

GENERALITE SUR LES MOTEURS THERMIQUES

1. Introduction

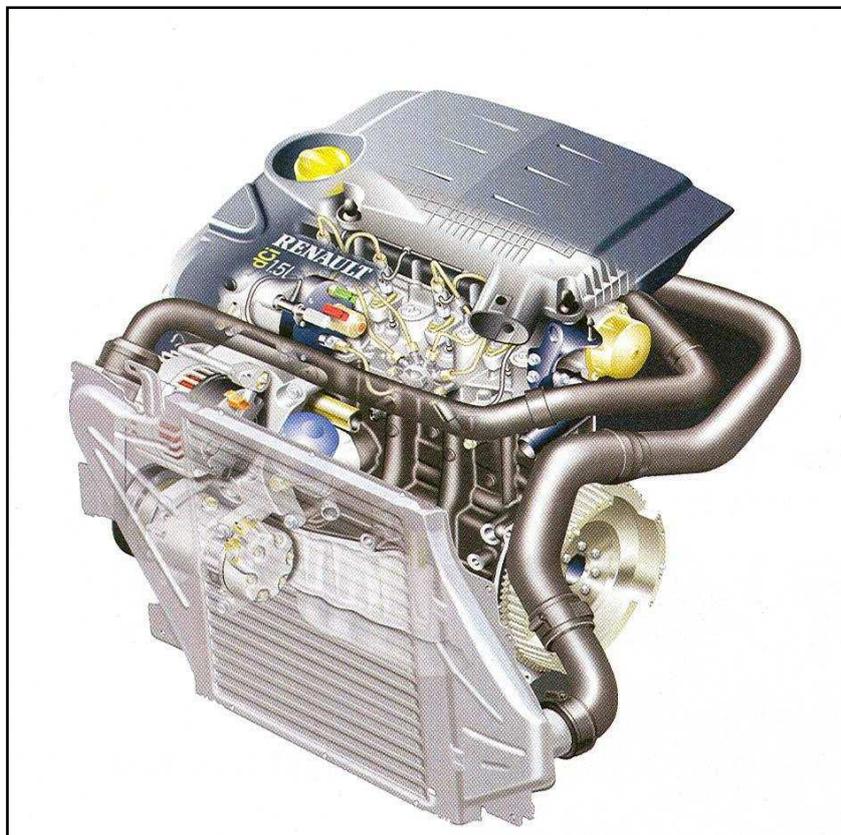
Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique à l'énergie mécanique. Ils sont encore appelés les moteurs à combustion qui sont généralement distingués en deux types :

- Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle. Le système est en contact avec une seule source de chaleur (l'atmosphère).
- Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement, ce qui nécessite alors 2 sources de chaleur, entrent par exemple dans cette dernière catégorie : les machines à vapeur, le moteur Stirling...

2. Moteurs à combustion interne :

2.1 Moteurs alternatifs :

La chaleur est produite par une combustion dans une chambre à volume variable et elle est utilisée pour augmenter la pression au sein d'un gaz qui remplit cette chambre (ce gaz est d'ailleurs initialement composé du combustible et du comburant : air). Cette augmentation de pression se traduit par une force exercée sur un piston, force qui transforme le mouvement de translation du piston en mouvement de rotation d'arbre (vilebrequin).



Les moteurs sont classés en deux catégories suivant la technique d'inflammation du mélange carburant-air :

- Les moteurs à allumage commandé (moteur à essence)
- Les moteurs à allumage par compression (moteur Diesel)

Dans les moteurs à allumage commandé, un mélange convenable essence-air, obtenu à l'aide d'un carburateur, est admis dans la chambre de combustion du cylindre où l'inflammation est produite par une étincelle.

Dans les moteurs à allumage par compression, le carburant est du gazole. On l'injecte sous pression dans la chambre de combustion contenant de l'air, préalablement comprimé et chaud, au contact duquel il s'enflamme spontanément. Ces moteurs sont appelés moteur Diesel.

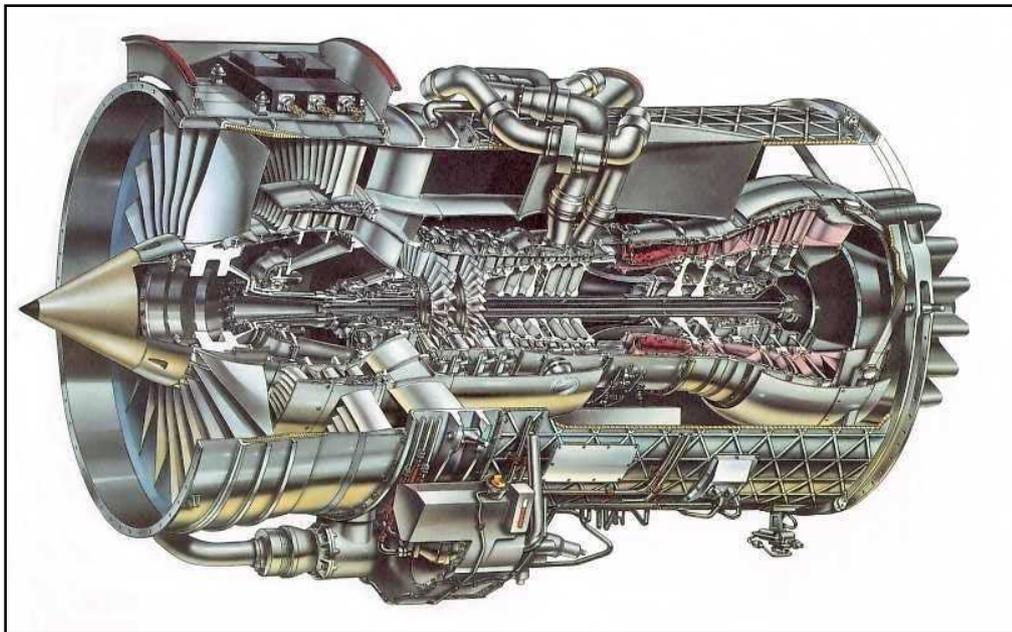
Les moteurs à allumage commandé et par compression, sont des moteurs à combustion interne, car la combustion s'effectue à l'intérieur du moteur.

Ces moteurs constituent actuellement la majorité des unités de production de puissance mécanique dans beaucoup de domaines, surtout le domaine de transports où ils se sont particulièrement développés en raison de leurs avantages : bon rendement, compacité, fiabilité... ; ceci explique l'extension qu'on a pris de nos jours l'industrie des moteurs et l'ensemble de ses branches connexes dans tous les pays du monde.

Nous traiterons sur ces types de moteurs plus détaillés aux chapitres suivants.

2.2. Turbomachines : (turbine à gaz) :

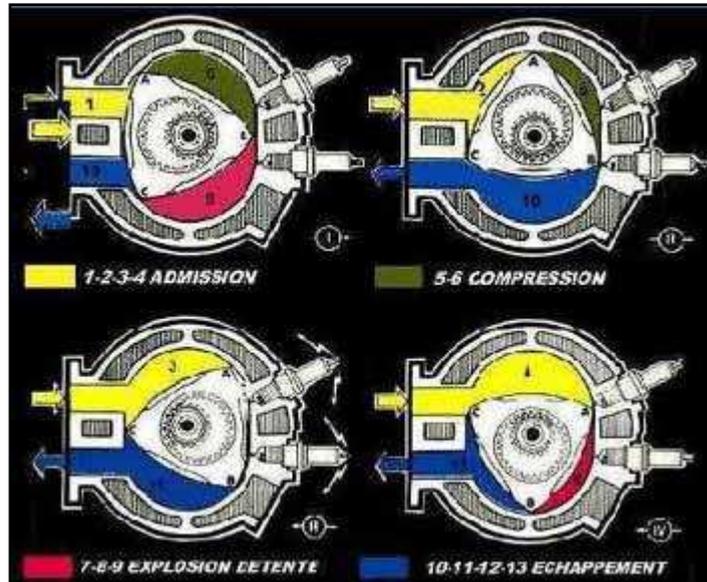
Contrairement aux moteurs précédents, les turbomachines sont des machines à écoulement continu. Dans ces dernières machines, les évolutions des fluides moteurs ont lieu dans des enceintes successives et juxtaposées, contrairement aux moteurs alternatifs où ces transformations s'opèrent dans le même espace, le cylindre.



La chaleur est produite par une combustion dans une chambre de combustion d'un combustible généralement liquide (kérosène par exemple). Cette combustion augmente la pression du gaz (air + combustible). Ce gaz sous pression traverse une chambre de détente à volume constant constituée d'un arbre moteur doté d'ailettes (turbine de détente). De l'énergie est alors fournie à cet arbre sous forme d'un couple moteur qui sera utilisé d'une part vers les consommateurs, d'autre part vers un compresseur (turbine de compression) qui permet la puissance fournie. En effet la pression de l'air augmentant, la masse d'air aspirée augmente, on peut brûler davantage de kérosène, et la puissance disponible est donc augmentée (par rapport à une turbine qui ne disposerait pas d'étage compresseur en entrée).

2.3. Moteur WANKEL à piston rotatif :

Le moteur rotatif WANKEL est le résultat d'une importante d'étude menée de 1945 à 1954 par l'ingénieur WANKEL sur les différentes solutions de moteur rotatif. En conclusion, il estima que la meilleure était de faire travailler en moteur, le compresseur rotatif réalisé par Bernard Maillard en 1943.



Avantage :

- Faible encombrement à cylindrée égale à un moteur conventionnel.
- Du fait qu'il ne transforme pas de mouvement linéaire en rotation, il déplace moins de pièces, donc moins d'inertie, ce qui lui permet d'atteindre des régimes très élevés. (En théorie max. 18000 tr/min)
- Moins de pièces permettent de faire des montées en régimes très rapide.
- Moins de pièces est égale à moins de poids.
- La plage d'utilisation commence dès les premiers tours et s'étend jusqu'à la rupture.

Inconvénients :

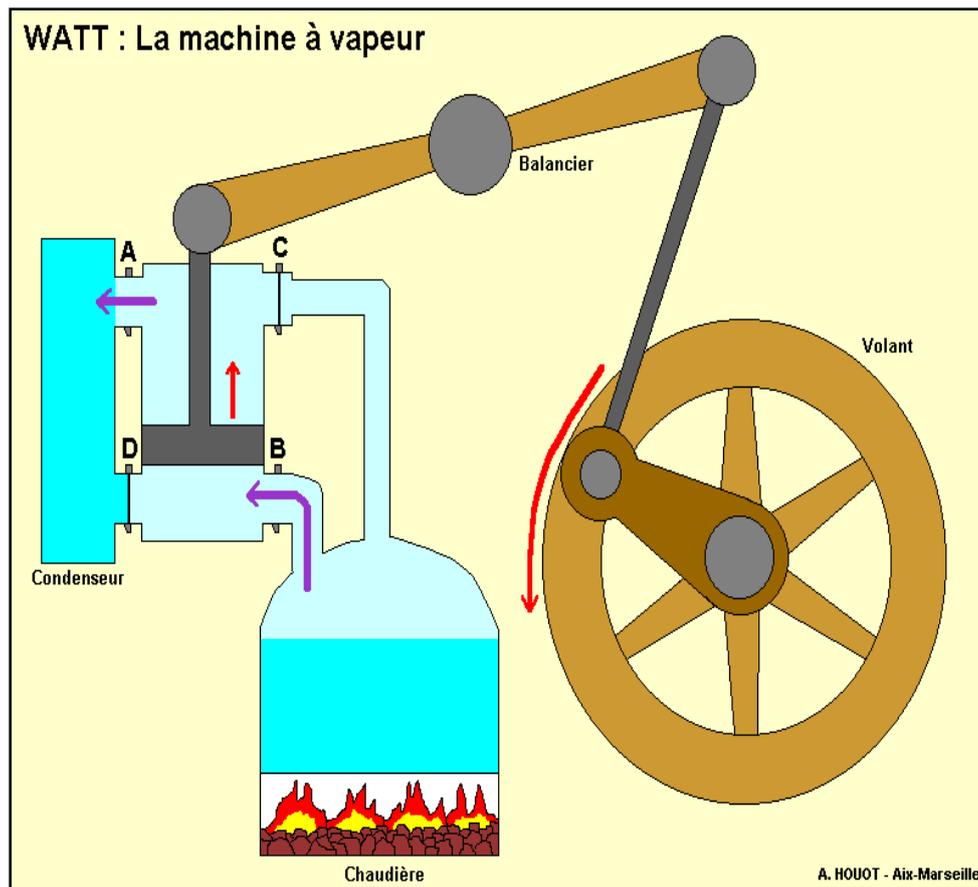
- Consommation en essence excessive.
- Frein moteur pratiquement inexistant.
- Techniquement perfectible.

3. Moteurs à combustion externe :

3.1. Machines à vapeur :

La chaleur est produite dans une chambre de combustion (chaudière) séparée de la chambre de détente. Cette chaleur est utilisée pour vaporiser de l'eau. La vapeur d'eau obtenue par cette vaporisation est alors envoyée dans la chambre de détente (cylindre) où elle actionne un piston. Un système bielle manivelle permet alors de récupérer l'énergie mécanique ainsi produite en l'adaptant aux besoins.

L'eau qui est fournie à l'évaporateur est transformée en vapeur d'eau par apport de chaleur. Ce gaz (vapeur d'eau sous pression) est distribué vers le piston où il fournit du travail qui sera utilisé par le système bielle manivelle (non représenté ici). Les distributeurs permettent de mettre chaque face du piston alternativement à l'admission ou à l'échappement.



3.2. Moteurs Stirling :

Le moteur Stirling, appelé parfois moteur à combustion externe ou moteur à air chaud est inventé en 1816 dont on reparle de plus en plus aujourd'hui. Le moteur comprend deux pistons A et B et un régénérateur qui absorbe et restitue de la chaleur au cours du cycle. Il existe plusieurs types de moteur Stirling ; pour l'illustration, on ne donne que le schéma d'un moteur alpha (Figure 3).

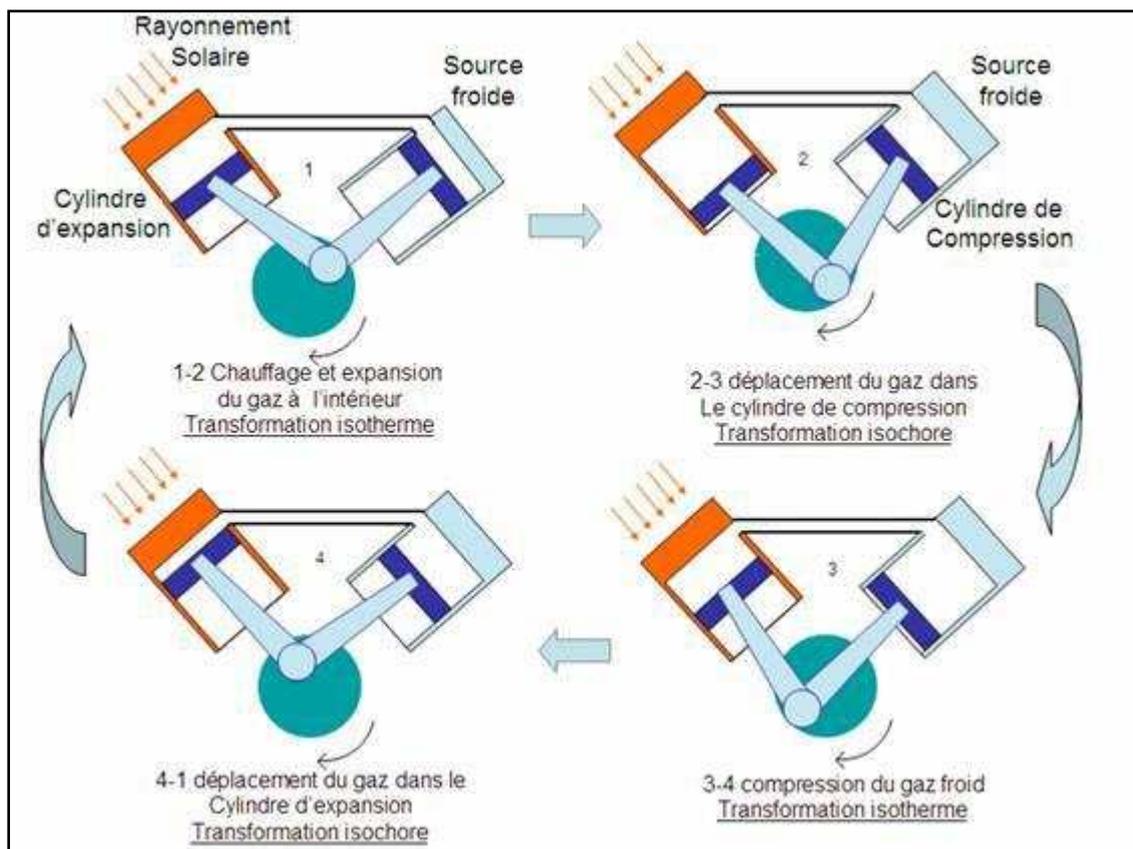
Avantages :

- Le silence de fonctionnement : il n'y a pas de détente à l'atmosphère comme dans le cas d'un moteur à combustion interne, la combustion est continue à l'extérieur du ou des cylindres. De plus, sa conception est telle que le moteur est facile à l'équilibrer et engendre peu de vibrations.
- Le rendement élevé : fonction, il est vrai, des températures des sources chaudes et froides. Comme il est possible de le faire fonctionner en cogénération (puissance mécanique et calorifique), le rendement global peut être très élevé.
- La multitude de « sources chaudes » possibles : combustible des gaz divers, de bois, sciure, déchets, énergie solaire ou géothermique....
- L'aptitude écologique à répondre le mieux possible aux exigences environnementales en matière de pollution atmosphérique. Il est plus facile de réaliser dans ce type de moteur une combustion complète des carburants.
- La fiabilité et la maintenance aisée la relative simplicité technologique permet d'avoir des moteurs d'une très grande fiabilité et nécessitant peu de maintenance.

- La durée de vie importante du fait de sa « rusticité ».
- Les utilisations très diverses du fait de son autonomie et son adaptabilité au besoin et à la nature de la source chaude (du mW au MW).

Inconvénients :

- Le prix : le frein à son développement est aujourd'hui probablement son coût, non encore compétitif par rapport aux autres moyens bien implantés. Une généralisation de son emploi devrait pallier ce problème inhérent à toute nouveauté.
- La méconnaissance de ce type de moteur par le grand public. Seuls quelques passionnés en connaissent l'existence.
- La variété des modèles empêche une standardisation et par conséquent une baisse de prix.
- Les problèmes technologiques à résoudre : les problèmes d'étanchéité sont difficiles à résoudre dès qu'on souhaite avoir des pressions de fonctionnement élevées. Le choix du gaz 'idéal', à savoir l'hydrogène pour sa légèreté et sa capacité à absorber les calories, se heurte à sa faculté de diffuser au travers des matériaux. Les échanges de chaleur avec un gaz sont délicats et nécessitent souvent des appareils volumineux.



FUNCTIONNEMENT DU MOTEUR THERMIQUE

1. Principe de fonctionnement :

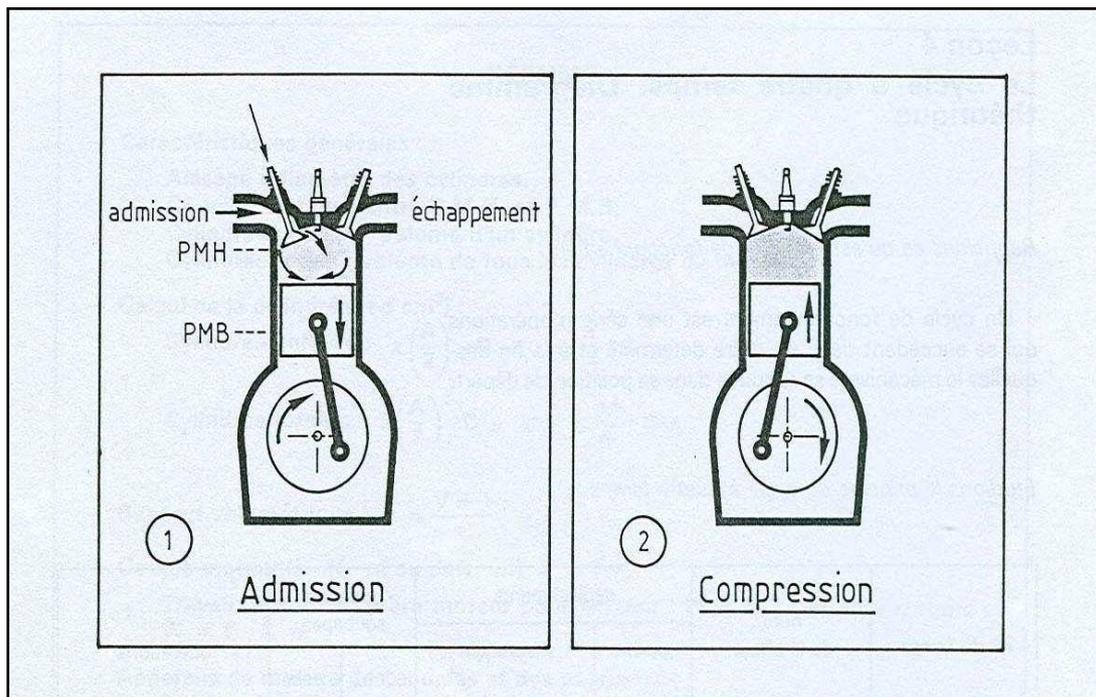
1.1. Définition du cycle à 4 temps :

On appelle cycle l'ensemble des phases qui se succèdent dans le moteur, dans notre cas le cycle comprend quatre phases ou temps :

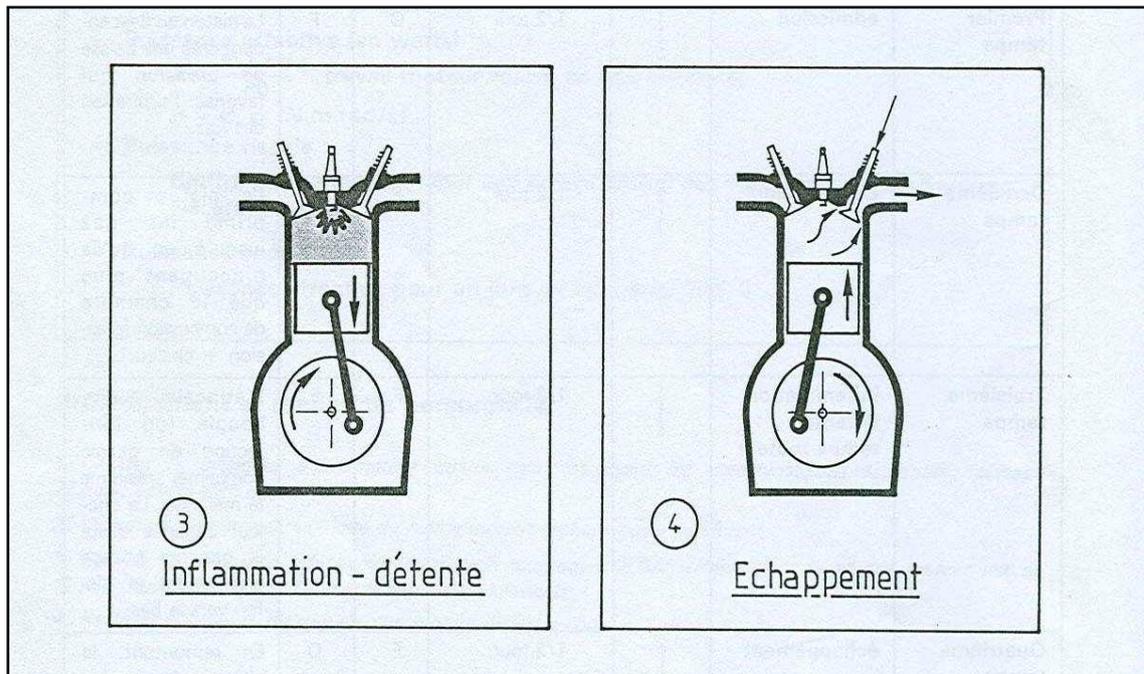
- Temps admission : aspiration d'air ou de mélange air-essence.
- Temps compression : de l'air ou du mélange.
- Temps combustion-détente : inflammation rapide du mélange provoquant une brusque montée en pression des gaz puis leur détente.
- Temps échappement : évacuation des gaz brûlés.

On constate que seul le troisième temps fournit de l'énergie, c'est le temps moteur, les trois autres temps sont résistants.

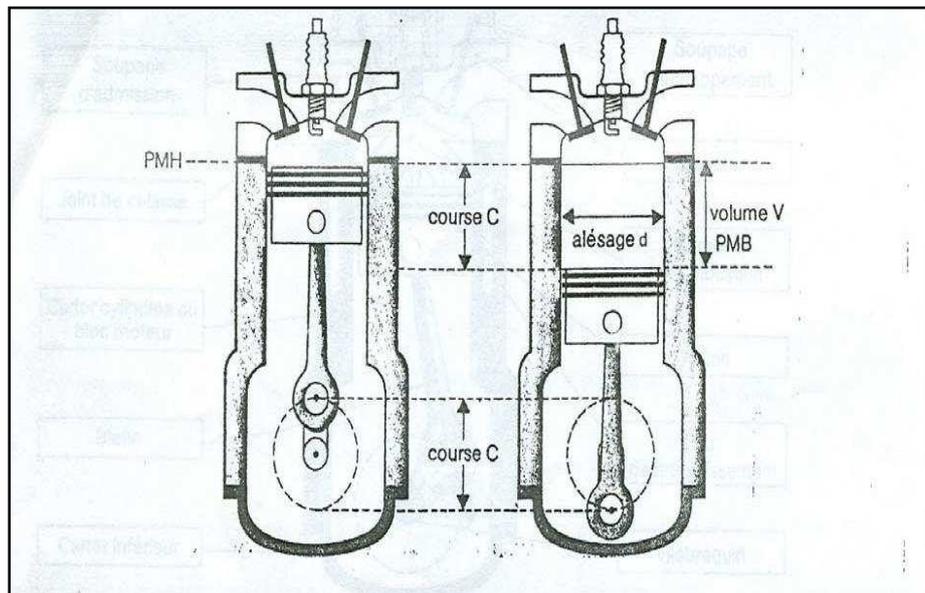
1.2. Déroulement du cycle :



- Le piston en descendant crée une baisse de pression qui favorise l'aspiration des gaz.
- Le piston comprime les gaz jusqu'à ce qu'ils n'occupent plus que la chambre de combustion (pression + chaleur).
- L'étincelle d'une bougie (ou l'injection de gazole comprimé) enflamme le mélange. La chaleur dégagée dilate le gaz qui pousse violemment le piston vers le bas.
- En remontant, le piston chasse les gaz brûlés devant lui. A ce moment, le moteur se trouve à nouveau prêt à effectuer le premier temps.



2. Caractéristiques d'un moteur :



- L'alésage : c'est le diamètre (d) du cylindre en millimètre.
- La course : c'est la distance (c) parcourue par le piston entre le Point Mort Haut (PMH) et le Point Mort Bas (PMB).
- La cylindrée : la cylindrée unitaire (V_u) d'un cylindre c'est le volume balayé par le piston entre le PMH et le PMB.

$$V_u = c \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

- La cylindrée totale (V_t) d'un moteur c'est la cylindrée unitaire multipliée par le nombre de cylindres N .

$$V_t = V \cdot N$$

Où n - nombre de cylindres.

Nota : la cylindrée s'exprime en général en **cm³**.

- Le rapport volumétrique (ρ) : c'est le rapport entre le volume total d'un cylindre ($V+v$) et le volume de la chambre de combustion (v).

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

Remarque :

Si V croît, v restant constant : ρ croît.

Si v croît, V restant constant : ρ décroît.

Si ρ croît, la pression de fin de compression croît.

- **Le couple moteur :**

La pression qui agit sur la tête de piston lui communique une force d'intensité :

$$F = P \cdot S \text{ en (N)}$$

Où : p - la pression de gaz brûlés

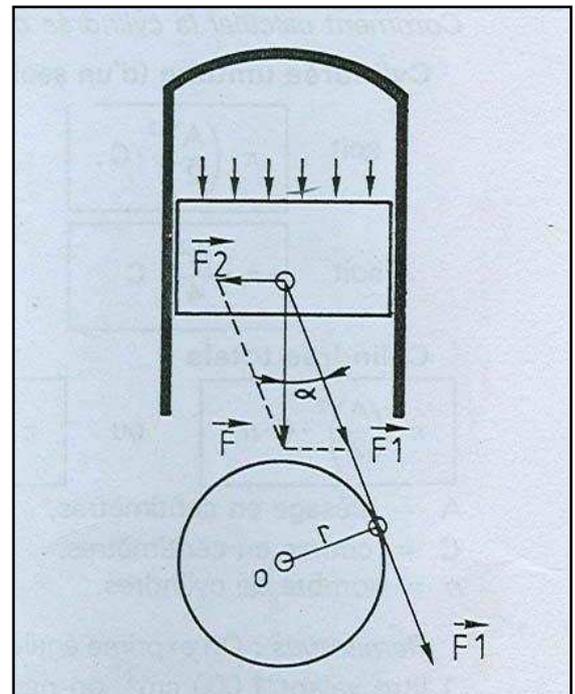
S - l'aire de la tête du piston

Déterminons F_1 sur la bielle :

$$\cos \alpha \cdot F_1 = F$$

Le moment du couple moteur (ou couple moteur) est donc le produit de la force sur la bielle par la longueur du bras de maneton de vilebrequin.

$$C = F_1 \cdot r; [\text{Nm}]$$



- Le travail développé (W) est égal au produit de la force sur la bielle (F_1) par le déplacement de la force (l).

$$W = F_1 \cdot l; [\text{J}]$$

Déplacement de la force pour un tour : $l = 2\pi r$

Travail de force pour un tour : $W = 2. \pi. r. F_1$

D'où $W=C \cdot 2\pi$

Pour un nombre de tours donnés (N) le travail sera :

$$W=C \cdot 2. \pi. N$$

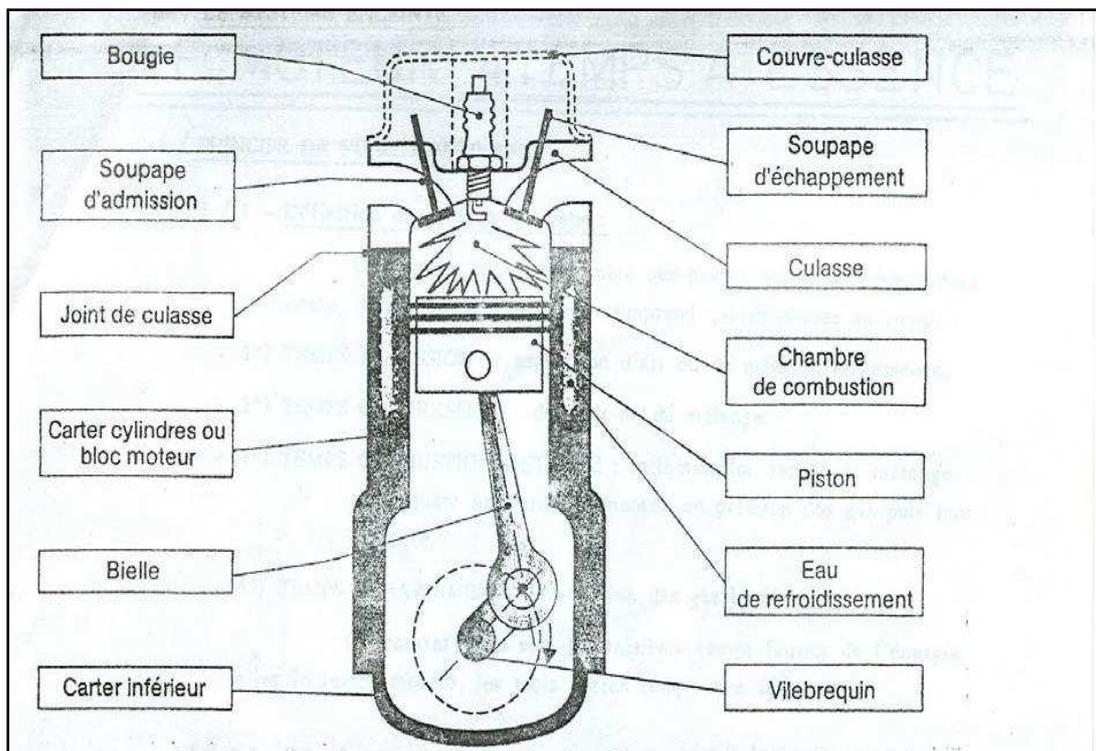
On peut observer que le couple le plus élevé se situe lorsque la bielle et le bras du vilebrequin forment un angle de 90° .

- Puissance de moteur : la puissance effective est le travail moteur fourni en une seconde , Soit pour N tours par minute :

$$P = \frac{W}{t} = C. \frac{2. \pi. N}{60} = C. \omega ; [W = \text{Nm. s}^{-1}]$$

Où ω - la vitesse angulaire de vilebrequin.

3. Analyse fonctionnelle :



Le fonctionnement du moteur thermique est assuré par l'association de quatre grands groupes fonctionnels :

3.1. Les systèmes à fonctions mécaniques :

- Le système enceinte : assure l'isolement de la masse gazeuse.
- Le système bielle-manivelle : assure la transformation du mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement de rotation.
- Le système de distribution : commande l'ouverture et la fermeture des soupapes en temps voulu.

3.2. Le système de carburation :

Assure l'alimentation du moteur en mélange carburé.

3.3. Le système d'allumage :

Assure l'inflammation du mélange carburé.

3.4. Les systèmes auxiliaires :

- Le système de lubrification.
- Le système de refroidissement.

Le système de démarrage et de charge (circuit électriques).

SYSTEME ENCEINTE

1. Introduction :

Le système enceinte regroupe tout les systèmes à fonctions mécanique.il se divise en deux parties :

- Partie fixe
- Partie mobile

2. Partie fixe :

2.1. Rôle à remplir :

L'ensemble bloc-cylindres culasse est un ensemble indéformable qui sert de point d'appui aux éléments mobiles internes et externes et permet la fixation de certains organes externes (démarrage, pompe à eau, alternateur,...).

- Le bloc sert de support au vilebrequin. Il doit résister aux poussées, aux torsions et aux vibrations.
- Le cylindre guide le piston. Il doit résister à la pression, à la chaleur et au frottement.
- La culasse forme la partie supérieure de la chambre de combustion. Elle doit également résister à la pression et à la température élevée.

L'ensemble doit être d'une bonne conductibilité thermique afin d'évacuer rapidement les calories en excédent.

(Température des gaz enflammés : 2000° C);

(Température moyenne du moteur : 110° C).

L'ensemble bloc-cylindres culasse supporte également les organes de distribution, permet le passage des canalisations de lubrification et des conduits de refroidissement.

2.2. Bloc-cylindres (Carter-moteur) :

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.

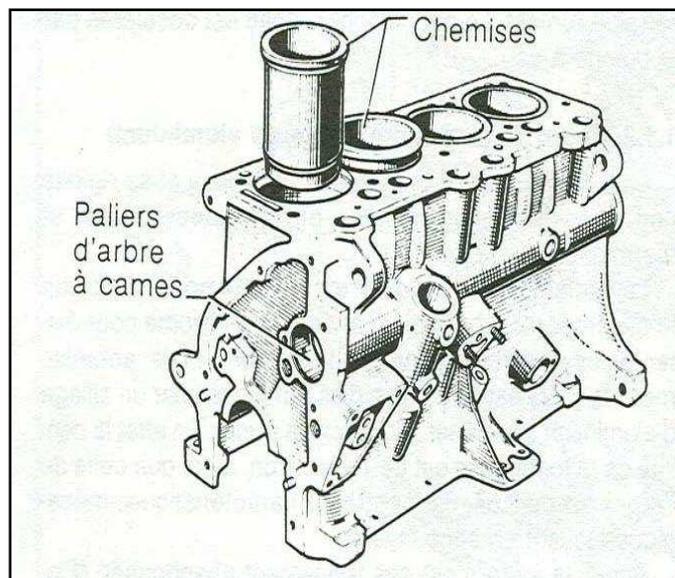
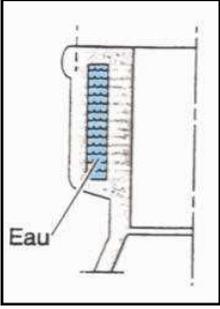
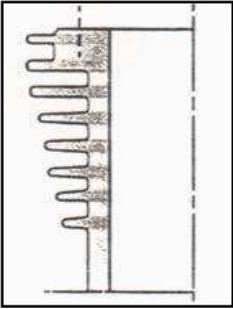
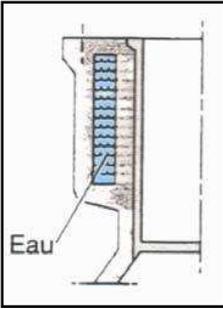
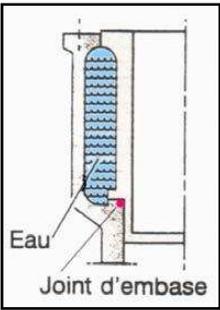
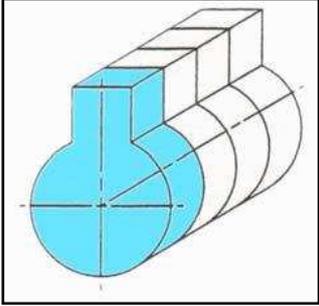
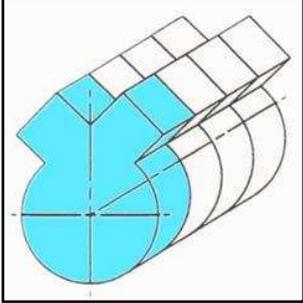
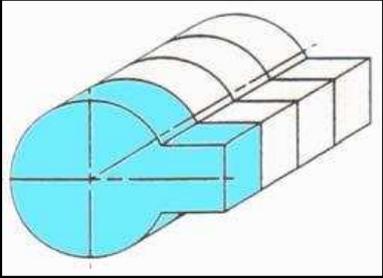
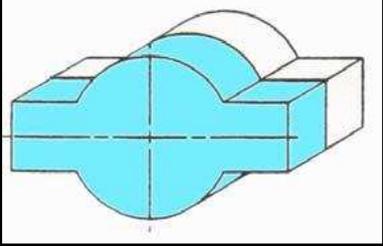


Fig : carter moteur à quatre cylindres

2.2.1. Types de bloc cylindres : (voir le tableau ci-dessous)

Type de bloc	Schémas	avantages
<p>Bloc à alésages 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.</p>		<p>Fonte alliée de bonne qualité. Chambres d'eau enveloppant le cylindre. Matériau facile à mouler. Limitation des problèmes d'étanchéité.</p>
<p>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).</p>		<p>Aucun risque dû au gel. Gain de poids - facilité d'obtention. Economie pour simplicité du système (pas de radiateur, pompe à eau, Durits) Pas d'entretien.</p>
<p>Bloc à chemises sèches : placée dans un carter-cylindre disposant d'un dispositif d'immobilisation Rattachée-emmanchée à force. Trempeée dans l'air liquide.</p>		<p>Bloc fonte qualité moyenne. Bloc en alliage d'aluminium. La chemise n'est pas en contact du fluide de refroidissement.</p>
<p>Bloc à chemise humide : 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.</p>		<p>Chemise directement en contact avec le fluide de refroidissement. Bloc en fonte qualité moyenne ou en alliage d'aluminium qui permet un gain de poids et un meilleur échange thermique. Fabrication plus facile Réparation plus facile donc moins coûteuse</p>

2.2.2. Nombre de cylindres et leurs positions : (voir le tableau ci-dessous)

Moteur	Schémas	Exemples
<p>Moteur en ligne : cylindres disposés verticalement dans un même plan (4, 6 cylindres).</p> <p>Disposition transversale, inclinaison vers l'avant ou l'arrière (2, 3, 5, 6 ou cylindres).</p>		<p>R1 6 - R4 - R5 Renault 504 - 505 Peugeot</p> <p>Talbot Horizon 104 - 305 Peugeot CX Citroën</p>
<p>Moteur en V : Cylindres répartis en 2 groupes égaux suivant 2 plans convergents vers le vilebrequin, angles de 90° et 120° (4, 6, 8, 10 ou 12 cylindres).</p>		<p>Matra Mercedes Chevrolet V6 Peugeot Renault Volvo Renault FI Porsche 928</p>
<p>Moteur à plat (en ligne) : cylindres disposés horizontalement sur le même plan. « Autobus »</p>		<p>Saviem Berliet</p>
<p>Moteur à plat : comme pour le moteur en V les cylindres commandent le même vilebrequin mais opposés à 180° (2, 4 ou 6 cylindres).</p>		<p>2CV 3CV GS Citroën Alfa Romeo Lancia Porsche 911 Volkswagen</p>

2.3. 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.

1. Chambre de combustion
2. Cheminée de bougie
3. Chapelles
4. Canalisations de refroidissement
5. Guide soupape
6. Rondelle d'appui du ressort
7. Communication avec le bloc
8. Siège de soupape
9. Plan de joint de culasse

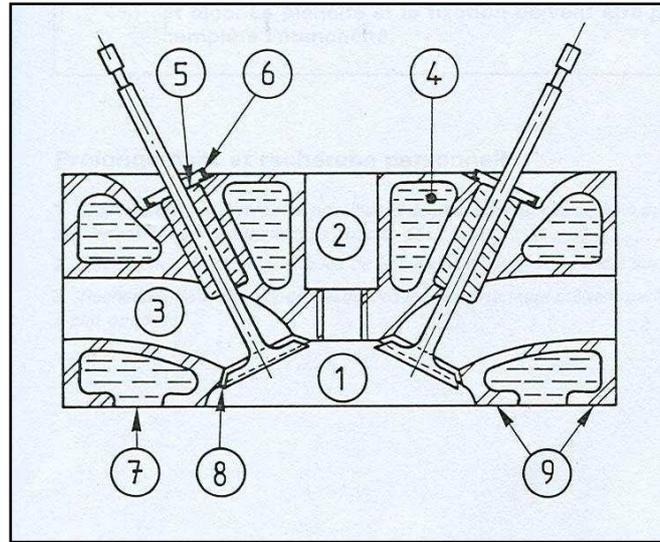


Fig : Bloc-culasse

2.4. Carters de protection :

Ce sont les couvercles qui couvrent ou ferment les différentes faces du moteur on distingue :

2.4.1. Le carter inférieur :

C'est une pièce en forme de cuvette qui abrite le vilebrequin et les têtes de bielle et qui contient la réserve d'huile de graissage. En général, il est en tôle emboutie. Il peut être en alliage léger moulé avec nervures extérieures pour assurer un bon refroidissement de l'huile échauffée par son passage dans le moteur.

L'étanchéité entre le carter-moteur et le carter inférieur doit être parfaite : elle est assurée par un joint plat en liège ou bien par un joint cylindrique, en caoutchouc synthétique, logé dans une gorge.

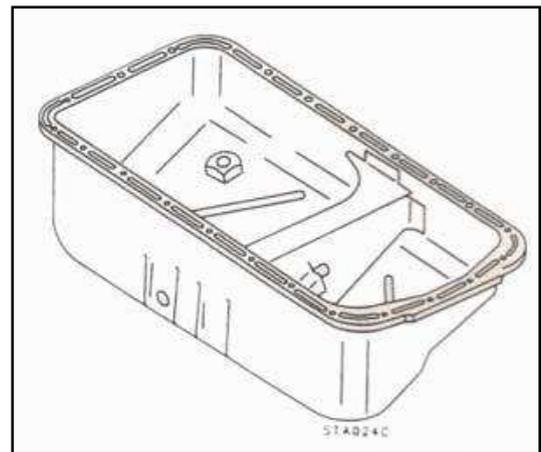


Fig : carter inférieur

2.4.2. Le carter de distribution :

Pratiquement la distribution est matérialisée par une liaison mécanique entre le vilebrequin et l'arbre à cames. Cette liaison est protégée par un carter étanche en tôle ou en alliage léger, appelé le carter de distribution.

2.4.3. Le couvre-culasse :

Ce carter ferme la culasse des moteurs à soupapes en tête. Son intérêt est lié au fait que sa disposition permet l'opération d'atelier : "réglage des soupapes".

C'est un couvercle de protection étanche par joint comme le carter inférieur. Il est parfois en alliage léger.

2.4.4. Collecteurs :

Le collecteur d'admission regroupe les conduits qui amènent les gaz frais aux soupapes d'admission et le collecteur d'échappement contient ceux qui emmènent les gaz brûlés depuis les soupapes d'échappement.

Ce sont des pièces moulées, en alliage léger pour l'admission et en fonte pour l'échappement.

3. Partie mobile :

Dans un moteur à piston alternatif, on transforme la poussée des gaz de la combustion, force unidirectionnelle, en mouvement circulaire d'un couple de force. Les pièces mécaniques chargées de cette transformation constituent les éléments mobiles du moteur : le piston, la bielle, le vilebrequin.

3.1. Piston :

Le piston remplit quatre fonctions essentielles tout en étant mobile, il doit contribuer :

- ▶ À l'étanchéité entre la chambre de combustion et le carter. Il doit supporter la pression des gaz créée par la combustion et la transmettre par l'intermédiaire de la bielle au vilebrequin,
- ▶ Il doit résister aux forces latérales qu'il exerce sur la paroi du cylindre,
- ▶ Il doit conduire la chaleur aussi rapidement que possible à la paroi du cylindre,
- ▶ Il commande l'échange des gaz sur les moteurs 2 temps.

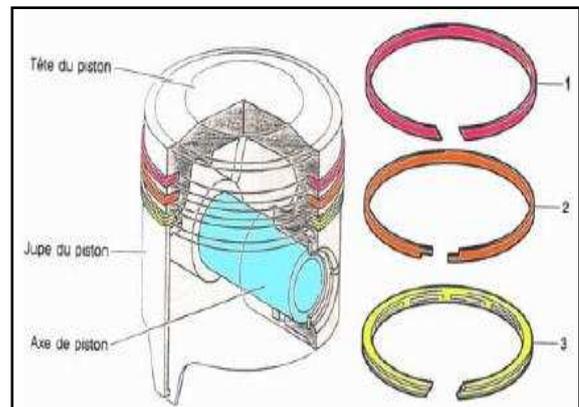


Fig : piston

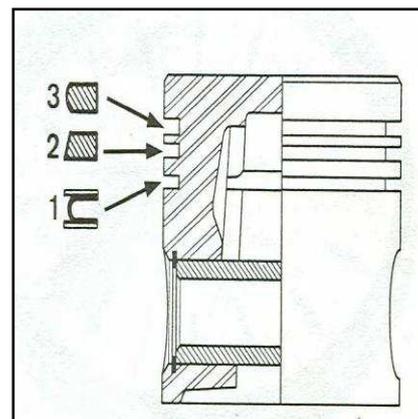
Il se compose :

- 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.

3.1.1. Segments du piston :

Les segments sont des anneaux brisés, de section carrée ou parallélogramme, travaillant en extension. Ils doivent assurer des pressions radiales uniformes sur les parois du cylindre.

Les segments pour moteur à 4 temps sont en général au nombre de trois :



3.1.1.1. Le segment de feu (1^{er} segment d'étanchéité) :

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.

3.1.1.2. Le segment intermédiaire (2^{ème} segment d'étanchéité) :

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

3.1.1.3. Le segment racleur :

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.

3.1.2. Axe de piston :

L'axe de piston est une pièce cylindrique qui lie le piston à la bielle. Il permet le mouvement oscillatoire bielle/piston pendant la rotation du moteur. Il transmet à la bielle la force de pression, que reçoit le piston pendant la phase expansion des gaz.

Il est fabriqué en acier cémenté trempé, puis rectifié.

3.1.2.1. L'axe de piston flottant :

L'axe de piston coulisse à frottement doux dans les bossages du piston et dans la bague du pied de bielle.

Pour le remontage il se fait à froid. Il y a deux circlips d'arrêt.

3.1.2.2. L'axe serré dans la bielle :

Le blocage de l'axe de piston dans le pied de bielle est assuré par frettage à chaud.

Ce montage augmente les mouvements axe/piston, mais réduit la masse alternative de l'embellage puisqu'on supprime la bague de pied de bielle et les circlips et on réduit le diamètre extérieur du pied de bielle.

3.1.2.3. L'axe libre dans la bielle, serré dans le piston :

Pour le remontage il se fait après chauffage du piston dans l'eau bouillante. Il y a, de plus, deux circlips de sécurité.

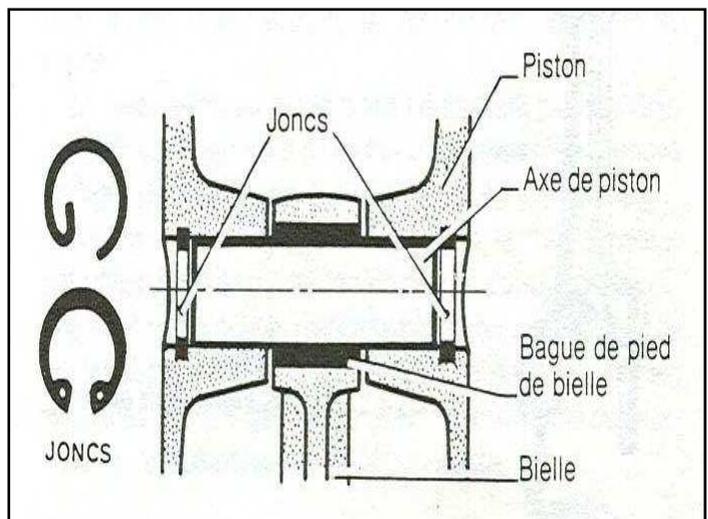


Fig : Axe de piston

3.2. 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.

Description de la bielle, elle se compose de trois parties :

- **Le pied de bielle :** Relié à l'axe du piston soit généralement avec une bague en bronze emmanchée à force soit dans certains cas avec une bague à aiguilles.

- **Le corps de bielle :**
Relie le pied de bielle à la tête de bielle.
- **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.

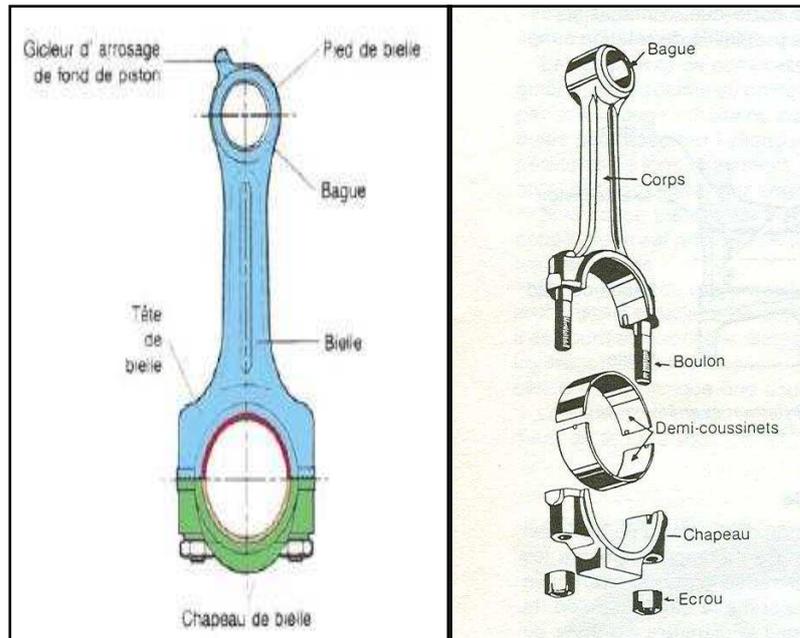


Fig : bielle

3.3. 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 appliquée 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.

3.3.1. Structure du vilebrequin :

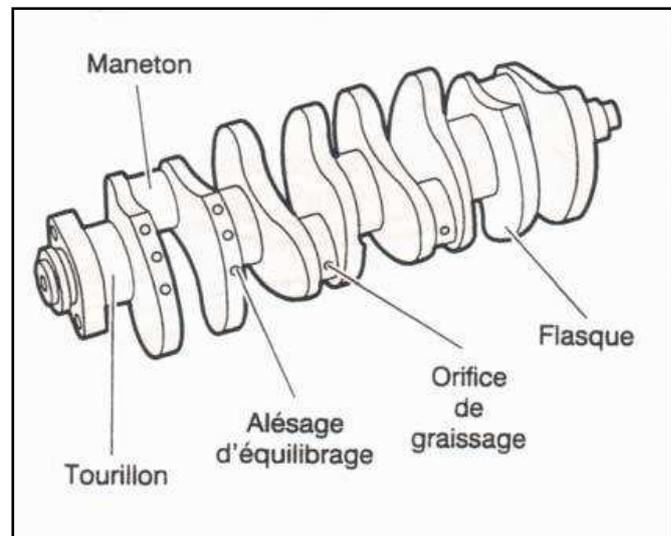


Fig : vilebrequin

Le vilebrequin est composé de «manivelle » chaque manivelle est composée de deux «bras » qui joignent les «tourillons » aux «manetons ». Les tourillons sont les portions d'axe placées en ligne entre lesquelles se débattent les bielles.

Ils tournent dans des coussinets et sont supportés par les «paliers » du carter cylindre.

Les manetons constituent les axes des «tête de bielle ». On trouve également un coussinet anti-frottement.

3.3.2. Conditions à remplir :

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 (course piston).

- Equilibrage parfait tant en conditions statiques que dynamiques.

3.3.3. Réalisation pratique :

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.

3.3.4. Graissage des paliers :

Le graissage est assuré par l'huile du moteur amenée sous pression aux paliers du vilebrequin dont les coussinets sont percés et comportent une gorge circulaire qui alimente les conduits percés dans les bras du vilebrequin, conduits qui emmènent l'huile jusqu'au maneton.

3.3.5. Positionnement angulaire des manetons :

Pour avoir un fonctionnement régulier on répartit les temps moteurs de manière uniforme.

Le cycle s'effectuant sur deux tours de vilebrequin, on détermine l'écart angulaire (α) entre deux manetons par :

$$\alpha = \frac{720^\circ}{N}$$

Où N : nombre de cylindres

En configuration classique, 4 cylindres "en ligne", les manetons et les paliers du vilebrequin sont dans un même plan. Les manetons sont décalés de 180° dans l'ordre d'allumage.

En configuration V à 90° , les 4 cylindres sont disposés en 2 lignes de 2 cylindres formant un angle de 90° . Les manetons sont décalés de 90° dans l'ordre 1-3-4-2.

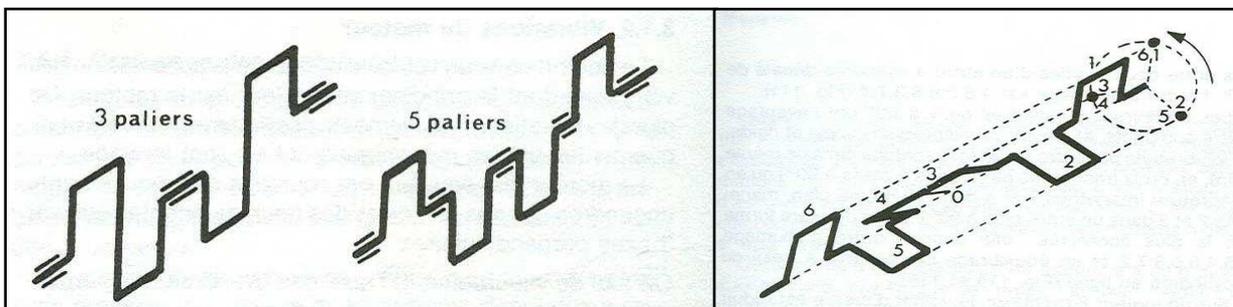


Fig : exemples de positionnement de vilebrequin à N cylindres

3.3.6. Ordre d'allumage :

Pour le moteur à 4 cylindres en ligne il y a deux ordres possibles : 1-3-4-2 et 1-2-4-3. L'ordre d'allumage le plus couramment utilisé est le premier nommé, pour des raisons de meilleur écoulement du fluide gazeux.

	0°	180°	360°	540°	720°
Cylindre 1	Comb.-Détente	Echappement	Admission	Compression	
Cylindre 2	Echappement	Admission	Compression	Comb.-Détente	
Cylindre 3	Compression	Comb.-Détente	Echappement	Admission	
Cylindre 4	Admission	Compression	Comb.-Détente	Echappement	
Ordre de l'allumage	1-3-4-2				

L'ordre d'allumage de moteur à 6 cylindres en ligne : 1-5-3-6-2-4.

Moteur en V 6 cylindres : 1-6-3-5-2-4.

Moteur en V 8 cylindres : 1-6-2-5-8-3-7-4.

3.4. Volant moteur :

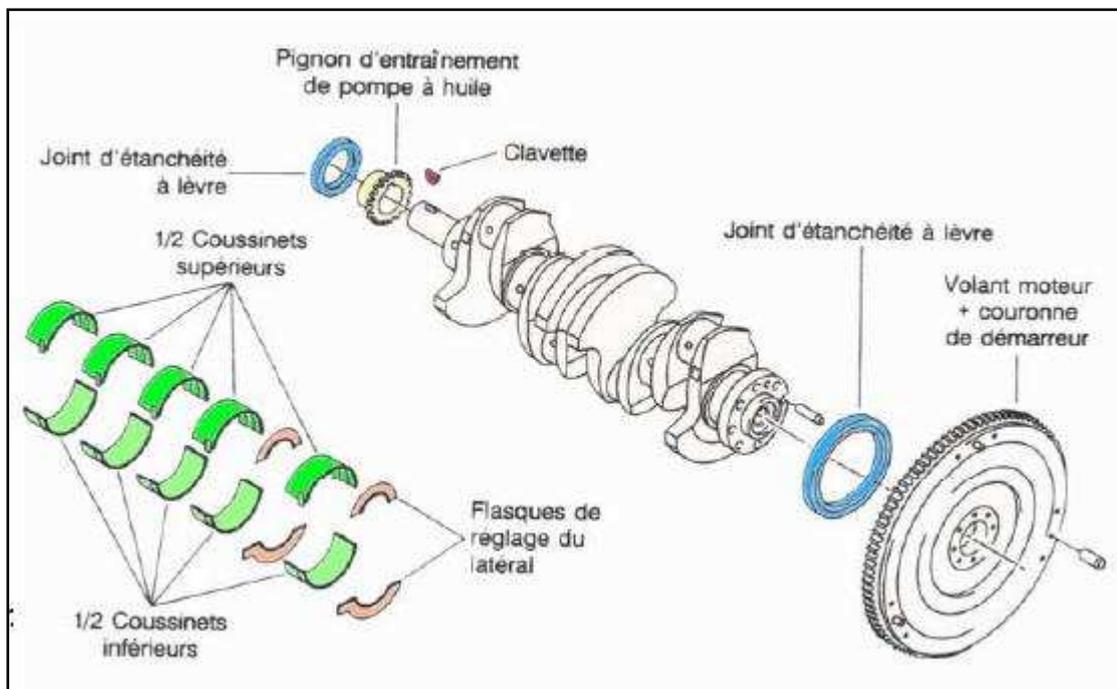


Fig : volant moteur

SYSTEME DE DISTRIBUTION

1. Introduction :

On appelle "distribution" l'ensemble des organes qui réalisent l'ouverture et la fermeture des conduits d'admission et d'échappement, et des éléments qui effectuent leur commande.

Rôle : le rôle de la distribution est de commander l'ouverture et la fermeture des soupapes, imposer leur instant de l'ouverture, l'amplitude et la durée du mouvement.

Le principe de fonctionnement de la distribution est suivant :

- L'ouverture et la fermeture des cylindres sont réalisées par les soupapes.
- L'ouverture est possible grâce à des cames, la fermeture est assurée par des ressorts.
- La transmission du mouvement de l'arbre à cames aux soupapes est assurée par des poussoirs. Elle peut comprendre également des tiges de culbuteurs et des culbuteurs.
- La synchronisation avec le vilebrequin est réalisée par des pignons reliés entre eux par un système indé réglable (ex. chaîne, courroie...).

2. Eléments de la distribution :

2.1. Arbre à cames :

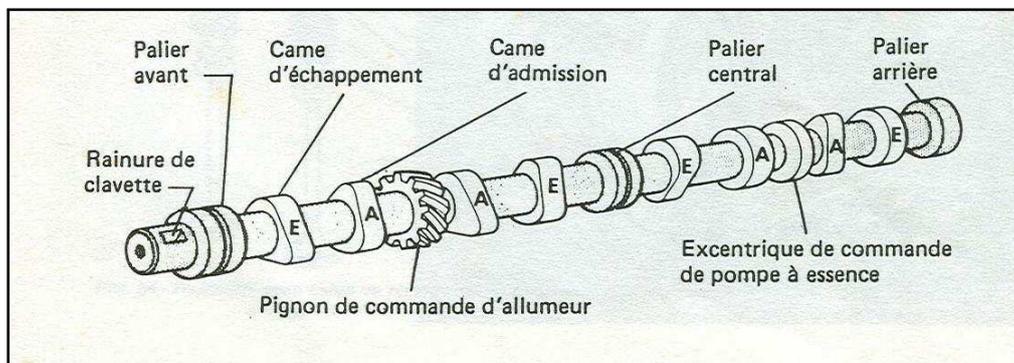


Fig : arbre à cames

2.1.1. Emplacement de l'arbre à cames :

1. arbre à cames latéral et soupapes en ligne commandées par poussoirs, tiges et culbuteurs.
2. simple arbre à cames en tête et soupapes en V commandées par culbuteurs.
3. double arbre à cames en tête entraînant directement les soupapes grâce à des poussoirs hydrauliques.
4. arbre à cames en tête avec commande des soupapes par leviers (très peu utilisé).

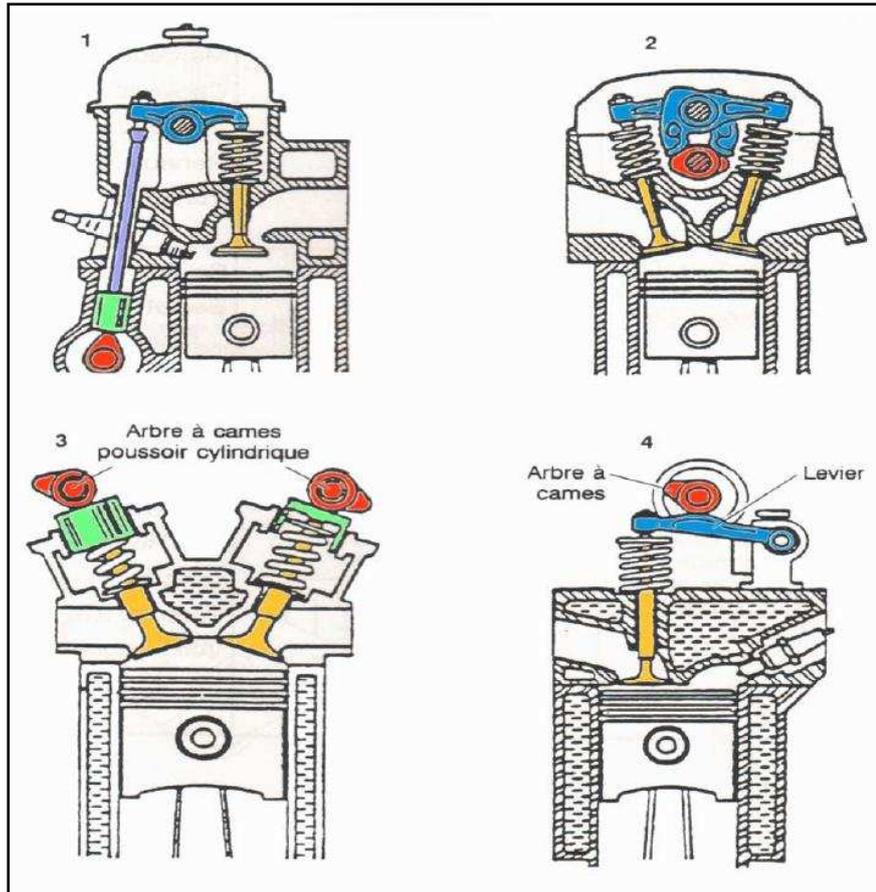


Fig : emplacement de l'arbre à cames

2.1.2. Entraînement de l'arbre à came :

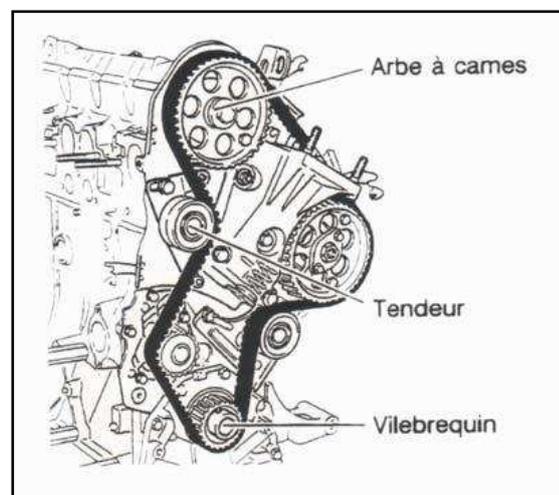
Dans tous cas c'est le vilebrequin qui assure l'entraînement de l'arbre à cames.

L'arbre à cames doit tourner deux fois moins vite que le vilebrequin car les soupapes ne doivent s'ouvrir qu'une fois par cycle.

Trois modes de distributions sont utilisés :

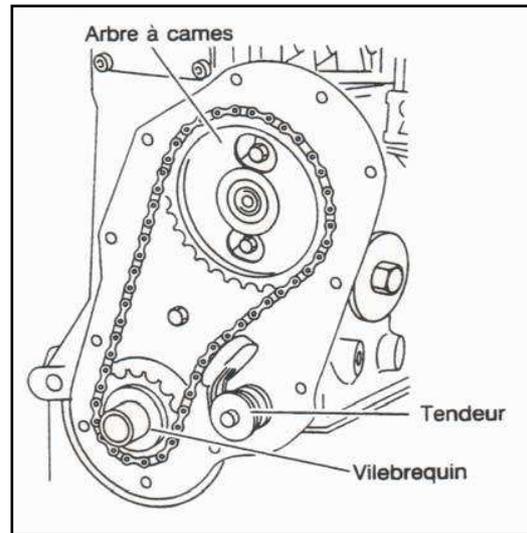
- **Distribution par courroies crantées :**

Système de plus en plus répandu dans les moteurs à arbre à cames en tête. Son fonctionnement est plus silencieux et ne nécessite pas de système de lubrification.



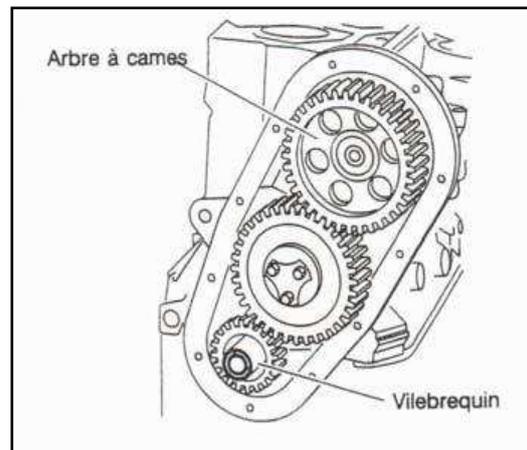
- **Distribution par chaîne :**

Ce système est couramment utilisé dans les moteurs à arbre à cames latéral et dans certains arbres à cames en tête.



- **Distribution par engrenages :**

Les engrenages utilisés particulièrement dans les moteurs Diesel



2.2. Soupapes :

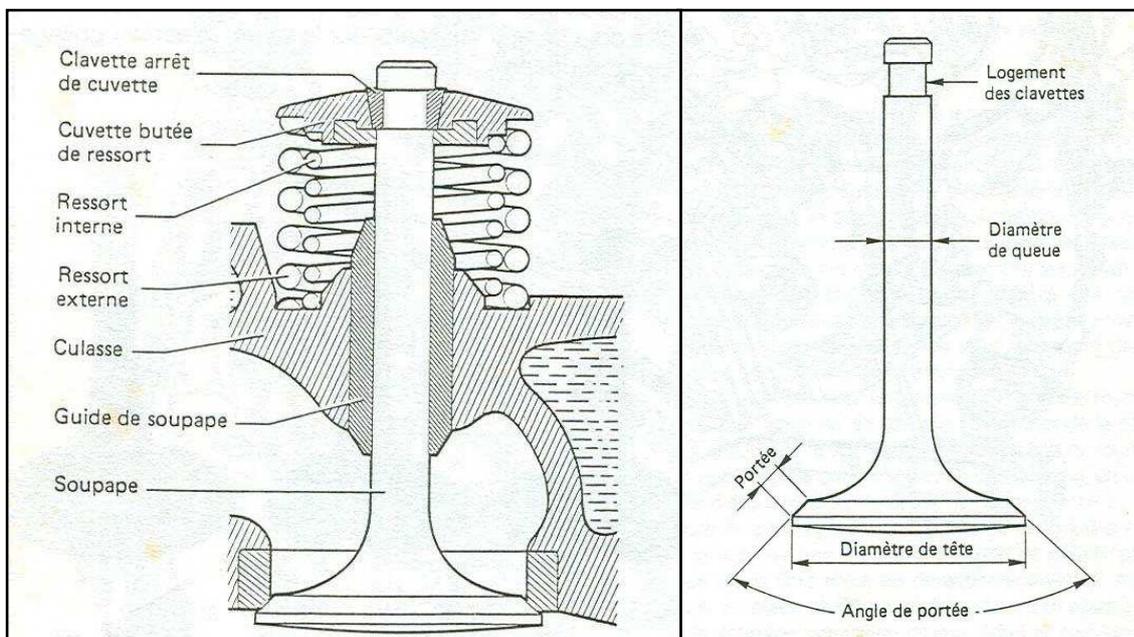


Fig : soupapes

- **Rôle :**

Les soupapes sont les organes qui régissent l'entrée et la sortie des gaz dans la chambre de combustion.

- **Constitutions :**

Le diamètre de leur tête doit être important. Cette dimension est limitée par la place libre dans la chambre de combustion, le poids de la soupape qui doit rester minimal, et par sa résistance mécanique aux chocs et aux déformations.

La portée conique assure une étanchéité parfaite à la fermeture et un centrage correct évitant la déformation de la **tige**. Les angles de portée sont d'environ 90°.

Les soupapes d'admission qui subissent des températures moins élevées peuvent avoir un angle de 120°, protégeant moins bien la soupape des déformations, mais offrant, pour une même hauteur de levée, une section de passage de gaz plus importante.

- **Matière de construction :**

Les soupapes de grande série sont en acier au nickel-chrome et obtenues par matriçage avec chauffage électrique. Ils sont tournés puis rectifiés. Les queues et les portées reçoivent un traitement qui accroît leur dureté.

Pour les moteurs présentant des surchauffes au niveau des soupapes, on dispose de soupapes à tige creuse et partiellement remplies de sodium ou des sels de lithium et potassium.

2.3. Les ressorts de soupapes :

Autour de la tige de chaque soupape, on monte un ressort hélicoïdal comprimé entre une face usinée du carter fixe et une cuvette en acier solidaire de la queue de soupape.

Lorsqu'on comprime un ressort à une fréquence élevée celui-ci risque d'entrer en résonance. On dit qu'il y a "affolement des soupapes".

Pour éviter l'affolement des soupapes les constructeurs utilisent notamment :

- des ressorts à pas variable;
- deux ressorts antagonistes (sens d'hélice opposé; le diamètre de l'un n'est que de 0.5 mm supérieur au diamètre extérieur de l'autre, de sorte qu'il y a frottement entre eux et étouffement des vibrations).

2.4. Les éléments intermédiaires :

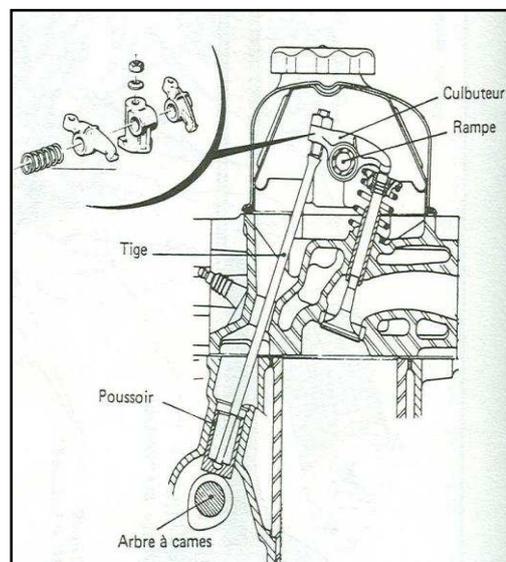
2.4.1. Culbuteurs :

Un culbuteur est un levier basculant qui fait partie de la transmission secondaire alternative de la commande de distribution.

Le culbuteur reçoit en un point la poussée de la came, soit directement soit par l'intermédiaire d'une tige, et par un autre point pousse la soupape en ouverture.

Le culbuteur peut être en fonte, matériau convenant pour les parties frottantes.

Il peut être en acier, mais nécessite alors un traitement thermique pour durcir les parties frottantes.



2.4.2. Tiges de culbuteur :

La tige de culbuteur est un élément de la commande de distribution qui transmet le mouvement de la came au culbuteur dans un moteur culbuté.

Elle comporte une extrémité de forme sphérique qui appuie au fond du poussoir et l'autre extrémité en forme de cuvette dans laquelle s'articule la vis de réglage portée par le culbuteur.

2.4.3. Poussoirs :

Des poussoirs sont interposés entre les cames et les soupapes. Ils servent d'intermédiaire entre le mouvement de rotation des cames et le mouvement rectiligne des soupapes.

Selon la position de l'arbre à cames par rapport aux soupapes, il est nécessaire d'interposer des culbuteurs et des tiges de culbuteurs.

3. Calage de la distribution :

Quel que soit le système de commande de la distribution, le monteur ou le réparateur se trouve confronté au problème du positionnement relatif des éléments afin que le mouvement de l'arbre à cames soit coordonné avec celui du vilebrequin de sorte que les soupapes se lèvent et se ferment au moment où les pistons passent par un point donné de leur cycle.

Cette opération de positionnement est appelée : "calage de la distribution".

Dans la pratique les constructeurs prévoient des repères sur les différents éléments de la commande de distribution : pignons, roues de chaîne, roues dentées, chaînes et courroies. Il suffit que le monteur associe ces repères pour que le montage soit correct.

4. Jeu des soupapes :

On appelle "jeu des soupapes" l'espace qu'il convient de laisser, moteur arrêté, entre l'extrémité de la queue de soupape et sa commande pour garantir l'appuie de la tête de soupape sur son siège, malgré les variations de température auxquelles sont soumis les éléments du moteur.

Ce jeu a pour buts :

- d'assurer une fermeture parfaite des soupapes quelles que soient les dilatations;
- d'assurer avec exactitude l'ouverture et la fermeture des soupapes aux points définis par le constructeur.

Par exemple, un jeu trop important produit une usure anormale par chocs et une diminution des performances du moteur par diminution des angles de distribution.

Le constructeur préconise un jeu à froid généralement compris entre :

- 0.10 et 0.30 mm pour l'admission;
- 0.20 et 0.40 mm pour l'échappement.

SYSTEME DE LUBRIFICATION

1. Présentation du circuit de lubrification :

Le circuit de lubrification amène l'huile du moteur aux pièces en mouvement et aux pièces animées d'un mouvement alternatif, ceci de manière à assurer leur bon fonctionnement. L'huile joue un rôle également important dans le refroidissement du moteur.

Le circuit de graissage se compose essentiellement du carter d'huile qui sert à accumuler l'huile, la pompe à huile qui envoie l'huile à tous les points de graissage du moteur, le clapet de tarage qui règle la pression d'huile maximum, le filtre à huile qui retient les impuretés entraînées par l'huile, la sonde de pression d'huile (manométrique)

Qui réagit à la pression d'huile, enfin la jauge d'huile qui permet de mesurer le niveau d'huile dans le carter.

2. Fonctions à remplir :

- Réduire les frottements.
- Protéger les surfaces.
- Refroidir les organes internes du moteur.
- Evacuer toutes les impuretés.
- Assurer un rôle d'étanchéité.
- Permettre la mise en mouvement des pièces quelle que soit la température du moteur.
- Protéger les pièces contre la corrosion.

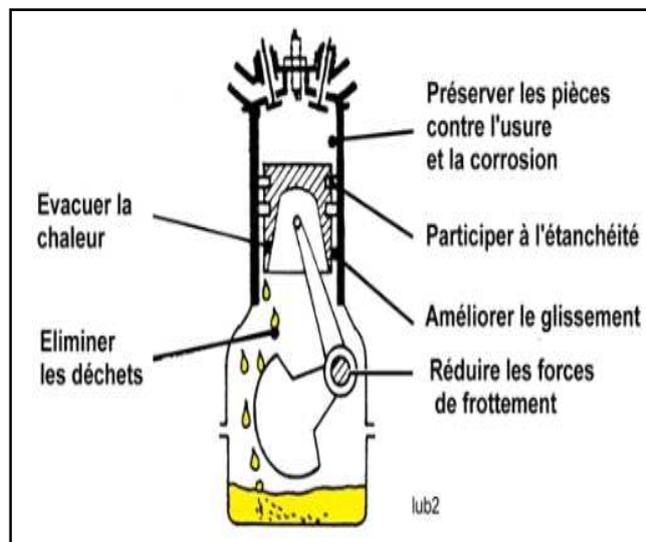


Fig : Lubrification

3. Les lubrifiants :

3.1. Différents types de lubrifiants :

a) Les huiles végétales :

Huiles onctueuses (de ricin, de colza...) qui conviennent pour les moteurs de course et d'aviation soumis à des conditions très dures. Ces huiles sont instables et leur prix est élevé.

b) Les huiles minérales :

Elles ont les propriétés d'être stables et visqueuses. Elles conviennent dans plupart des applications en automobile. Les huiles à la base minérale sont obtenues à partir de raffinage du pétrole brute.

c) Les huiles de synthèse :

Elles sont obtenues par réactions chimiques en laboratoire à partir de dérivés du pétrole. Dans cette famille, on trouve les poly glycols, les esters et les hydrocarbures de synthèse. Leur mise au point est relativement récent. Elles ont la particularité d'être peu sensibles aux variations et hautes températures, de posséder une excellente stabilité thermique et de répondre aux exigences les plus sévères.

d) Les graisses consistantes :

Mélange de chaux et d'huile végétale avec une huile en émulsion qui convient pour des faibles vitesses.

e) **Le graphite :**

En poudre très fine, incorporé à l'huile ou à la graisse consistante (graisse à haute performance), améliore le coefficient de frottement.

3.2. Caractéristiques physiques :

La couleur des huiles de graissage varie du jaune clair au noir avec des reflets fluorescents La fluorescence varie suivant le degré de raffinage ou la nature des produits d'additions.

(Additifs) Au

vieillessement, l'huile prend une teinte plus foncée que lorsqu'elle est neuve, mais sans que sa qualité en soit altérée.

a) **La viscosité :**

C'est la difficulté ou la résistance d'écoulement dans un tube à température donnée ; le temps mis par l'écoulement indiquera le degré de viscosité
La viscosité se mesure à l'aide d'un viscosimètre.

b) **L'onctuosité :**

C'est la facilité d'adhérence d'une huile ; plus elle est onctueuse, plus elle adhère et plus elle résiste aux pressions élevées sans que le film d'huile soit cassé.

c) **Le point d'inflammation :**

C'est la température à laquelle l'huile émet des vapeurs. Ces vapeurs risquent de s'enflammer. Elle se situe aux environs de 200 à 250°C.

d) **Le point de congélation :**

C'est la température où l'huile ne s'écoule plus. Le point de congélation doit être le plus bas possible, pour les régions tempérées, elle est de l'ordre de -25 à -20 °C.

e) **La stabilité :**

C'est la résistance du lubrifiant à la décomposition et à l'altération sous l'action des gaz (air, essence, gaz brûlés) et de la température.

3.3. Les caractéristiques chimiques :

Les huiles de graissage ne doivent pas contenir d'acides minéraux qui attaquent les métaux, et avoir une teneur en carbone aussi faible que possible. Pour en améliorer la qualité, on ajoute à l'huile certains produits chimiques appelés « additifs » ou « dopes ». **Pouvoirs des additifs**

- Antioxydant bloquer ou retarder les réactions chimiques de l'oxygène avec les huiles.
- Anti-usure améliore les conditions de frottement pour les contacts métal-métal
- Antirouille empêche la formation de la rouille sur les surfaces métalliques.
- Extrême pression renforce les molécules d'huile contre la destruction mécanique.
- Anticorrosion neutralise les éléments acides contenus dans l'huile.
- Détergent empêche ou diminue les dépôts sur les surfaces.
- Ils améliorent l'indice de viscosité
- Anti mousse résorbent la formation de mousse
- Abaissent le point d'écoulement modifier les propriétés d'écoulement à basse température

3.4. Classification des huiles :

Les huiles de graissage sont classifiées suivant : l'indice de viscosité et l'indice de performance

3.4.1. Classification établie par la SAE (Society of Automotive Engineers) :

En fonction de leur viscosité sans considération de qualité. Elle définit un grade pour les huiles suivant leur comportement à chaud et à froid. Ce sont les huiles < **mono grades**> Leur viscosité est donnée pour une valeur de la température .Dans ce classe on trouve les huiles d'été et les huiles d'hiver.

a) **Les huiles d'été** Elles sont désignées comme suite : SAE 20, SAE 30, SAE40, SAE50 et SAE 60. Leur viscosité augmente avec augmentation du chiffre .Par exemple : l'huile SAE 60 doit être utilisée quand un véhicule va travailler dans le désert. Si la température ambiante est entre 18 °C et 38°C il faut utiliser l'huile d'été SAE40 et pendant le printemps e l'automne SAE30.

b) **Les huiles d'hiver** Elles sont désignées SAE 0W, SAE 5W, SAE 10W, SAE 15W, SAE 20W, SAE 25W. Plus le chiffre est faible, plus la viscosité de l'huile est faible .La lettre W indique

c) que la valeur de la viscosité a été mesuré à -18°C.

Cependant, les recherches des fabricants ont permis de commercialiser des huiles qui conservent leur viscosité malgré l'élévation de la température .Elles peuvent ainsi être utilisées aussi bien en hiver qu'en été. Ce sont les huiles dites < multi grades.

Les huiles multi grades

Un code bien particulier les caractérise :

- il est composé de deux chiffres, d'une lettre et de deux autres chiffres
- le premier nombre deux chiffres suivis de la lettre W représentent l'indice de viscosité de l'huile à froid (W pour Winter qui signifie hiver en anglais). Plus le nombre est élevé, plus l'huile est visqueuse .Le second nombre de deux chiffres également, indique l'indice de viscosité à chaud. Là aussi, plus l'indice est élevé et plus l'huile sera visqueuse moteur chaud.

Le choix de la viscosité d'une huile est assez difficile car les exigences à froid et à chaud sont opposées :

- A froid, on souhaite avoir une viscosité faible pour diminuer les pertes de puissance absorbées par frottement, notamment au démarrage, en raccourcir le temps mis par l'huile pour atteindre les différents points du circuit.
- A chaud, on souhaite avoir une viscosité assez élevée pour assurer une épaisseur minimale du film d'huile entre les surfaces à lubrifier.

3.4.2. Classification des huiles selon l'indice de performance :

Les tests de performance sont effectués par trois organismes principaux qui établissent classification qui leur est propre, en fonction des résultats obtenus.

- Classification API (American Petroleum Institute)
- La classification CCMC (Comité des Constructeurs du Marché Commune)

4. Le circuit de graissage :

On peut distinguer 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.
- Le circuit à graissage sous pression et à carter sec, réservés à certaines applications particulières (véhicules tous terrains ou véhicules de compétition).

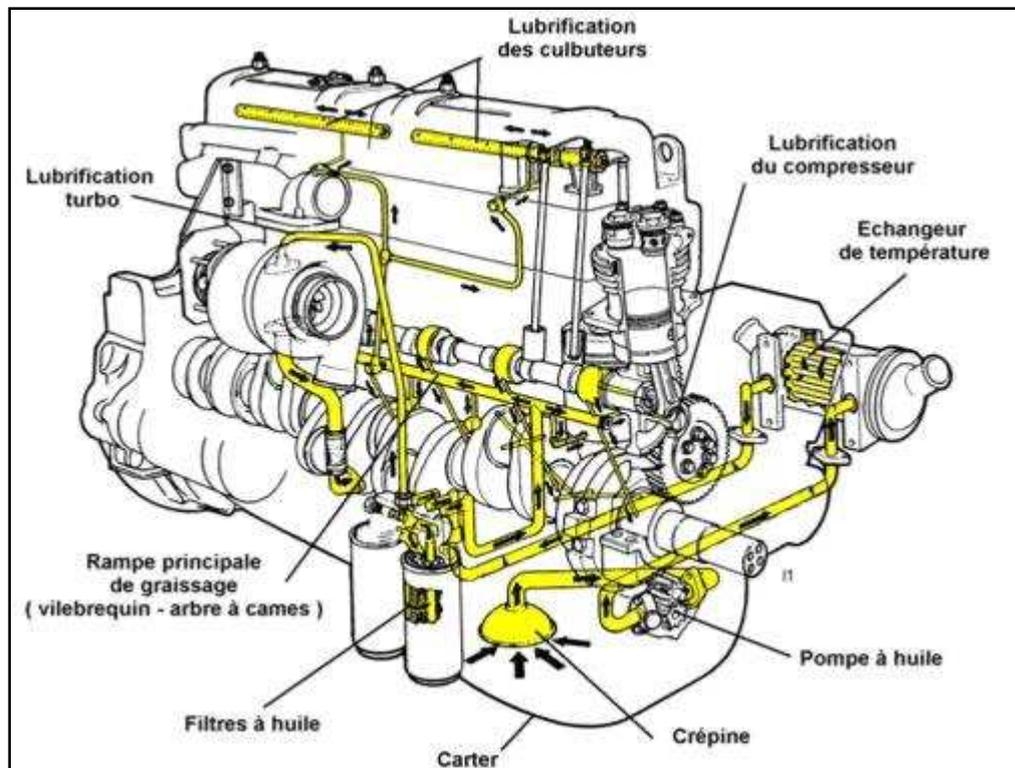


Fig : circuit de graissage

4.1. Graissage sous pression et à bain d'huile :

Le carter inférieur constitue une réserve d'huile. Cette dernière est aspirée au travers d'une crépine par une pompe, qui la refoule à une pression dont la valeur maximale (environ 4 à 5 bars) est contrôlée par une soupape de décharge, vers successivement :

- le filtre à huile ;
- la rampe principale qui alimente les paliers de vilebrequin ;
- la rampe de distribution qui permet de lubrifier les contacts cames-patins ou cames-poussoirs.

L'huile retombe ensuite par gravité dans le carter inférieur par des retours prévus à cet effet.

4.2. Graissage sous pression et à carter sec :

Dans ce cas l'huile qui retombe dans le carter inférieur est aussitôt aspirée par une pompe d'épuisement vers un réservoir d'huile souvent séparé du moteur. De là, l'huile est aspirée puis refoulée sous pression par une pompe d'alimentation analogue, ainsi que le reste de circuit de graissage.

La pompe d'épuisement a un débit largement supérieur à celui de la pompe d'alimentation, dans un rapport de l'ordre de 1.5 à 2. Elle aspire donc, en même temps que de l'huile, une

certaine quantité d'air. D'où l'intérêt de ce type de moteur, d'huiles ayant de bonnes propriétés anti-mousse.

Le réservoir d'huile permet une désaération de l'huile avant son départ vers la pompe d'alimentation.

Les deux pompes, d'épuisement et d'alimentation peuvent être toutes deux des pompes à engrenages entraînées par un même arbre.

4.3. Pompe à huile :

La pompe à huile est entraînée soit :

- par un arbre commandé par l'arbre à cames à l'aide d'un renvoi d'angles.
- directement en bout d'arbre à cames.
- à partir d'un pignon situé sur le vilebrequin.

Les principaux types de pompes sont :

- Les pompes à engrenages.
- Les pompes à palettes.
- Les pompes « Trochoïde » ou pompes à rotor.
- Les pompes à piston.

4.3.1. Pompe à engrenages

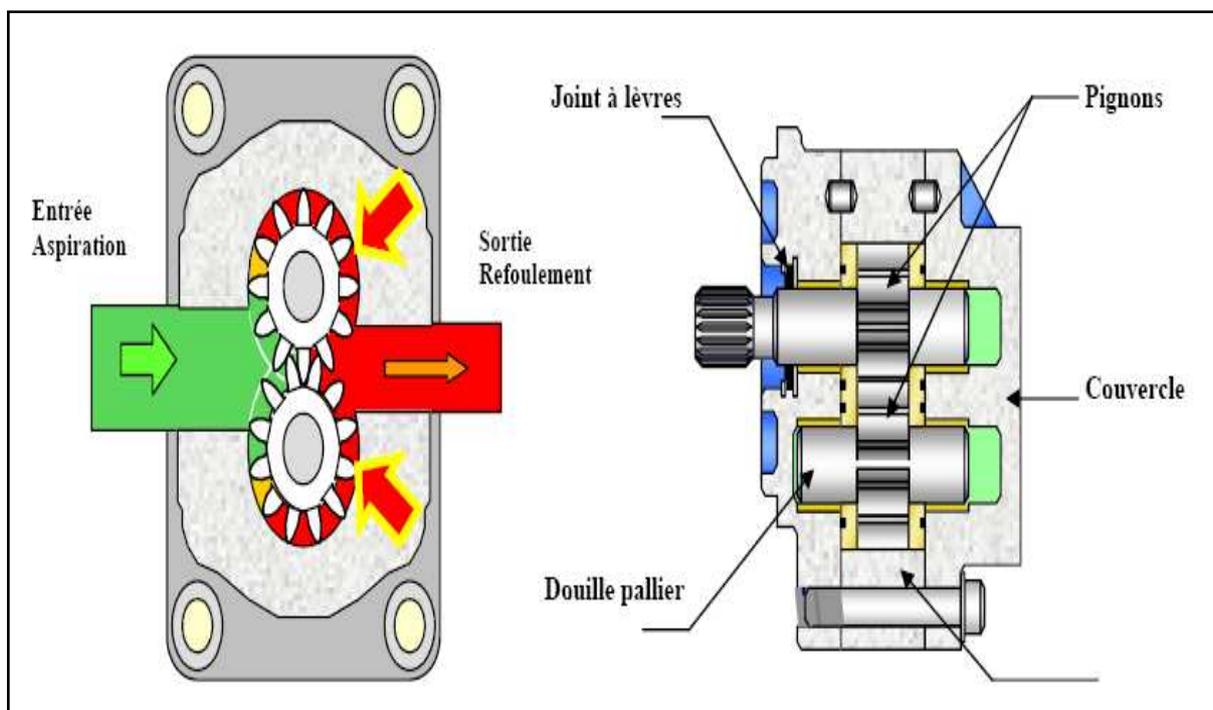
C'est le type de pompe le plus utilisé dans les moteurs de véhicules modernes, c'est aussi le plus simple.

La pompe se compose essentiellement de deux pignons cylindriques engrenant l'un dans l'autre et contenus dans le corps de pompe.

L'un des pignons est solidaire de l'arbre de commande de la pompe, cependant que l'autre tourne « fou » autour de son axe, entraîné par le pignon moteur.

Les deux pignons tournant dans l'huile, l'aspiration se fait entre les deux pignons d'un côté de la pompe, le refoulement se faisant de l'autre côté.

Les pignons peuvent être en acier, en fonte ou en bronze. Leur denture peut être droite ou hélicoïdale.



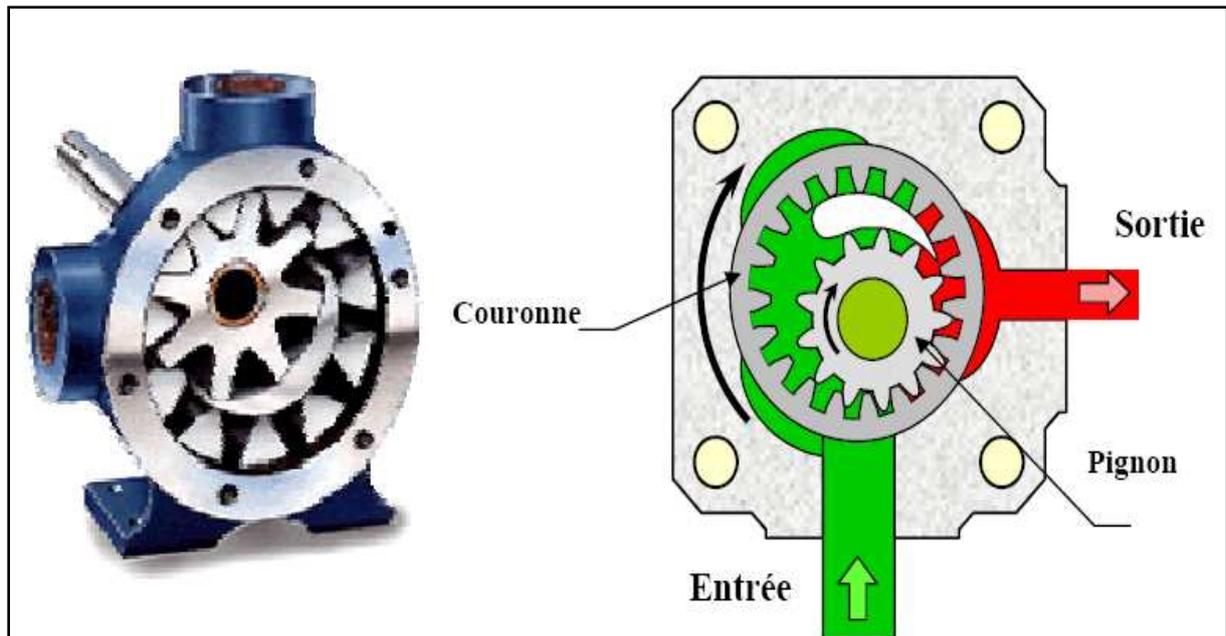


Fig : pompe à engrenages intérieur

Il est essentiel que la pompe à huile soit en bon état et capable de fournir une pression d'une dizaine de bars, lorsque le moteur tourne à 3000 tr/min.

On doit limiter la pression dans le circuit (environ 3 à 4 bars) afin de ne pas surcharger la pompe et d'éviter une consommation d'huile excessive.

Pour cela un clapet est monté en dérivation en sortie de pompe. C'est le tarage du ressort qui détermine la pression dans le circuit.

4.3.2. Pompe à palettes :

L'intérieur du corps de pompe est de forme circulaire. Il est relié à deux canalisations, l'une pour l'aspiration, l'autre pour le refoulement.

Un noyau excentré porte deux palettes en contact avec les parois du cylindre à l'aide d'un ressort.

L'excentration permet l'écartement ou le rapprochement des palettes pendant la rotation.

Les deux palettes divisent l'intérieur du corps en deux parties : l'une est le côté aspiration, l'autre le côté refoulement.

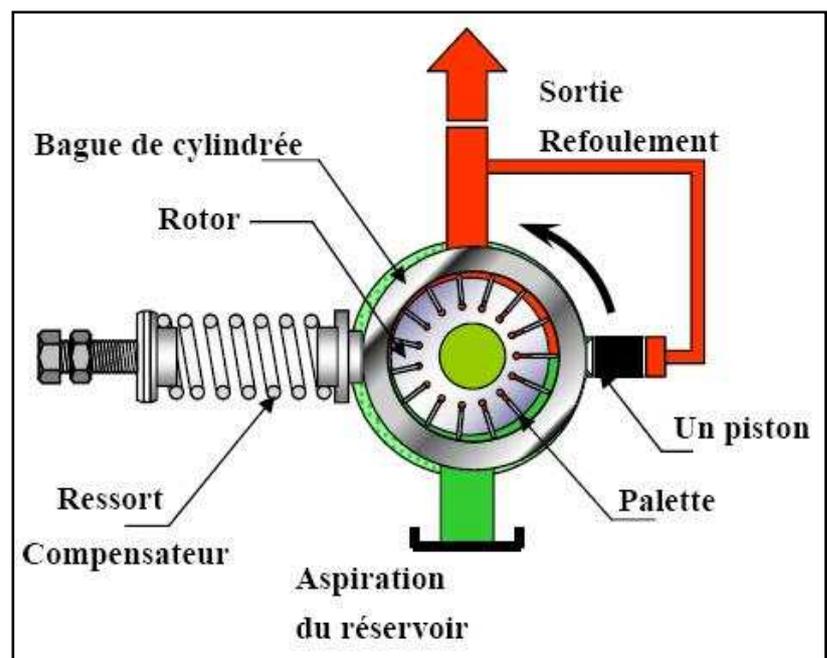


Fig : Pompe à palettes

4.3.2. Pompe à rotor :

Le boîtier est cylindrique, le raccordement avec les canalisations d'entrée et de sortie d'huile est latéral. Il se fait par le fond du boîtier. Une pièce évidée (1), appelée rotor extérieur, tourne dans le boîtier. Cette pièce comporte cinq évidements, elle est libre en rotation et est entraînée par un rotor intérieur (3) claveté sur l'arbre de commande. Ce rotor comporte quatre dents et est excentré par rapport au boîtier.

Ce rotor est une sorte de pignon à quatre dents qui entraîne une roue à denture intérieure à cinq dents.

La rotation de cette roue devant les canalisations d'aspiration et de refoulement engendre une variation de volume qui assure l'entrée et la sortie d'huile.

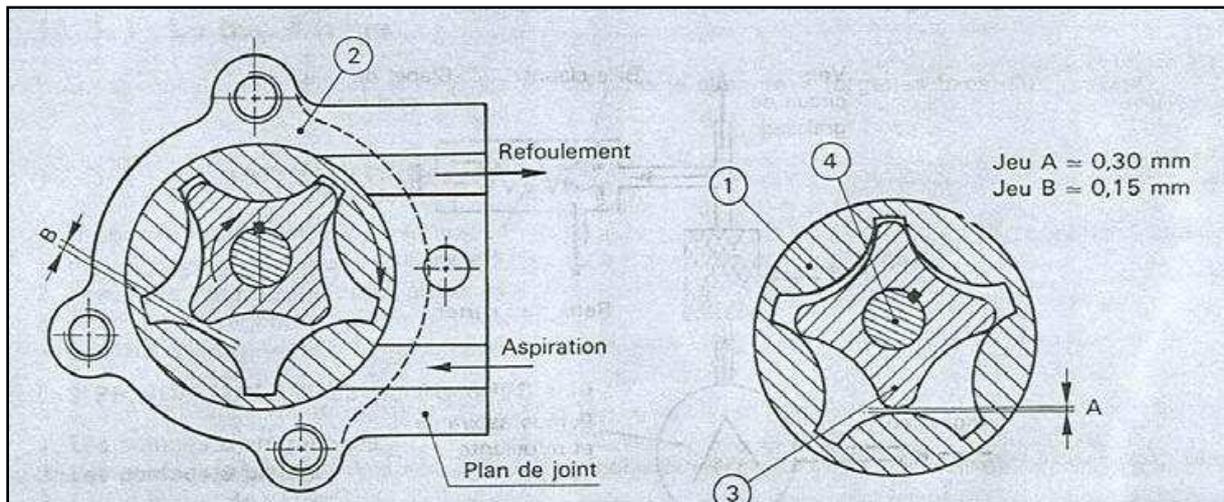


Fig : Pompe à rotor

4.3.3. Pompe à piston :

Le piston est commandé par une bielle actionnée par un excentrique monté sur l'arbre de commande.

Il y a deux clapets :

- Un clapet d'admission constitué par une bille.
- Un clapet de décharge permettant de régler la pression de refoulement.

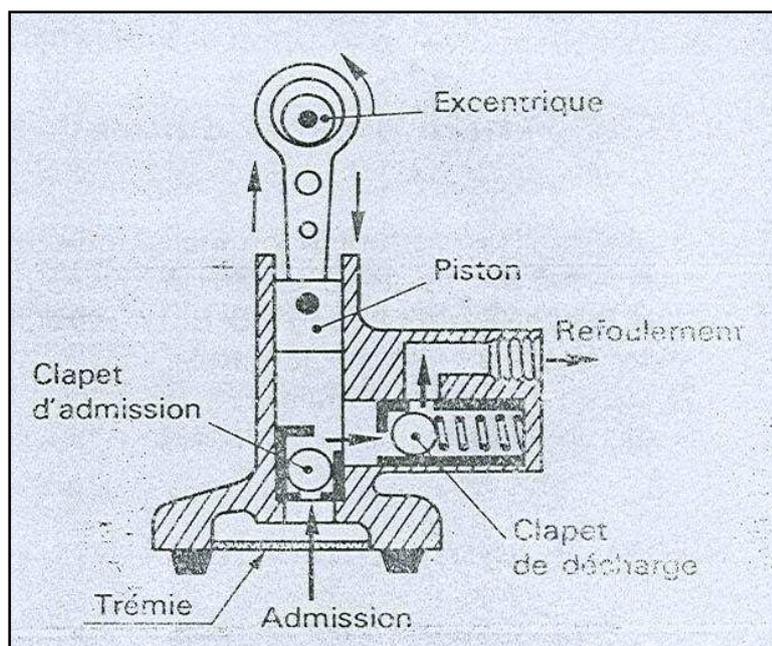


Fig : Pompe à piston

4.4. Filtres à huile :

Le circuit de lubrification d'un moteur comprend deux filtres à huile.

Le premier, à crépine est situé à l'entrée du tuyau d'aspiration de la pompe pour éviter l'introduction de corps étrangers; le deuxième, à cartouche, est placé de façon accessible sur le bloc-moteur.

La crépine contient un tamis en mailles de 1 mm environ; sa surface est suffisante pour éviter des pertes de charge, même en cas d'obstruction partielle. Elle se trouve au point bas du réservoir ou du carter à huile, aménagé de façon que la crépine soit complètement immergée, malgré les mouvements du liquide.

Le filtre à cartouche se compose d'une embase, et d'une cloche contenant le filtre proprement dit.

Le filtre est monté en série au départ du circuit de graissage.

Il assure la rétention des particules en suspension dans l'huile, un clapet de sécurité (by-pass) évite l'arrêt du débit d'huile en cas de colmatage du filtre.

Le filtre doit être chargé périodiquement ainsi que l'huile.

Le filtre à cartouche se compose d'une embase, et d'une cloche contenant le filtre proprement dit.

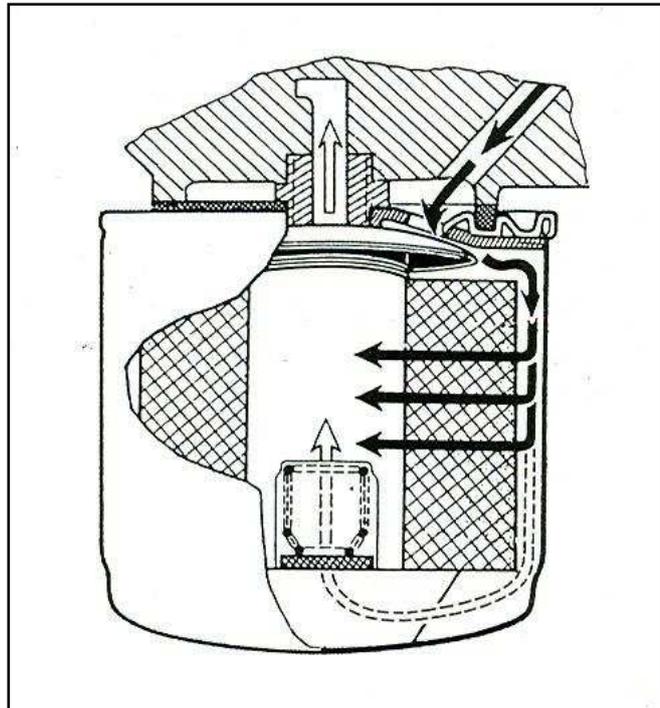
Le filtre est monté en série au départ du circuit de graissage.

Il assure la rétention des particules en suspension dans l'huile, un clapet de sécurité (by-pass) évite l'arrêt du débit d'huile en cas de colmatage du filtre.

Le filtre doit être chargé périodiquement ainsi que l'huile.

Flèches noires : l'huile est filtrée.

Flèche blanche en pointillés : le filtre est court-circuité.



SYSTEME DE REFROIDISSEMENT

1. Rôle du refroidissement :

Le rendement du moteur (le rapport entre l'énergie fournie par l'arbre moteur et l'énergie apportée par la combustion) ne dépasse généralement pas 30% dans les moteurs à allumage commandé.

La quantité d'énergie à évacuer par le refroidissement varie en fonction de la charge du moteur.

Au cours du cycle, la température des gaz au sein du cylindre varie de quelques degrés à 2000°C.

Les parois de la culasse et de la chemise suivent ces variations avec une amplitude beaucoup plus faible. Ces écarts (de 60 à 80°C autour d'une moyenne de 200°C pour la peau des parois de la culasse par exemple) suffisent parfois à provoquer des contraintes thermiques cycliques préjudiciables à la tenue des pièces (criques thermiques dans la culasse, déformations permanentes de la culasse entraînant des problèmes d'étanchéité au niveau du joint de culasse...).

1.1. Avantages du refroidissement :

- Maintien de la température des éléments de la chambre de combustion en dessous de certaines limites pour assurer leur résistance mécanique.
- Diminution de la température de l'huile afin d'assurer une bonne lubrification du contact segment/cylindre et aussi de diminuer les risques de grippage des pistons ou de gommage des segments.
- Maintien d'un taux de remplissage correct (échauffement des gaz frais plus réduit).

1.2. Avantages des températures élevées :

- Obtention de rendements plus élevés (diminution des pertes aux parois).
- Amélioration de la préparation du mélange air/carburant.
- Limitation de la production d'hydrocarbures imbrûlés et d'acides sulfureux au contact des parois.

En conclusion, il est donc rationnel de refroidir les parois du moteur à la condition de ne pas le faire trop énergiquement.

L'expérience montre qu'il est intéressant de maintenir la température des parois :

- autour de 120°C pour les chemises.
- autour de 180 à 240°C pour la culasse.

2. Différents systèmes de refroidissement :

Les principaux systèmes de refroidissement sont :

- Le refroidissement par eau : une circulation d'eau interne refroidit le moteur, ensuite l'eau est refroidie dans un radiateur.
- Le refroidissement par air : un courant d'air frais passe sur le moteur et le refroidit.

En automobile, c'est le refroidissement par eau qui est le plus utilisé.

3. Refroidissement par eau

Dans ce système le moteur, en particulier la culasse et le bloc-cylindres, comporte des cavités (chambres d'eau) dans lesquelles circule l'eau de refroidissement.

La circulation de l'eau est assurée par une pompe centrifuge.

La figure ci-dessous représente un circuit de refroidissement d'eau :

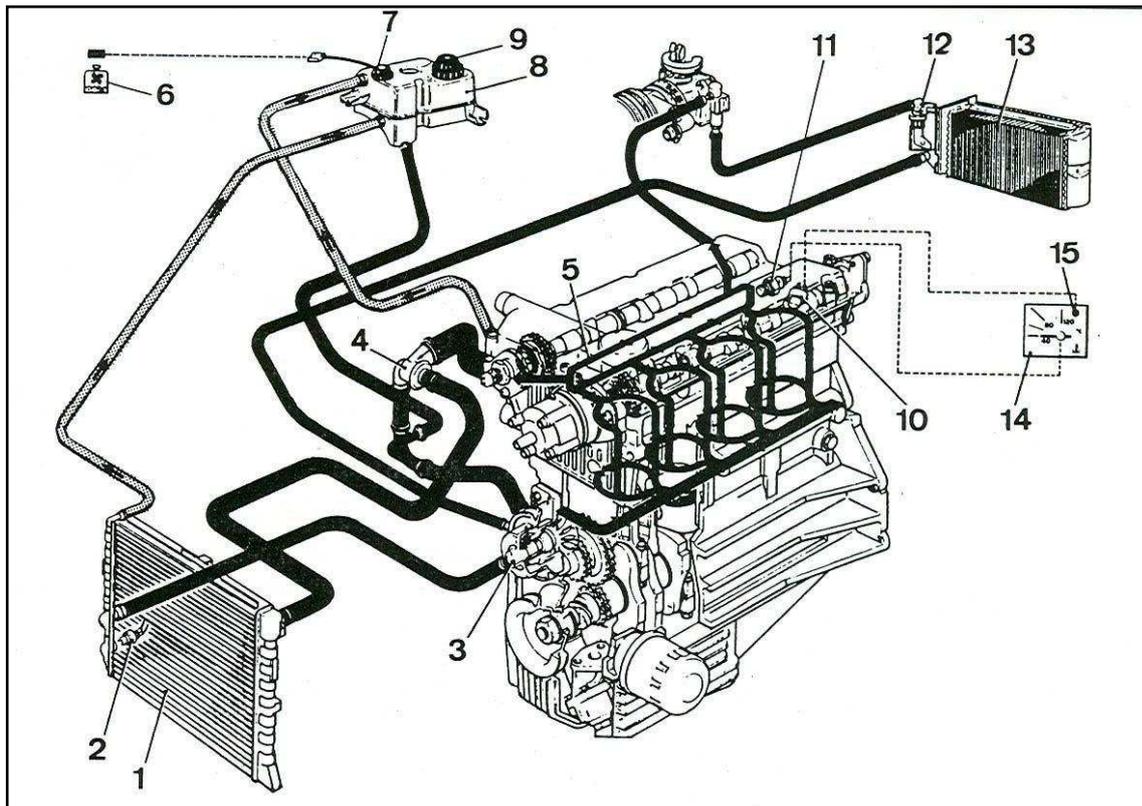


Fig 29 : Circuit de refroidissement d'un moteur

1. Radiateur
2. Sonde du ventilateur électrique
3. Pompe à eau
4. Soupape thermostatique
5. Culasse
6. Lampe témoin de niveau mini du liquide
7. Jauge à liquide
8. Réservoir d'expansion
9. Bouchon du réservoir d'expansion
10. Sonde de température du liquide de refroidissement
11. Sonde pour lampe témoin de température maxi du liquide de refroidissement
12. Robinet de chauffage
13. Radiateur de chauffage
14. Indicateur de température du liquide de refroidissement
15. Lampe témoin de température du liquide de refroidissement.

3.1. La pompe à eau :

La fonction de la pompe à eau est de faire circuler le liquide de refroidissement dans le moteur et le radiateur, pour éliminer les calories.

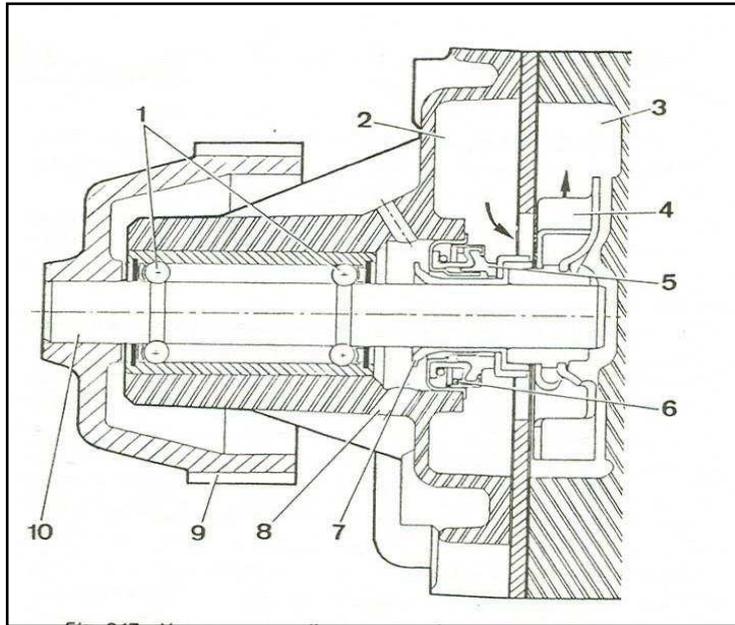
La pompe est généralement entraînée par une poulie liée en rotation au vilebrequin par l'intermédiaire d'une courroie.

La pompe à eau comprend deux parties :

a) Une partie "roulements" destinée à permettre la rotation de l'arbre et absorber l'effort de tension de la courroie.

b) Une partie "turbine", immergée dans le circuit d'eau et assurant la circulation de cette dernière.

Cette deuxième partie doit être séparée de façon étanche de la première pour éviter une entrée d'air dans le circuit ou une fuite d'eau vers les roulements.



1. Roulement à billes
2. Zone d'arrivée d'eau
3. Zone de refoulement de l'eau
4. Turbine
5. Bague d'étanchéité
6. Ressort
7. Déflecteur
8. Trou d'évacuation
9. Poulie d'entraînement
10. Arbre

Fig 30 : Pompe à eau "Turbo-Joint"

3.2. La circulation de l'eau à l'intérieur du moteur :

L'eau circule au travers du bloc-cylindres et remonte à la culasse par les trous pratiqués dans le joint de culasse.

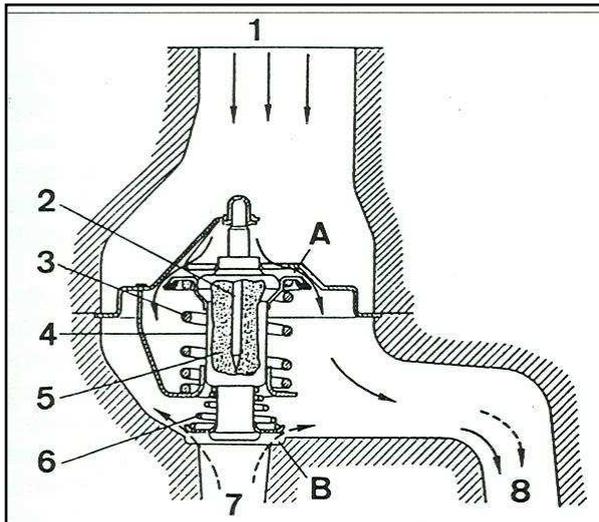
La mise au point du circuit d'eau consiste à faire une bonne répartition du débit d'eau et à augmenter la vitesse du liquide autour des zones chaudes des cylindres et de la culasse. Cette mise au point est réalisée en calibrant le diamètre des trous de passage d'eau dans le joint de culasse.

3.3. Le thermostat :

Pour assurer une montée en température rapide du moteur, il faut éviter de faire circuler le liquide de refroidissement dans le radiateur en dessous d'une certaine température. Ce rôle est assuré par le thermostat.

Les intérêts d'une montée en température rapide du liquide de refroidissement sont les suivants :

- Amélioration des capacités de dégivrage des vitres.
- Diminution de la pollution.
- Réduction des pertes par frottement par diminution de la viscosité de l'huile



1. Arrivée d'eau depuis le radiateur
 2. Tige
 3. Ressort
 4. Capsule
 5. Cire (cire de pétrole + poudre de cuivre)
 6. Ressort
 7. By-pass (l'eau vient du bloc culasse)
 8. Départ d'eau vers la pompe à eau
- Moteur froid : **A** fermé; **B** ouvert.
Moteur chaud : **A** ouvert; **B** fermé.

Fig 31 : Thermostat à double effet

Les thermostats utilisent des cires dilatables qui provoquent l'ouverture du circuit d'eau en direction du radiateur au-dessus d'une température limite fixée par le constructeur.

Pour augmenter le débit d'eau dans le moteur pendant la montée en température de ce dernier (thermostat fermé), on peut utiliser un thermostat à double effet :

• Moteur froid :

- le passage vers le radiateur est fermé,
- le passage vers un circuit de by-pass est ouvert.

• Moteur chaud :

- le passage vers le circuit de by-pass est fermé et tout le débit passe par le radiateur.

On peut trouver le thermostat à l'entrée du moteur ou à la sortie de la culasse.

3.3.1. Thermostat en sortie culasse :

Lorsque la température de l'eau atteint le seuil d'ouverture du thermostat (de l'ordre de 88°C), celui-ci commence à s'ouvrir. L'eau chaude pénètre dans le radiateur et de l'eau froide entre dans le moteur. Cette eau froide va devoir traverser tout le moteur avant d'atteindre à son tour le thermostat.

3.3.2. Thermostat en entrée moteur :

Dans ce cas, le thermostat est implanté juste en amont de la pompe.

L'information température culasse est apportée par un by-pass dont la présence est indispensable. Le bulbe du thermostat lit la température du mélange (eau retour radiateur + eau arrivée by-pass).

L'ouverture du circuit en provenance du radiateur aura lieu quand la température culasse atteindra l'indexation du thermostat (de l'ordre de 83°C).

3.4. Le radiateur :

Le radiateur est un échangeur de chaleur eau/air utilisé pour abaisser la température du liquide de refroidissement.

Les trois parties essentielles qui constituent le radiateur sont :

- Les tubes;
- Les ailettes;
- Les boîtes à eau.

1. Boîte à eau plastique
2. Joint caoutchouc d'étanchéité
3. Joue
4. Faisceau (ailettes)
5. Collecteur
6. Joint d'étanchéité de pied de tube

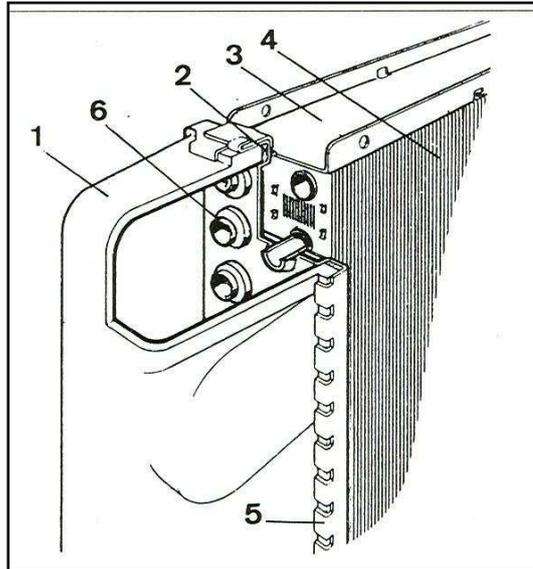


Fig 31 : Radiateur à tubes ronds et ailettes

3.5. Les ventilateurs :

L'air refroidisseur est forcé à travers le radiateur :

- Par l'avancement du véhicule (effet dynamique).
- Par un ventilateur dans les cas où l'effet dynamique est insuffisant (véhicule à l'arrêt, moteur en fonctionnement; embouteillages; montagne;...).

3.6. Le vase d'expansion :

Lors de l'échauffement du moteur, le liquide de refroidissement se dilate et la pression monte dans le circuit. Les variations de volume entre moteur froid et moteur chaud sont absorbées par le volume d'air situé à la partie supérieure du vase d'expansion.

Comme le tube d'arrivée se trouve en dessous du niveau de liquide, il n'y aura pas d'introduction d'air dans le circuit quand le liquide va refroidir et repasser en direction du moteur.

1. Thermostat
2. Vase d'expansion
3. Bouchon avec clapet taré à une certaine pression
4. Aérotherme
5. Pompe à eau
6. Radiateur

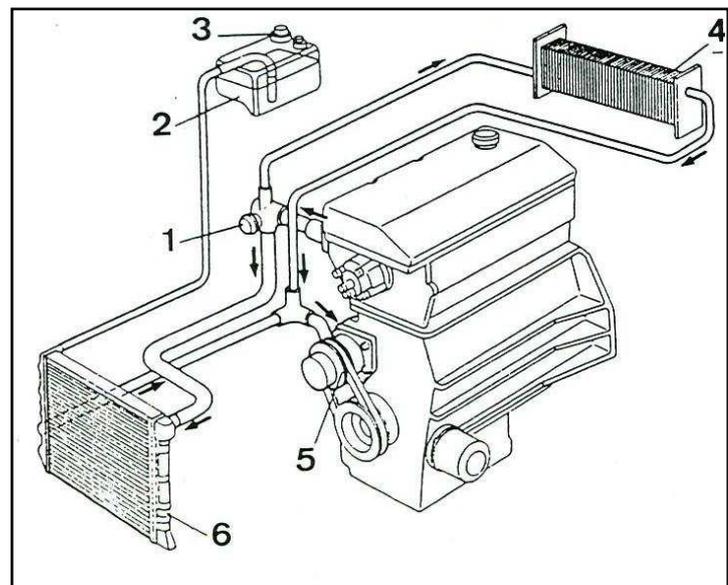


Fig 32 : Circuit du liquide de refroidissement avec dégazage par vase d'expansion

3.7. Le liquide de refroidissement :

Le liquide de refroidissement également appelé liquide de caloporteur est constitué d'eau, d'éthylène-glycol (antigel) et d'inhibiteur de corrosion.

La présence d'éthylène-glycol augmente la température d'ébullition et abaisse celle de congélation.

4. Le refroidissement par air :

Ce type de refroidissement encore beaucoup utilisé pour les motos est très rare en automobile.

Le coefficient de conductivité de l'air étant plus faible que celui de l'eau, les surfaces d'échange doivent être augmentées et le débit d'air être très important.

En pratique, cette surface est augmentée au moyen d'ailettes venues de fonderie au niveau des cylindres et de la culasse.

Pour les moteurs à poste fixe, le moteur est caréné avec des tôles et l'air est pulsé par une soufflante.

SYSTEME D'ALIMENTATION

1. Généralités :

Le système d'alimentation a pour rôle d'amener au niveau du moteur l'air et l'essence nécessaires à une bonne combustion.

Le circuit d'alimentation comprend deux circuits différents :

- circuit d'alimentation en air;
- circuit d'alimentation en essence.

Pour réaliser le mélange deux solutions sont utilisées :

- Système à carburateur : le mélange air-essence est obtenu dans le carburateur puis introduit dans le cylindre de moteur.
- Système d'injection : le mélange est réalisé dans la pipe d'admission, l'air est acheminé par voie classique et l'essence est injectée sous pression par des injecteurs (un par cylindre).

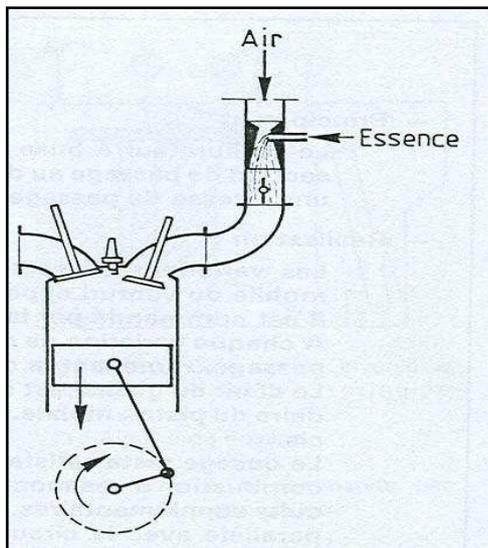


Fig 33 : Carburation par carburateur

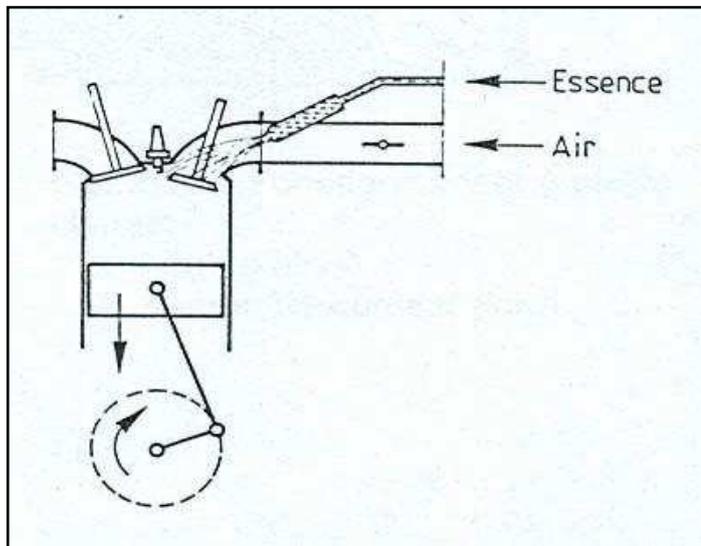


Fig 34 : Carburation par injection

2. Système à carburateur :

2.1. La carburation :

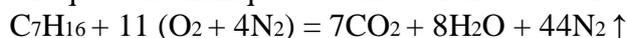
La carburation est l'ensemble des opérations réalisant le mélange intime du carburant avec l'air dans des proportions précises afin d'obtenir une combustion rapide et complète.

Pour réaliser la carburation, il est nécessaire d'effectuer des opérations suivantes : dosage, vaporisation et homogénéité.

2.1.1. Dosage :

C'est la proportion de la quantité de carburant par rapport à l'air.

Prenons le cas de la combustion de l'essence C_7H_{16} (Heptane hydrocarbure) et reportons-nous à l'équation chimique de combustion de ce carburant, nous trouvons :



Si nous admettons que l'essence utilisée est uniquement composée d'heptane et que l'air ambiant contient en masse 23% d'oxygène.

Connaissant la masse atomique de chaque corps :

carbone = 12, hydrogène = 1 et oxygène = 16,

On a : $(12 \times 7) + 16 = 100$ g d'heptane brûlent
dans $(22 \times 16) = 352$ g d'oxygène.

Ces 352 g d'oxygène étant contenus dans $\frac{35 \times 100}{23}$ g d'air

Nous constatons qu'il faut 15.3 g d'air pour faire brûler 1 g d'essence. Ce dosage constitue le dosage parfait.

Un mélange comportant un dosage de moins de 15.3 g d'air pour un gramme d'essence est appelé mélange riche; s'il comporte plus de 15.3 g d'air nous le nommerons mélange pauvre.

Le mélange est incombustible si le dosage essence/air est en dessous de 1/28 ainsi qu'au-dessus de 1/8.

La puissance maximale de moteur est obtenue avec un dosage de 1/12.5.

2.1.2. Vaporisation :

C'est le processus de transformation de carburant de l'état liquide en état gazeux pour mélanger avec l'oxygène de l'air.

2.1.3. Homogénéité :

Chaque molécule de carburant devant, pour brûler, être entourée des molécules d'oxygène.

L'homogénéité est réalisée par un brassage du mélange dans les tubulures d'admission et se terminant dans la chambre de combustion au moment de la compression.

2.2. Alimentation en air :

Pour avoir une combustion correcte le rapport essence/air doit valoir 1/15 en masse, mais 1/9000 en volume.

On conçoit aisément la nécessité de filtrer une telle quantité d'air. Ceci afin d'éviter l'entrée de poussières et particules abrasives qui pourraient détériorer les parties mobiles du moteur.

Le filtre à air a deux rôles :

- La boîte à air sert de silencieux à l'aspiration en limitant le sifflement.
- La cartouche (filtre) sert de retenir les impuretés de l'air aspiré par le moteur.

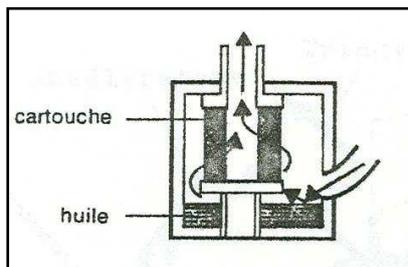


Fig 35: Filtre à air à bain d'huile

Pour les pays dont l'air contient des poussières particulièrement néfastes on utilise un filtre à air à bain d'huile.

L'air aspiré est contraint de changer brusquement de direction à proximité de la surface de l'huile.

Les poussières par l'inertie, continuent tout droit et tombent dans l'huile.

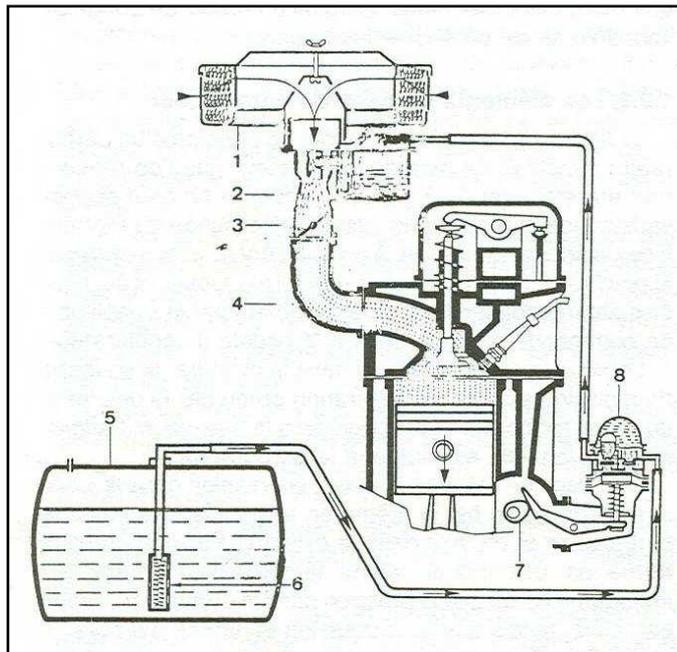
Un filtre à air encrassé freine l'entrée d'air et gêne le remplissage du moteur. Il s'ensuit une augmentation de la consommation d'essence et des imbrûlés. Il est donc indispensable de le nettoyer ou de le changer périodiquement.

2.3. Alimentation en carburant :

2.3.1. Circuit complet :

Le circuit complet d'un système d'alimentation en carburant comprend :

- le réservoir : pour contenir un volume d'essence.
- la pompe à essence : aspire l'essence dans le réservoir et remplit la cuve du carburateur.
- le carburateur : réalise le mélange air-essence.
- le filtre à air : assure l'alimentation du carburateur en air propre.



1. Filtre à air
2. Carburateur
3. Papillon des gaz
4. Collecteur d'admission
5. Réservoir de carburant
6. Filtre à carburant
7. Excentrique sur arbre à cames
8. Pompe mécanique d'alimentation en carburant

Fig 36 : Système d'alimentation d'un moteur

2.3.2. Pompe à essence :

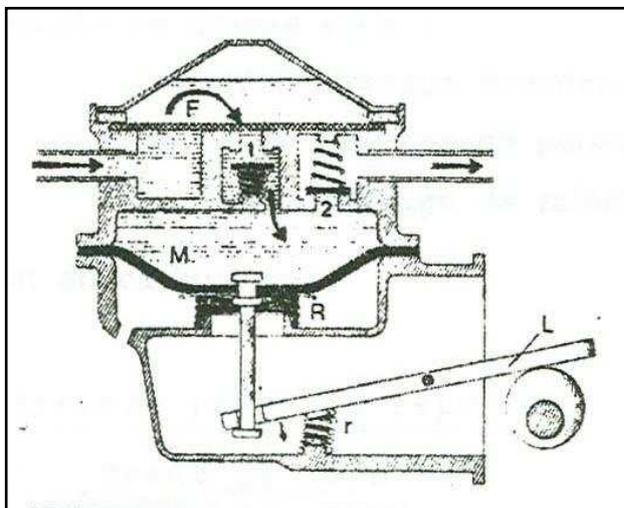
Il existe deux types de pompes :

- la pompe à entraînement mécanique : très répandue sur les moteurs à carburateur.
- la pompe électrique : sur les véhicules à injection et haut de gamme.

a) Pompe à essence mécanique

C'est une pompe aspirante-refoulante très généralement commandée par une came spéciale de l'arbre à cames, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un poussoir.

Elle comporte : une membrane (M), un clapet d'aspiration (1), un clapet de refoulement (2), un levier de commande (L) actionné par la came et maintenu contre elle par un ressort (r), un ressort taré (R) de pression d'essence et un filtre (F) tamis métallique.



Aspiration :

La membrane (M) est tirée vers le bas par le levier de commande (L) actionné par la came.

La descente de la membrane (M) crée une dépression qui ouvre le clapet d'aspiration (1) et aspire l'essence.

Le ressort taré (R) est comprimé.

Fig 37 : Pompe à membrane (aspiration)

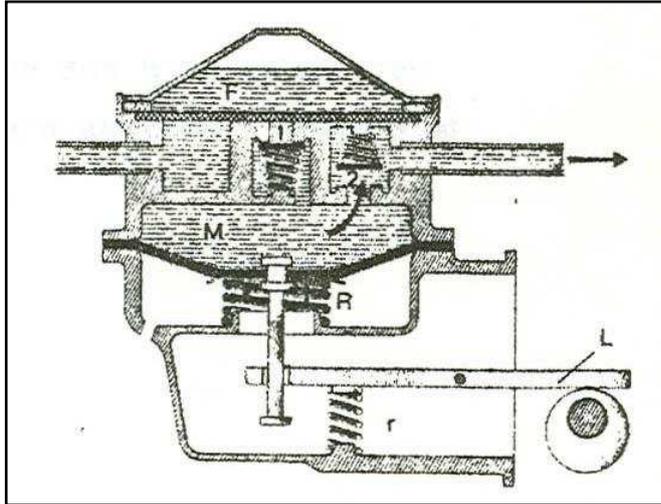


Fig 38 : Pompe à membrane (refoulement)

Refoulement :

La came ayant tourné, le refoulement est alors réalisé grâce au ressort taré (R) qui, appuyant avec une force déterminée sur la membrane (M), engendre la pression de refoulement : **la pression d'essence.**

Cette dernière ouvre le clapet de refoulement (2).

b) Pompe à essence électrique

On a rencontré plusieurs types de pompe à essence électrique :

- Pompe à membrane : la commande mécanique est remplacée par un système magnétique de bobinage.
- Pompe à engrenage entraînée par un moteur électrique à courant de batterie.
- Pompe rotative à galets entraînée également par un moteur électrique à aimants permanents.

1. Aspiration
2. Limiteur de pression
3. Pompe multicellulaire à rouleaux
4. Induit du moteur
5. Clapet de non-retour
6. Refoulement
7. Rotor
8. Rouleau
9. Surface de guidage des rouleaux

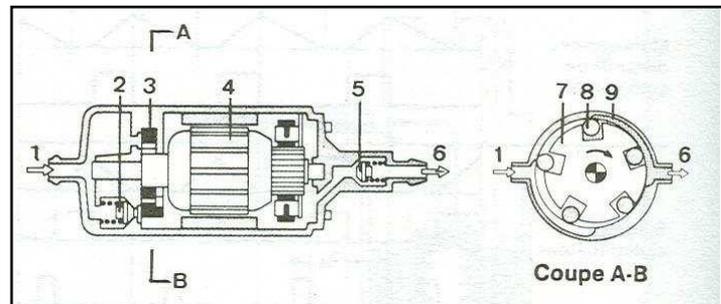


Fig 39 : Pompe à carburant Bosch

c) Avantages de la pompe électrique :

- On peut la placer où l'on veut sur le moteur.
- Elle entre en action dès l'établissement du contact avec la clé.
- Située dans un endroit frais (par exemple dans le réservoir) elle évite les phénomènes de percolation.

2.3.3. Carburateurs :

a) Description du carburateur :

Le rôle de carburateur est de réaliser le mélange de l'air et de l'essence dans des conditions permettant une carburation correcte à tous les régimes du moteur.

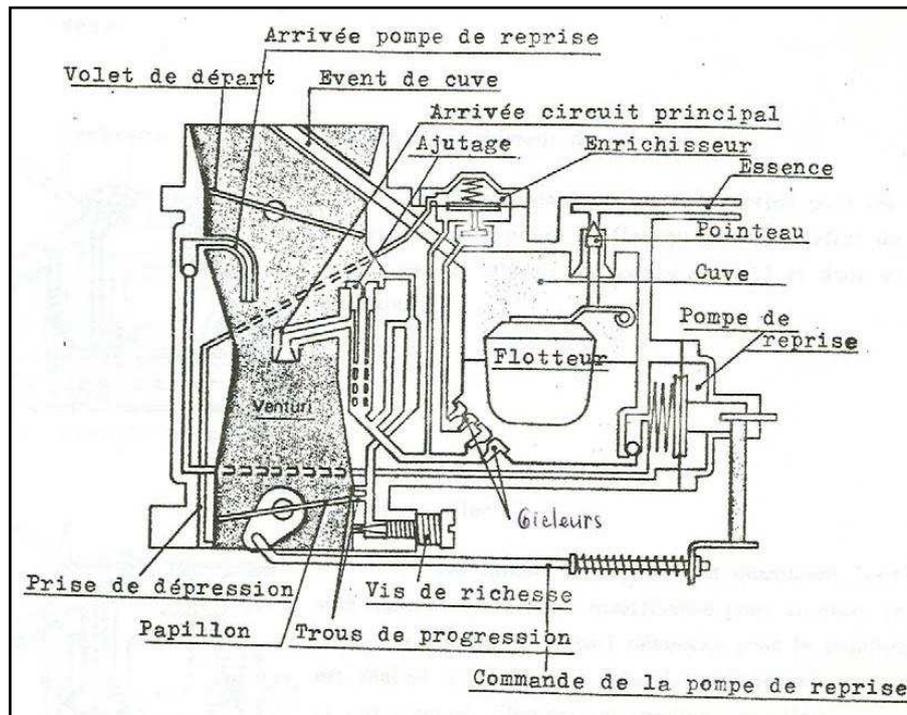


Fig 40 : Circuits internes du carburateur

b) Circuit d'alimentation :

Pour réaliser le mélange l'air circule dans le corps du carburateur de l'amont vers l'aval. Le mélange s'effectue dans une zone appelée chambre de carburation (venturi). Le giclage de l'essence est limité par un gicleur principal.

Une réserve appelée cuve à niveau constant est munie d'un dispositif constitué d'un robinet pointeau actionné par un flotteur.

L'essence est amenée du réservoir par une pompe sous une légère pression.

Lorsque l'essence est au niveau désiré dans la cuve, le flotteur en montant actionne le pointeau qui obture l'arrivée.

Dès qu'il y a consommation de carburant, le pointeau s'ouvre jusqu'à obtention du niveau requis.

Un trou de mise à l'air libre de la cuve permet à l'essence de s'écouler grâce à l'action de la pression atmosphérique.

c) Circuit de ralenti :

Au ralenti le papillon est quasiment fermé, la dépression dans le venturi est insuffisante pour amorcer le circuit principal.

Le circuit de ralenti débouche sous le papillon, le dosage est réalisé par un gicleur de ralenti (non présenté) pour l'essence et par l'entrebâillement du papillon pour l'air.

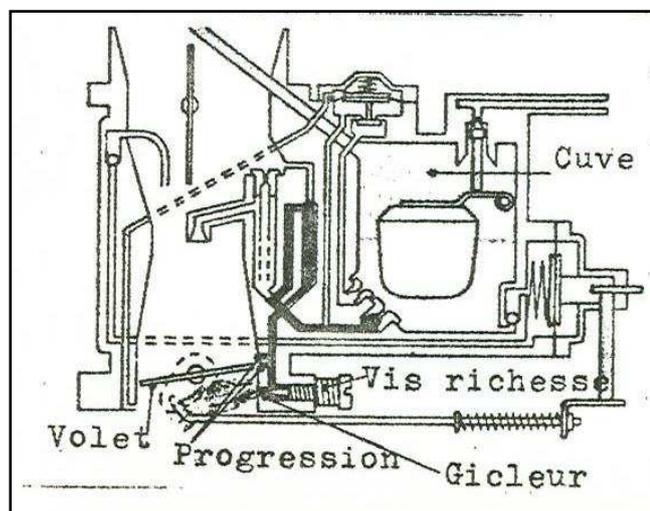


Fig 41 : Circuit de ralenti

d) Circuit principal :

A une certaine ouverture de papillon, dans le diffuseur on a une augmentation de la dépression qui amorce le circuit principal.

L'essence passe des cuves aux puits à travers le gicleur principal qui en contrôlent le débit.

Dans les puits on a un premier mélange, réalisé dans les tubes d'émulseurs, avec l'air contrôlé par le gicleur d'air.

Des puits le mélange arrive au venturi où commence la carburation avec l'air aspiré par les conduits d'admission.

Le circuit principal assure un dosage économique de l'ordre 1/18 aux moyens régimes.

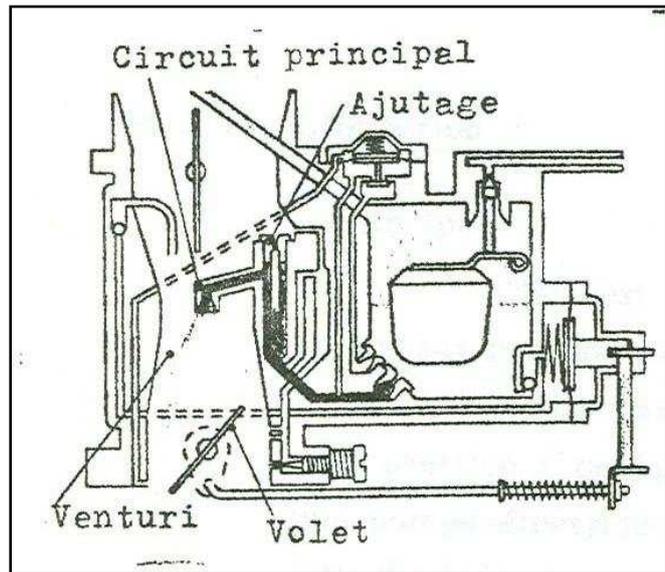


Fig 42 : Circuit principal

e) Circuit de pompe de reprise :

Lors d'une brusque accélération, le papillon s'ouvre très rapidement ce qui provoque un fort appel d'air et d'essence, mais du fait de la différence de densité l'arrivée d'essence est retardée. Le mélange risque de devenir pauvre, il faut l'enrichir. C'est le rôle de la pompe de reprise; actionnée mécaniquement par la commande du papillon elle envoie un surplus d'essence à chaque accélération.

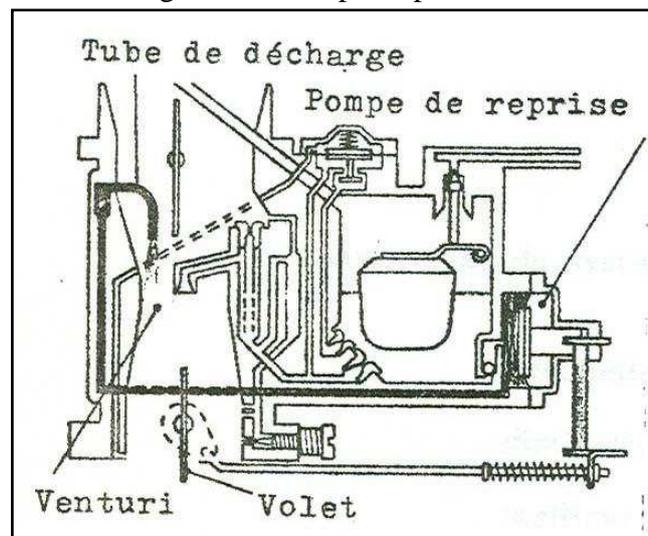


Fig 43 : Circuit de reprise

f) Circuit d'enrichissement de puissance :

Ce système qui entre en action pour les grandes ouvertures de papillon permet d'avoir un dosage de 1/12 et donc un gain en puissance.

Dans des conditions bien déterminées de charge et régime (effet du ressort > effet de la dépression) le gicleur d'enrichissement ajoute son débit à celui du circuit principal. L'ouverture de ce gicleur est commandée par un clapet à membrane actionné par la dépression régnant dans la tubulure d'admission.

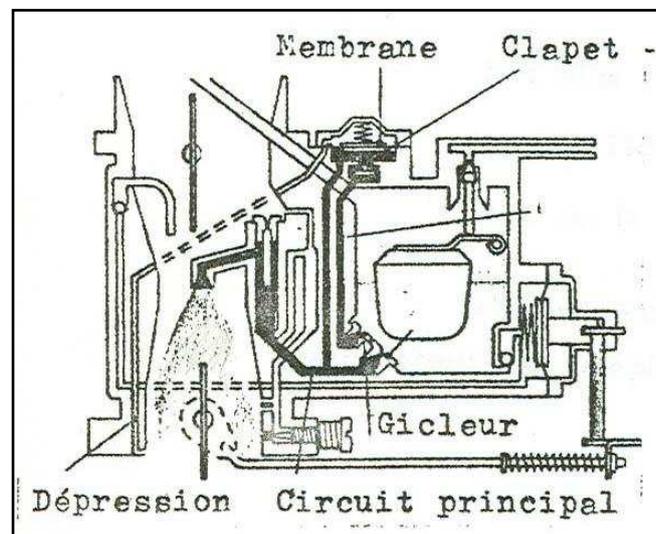


Fig 44 : Circuit d'enrichissement de puissance

3. Les dispositifs antipollution :

D'après le résultat de la transformation chimique du mélange air/essence au moment de la combustion nous trouvons des compositions des gaz brûlés suivants:

- dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2) : non toxique,
- vapeur d'eau (H_2O),
- Azote (N_2).

La combustion n'étant pas toujours correctement réalisée nous avons noté l'apparition de divers gaz plus ou moins polluants ou toxiques qui sont notamment :

- monoxyde ou oxyde de carbone (CO),
- hydrocarbures imbrûlés (CH),
- oxydes d'azote (N_xO_y).

On constate que les taux de CO et de HC augmentent si :

- la richesse du mélange est trop importante par rapport au besoin instantané du moteur,
- le brassage du mélange n'est pas correctement effectué (homogénéité),
- la vaporisation n'est pas complète,
- la vitesse de combustion n'est pas adaptée à la vitesse de rotation du moteur,
- le point d'allumage n'est pas déclenché au moment opportun,
- la forme de la chambre de combustion est mal dessinée.

Pour lutter contre la pollution les dispositifs utilisés visent à :

- Améliorer la combustion
 - en agissant sur la préparation du mélange,
 - en maintenant une température constante du moteur,
 - en produisant un allumage à haut pouvoir calorifique déclenché à des moments précis;
- Limiter les évaporations diverses par le recyclage des vapeurs d'huile et de carburant;
- Traiter les gaz d'échappement
 - par postcombustion,
 - par catalyse;
- Utiliser des carburants ayant une faible teneur en soufre, plomb et résidus.

4. Système d'injection :

4.1. Principe de fonctionnement :

L'injection d'essence consiste à introduire l'air par une tubulure d'admission de forte section et à injecter le carburant en amont plus près de la soupape d'admission (injection directe) ou directement dans le cylindre (injection directe).

L'injection peut être continue ou discontinue, mécanique ou électronique.

4.2. Avantages du système d'injection :

L'augmentation des performances du moteur (couple, puissance,...).

- Economie de carburant grâce au dosage très précis.
- Diminution des émissions toxiques (meilleure combustion).
- Meilleur remplissage en air des cylindres donc souplesse accrue.

4.3. Différents systèmes d'injection :

On peut classer les systèmes d'injection selon l'endroit où se fait l'injection du carburant dans l'air aspiré par le moteur :

- L'injection est directe si elle s'effectue dans la chambre de combustion du cylindre
- L'injection est indirecte si elle a lieu dans la tubulure d'admission, plus ou moins près de la soupape d'admission, le jet d'essence étant dirigé vers la soupape.
- L'injection centralisée si elle se fait dans la partie du collecteur commune à tous les cylindres, à l'endroit qu'occuperait un carburateur.

On peut également différencier les systèmes d'injection par le dispositif de régulation :

- Dans l'injection mécanique, la pompe entraînée mécaniquement par le moteur, effectue la mise en pression du carburant et dose le volume injecté.
- Dans l'injection électronique, la pompe électrique, effectue l'alimentation du carburant sous pression; les fonctions de dosage, régulation, injection sont totalement ou partiellement pilotées par une centrale électronique.

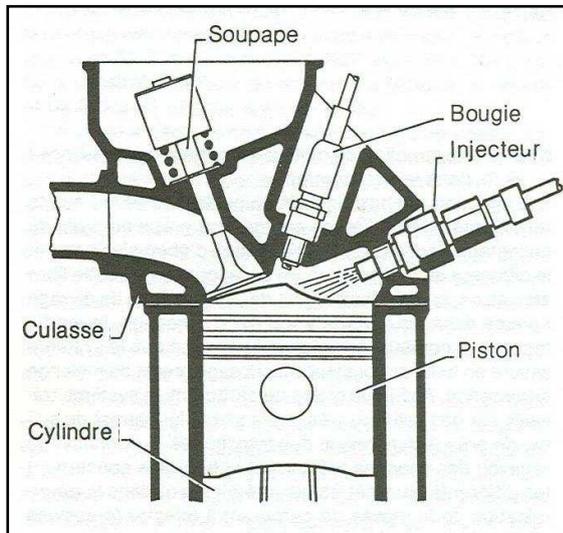


Fig 45 : Injection directe

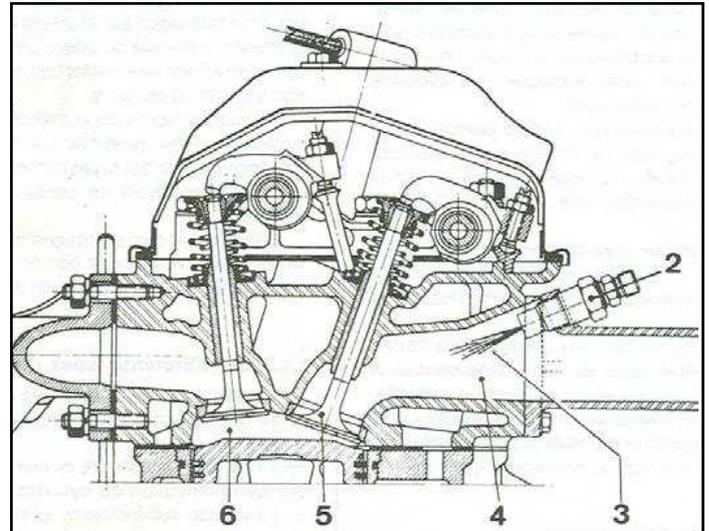


Fig 46 : Injection indirecte

Les plus répandus actuellement sont les systèmes Bosch :

- K-Jetronic : injection mécanique continue indirecte.
- L ou D-Jetronic : injection électronique discontinue indirecte.

4.3.1. Principe de l'injection K-Jetronic :

L'air est dosé par un papillon placé dans la tubulure d'admission. Le carburant est calibré par un doseur dont le tiroir est commandé par le déplacement du débitmètre d'air placé dans la tubulure d'admission.

Le doseur reçoit le carburant d'une pompe électrique par l'intermédiaire d'un régulateur de pression.

Les injecteurs débitent en permanence un carburant dont la pression et le débit sont déterminés par le débit de l'air et sa pression absolue (≈ 4.6 bars).

Pour le départ à froid, un électro-injecteur unique injecte un supplément de carburant à l'entrée du collecteur d'admission.

1. Réservoir à carburant
2. Pompe électrique à carburant
3. Accumulateur de carburant
4. Filtre à carburant
5. Correcteur de réchauffage
6. Injecteur
7. Collecteur d'admission
8. Injecteur de départ à froid
9. Régulateur de mélange
- 9a. Doseur-distributeur de carburant
- 9b. Régulateur de pression d'alimentation
10. Débitmètre d'air
- 10a. Plateau-sonde
11. Electrovanne de cadence
12. Sonde Lambda
13. Thermocontact temporisé
14. Allumeur
15. Commande d'air additionnel
16. Contacteur de papillon
17. Relais de commande
18. Centrale de commande électronique
19. Commutateur d'allumage-démarrage
20. Batterie

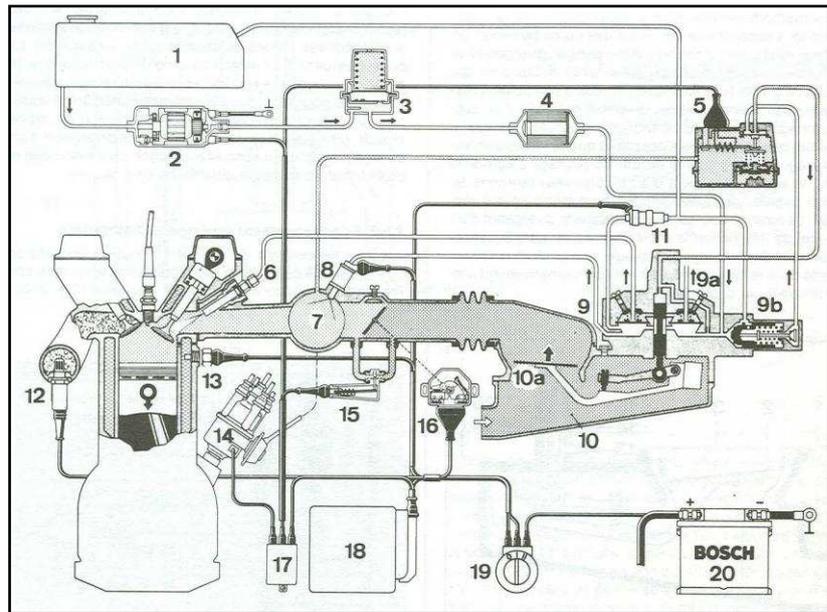


Fig 47 : Schéma de l'installation du système K-Jetronic

4.3.2. Principe de l'injection L-Jetronic :

Le débit de l'air est dosé par un papillon et mesuré par un débitmètre à potentiomètre placé dans la tubulure d'admission.

Le calculateur reçoit des informations sous forme de signaux électriques sur : le débit, la pression et la température de l'air, la température de l'eau, le déclenchement de l'allumage, la vitesse d'ouverture du papillon, la vitesse de rotation du moteur. Il transforme ces informations en une tension de commande des injecteurs électromagnétiques, dont le début, la durée et la fin d'injection sont fonction des paramètres d'entrée.

1. Réservoir de carburant
2. Pompe électrique à carburant
3. Filtre à carburant
4. Rampe de distribution
5. Régulateur de pression
6. Appareil de commande électronique
7. Injecteur
8. Injecteur de départ à froid
9. Vis de réglage de la vitesse du ralenti
10. Contacteur de papillon
11. Papillon
12. Débitmètre d'air
13. Ensemble de relais
14. Sonde lambda
15. Sonde de la température du moteur
16. Thermocontact temporisé
17. Allumeur
18. Commande d'air additionnel
19. Vis de réglage de la richesse de ralenti
20. Batterie
21. Commutateur d'allumage/démarrage

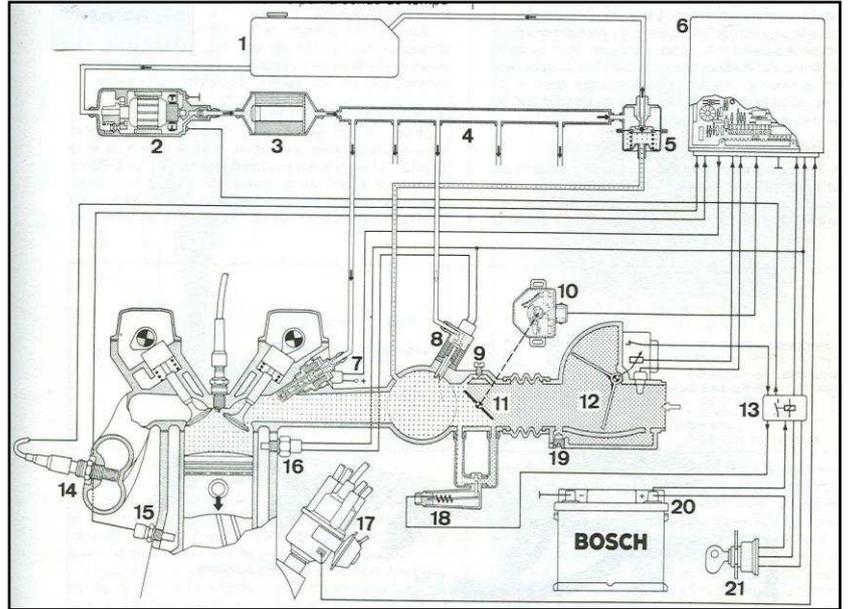


Fig 48 : Schéma du système L-Jetronic

SYSTEME D'ALLUMAGE

1. Introduction :

1.1. Fonction de l'allumage :

La fonction de l'allumage est de produire un apport de chaleur dont l'énergie soit suffisante pour déclencher l'inflammation du mélange gazeux en fin de compression.

Cette inflammation est obtenue par la création d'un arc électrique.

1.2. Création de l'arc électrique :

La tension minimale nécessaire à l'amorçage de l'arc est d'environ 15 000 V, pour obtenir une telle tension on fait appel à un transformateur de tension : la bobine d'allumage.

Principe de fonctionnement :

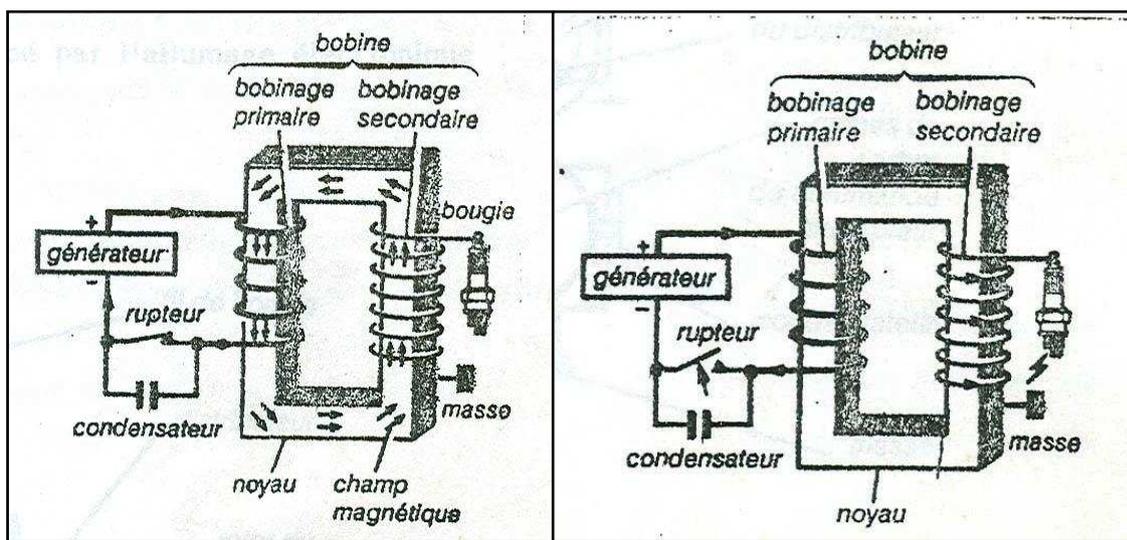


Fig 49 : Phase d'induction

Fig 50 : Phase d'allumage

Lorsque le rupteur est fermé, le courant circule dans le bobinage primaire et crée un champ magnétique dans l'enroulement secondaire. C'est la phase induction.

A l'ouverture du rupteur, le courant primaire est brusquement coupé, ceci provoque une variation rapide du champ magnétique et la création d'un courant induit à haute tension dans l'enroulement secondaire.

L'enroulement secondaire est lié à la bougie qui déclenche l'étincelle désirée.

Le condensateur placé en dérivation du rupteur absorbe le courant de self induit dans le primaire lors de la coupure et évite la détérioration des contacts du rupteur.

1.3. Différents types d'allumage :

On rencontre deux systèmes d'allumage :

- L'allumage autonome par volant magnétique.
- L'allumage par batterie.

Pour chacun de ces systèmes deux solutions technologiques sont utilisées pour l'ouverture du circuit primaire :

- Ouverture par rupteur mécanique : allumage classique.
- Ouverture par interrupteur électronique : allumage électronique.

2. L'allumage classique par batterie :

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

2.1. Principe de fonctionnement :

L'allumage commandé classique par rupteur, bobine haute tension et batterie se présente sous la forme de la figure ci-dessous.

Un enroulement primaire est couplé électromagnétiquement, pour constituer un transformateur de tension appelé bobine, à un enroulement secondaire placé dans un circuit haute tension comportant un entrefer d'éclatement porté généralement par une bougie.

Dans le système d'allumage classique, les coupures intermittentes sont réalisées par un rupteur, placé sur la ligne de retour à la masse du bobinage. Son ouverture et sa fermeture sont provoqués par une came. Le rupteur et l'arbre porte-cames sont des éléments de l'allumeur.

L'arbre d'allumeur tourne à demi-vitesse du vilebrequin puisqu'il doit se produire une étincelle tous les deux tours de vilebrequin.

Au moment où le circuit primaire se ferme au rupteur, le courant s'établit progressivement et lorsqu'il s'ouvre, ce courant se trouve alors dérivé vers le condensateur branché aux bornes du rupteur.

Le condensateur va se charger ce courant du self puis se décharge aussitôt. La variation brutale du flux dans le circuit primaire provoque la naissance d'un courant haute tension dans l'enroulement secondaire puis la distribuer vers la bougie intéressée.

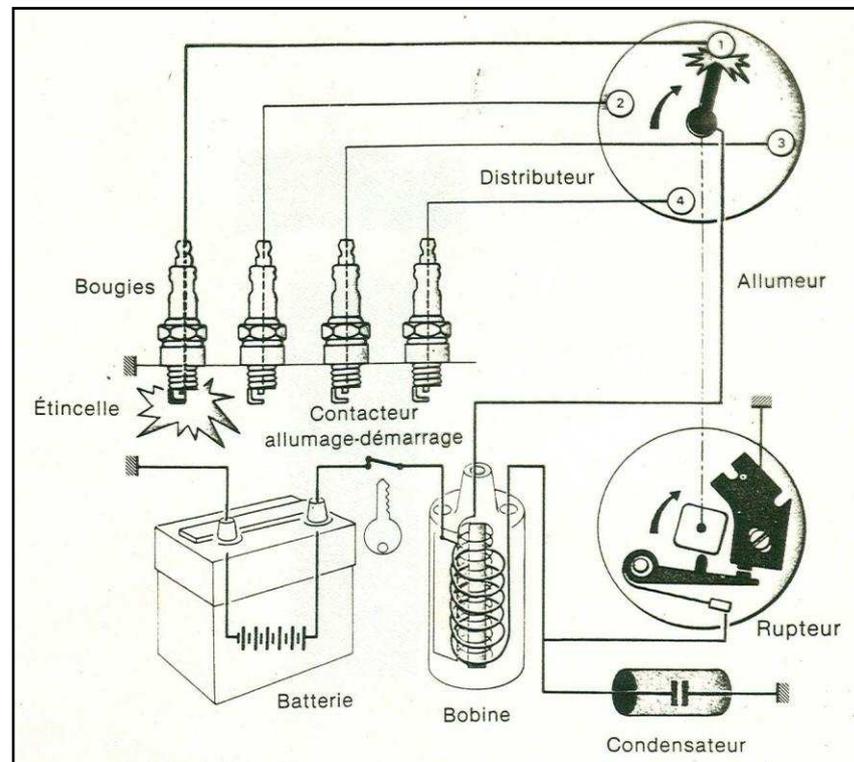


Fig 51 : L'allumage par batterie

2.2. Les organes de l'allumage classique :

La source d'électricité étant la batterie accumulateur, le dispositif d'allumage classique mécanique est constituée de trois organes distincts :

- L'allumeur-distributeur, comprenant lui-même le rupteur, le condensateur, le système d'avance centrifuge et à dépression et enfin le doigt de distributeur (tête de distribution),
- La bobine haute tension,
- La bougie, une par cylindre.

2.2.1. L'allumeur :

Il se compose de quatre parties essentielles : l'entraînement, le circuit basse tension, les systèmes d'avance centrifuge et à dépression, le circuit haute tension.

Le mouvement de rotation de l'arbre de l'allumeur est réalisé mécaniquement à partir de l'arbre à cames du moteur.

Cet arbre de commande entraîne, à sa partie supérieure, un plateau portemasselottes d'avance centrifuge serti. L'arbre porte-came, centré sur la partie supérieure de l'arbre de commande, est commandé en rotation à partir des masselottes centrifuges, de façon que la came puisse se décaler angulairement par rapport à l'arbre de commande. Ce calage angulaire représente, en fonction du régime, la courbe d'avance centrifuge de l'allumeur.

A la hauteur de la came, le plateau porte-rupteur est fixé sur le corps quand l'allumeur ne comporte pas de système d'avance par dépression, ou peut pivoter autour du corps quand il est muni d'un tel système. L'écartement des contacts du rupteur est réglable par la vis de fixation du contact fixe.

A la partie supérieure de la came, le rotor disrupteur est clipsé pour tourner dans la tête de distribution, à la hauteur des plots haute tension d'alimentation des bougies par l'intermédiaire des fils haute tension. La tête de distribution comporte les bornes haute tension de distribution en regard des plots vers les bougies, et une borne haute tension centrale reliée à celle de la bobine d'allumage.

La haute tension est connectée au rotor disrupteur au moyen d'un petit charbon et d'un ressort.

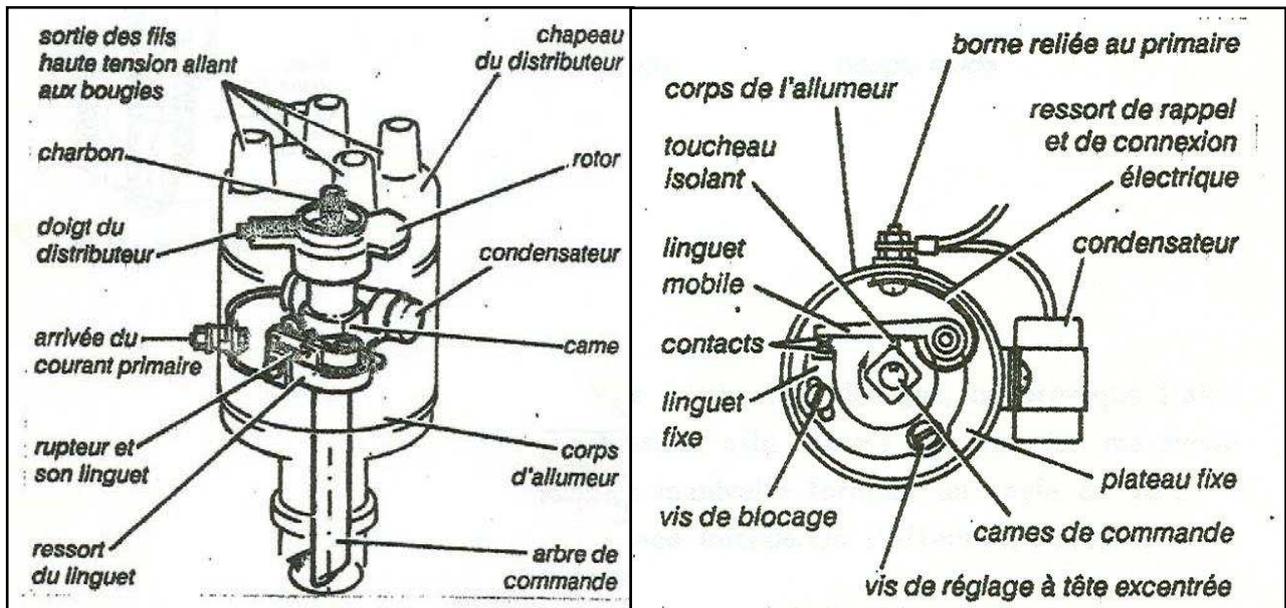


Fig 52 : Allumeur classique

Fig 53 : Allumeur à rupteur pour moteur à 4 cylindres

2.2.2. La bobine :



Fig 54 : Bobine d'allumage

La bobine contient le transformateur-élevateur de tension comprenant un noyau magnétique en tôles feuilletées autour duquel on trouve l'enroulement secondaire et l'enroulement primaire.

La bobine la plus répandue a la forme d'une boîte cylindrique en tôle emboutie.

A la partie supérieure, la tête de bobine isolante est sertie sur la boîte en tôle avec l'interposition de joints d'étanchéité. Elle supporte les deux bornes primaires, l'une d'entrée venant du contact d'allumage, l'autre de sortie allant vers l'allumeur, ainsi que la sortie haute tension montée dans une cheminée au centre. Dans ce type de bobine verticale, les enroulements baignent dans l'huile afin de limiter leur échauffement.

2.2.3. La bougie d'allumage :

Elle produit l'étincelle dans la chambre de combustion.

La haute tension est amenée par l'électrode centrale, l'arc se produit au passage du courant entre les deux électrodes (écartement des électrodes : 0.5 à 1 mm).

La bougie doit être parfaitement isolante et doit évacuer rapidement la chaleur afin d'éviter les phénomènes d'auto-allumage.

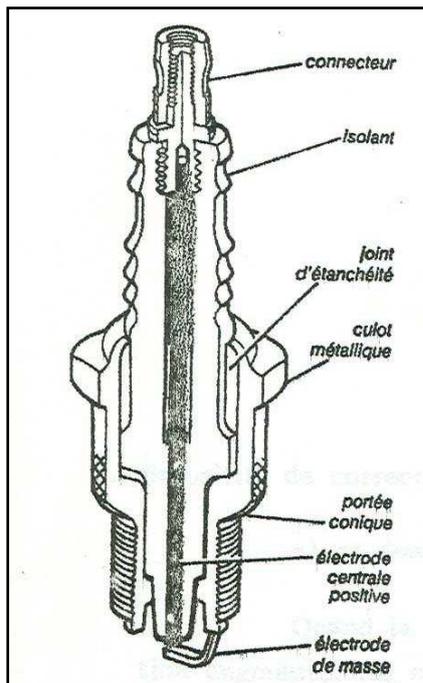


Fig 55 : Bougie d'allumage

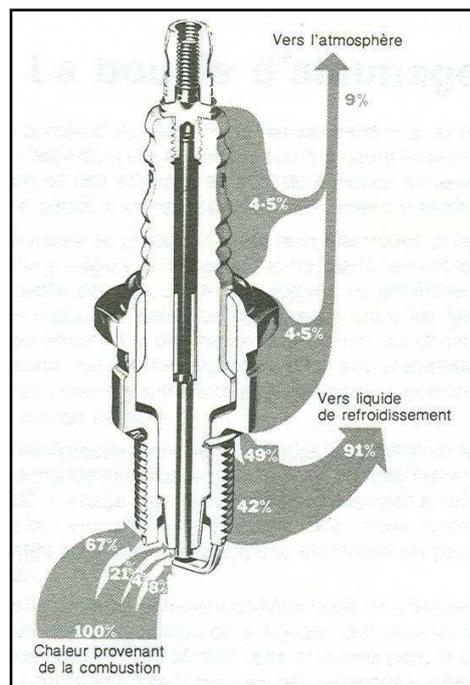


Fig 56 : Echanges thermiques entre la bougie et son environnement

On classe les bougies selon leur pouvoir de refroidissement.

Le degré thermique de la bougie caractérise sa capacité de transférer la chaleur du bec de l'isolateur au système de refroidissement du moteur.

La bougie "chaude" transmet la chaleur moins rapidement. Son long bec d'isolateur oblige les calories de la pointe à parcourir un long chemin avant d'atteindre la partie de l'isolateur en contact avec le culot, puis la culasse.

La bougie "froide" transmet la chaleur plus rapidement grâce à son bec court.

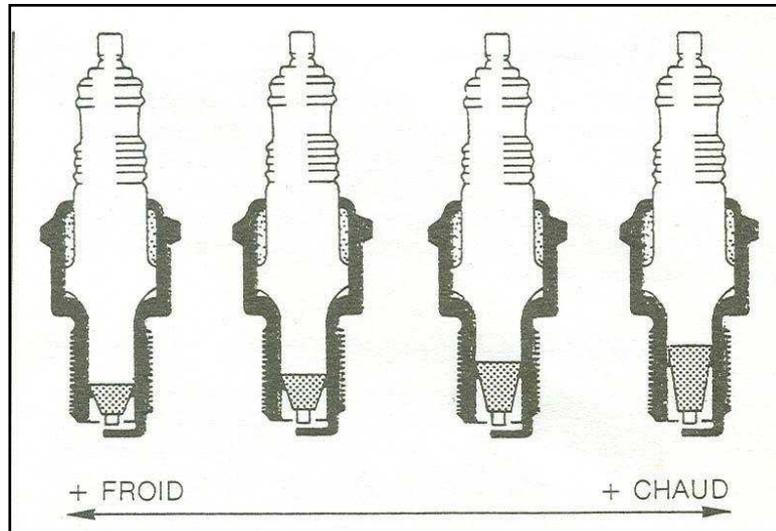


Fig 57 : Gamme thermique des bougies

3. Calage d'allumage

L'avance à allumage définit l'instant où commence l'allumage, considéré comme celui où s'ouvre le rupteur, par rapport à la position supérieure définie par le piston.

L'avance peut s'apprécier par un angle de rotation du vilebrequin.

On peut admettre que l'angle d'avance se compose de trois éléments :

- Une avance fixe résultant du calage initial du dispositif de déclenchement de l'allumage sur la rotation du moteur, cette avance fixe suffit en principe aux moteurs à régimes lents.
- Une avance variable dépendant de la vitesse de rotation, augmentant avec elle, mais non proportionnellement.
- Une correction de cette avance en fonction de la charge supportée par le moteur : cette correction est positive si la charge diminue; mais elle peut être négative pour éviter la pollution au ralenti ou en cas d'emploi du frein-moteur. Cette correction est basée sur la dépression.

Exemples d'ordres de grandeur des avances :

Le calage initial de l'allumeur donne une avance de 10° d'angle vilebrequin; l'avance maximale donnée par l'allumeur est de 40 à 50°, l'angle ajouté à celui de l'avance initiale étant donné par les corrections centrifuges (20 à 40°) et de dépression (de l'ordre de 20°).

3.1. L'avance initiale :

Compte tenu du délai de combustion des gaz, on provoque l'allumage avant le PMH fin de compression, afin d'avoir une pression maximale sur le piston lorsque la bielle et la manivelle forment un angle de 90°.

Ce réglage s'appelle le point d'avance initiale. On l'effectuera moteur à l'arrêt.

3.2. Les corrections d'avances :

Pour donner un rendement de cycle optimal le point d'avance varié selon deux critères :

- Le régime moteur : l'avance doit augmenter avec la vitesse de rotation afin de garder une durée de combustion correcte.
- la charge du moteur : suivant le remplissage la durée de combustion varie.
 - bon remplissage → combustion rapide → réduire l'avance
 - mauvais remplissage → combustion lente → augmenter l'avance.

3.2.1. Les dispositifs centrifuges d'avance :

Quand la vitesse de rotation augmente, les masselottes s'écartent et décalent l'arbre porte came en avant de l'arbre de commande : l'avance augmente.

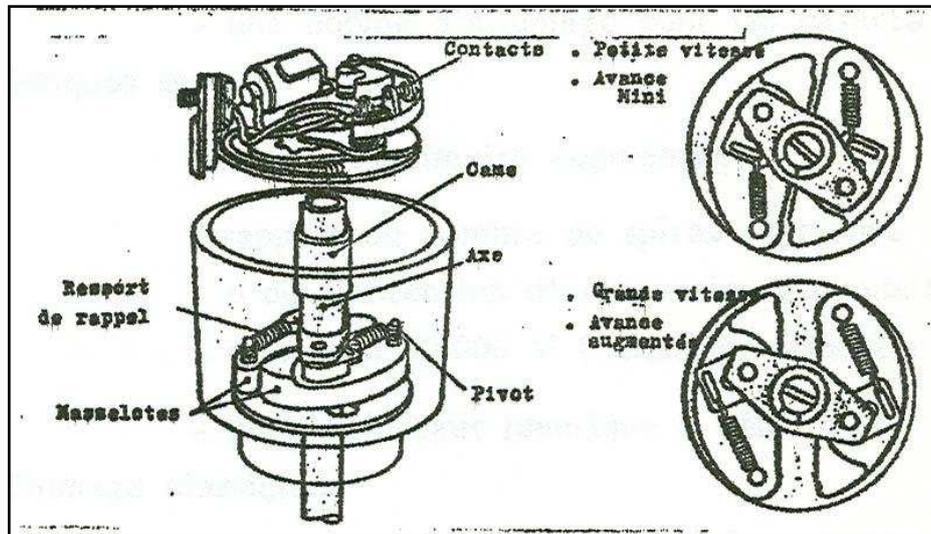


Fig 58 : Correcteur centrifuge

3.2.2. Les dispositifs à dépression :

Le remplissage étant caractérisé par la dépression dans le carburateur on utilise cette dépression pour modifier l'avance.

Pour cela on utilise une capsule manométrique dont la membrane se déplace en fonction de la dépression et modifie le point d'avance.

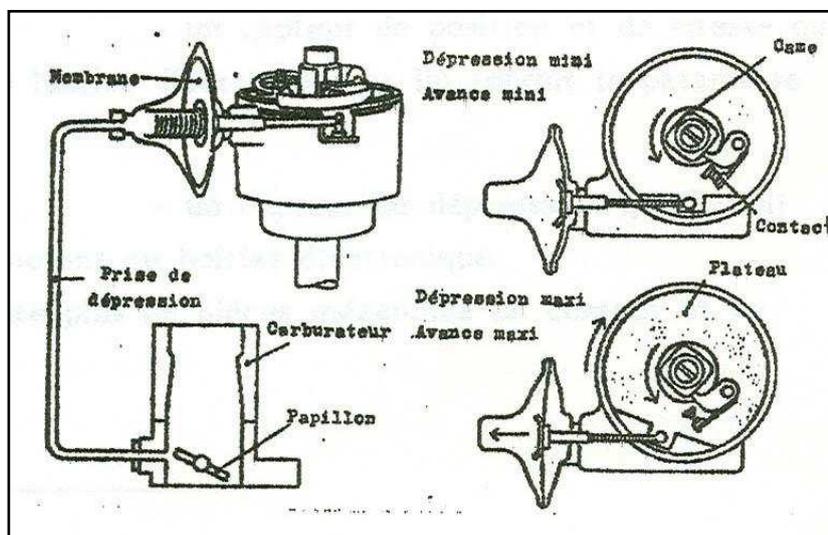
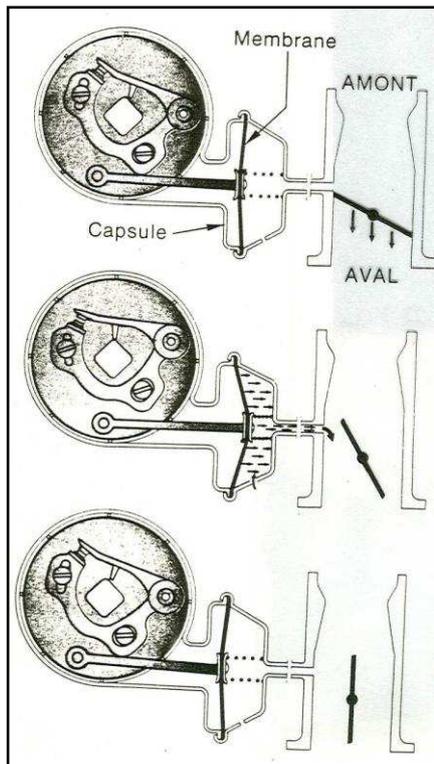


Fig 59 : Correcteur à dépression



- Au ralenti

La dépression n'a pas d'action sur la membrane, le point de port-rupteur n'est pas déplacé : pas de correction d'avance.
 Cas de retard à dépression : quand on fait intervenir une deuxième capsule manométrique agissant en sens inverse de la capsule à l'avance.

- Lors d'une faible ouverture du papillon (mauvaise préparation du mélange, durée de combustion assez longue).

La dépression sur la membrane est importante : le plateau est décalé, la correction d'avance est importante.

- A pleine charge

La membrane n'est plus soumise à la dépression, il n'y a pas de correction d'avance.

Fig 60 : Dispositifs d'avance à dépression

4. Allumage électronique :

L'allumage classique présente quelques inconvénients essentiellement liés à la rupture mécanique du circuit primaire :

- Intensité primaire limitée pour éviter la détérioration des contacts.
- problème de rebondissement du linguet mobile à haute vitesse.
- dérèglement du point d'avance lors de l'usure des contacts.

La solution à ces inconvénients est de remplacer le rupteur mécanique par un rupteur électronique commandé par un très faible courant permettant un courant primaire plus important.

4.1. Principe de l'allumage électronique :

Le système comprend :

- Une bobine d'allumage dont les caractéristiques sont :
 - intensité primaire augmentée.
 - rapport du nombre de spires augmenté d'où l'obtention d'une tension secondaire d'environ 50 000 V (meilleur étincelle).
- Un distributeur identique à celui d'un allumage classique.
- Un boîtier électronique qui amplifie le courant émis par l'impulseur et calcule, en fonction des paramètres de vitesse et de charge, le point d'allumage.
- Un capteur de position et de vitesse qui provoque la commande du boîtier électronique et lui fournit le paramètre vitesse de rotation.
- Un capteur de dépression qui fournit le paramètre charge du moteur au boîtier électronique.

Un tel système ne présente plus de pièces mécaniques en contact et ne nécessite aucun réglage

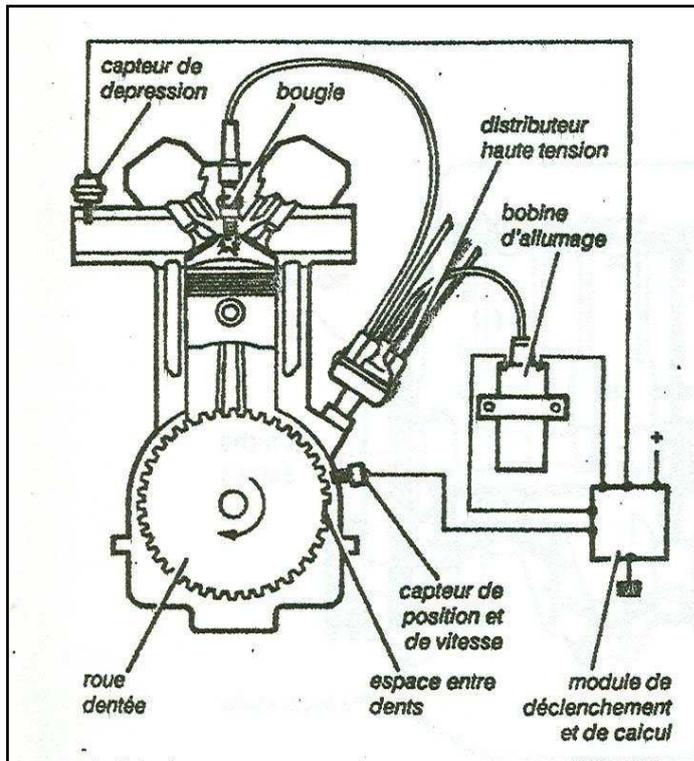


Fig 61 : Système d'allumage électronique

4.2. L'allumage à rupteur transistorisé :

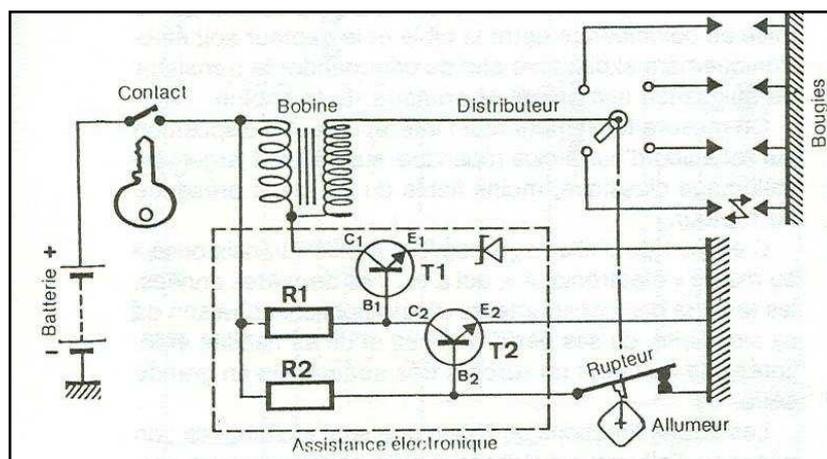


Fig 62 : Schéma de principe transistorisé

figure ci-contre illustre le fonctionnement d'un allumage à rupteur transistorisé dans lequel l'allumeur-distributeur reste classique.

Le rupteur étant fermé, la base du transistor T2 a un potentiel négatif (elle est court-circuitée), ce qui a pour effet de bloquer T2.

Première phase :

A la fermeture du contact, la base de T1 est portée à un potentiel positif, à travers la résistance de polarisation R1. L'établissement du courant base-émetteur débloque le transistor T1 qui devient passant. Le courant collecteur-émetteur (C1- E1) circule et permet l'établissement du courant primaire dans la bobine.

Deuxième phase :

L'ouverture des grains du rupteur jouant le rôle de déclencheur, la base de T2 qui était négative, devient instantanément positive à travers la résistance de polarisation R2. Un courant base-émetteur (B₂-E₂) s'établit, ce qui a pour effet de débloquent T2. Il devient conducteur. La base de T1 est court-circuitée, c'est-à-dire portée à un potentiel négatif. T1 court-circuité est bloqué et interrompt la circulation du courant dans le primaire de la bobine. Puis les grains se ferment de nouveau, T2 est bloqué. T1 devient passant, le courant circule dans le primaire de la bobine, et le cycle recommence.

4.3. L'allumage électronique intégral :

L'allumage électronique intégral ne comporte aucune pièce en mouvement. Un certain nombre de capteurs émettent des signaux électriques reçus par un calculateur électronique.

Après traitement des informations celui-ci transmet au bobinage primaire des variations de courant permettant l'obtention d'une force électromagnétique (f.é.m.) induite élevée au moment le mieux adapté aux conditions instantanées de fonctionnement.

Un ou plusieurs capteurs sont fixés dans des positions angulaires précises sur un carter, à proximité immédiate du volant moteur.

Un ou plusieurs plots métalliques sont fixés sur les périphéries du volant.

Lorsqu'un plot passe sous un capteur, ce dernier émet un signal électrique transmis au calculateur. La position des capteurs et la valeur des signaux émis permettent de détecter :

- La vitesse de rotation du moteur,
- Le point d'avance initiale,
- Le point d'avance maximale.

D'autres sondes ou capteurs permettent d'enregistrer notamment :

- La pression d'admission,
- La température,
- Les détonations.

Le calculateur, après analyse des données, détermine avec précision le point d'allumage.

