

GENERALITES SUR LES MOTEURS

Le terme automobile qualifie toute machine capable de se déplacer par ses propres moyens. Pour cela, il doit être muni de la réserve d'énergie nécessaire à son fonctionnement : le moteur.

I- CARACTERISTIQUES D'UN MOTEUR

Le moteur d'automobile [1] est un dispositif qui transforme la chaleur produite par la combustion d'un mélange gazeux de carburant et d'air, en un travail mécanique utilisable pour l'entraînement des roues motrices du véhicule. Toutefois, une partie seulement de la chaleur est transformée en travail utile, le reste de l'énergie produite par la combustion étant dissipé sans possibilité pratique de récupération, comme dans tout moteur thermique.

Il est, généralement, caractérisé par les paramètres suivants :

- **La course** : c'est l'amplitude du déplacement du piston. Le niveau le plus élevé que le piston atteint dans le cylindre s'appelle, point mort haut (PMH) et le niveau le plus bas s'appelle, point mort bas (PMB). La distance parcourue par le piston entre ces deux points morts se nomme la course.
- **L'alésage** : c'est le diamètre intérieur du cylindre. Quand on donne les caractéristiques d'un moteur, on cite d'abord l'alésage, puis la course.
- **Le nombre de cylindres**
- **La cylindrée** : c'est le volume total des cylindres d'un moteur, il est exprimé en cm^3 . Elle est calculée à partir de la course, de l'alésage et du nombre de cylindre.
- **Le couple moteur** : c'est le couple maximal exercé sur l'axe. L'unité légale utilisée est le $\text{N} \times \text{m}$ (bien que le $\text{kg} \times \text{m}$ reste courant). La puissance est le produit du couple par la vitesse de rotation.
- **La vitesse de rotation** : elle est exprimée en tours par minute (tr/mn).
- **Le rapport volumétrique ou taux de compression** : c'est le rapport entre le volume laissé dans l'un de ses cylindres au PMB et au PMH. Plus il est élevé, plus le mélange est comprimé d'où une forte explosion. Ainsi le rendement du moteur est élevé mais il aura des difficultés qui apparaissent (choc mécanique, montée de la température...).
- **La puissance maximale développée** : elle est souvent exprimée par une courbe de puissance motrice. Elle doit être mesurée selon certaines normes définissant en

particulier les accessoires mis en œuvre et les conditions de température et de pression. Elle est toujours supérieure à la puissance réellement disponible aux roues pour un véhicule à cause des pertes dans la transmission. L'unité légale utilisée est le kW mais on utilise souvent le cheval-vapeur (ch.) (1 ch = 736 W).

- **La puissance fiscale ou spécifique** : c'est la puissance produite en fonction de la cylindrée. Elle est calculée en faisant le rapport entre la puissance maximale développée et le volume total de gaz contenus après le cycle d'admission. Par exemple un moteur de 500 cm³ développant 33 ch présente ainsi une puissance fiscale de 66 ch/l tandis qu'un moteur de 3 000 cm³ développant 120 ch n'en offre que 40 ch/l.
- **Le rendement** : c'est le rapport entre la puissance mécanique délivrée et la puissance thermique fournie par le carburant. Il dépend du cycle thermodynamique choisi, des paramètres de fonctionnement (taux de compression) et des pertes thermiques, mécaniques (frottement), d'écoulement (dans l'admission et l'échappement) ainsi que des pertes dues aux accessoires (pompes d'injection, ventilateur et pompe de refroidissement).

II- TYPES DE MOTEURS

Généralement, il existe deux types de moteurs : les moteurs à essence et les moteurs diesel.

1- Moteurs à essence [1]

La construction des moteurs à essence a été naturellement inspirée par les éléments constructifs des moteurs à vapeur qu'on utilisait pour l'équipement des automobiles et que l'on a transformé pour l'emploi du pétrole ou de l'essence du pétrole. Cependant, elle a bénéficié d'un progrès réalisé antérieurement, qui est l'utilisation de la soupape comme système d'ouverture et obturation des moteurs. Ainsi, les moteurs à essence sont plus légers, rapides et économiques que les moteurs à vapeur.

a- Structure

Ces moteurs transforment l'énergie potentielle chimique stockée dans un carburant en travail (énergie mécanique) grâce à des combustions très rapides, d'où le terme « explosion ». Ils sont constitués d'un ou plusieurs cylindres confinant les combustions. Dans chaque cylindre, un piston coulisse en un mouvement rectiligne alternatif. Ce mouvement est

transformé en rotation par l'intermédiaire d'une bielle reliant le piston au vilebrequin, un assemblage de manivelles sur un axe. Chaque cylindre est fermé par une culasse munie ou non (cas de soupapes latérales) d'au moins deux soupapes :

- la soupape d'admission permet l'alimentation en mélange air/essence du cylindre par le collecteur d'admission ;
- la soupape d'échappement permet l'évacuation des gaz brûlés vers l'échappement.

Pour libérer l'énergie chimique potentielle du carburant, il est nécessaire d'effectuer une combustion. Les moteurs d'automobile font partie des moteurs à combustion interne c'est-à-dire que la réaction chimique du combustible et de l'air, ainsi que la transformation de l'énergie produite en travail, ont lieu au sein des mêmes organes.

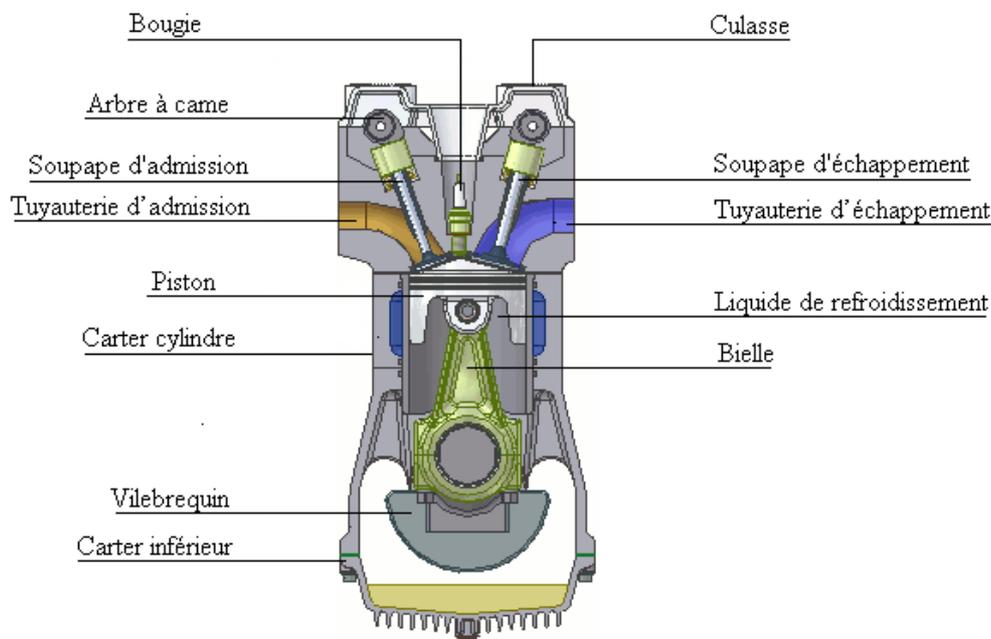


Figure 1.1 : Schéma général d'un moteur à explosion [2]

b- Fonctionnement

Pour permettre au moteur de fonctionner, sa partie supérieure est équipée : d'une bougie d'allumage pour déclencher la combustion, d'une soupape d'admission pour autoriser l'entrée du mélange dans la chambre de combustion, d'un papillon G pour contrôler la quantité de mélange admis, d'une soupape d'échappement pour permettre l'évacuation du mélange brûlé et de deux arbres à came qui tournent en permanence pour gérer le mouvement des soupapes. Cette partie supérieure, généralement amovible est appelée « culasse ».

Les variantes essentielles dans les moteurs thermiques à allumage commandé concernent le cycle de fonctionnement (deux temps ou quatre temps) ainsi que les modes d'alimentation et de combustion. En effet, le mélange carburé est réalisé, soit avant son introduction dans les cylindres (injection indirecte) soit dans les cylindres (injection directe). Dans notre cas, on s'intéressera principalement au moteur thermique à quatre temps à allumage commandé à injection indirecte. La figure 1.2 montre les quatre temps d'un cycle de fonctionnement de ce type de moteur. Ainsi le piston se déplace pendant le démarrage grâce à une source d'énergie externe (souvent un démarreur ou lanceur : un moteur électrique est couplé temporairement au vilebrequin) jusqu'à ce qu'au moins un temps moteur produise une force capable d'assurer les trois autres temps avant le prochain temps moteur. Lorsque le moteur fonctionne, il produit un couple sur son arbre de sortie. Les cycles successifs d'un moteur à quatre temps sont décrits ci-après :

1. **Admission ou aspiration** d'un mélange air et de carburant vaporisé, présent dans le conduit d'admission (mélange préparé par divers composants carburateur ou système d'injection indirecte) : ouverture de la soupape d'admission et descente du piston, ce dernier aspire ainsi le mélange dans le cylindre à une pression de $-0,1$ à $-0,3$ bar ;
2. **compression** du mélange : fermeture de la soupape d'admission, puis remontée du piston qui comprime le mélange jusqu'à 30 bars et 400 à 500 °C dans la chambre de combustion ;
3. **combustion** (détente aux environs du point mort haut) : moment auquel le piston atteint son point culminant et auquel la compression est au maximum ; la bougie d'allumage, connectée à un générateur d'électricité haute tension, produit une étincelle ; la combustion rapide qui s'ensuit constitue le temps moteur ; les gaz chauds à une pression de 40 à 60 bars repoussent le piston, initiant le mouvement ;
4. **échappement** : ouverture de la soupape d'échappement et remontée du piston qui chasse les gaz brûlés détendus dans le collecteur d'échappement, laissant la place à une nouvelle charge de mélange air/carburant. Après un nouveau cycle recommence.

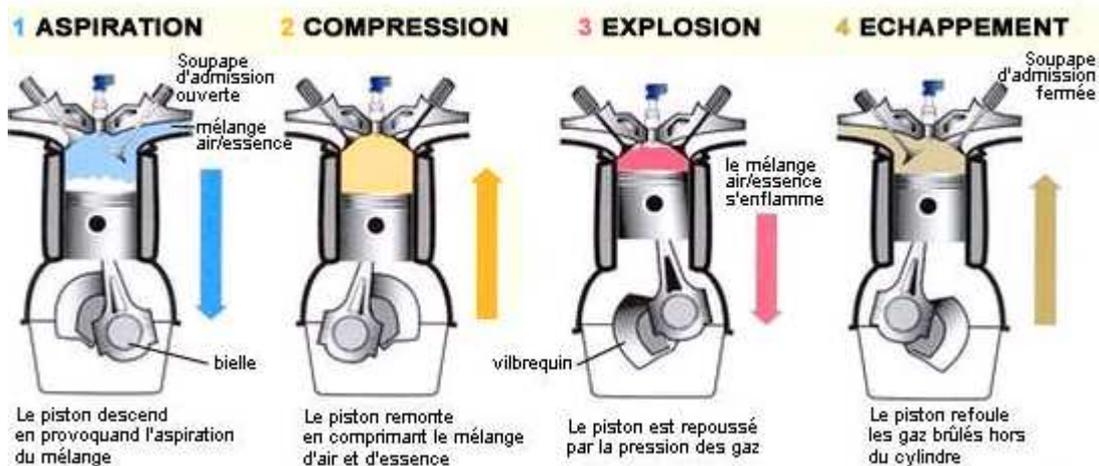


Figure 1.2 : Déroulement du cycle à quatre temps du moteur à essence [3]

c- Carburation

La carburation est l'ensemble des opérations grâce auxquelles on obtient le mélange intime air+carburant qui sera admis dans les cylindres. En effet, elle consiste à proportionner convenablement le combustible et l'air pour obtenir la combustion rapide et complète (dosage), mélanger intimement l'air et le combustible afin de réaliser le même dosage dans toute la masse (homogénéité), assurer le dosage convenable à tous les régimes du moteur sans intervention extérieure et répartir le mélange carburé également entre tous les cylindres du moteur.

La carburation est réalisée dans un appareil complexe appelé « carburateur » où arrivent l'essence envoyée par le dispositif d'alimentation et l'air atmosphérique aspiré par la dépression que crée la descente du piston lors du temps d'admission.

C'est donc un dispositif qui a pour rôle de réaliser la carburation et la régulation, c'est-à-dire l'adaptation de puissance fournie par le moteur à la puissance qui lui est demandée. Il comporte plusieurs organes complexes, qu'il est difficile à étudier simultanément. Aussi, dans ce qui va suivre, on s'est limité aux éléments qui assurent une marche correcte pour une position de l'accélérateur. Un schéma simple du carburateur élémentaire est représenté à la Figure 1.3.

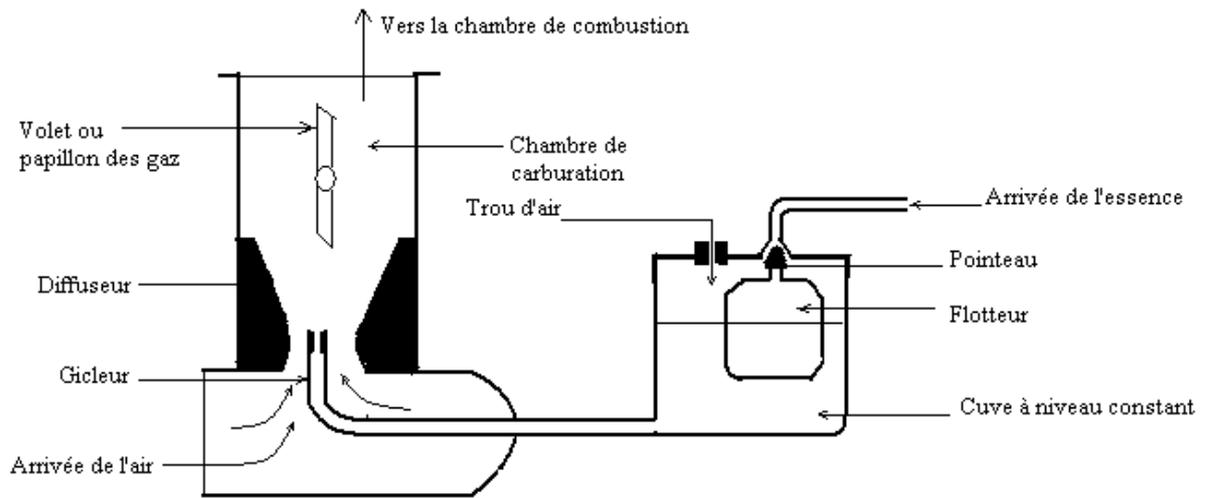


Figure 1.3 : Schéma d'un carburateur élémentaire [4]

i- Description

Un carburateur est composé d' :

- Une cuve à niveau constant : elle reçoit l'essence du réservoir par une simple cavité ou par une pompe d'alimentation. Un flotteur porte un pointeau qui obture l'arrivée d'essence lorsque le niveau atteint la valeur constante choisie. Pendant la marche du moteur, il oscille donc, s'abaissant quand l'essence s'écoule par le gicleur et remontant lorsque le débit d'arrivée est supérieure au débit de sortie.
- Un gicleur : il comporte un orifice calibré, à la sortie duquel le jet d'essence se trouve pulvérisé dans le courant d'air. Cet ajustage, disposé à quelques millimètres au-dessus du niveau de la cuve, a un diamètre variant de 0.40 à 1.6mm, et exprimé en centième de millimètres : $40 < d < 160$.
- Une chambre de carburation : elle est constituée : d'un diffuseur ou buse qui est une partie convergente-divergente au col de laquelle débouche le gicleur ; d'un papillon des gaz ou volet qui est un obturateur tournant commandé par l'accélérateur susceptible d'entraver plus ou moins le passage des gaz aspirés par le moteur ; d'une portion de tuyauterie comprise entre le gicleur et la soupape d'admission.

ii- Fonctionnement [5] [6]

- Le combustible, entraîné par le courant d'air se divise en fines gouttelettes, qui sont elles-mêmes pulvérisées par le choc contre l'air. Ceci favorise la vaporisation du combustible et prépare ainsi la formation d'un mélange homogène.

- Lorsque le moteur est arrêté, une pression atmosphérique règne dans la tubulure d'admission et dans la cuve ; l'essence s'écoule jusqu'à ce que le pointeau obture son arrivée, et le niveau constant s'établit au gicleur comme la cuve.
- Lorsque le moteur est en marche, le papillon des gaz étant immobilisé dans une certaine position. Un courant d'air s'établit dans la tubulure d'admission. Le débit de gaz alimentant un seul cylindre est périodique, il n'a lieu que pendant un temps sur quatre s'il s'agit d'un cycle à quatre temps. On alimente plusieurs cylindres par un même carburateur, aussi, dans toute la partie commune de la chambre de carburation. Le débit de gaz ne varie sensiblement pas au cours de son fonctionnement.

d- Suralimentation et réduction de la cylindrée des moteurs thermiques

Afin d'augmenter le rendement des moteurs thermiques sans augmenter leur cylindrée, il est possible d'équiper ces derniers d'une suralimentation en air, basée dans la majorité des cas, sur l'ajout d'un turbocompresseur au circuit d'air classique (Fig. 1.4).

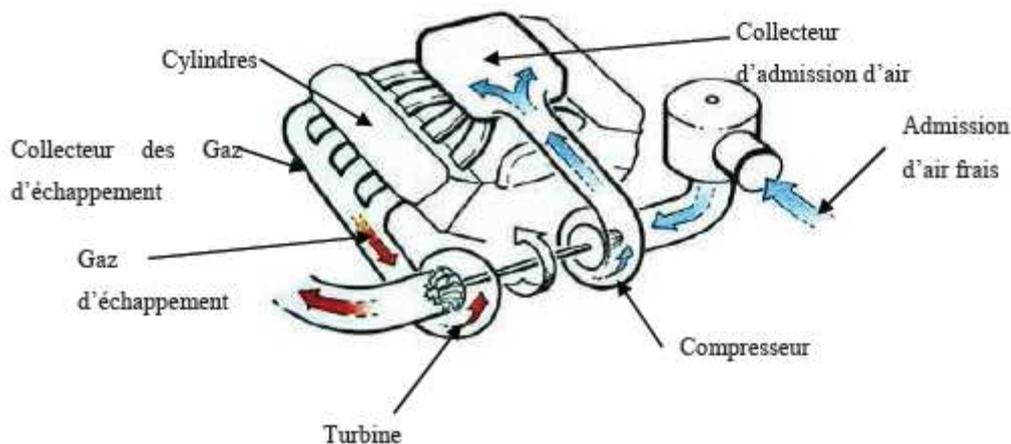


Figure 1.4 : Schéma de principe de suralimentation des moteurs à essence [12]

En améliorant le rendement des moteurs de faibles cylindrées, la suralimentation en air des moteurs permet aussi de réduire la consommation du carburant et par conséquent les émissions polluantes qui en résultent.

i- Principe de suralimentation

Le turbocompresseur permet de récupérer une partie de l'énergie perdue à l'échappement (gaz d'échappement) et de la réinjecter à l'admission. Cette opération est réalisée à l'aide d'une turbine placée à la sortie du collecteur d'échappement qui entraîne un

compresseur monté en amont du papillon d'admission d'air frais. La figure 1.5 représente un schéma fonctionnel d'un moteur à essence à allumage commandé turbocompressé.

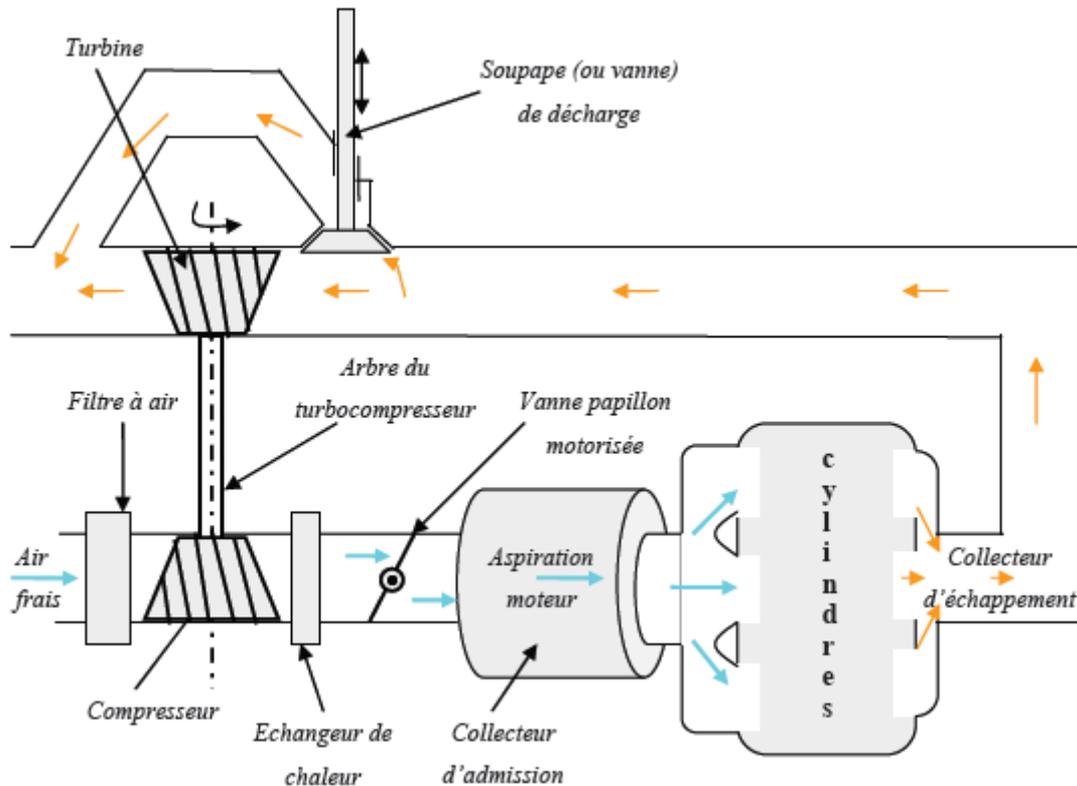


Figure 1.5 : Principe de la suralimentation à base d'un turbocompresseur [12]

Avec la rotation du turbocompresseur, la pression dans le collecteur d'admission peut atteindre des valeurs supérieures à la pression atmosphérique. Par conséquent la charge en air admissible par les cylindres est augmentée. La suralimentation est alors vue comme un système qui présente un effet d'une augmentation fictive de la cylindrée du moteur sans augmentation des pertes par frottement et par pompage (travail nécessaire pour remplir le moteur de mélange frais), ce qui permet d'accroître la puissance du moteur et de réduire sa consommation.

ii- Pilotage des turbocompresseurs

Pour agir sur la dynamique du turbocompresseur, les actionneurs les plus utilisés sont la vanne de décharge (vanne permettant la dérivation d'une partie des gaz d'échappement) et la turbine à géométrie variable (ou TGV). Leur action principale consiste à agir sur les variations du débit des gaz d'échappement traversant la turbine pour moduler sa vitesse de rotation.

e- Refroidissement

Les combustions répétées surchauffent les pièces en contact (piston, cylindre, soupape) et se diffusent sur l'ensemble des pièces mécaniques du moteur. Il faut donc les refroidir sous peine de destruction. Pour un bon fonctionnement, les moteurs à explosion ont besoin d'une température régulière et adaptée. Ainsi il existe plusieurs types de refroidissement comme le refroidissement à air, le refroidissement liquide, le refroidissement par huile...

i- Le refroidissement à air

Ce type de refroidissement est surtout utilisé pour les moteurs équipant les vélomoteurs et motocyclettes de faible cylindrée, mais aussi sur des automobiles, comme certaines Porsche, la 2CV ou la Coccinelle. Le refroidissement par air est aussi majoritaire pour les moteurs à pistons équipant les avions.

Pour cela on utilise un ventilateur entraîné par un moteur électrique ou par le vilebrequin. Mais ce type de refroidissement présente des inconvénients comme les problèmes entraînés par le haut rendement du moteur (casses, usure prématurée)... ceux-ci ont conduit à la quasi généralisation du refroidissement liquide.

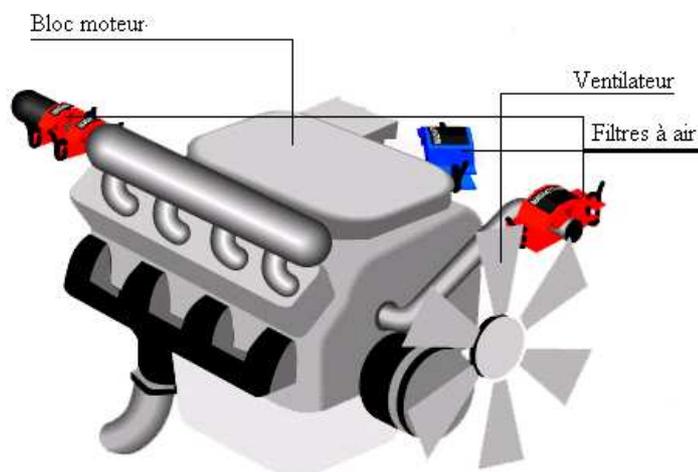


Figure 1.6 : Moteur équipé d'un ventilateur pour le refroidissement à air [6]

ii- Le refroidissement liquide

C'est l'anglais **Samuel Brown** qui inventa le refroidissement du moteur par de l'eau afin d'améliorer les performances du refroidissement. Dans son moteur, l'eau entraînée par une pompe circule autour des cylindres entourés d'une chemise, l'eau est refroidie par contact

direct avec l'air ambiant. Plus tard, on ajouta à l'eau différents adjuvants qui devint alors le liquide de refroidissement.

Le **radiateur** fut inventé en 1897 par l'ingénieur allemand **Wilhelm Maybach**. Après de nombreux tâtonnements, il mit au point le radiateur dit « nid d'abeille » qui permet le refroidissement très efficace d'un liquide. Il est composé d'un faisceau de conduits courts et étroits entre lesquels circule l'air. L'air peut être accéléré par un ventilateur placé devant ou derrière lui. Ce radiateur est situé dans un circuit fermé ou semi-fermé rempli d'un liquide (à base d'eau) assurant le refroidissement du moteur.

Dans les moteurs les plus anciens, la circulation d'eau est assurée par **thermosiphon** : l'eau chauffée par le moteur monte vers le radiateur, placé en hauteur. Une fois refroidie, elle redescend vers le moteur. Dans les moteurs modernes, on utilise une **pompe à eau**.

Un contrôle permanent de la température vise à maintenir l'eau et l'huile dans des conditions permettant une lubrification optimale.

Idéalement, la température du liquide de refroidissement est d'environ 90-105°C, déterminée par plusieurs facteurs tels que tolérances d'usinage et résistance au frottement des pièces mécaniques, lubrifiants utilisés. La régulation de cette température est généralement obtenue par une **vanne thermostatique thermostat** située dans le circuit de refroidissement, associée à un ou plusieurs ventilateurs asservis par une **sonde thermocontact** à la température du liquide dans le radiateur.

La figure 1.7 représente le schéma d'un moteur équipé d'un radiateur.

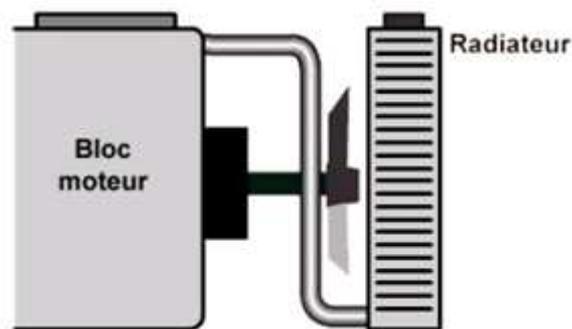


Figure 1.7 : Bloc moteur équipé d'un radiateur [7]

iii- Le refroidissement par huile

Tous les moteurs à combustion interne utilisent déjà un liquide pour la lubrification des pièces en mouvement, l'huile qui circule, propulsée par une pompe. Il suffit donc de faire circuler ce liquide dans les zones les plus chaudes et, surtout, d'en assurer le refroidissement

correct. Ils utilisent plus ou moins le refroidissement par huile : carter d'huile bas moteur ventilé, parfois muni d'ailettes, un petit radiateur d'huile. Par conséquent, les canalisations, pompe, radiateur indépendant et liquide, spécifiques au refroidissement deviennent inutiles. Cela permet un net gain de poids et une plus grande simplicité de conception. Mais, l'huile transporte moins bien la chaleur que l'eau et les spécificités de ces huiles les rendent plus coûteuses pour l'utilisateur. De plus, le graissage du moteur est moins performant (à isopérimètre) car il y a des pertes de charges dues à la circulation dans le radiateur d'huile.

f- Lubrification [8]

Le système de lubrification a plusieurs rôles dans le moteur : diminuer les frottements sur les pièces en mouvement, dissiper une partie de la chaleur de combustion, assurer l'étanchéité des cylindres, évacuer, lors des vidanges, les particules dues à l'usure et aux résidus de combustion.

Les lubrifiants utilisés doivent répondre à des conditions de qualité suivantes :

- **La viscosité** : elle caractérise les forces de frottement qui interviennent entre les molécules d'un fluide seulement quand celles-ci sont en mouvement les unes par rapport aux autres. Elle se mesure de différentes manières. La méthode la plus courante est celle d'Engler. Cette méthode consiste à comparer la vitesse d'écoulement d'un certain volume d'huile à celle d'écoulement d'un même volume d'eau par un trou de petit diamètre (1 mm, par exemple). La viscosité de l'huile diminue avec l'élévation de la température. La qualité d'une huile est d'avoir un degré de viscosité suffisant pour assurer un frottement fluide aux températures de fonctionnement des organes du moteur : de 80°C à 150°C.
- **L'onctuosité** : c'est la facilité pour un lubrifiant de bien adhérer aux surfaces métalliques.
- **Le point d'inflammation** : c'est la température à laquelle l'huile émet des vapeurs. Ces vapeurs risquent de s'enflammer. La température d'inflammation est environ : 200°C à 250°C.
- **Le point de congélation** : c'est la température où l'huile ne s'écoule plus. Elle doit être la plus basse possible. Pour les régions tempérées, cette température est de l'ordre de -25°C à -20°C.

Les huiles motrices sont classées suivant leur viscosité. Les normes de classement sont déterminées par la S.A.E. (Society Automotive Engineering). On peut distinguer les huiles

multigrades dont la viscosité est donnée pour une valeur de la température. On trouve les huiles SAE 10W, 15W, 20W, 30, 40, 50. Par exemple, une huile classée SAE 10W signifie qu'on a une huile dont la valeur de la viscosité est égale à 10, W indique que la valeur de la viscosité a été mesurée à la température de 0°F (-18°C).

Pour les moteurs à explosion, il existe deux types de circuits de graissage : les circuits à graissage sous pression et à bain d'huile, le plus généralement utilisé sur les véhicules de tourisme et le circuit à graissage sous pression et à carter sec, réservés à certaines applications particulières (véhicules tous terrains ou véhicules de compétition). Voici un exemple circuit de graissage.

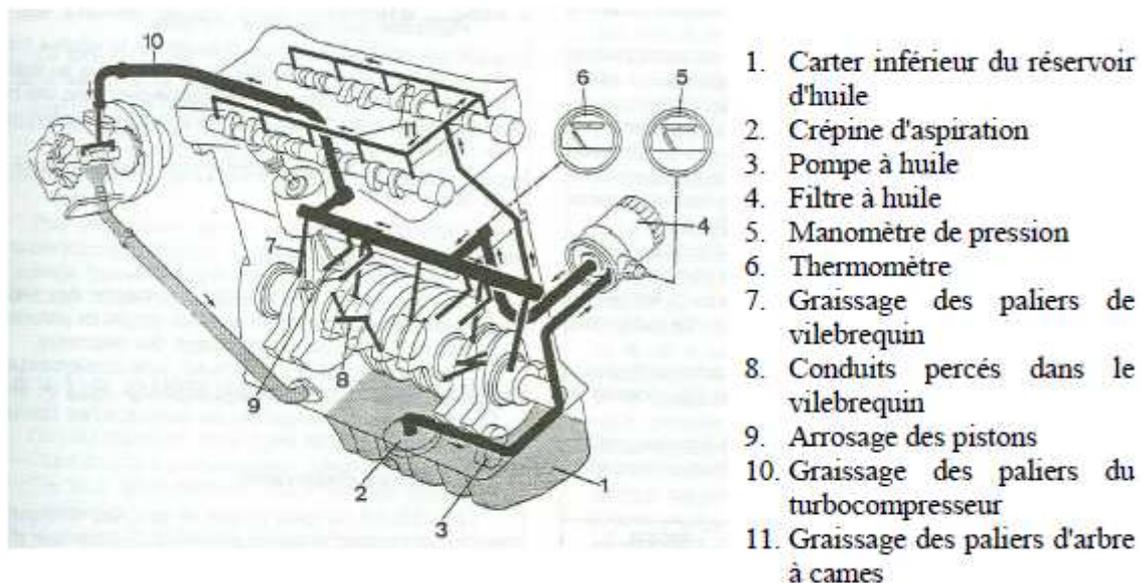


Figure 1.8 : Circuit de graissage d'un moteur [8]

g- Démarrage

Pour démarrer un véhicule à moteur à combustion interne, on utilise un système appelé « démarreur ». En effet, le couple à transmettre par le démarreur dépend des forces de frottement, du rapport volumétrique du moteur, du nombre de cylindres et de la température ambiante. En général, un moteur comptant un faible nombre de cylindres (deux par exemple) démarrera moins bien qu'un 8 ou un 12 cylindres. Pour un pluricylindre, on compte plus d'un allumage par tour de vilebrequin (un seul pour un bicylindre).

Sur les voitures modernes, le démarreur électrique universellement adopté est à courant continu et à deux phases. Il est conçu comme la dynamo qui est un moteur à courant continu dont le fonctionnement est réversible : il joue un rôle de générateur lorsqu'on lui

fournit de l'énergie mécanique ou de moteur électrique quand il en reçoit. La seule différence est dans le type d'excitation qui est en série.

h- Allumage

L'allumage est une technique qui sert à produire aux électrodes des bougies fixées dans les chambres de combustion des étincelles électriques haute tension nécessaires à l'inflammation du mélange gazeux.

Les organes d'allumage sont classés en deux catégories :

- Les organes principaux composés d'une batterie fournissant le courant basse tension, un transformateur à bobine élevant le courant de la batterie à haute tension (environ 15 kV), un rupteur du courant basse tension (circuit primaire), un distributeur du courant haute tension aux bougies (circuit secondaire). L'ensemble rupteur-distributeur entraîné par le moteur prend le nom d'allumeur.
- Les organes auxiliaires composés d'un système d'avance automatique d'allumage (inclus dans l'allumeur), un condensateur, des câbles de connexion basse et haute tension.

Il existe deux types d'allumage pour les moteurs à explosion : l'allumage électrique et l'allumage électronique. L'allumage électrique est constitué par les organes cités ci-dessus tandis que l'allumage électronique est doté des dispositifs à transistors, à décharge de conducteur, à générateur d'impulsions. Ce dernier présente une bonne précision, c'est donc le plus utilisé actuellement.

2- Moteur diesel [9]

Le moteur Diesel était considéré, jusqu'à une époque récente, comme un moteur bruyant, polluant et lourd, réservé en principe aux camions, camionnettes et taxis. Mais, avec l'avènement des diesels légers, rapides et puissants et le raffinement de leurs systèmes d'injection, la situation a changé dans les années 1980, et en cette fin de siècle, le diesel a acquis ses lettres de noblesse. On le présente même parfois comme le moteur du futur.

a- Structure [10] [11]

Comme le moteur thermique à essence, le moteur Diesel est constitué de pistons coulissants dans des cylindres, fermés par une culasse reliant les cylindres aux collecteurs d'admission et d'échappement et munie de soupapes commandées par un arbre à cames.

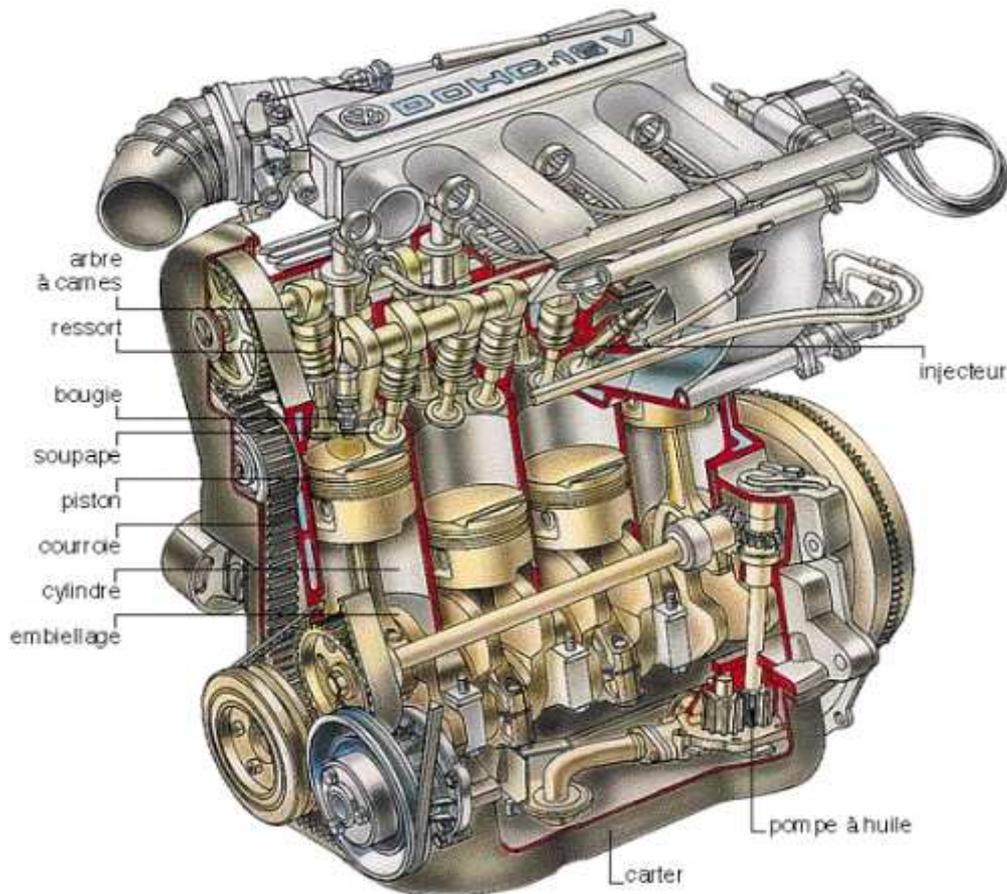


Figure 1.9 : Coupe longitudinale d'un moteur diesel à 4 cylindres [11]

b- Fonctionnement [10]

Le fonctionnement du moteur diesel repose sur l'auto-inflammation du gazole, fioul lourd ou encore huile végétale brute dans de l'air comprimé à 1:20 du volume du cylindre dont la pression est environ 35 bar et la température est portée de 600 °C à 1 500 °C environ. En effet, le carburant pulvérisé est injecté dans les cylindres, celui-ci s'enflamme presque instantanément, sans qu'il soit nécessaire de recourir à un allumage commandé par bougie. En brûlant, le mélange augmente fortement la température et la pression dans le cylindre (60 à 100 bars), repoussant le piston qui fournit une force de travail sur une bielle, laquelle entraîne la rotation du vilebrequin.

Comme le moteur à essence, le moteur diesel d'un véhicule fonctionne à 4 temps :

- **admission** d'air par l'ouverture de la soupape d'admission et la descente du piston ;
- **compression** de l'air par remontée du piston, la soupape d'admission étant fermée ;
- **injection- explosion - détente** : peu avant le point mort haut on introduit, par un injecteur, le carburant qui se mêle à l'air comprimé. La combustion rapide qui s'ensuit constitue le temps moteur, les gaz chauds repoussent le piston, libérant une partie de leur énergie ;
- **échappement** des gaz brûlés par l'ouverture de la soupape d'échappement, poussés par la remontée du piston.

c- Injection du carburant pour les moteurs diesel [8]

Les moteurs diesel sont classés selon le type d'injection et de chambre de combustion qui les équipent. Il existe deux grandes familles de types d'injection :

- L'injection directe : l'injecteur pulvérise le combustible directement dans la chambre principale du cylindre.
- L'injection indirecte : l'injecteur pulvérise le combustible dans une chambre auxiliaire où a lieu le début de combustion et les gaz rejoignant ensuite la chambre de combustion principale à travers un passage ou des canaux de liaison.

i- Moteurs à injection directe

Deux techniques de combustion sont employées :

- Par énergie des jets d'injecteur utilisé dans les gros moteurs lents : l'injecteur central comporte de 6 à 8 trous. Il pulvérise le combustible à la circonférence de la chambre de combustion de grand diamètre et peu profonde du piston. Le système fonctionne sans tourbillon d'air (swirl), mais exige une grande précision du positionnement de l'injecteur (à proximité de la chambre) et un excès d'air très important.
- Par mouvement tourbillonnant de l'air (swirl) : c'est le procédé le plus utilisé surtout dans les moteurs modernes. Le mouvement tourbillonnant de l'air est amorcé par la forme du conduit d'admission. La chambre de combustion dans le piston est plus

réduite car elle présente une forme variable selon le constructeur. L'injecteur utilisé est du type à trous multiples (3 à 6).

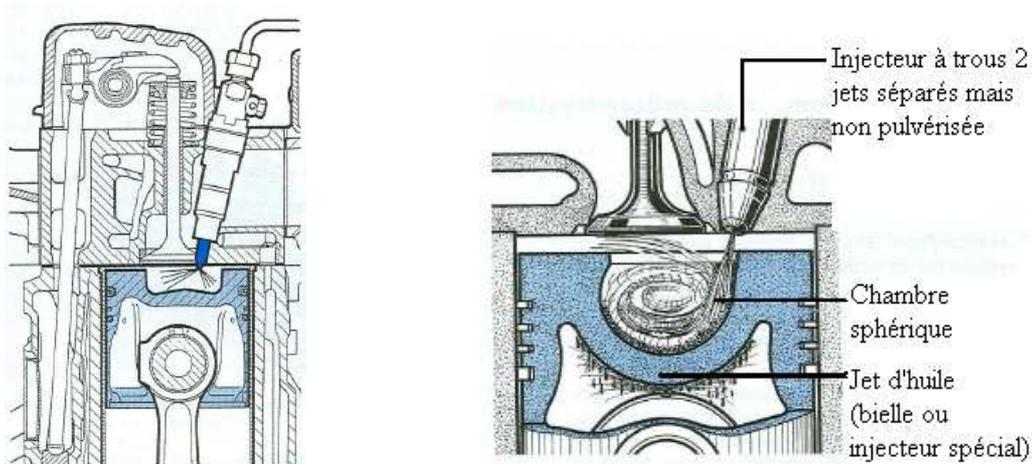


Figure 1.10 : Injection direct [8] (à gauche)

Figure 1.11 : Chambre de tourbillon d'air [8] (à droite)

Le principe de fonctionnement est le suivant. Pendant l'admission, l'air pénètre dans le cylindre par la volute d'admission. Elle lui imprime un mouvement tourbillonnant très intense comme le cyclone qui se poursuit pendant la compression. En fin de compression, l'injecteur introduit le combustible dans la chambre sphérique du piston. Le jet très court est dirigé sur la paroi, et s'étale sur elle en un film mince. Les fines gouttelettes qui forment un brouillard autour de ce jet s'oxydent et amorcent la combustion. Ce début de combustion s'effectue avec une faible quantité de combustible, le cognement est donc éliminé. Le reste du combustible étalé en film mince s'évapore lentement et permet aux vapeurs de se mélanger à l'air tourbillonnant.

ii- Moteurs à injection indirecte

Ce sont les moteurs à chambre de précombustion. En effet, l'injecteur est du type à téton. Il est placé sur la culasse et dans une cavité non refroidie appelée "préchambre". Il communique avec le haut du cylindre par un ou plusieurs orifices de passage restreint, et représente entre 20 et 30% du volume de compression.

Le combustible injecté dans cette préchambre commence à brûler car elle contient de l'air préalablement comprimé. L'élévation de pression résultant de cette précombustion expulse le mélange vers le cylindre où la combustion se poursuit. Cette combustion étagée

assure un fonctionnement moins bruyant car les pressions d'injection sont modérées (100 à 150 bars) et le rapport volumétrique varie de 12/1 à 15/1.

Le démarrage s'opère généralement à l'aide d'une bougie de préchauffage car le taux de compression adopté ne permet pas de porter l'air ambiant à une température suffisante lorsque la culasse est froide.

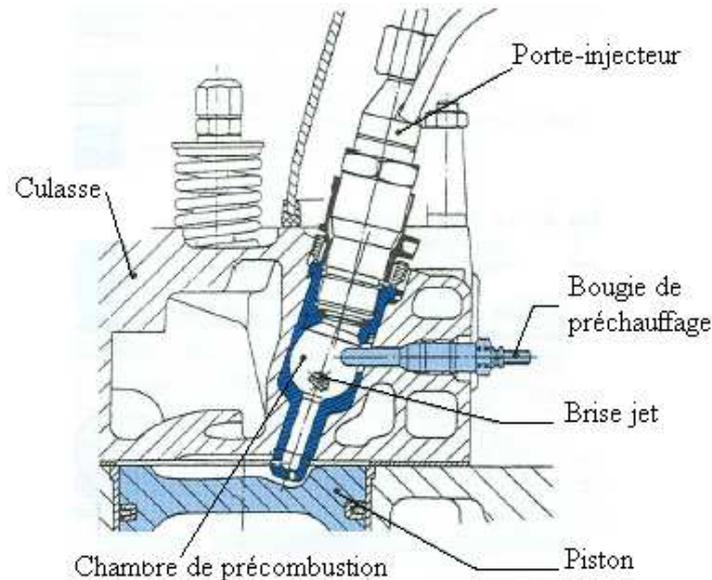


Figure 1.12 : Moteur à chambre de précombustion [8]

En ce qui concerne les moteurs diesel, le refroidissement, la lubrification, le démarrage ainsi que l'allumage s'opèrent de la même façon que ceux des moteurs à essence mais la structure et le fonctionnement des dispositifs sont différents.

Ainsi, les raisons du succès du moteur Diesel dans l'automobile, au-delà d'avantages fiscaux qui relèvent de choix politiques et non techniques, tiennent essentiellement à son rendement, supérieur à celui du moteur à essence. Ce rendement peut être encore amélioré par l'utilisation d'un turbocompresseur (les plus récents modèles sont « à géométrie variable » (TGV), technologie qui leur permet d'être plus performants à bas régime) et le Common rail (injection directe à haute pression) inventé par Fiat et Magneti-Marelli.

III- COMPARAISON ENTRE LES DEUX MOTEURS

Les différences entre les moteurs diesel et les moteurs à essence résident dans le mode d'inflammation du carburant et de la caractéristique d'auto inflammation de celui-ci. Le tableau ci-après indique ces différences.

Tableau 1: Tableau comparatif indiquant la différence entre les deux moteurs

	Moteur diesel		Moteur à essence	
<i>Temps du cycle</i>	<i>Fonctions assurées</i>	<i>Organes en fonctionnement</i>	<i>Fonctions assurées</i>	<i>Organes en fonctionnement</i>
1. Admission	Aspiration d'air	Soupapes d'admission	Aspiration d'un mélange air – essence préparé et dosé par un carburateur ou un système d'injection essence	Soupapes d'admission Carburateur ou injecteurs
2. Compression	Très forte 20 à 30 bars compression de l'air d'où échauffement à 600°C environ. Rapport volumétrique de 16/1 à 24/1		Compression du mélange 8 à 12 bars d'où échauffement à 300°C environ. Rapport volumétrique 5/1 à 11/1	
En fin de course de compression	Injection sous forte pression (100 à 300 bars) du combustible qui s'enflamme spontanément au contact de l'air surchauffé	Pompe d'injection Injecteur	Allumage du mélange par étincelle électrique à la bougie	Allumeur ou magnéto et bougies d'allumage
3. Combustion ou explosion	Combustion et détente		Combustion et détente	
4. Echappement	Evacuation des gaz brûlés	Soupapes d'échappement	Evacuation des gaz brûlés	Soupapes d'échappement

La technologie de la mécanique automobile ne cesse de se développer et se présente sous plusieurs formes. On a présenté dans ce chapitre quelques notions générales sur les moteurs à essence et les moteurs diesel. Dans le chapitre suivant, notre travail sera consacré sur l'étude et la mise en place des systèmes électroniques dans le moteur à essence pour étudier son comportement.