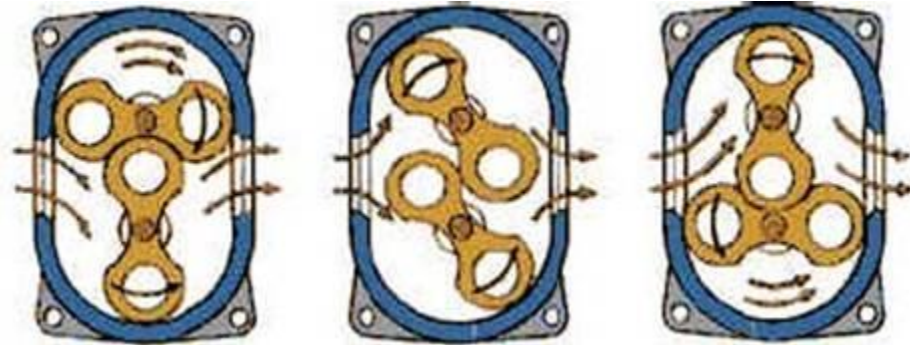
Injection



Turbo vs Compression



Partie Turbine



Turbo vs Compression

Turbo	Compression
Système récent (1970)	
Audi, Porsche, Subaru	Mercedes, Jaguar
Vitesse de rotation 200 000 tr/min	Souplesse
Rendement puissance et couple	Meilleur couple à bas régime
Si petite cylindrée risque de non fiabilité	Liaison mécanique avec le moteur
Phase de préchauffage obligatoire	
Phase de ralentissement avant arrêt indispensable	

Pollution

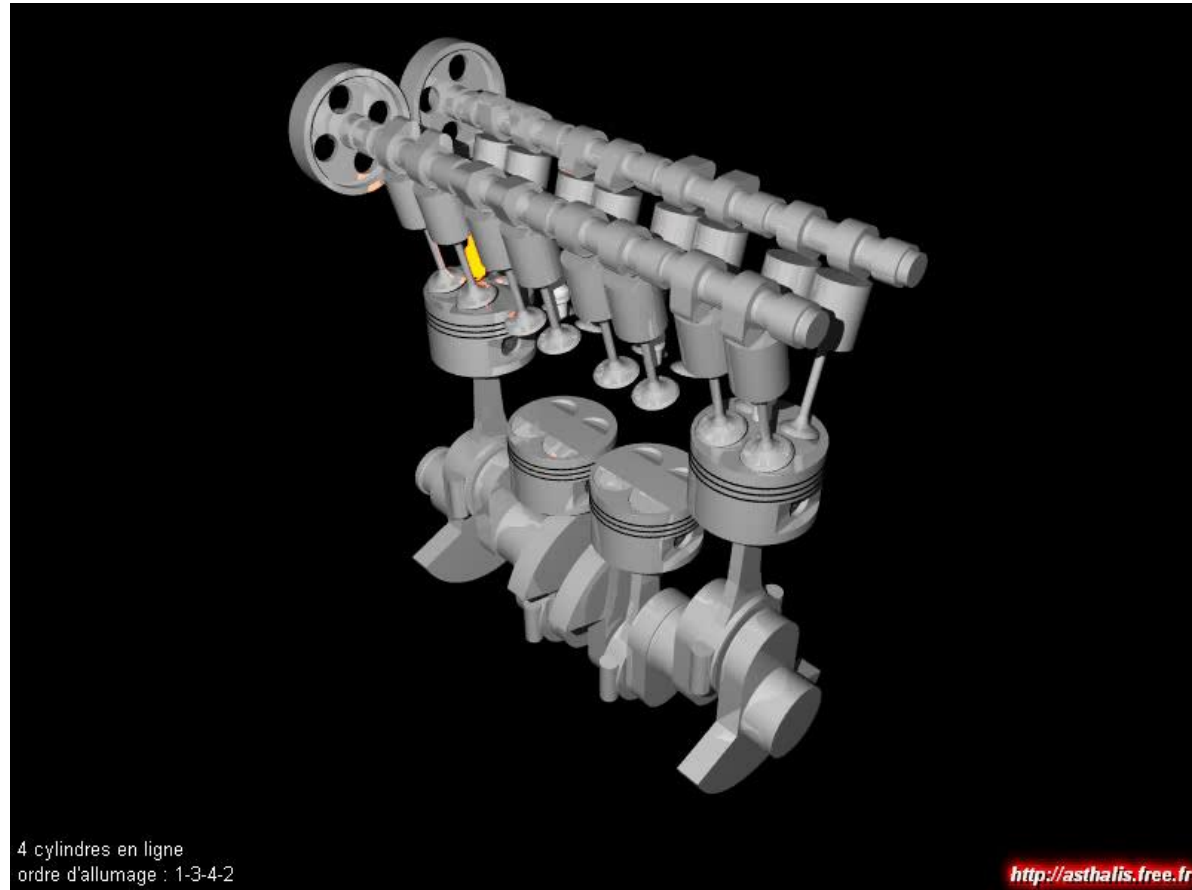
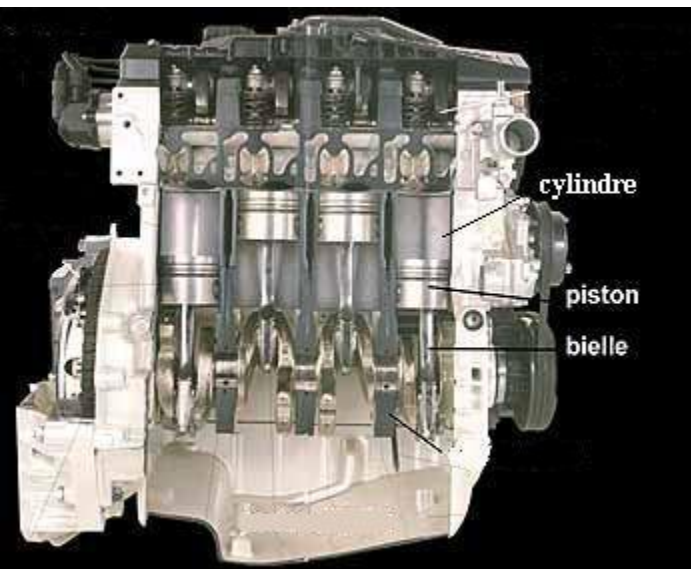
Le pot catalytique est obligatoire sur les voitures depuis :

1993 pour les véhicules essence

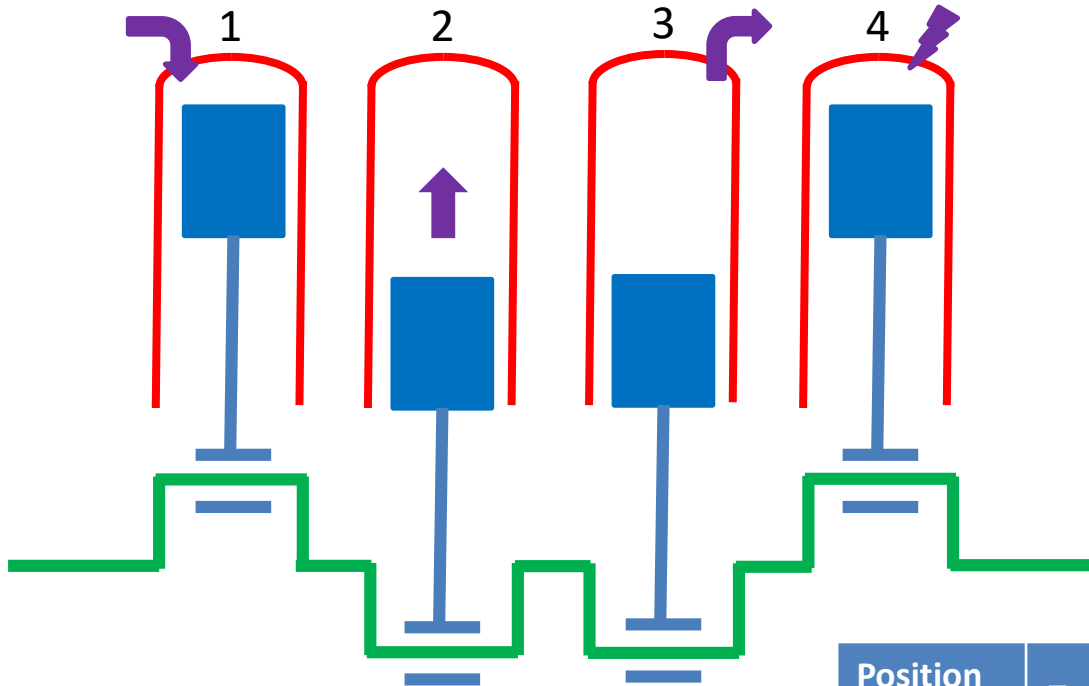
1997 pour les véhicules diesel

Diesel	Essence
Particules fines : la suie (on peut la voir)	HC : hydrocarbures imbrulé (on ne le voit pas)
	CO : monoxyde de carbone
NOx : Oxydes d'azote	
CO2 dioxydes de carbone → principal gaz à effet de serre	

4 – 6 – 8 – 12 – 3 cylindres



Cycle moteur 4 temps classique

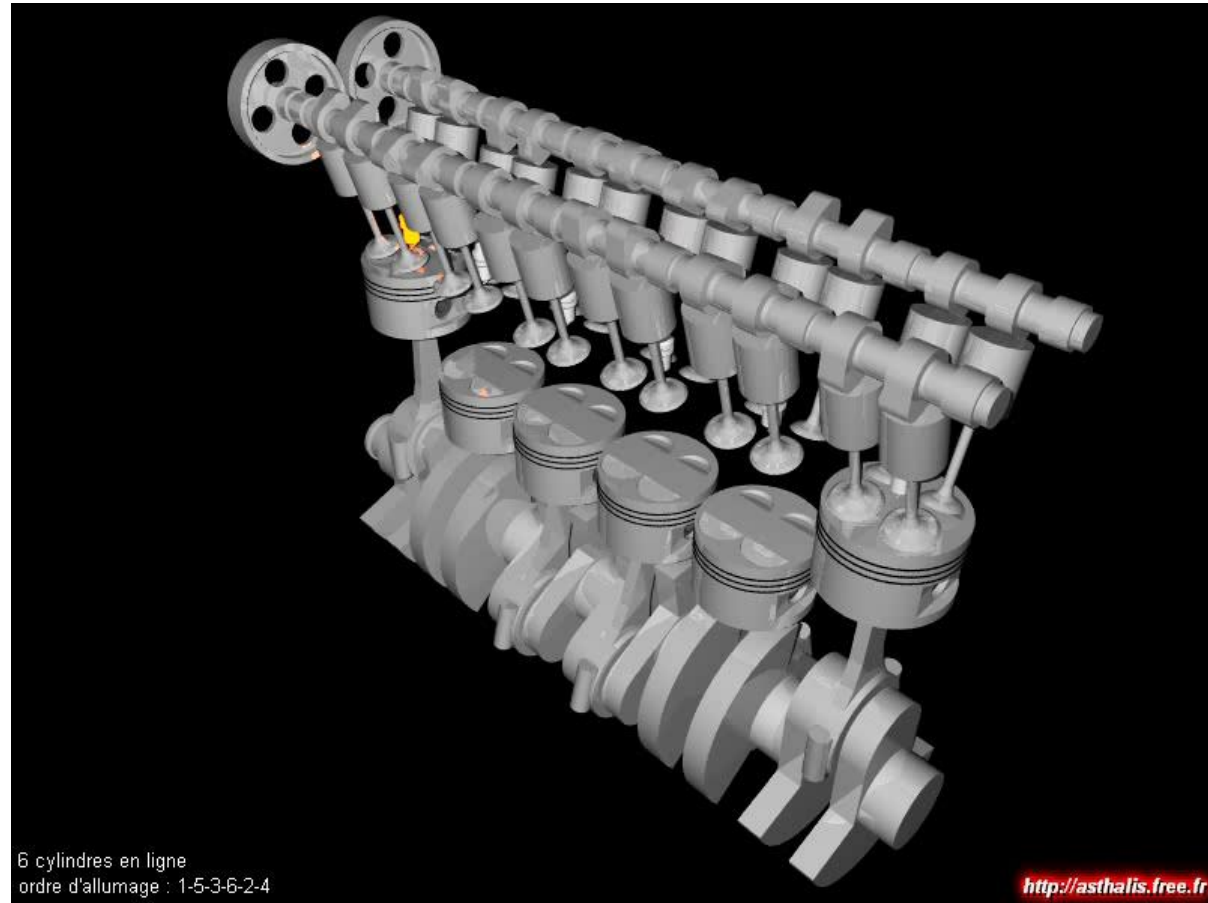
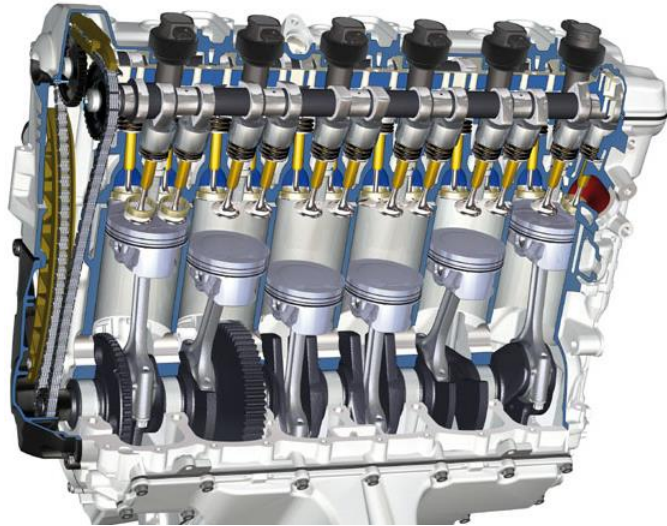


Dit : 1 – 3 – 4 – 2
Correspond à l'ordre d'allumage

Position Angulaire	Tours	Cyl 1	Cyl 2	Cyl 3	Cyl 4
0° 180°	1 ^{er} tour				
180° 360°		Compres	Inflam Détoné	Admis	Echappt
360° 540°	2 nd tour	Inflam Détoné	Echappt	Compres	Admis
540° 720°		Echappt	Admis	Inflam Détoné	Compres

4 – 6 – 8 – 12 – 3 cylindres

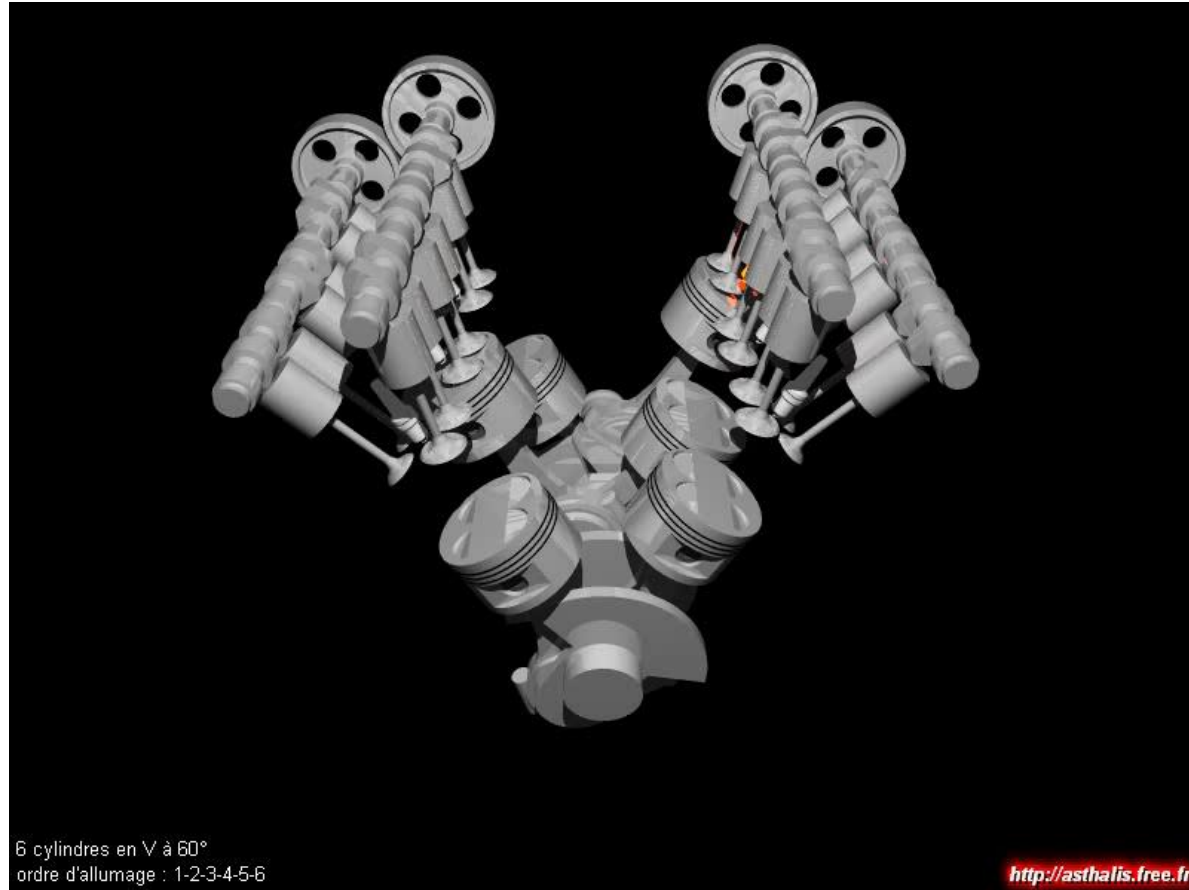
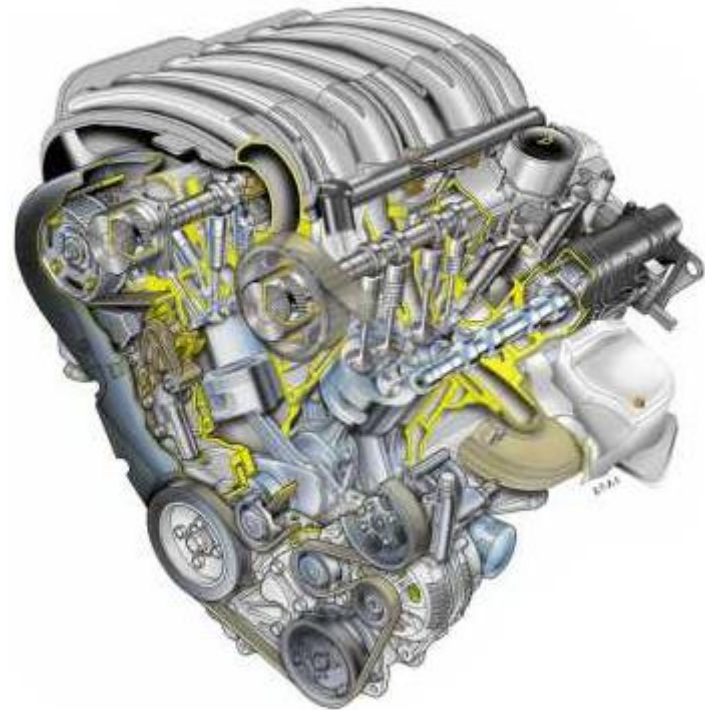
En ligne



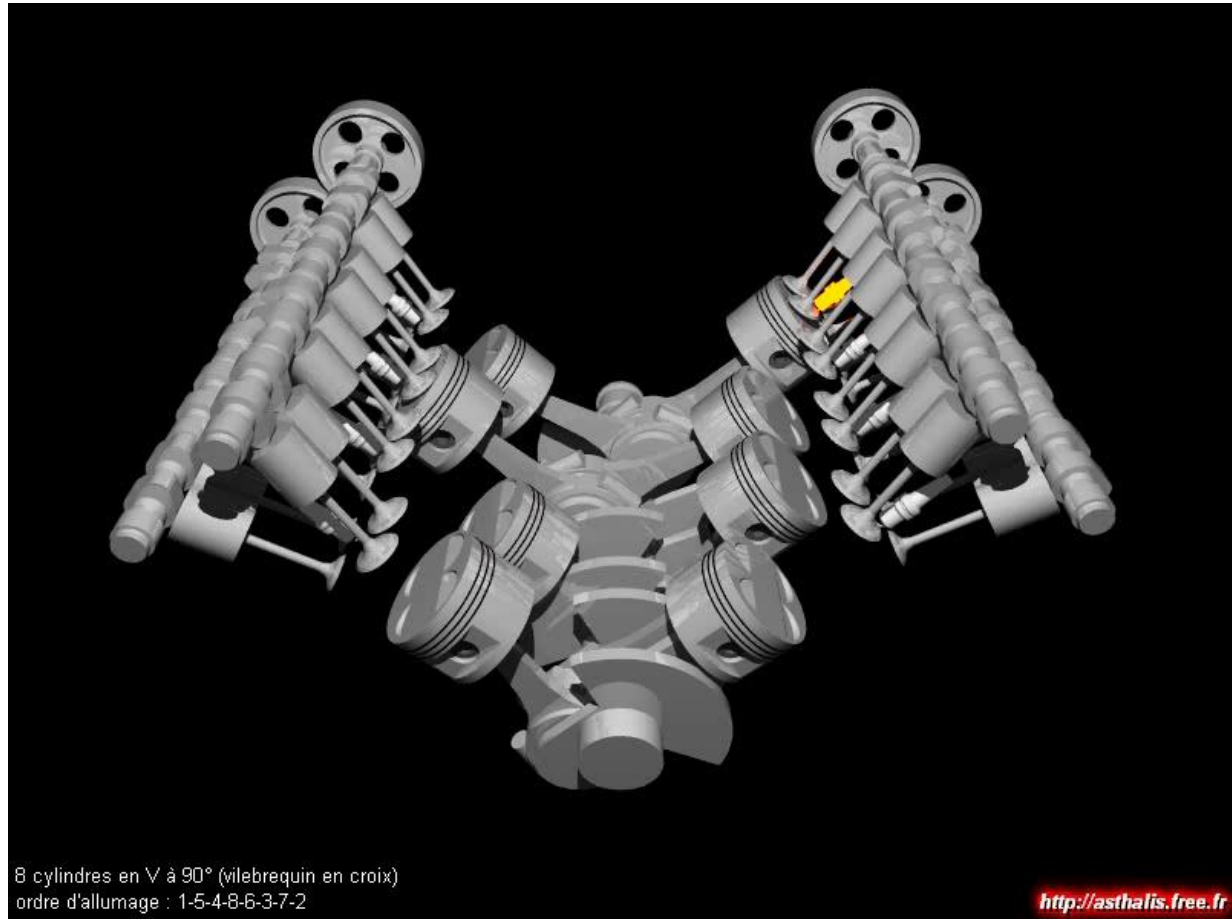
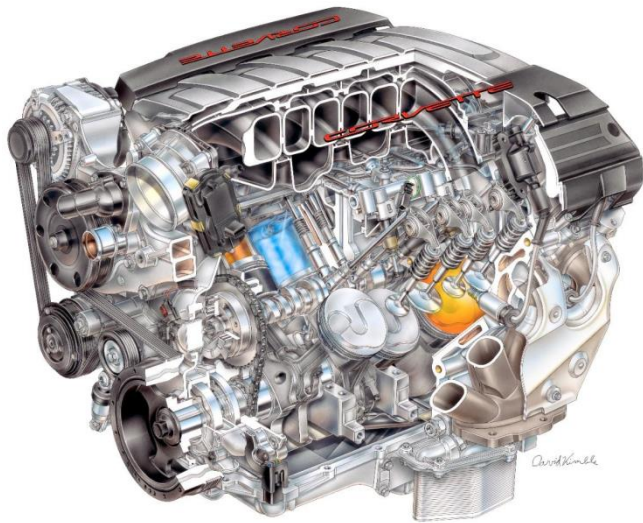
6 cylindres en ligne
ordre d'allumage : 1-5-3-6-2-4

4 – 6 – 8 – 12 – 3 cylindres

En Vé



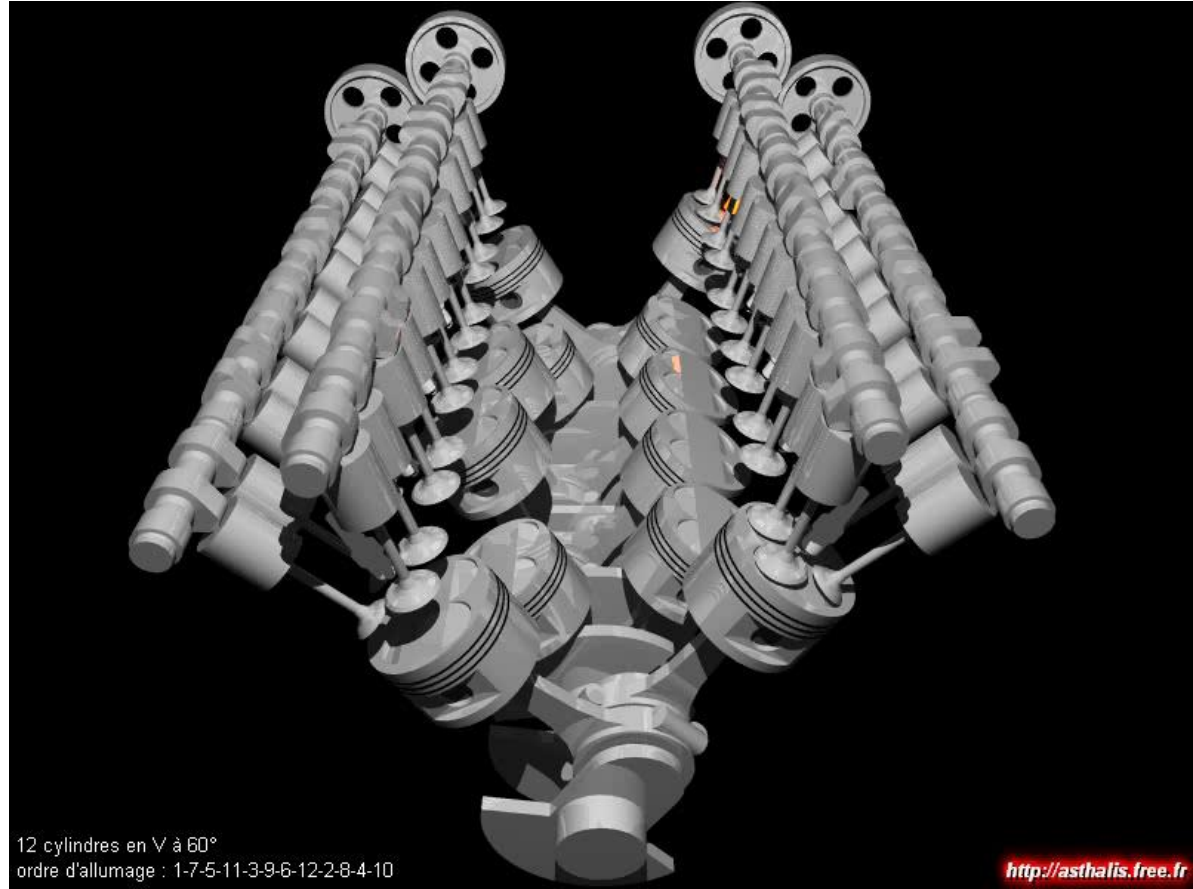
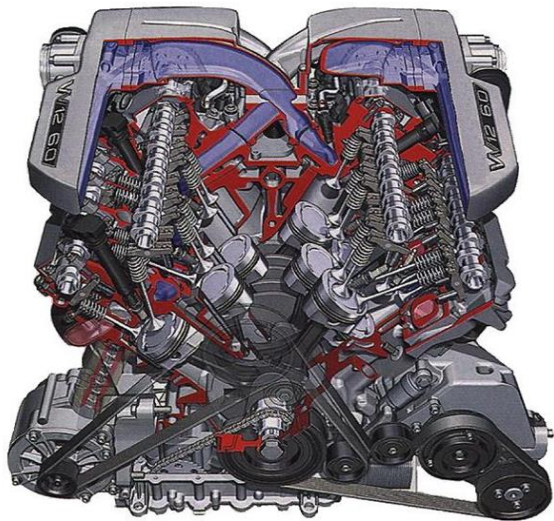
4 – 6 – 8 – 12 – 3 cylindres



8 cylindres en V à 90° (vilebrequin en croix)
ordre d'allumage : 1-5-4-8-6-3-7-2

4 – 6 – 8 – 12 – 3 cylindres

09/08



12 cylindres en V à 60°
ordre d'allumage : 1-7-5-11-3-9-6-12-2-8-4-10

<http://asthalis.free.fr>