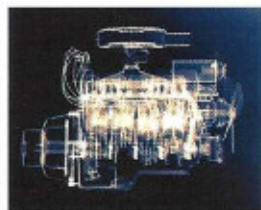




Les moteurs à explosion

DE LA MACHINE À VAPEUR AU MOTEUR À EXPLOSION



Le moteur à combustion interne à piston est apparu au XVII^e siècle. C'est le Hollandais Christian Huygens qui le met au point en 1670 avec l'aide de Denis Papin, père de la machine à vapeur. Il s'agissait en fait d'un prototype très peu pratique qui employait la poudre à canon comme combustible ! Généralement, on considère que le moteur à combustion interne à piston, réellement utilisable, a été inventé par Etienne Lenoir (1822). Aujourd'hui, ce moteur, très répandu, équipe notamment les automobiles et les motos, mais aussi navires, avions et locomotives. Il en existe de nombreuses variantes, mais très schématiquement, dans sa forme la plus simple, on peut l'imaginer essentiellement comme une seringue où un piston peut se mouvoir à l'intérieur d'un cylindre. Le qualificatif « interne » a été adopté pour rappeler que dans ce type de moteur, la combustion a lieu à l'intérieur du cylindre. Aujourd'hui, la puissance unitaire de ces moteurs va de quelques watts à 50 mégawatts avec un rendement d'environ 25 à 40 %. Il existe deux grandes catégories de moteurs à combustion interne à piston : les moteurs à explosion et les moteurs diesel. Ici, nous allons nous intéresser aux moteurs à explosion. Il existe trois principaux types de moteurs à explosion : le moteur 4 temps alternatifs, le moteur 2 temps alternatifs, et le moteur à piston rotatif.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de base reste fondamentalement toujours le même : à l'intérieur du cylindre, la combustion du carburant élève la pression, ce qui pousse le piston et permet d'effectuer un travail moteur. Puis, le piston retourne à sa position initiale pendant que les gaz en expansion sont évacués ; et le cycle recommence. Le mouvement de va-et-vient rectiligne du piston est transformé en mouvement rotatif grâce à un mécanisme bielle-manivelle. Un temps est un mouvement de bas en haut ou de

haut en bas d'un piston. Dans les moteurs 4 temps ou 2 temps, le cycle est complété à l'issue respectivement de 4 ou 2 mouvements (temps) de piston, ce qui leur vaut leurs noms. Les moteurs 2 temps sont généralement employés sur des véhicules légers (les **solex**, par exemple).



Cependant, quel que soit le type de moteur, il y a toujours quatre phases : d'abord l'admission du mélange combustible-air dans le cylindre, puis sa compression, ensuite son explosion suivie de son expansion, enfin l'échappement des gaz de combustion hors du cylindre. Chacun des types de moteurs a ses avantages et ses inconvénients.

MOTEUR 2 TEMPS

Dans le cycle d'un moteur à combustion interne à deux temps, les quatre phases sont réalisées en deux temps, c'est-à-dire lors d'un seul tour du vilebrequin, cette



pièce tournante entraînée par les pistons. Cela signifie que deux phases sont accomplies lors de chacun des deux mouvements (aller

et retour) du piston au cours d'un cycle. Dans un moteur deux temps, le cylindre comporte deux compartiments que sépare le piston. Le compartiment de combustion est équipé de deux ouvertures, appelées « lumières », astucieusement placées. L'une, permet l'échappement des gaz brûlés vers l'extérieur ; la deuxième met ce compartiment en communication avec l'autre compartiment. Ce dernier est lui aussi muni d'une lumière permettant l'admission du mélange air-combustible. Lorsque le piston achève au cours d'un cycle sa course vers le haut, comprimant le mélange juste avant son explosion (déclenchée par une bougie), il ouvre en même temps la lumière « admission ». Un mélange frais combustible-air destiné à exploser au cycle suivant se précipite alors dans le compartiment du bas en raison de la dépression que le mouvement vers le haut du piston y a créée. Le temps « montée » réalise donc simultanément la compression (du mélange qui se trouve dans la chambre de combustion) et l'admission (d'un mélange frais dans le compartiment du bas). Après l'explosion-expansion, le piston descend. Dans sa course vers le bas, il ouvre d'abord la lumière d'échappement, permettant l'évacuation des gaz brûlés. Puis il bouche la lumière d'admission tout en ouvrant la lumière qui fait communiquer les deux compartiments. En raison de son mouvement vers le bas, le piston bouscule le mélange frais, si bien que celui-ci est transféré dans le compartiment de combustion, avant d'être comprimé. Là, une nouvelle étincelle démarrera un nouveau cycle. Le temps « descente » permet donc de réaliser simultanément les

phases explosion-expansion et échappement des gaz.

MOTEUR 4 TEMPS

Dans le cycle à quatre temps, il y a un seul compartiment, la chambre de combustion. Par ailleurs, il y a un temps pour chacune des quatre phases. Celles-ci sont complétées après deux tours de vilebrequins, deux va-et-vient (et non un va-et-vient comme dans le cycle deux temps). Le cylindre, équipé de son piston, est muni d'une bougie, comme dans le moteur deux temps, mais ici, à la place des lumières, il y a deux soupapes, une d'admission et une d'échappement. Au premier temps, les deux soupapes sont fermées, le mélange air-combustible est comprimé dans la chambre : une étincelle établie par la bougie provoque la combustion et l'expansion. Le piston est poussé vers le bas (premier temps), mais remonte aussitôt (deuxième temps) après un demi-tour du vilebrequin. Pendant la remontée, la soupape d'échappement s'ouvre, permettant aux gaz de combustion de s'échapper. Puis, elle se ferme. La soupape d'admission s'ouvre et le piston descend (troisième temps) aspirant un mélange air-carburant dans la chambre. Enfin, la soupape d'admission se ferme et le piston remonte (quatrième temps) comprimant le mélange qui est alors prêt à subir une nouvelle combustion. Et le cycle recommence.

COMPARAISON 2 TEMPS - 4 TEMPS

Le moteur deux temps offre certains avantages par rapport au moteur

quatre temps, notamment à cylindrée égale, une puissance supérieure d'environ 60 %, mais aussi une construction et un entretien plus simples. Il est également plus compact et plus léger. En revanche, son rendement est plus faible, car l'admission du mélange frais dans la chambre de combustion et l'échappement des gaz brûlés de cette même chambre s'effectuent quasiment simultanément. Il en résulte un mélange entre les gaz brûlés d'un cycle et le mélange frais du cycle suivant. Aussi, tandis qu'une partie du mélange frais s'échappe, des gaz brûlés restent dans la chambre de combustion et gênent le fonctionnement.

LES CYLINDRES

Les moteurs à quatre temps ou deux temps alternatifs comprennent généralement plus d'un cylindre, habituellement 1 à 3 cylindres pour un deux temps, et de 2 à 12 pour un quatre temps, mais le nombre de cylindres peut atteindre 32 ! Ainsi, tandis que dans le monocylindre quatre temps que nous avons vu plus haut, il y avait un seul temps moteur pour 2 tours complets de vilebrequin, il y en a deux avec deux cylindres, et quatre dans un quatre cylindre. Dans ce derniers cas, on obtient donc un temps moteur pour quatre demi-tour du vilebrequin. Cela tient au fait qu'à un instant donné les quatre cylindres ne sont pas dans la même phase de leur cycle : chacun se trouve dans l'une des quatre phases, si bien que l'un des quatre cylindres est nécessairement en phase moteur. Avec 12 cylindres, on obtient un



fonctionnement encore plus uniforme. Les dispositions les plus fréquentes des cylindres sont la disposition en ligne, ou en deux rangés qui, la plupart du temps forment entre elles un angle ; ces moteurs sont dits « en V » : V4, V6, V8... selon le nombre de cylindres. On emploie également la disposition en étoile, uniquement en aviation, souvent avec 7 cylindres.

MOTEUR ROTATIF

La principale différence entre un moteur rotatif et les moteurs vus plus haut réside dans l'architecture intérieure. Là aussi, il existe plusieurs

Le moteur en dates

1856
Invention du moteur à gaz

1860
Premier moteur à explosion à gaz de Lenoir

1862
Moteur à 4 temps breveté par Beau de Rochas

1876
Moteur à 4 temps construit par Otto

1878
Le moteur à 2 temps

1883
Le moteur à essence de Daimler

1956
Le moteur rotatif de Wankel

La Ferrari Enzo



660 ch
1 ch (cheval vapeur) vaut 735,5 W

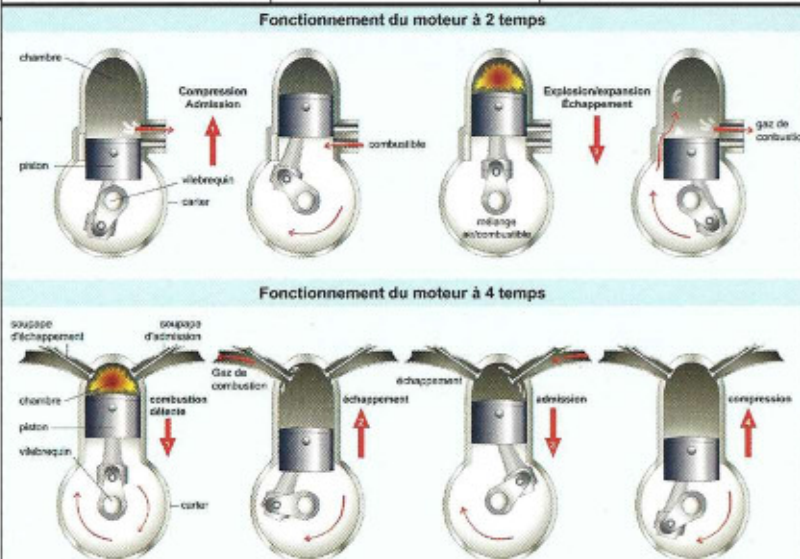
Le moteur de voiture le plus puissant

Le solex



0,7 ch
environ 1000 fois moins que la Ferrari Enzo !

Moteur peu puissant



admission



compression



combustion détente



échappement



mélange frais avant de l'amener au niveau de la bougie où une étincelle entraîne la combustion. Le rotor refoulé ensuite les gaz brûlés par la lumière d'échappement et le cycle recommence. En un tour complet du piston, ce cycle se répète trois fois. Les avantages du Wankel sont sa longévité, sa fiabilité, sa compacité. Ses inconvénients sont sa consommation élevée et le fait qu'il pollue beaucoup. Aussi, il n'a pas eu le succès escompté.

DÉMARREUR

Tous les moteurs à combustion interne ont besoin d'un dispositif de démarrage, car contrairement aux moteurs à vapeur, ils ne démarrent pas d'eux-mêmes. Le lancement est effectué à l'aide d'un moteur électrique alimenté par la batterie d'accumulateurs. Il faut qu'il fasse tourner le moteur à une vitesse suffisante pour permettre son démarrage même à basse température.

ADMISSION DE L'ESSENCE

L'admission de l'essence est une étape clé dans le bon fonctionnement d'un moteur à explosion. En effet, afin de produire les meilleures performances, il est nécessaire de réaliser une bonne pulvérisation et homogénéisation de l'essence dans l'air et de bien doser ce mélange, appelé carburant. On emploie principalement deux méthodes, chacune avec de nombreuses variantes : la méthode dite à injection, notamment électronique, et celle mettant en jeu un carburateur.

LE CARBURATEUR

Le carburateur assure la carburation, c'est-à-dire la formation du mélange explosif air-essence. Dans sa forme la plus simple, il est essentiellement constitué d'une cuve à niveau constant à la pression atmosphérique en communication avec un gicleur qui débouche, au niveau d'une buse, dans une chambre de mélange dotée d'un papillon. L'essence arrive dans la cuve par gravité ou grâce une pompe. La dépression provoquée dans la chambre de mélange par le mouvement du piston en phase d'aspiration y produit un appel d'air. L'air pénètre donc dans la chambre, mais en raison de l'étranglement, il subit un accroissement de vitesse au niveau de la buse. Cela s'accompagne d'une chute de pression par effet dit « Venturi » au niveau de l'ajutage (trou calibré du gicleur), si bien que l'essence est aspirée dans la chambre de mélange où elle se mélange avec l'air. Puis, le papillon, dont la vitesse de rotation est commandée par la pédale d'accélération, règle le débit du

mélange carburé qu'il envoie dans le cylindre.

LES COMPLICATIONS

Dans la pratique, les choses se compliquent car la dépression dans le diffuseur est d'autant plus élevée que la vitesse de rotation du moteur est élevée. Aussi, le carburateur simple décrit ci-dessus ne permet une carburation correcte que pour un régime de marche déterminé : pour des régimes plus élevés, le mélange devient trop riche en essence. Par ailleurs, au démarrage, la vitesse du moteur étant trop faible, la dépression créée est insuffisante et le mélange carburé est cette fois trop pauvre en essence, d'autant que le démarrage se fait à froid. La résolution d'une multitude de problèmes de ce genre entraîne l'adjonction de nombreux dispositifs et d'accessoires permettant de corriger et d'améliorer les performances du carburateur de base, notamment en adaptant le dosage requis pour les diverses allures du moteur : gicleur compensateur, pompe de reprise, admission d'air secondaire... Nous n'en mentionnerons qu'un, le starter.

LE STARTER

La solution au problème relatif au démarrage consiste à employer un starter qui constitue en lui-même un petit carburateur réglé pour le démarrage à froid. Lorsque le moteur atteint son régime normal, le starter passe le relais au carburateur principal.

L'INJECTION ÉLECTRONIQUE

La carburation peut également être réalisée par injection électronique du combustible, celle-ci étant contrôlée par une puce programmée par le constructeur. L'injection électronique permet une très bonne gestion de la carburation. Grâce à un dosage très précis en temps et en quantité, optimisant ainsi les performances du moteur, on réduit la consommation d'environ 10 %, tout en augmentant la puissance jusqu'à 20 % dans certains cas. Par ailleurs on réduit également la pollution occasionnée par les moteurs. Il existe deux sortes d'injection électronique : l'injection indirecte qui consiste à injecter le combustible dans le conduit d'admission à l'aide d'une pompe et d'un injecteur, et l'injection directe, une technique plus récente, où le combustible est injecté directement dans le cylindre. Sans doute, cette dernière méthode supplantera à terme l'injection indirecte.

ALLUMAGE ET COMBUSTION

Hormis dans les diesels, les cylindres de tous les moteurs à combustion interne

à piston sont munis d'un dispositif, appelé bougie, destiné à enflammer le carburant. La **bougie** est



essentiellement constituée de deux électrodes entre lesquelles on applique une tension d'environ 10 à 20 000 volts fournie par un transformateur alimenté par un courant débité par la batterie, et haché par un rupteur. Cela permet de faire jaillir une étincelle entre les deux électrodes : la combustion démarre. Normalement, la vitesse de propagation du front de combustion est de 30 mètres par seconde. Or, le rendement d'un moteur augmente avec son taux de compression (rapport entre le volume maximal et le volume minimal du gaz dans la chambre de combustion). On est donc amené à élever la valeur de ce taux, généralement inférieure à 10. Cependant, si le taux de compression est trop élevé, ou s'il y a un point chaud dans le cylindre, un phénomène dit d'auto-allumage peut parfois se produire et cela peut à son tour provoquer une détonation (cliquetis) qui se caractérise par une vitesse du front cinquante à soixante fois plus élevées. Cela détériore le moteur. Pour y remédier, on peut augmenter la température d'inflammation du carburant par modification de sa composition, par adjonction de produits anti-détonants ou en élevant son indice d'octane qui indique le pouvoir anti-détonant d'un carburant.

LE REFROIDISSEMENT

En raison de la chaleur dégagée par la combustion, il est indispensable d'équiper les moteurs avec un système de refroidissement. Certains moteurs d'avions, voire d'automobiles sont refroidis par l'air : la surface extérieure du cylindre est divisée en une série d'ailettes de refroidissement ayant une importante surface métallique, ce qui permet d'évacuer efficacement la chaleur hors du cylindre. Mais le refroidissement à l'eau est le plus couramment employé dans les moteurs de voiture. En fait, l'eau est mélangée à des dérivés de l'éthylène glycol. Dans ce cas, les cylindres sont enfermés dans une chemise externe, où une pompe entraînée par le vilebrequin fait circuler l'eau. Celle-ci se refroidit à son tour dans les tubulures d'un radiateur sur lequel un ventilateur souffle de l'air.

ACCROÎTRE LA PUISSANCE

La puissance d'un moteur à explosion dépend de plusieurs facteurs. Elle est proportionnelle au nombre de cylindres, à leur volume, au régime et à la pression moyenne qui règne dans le cylindre au cours d'un cycle. Pour accroître la puissance maximale d'un moteur à combustion interne à piston, on peut donc agir sur la cylindrée, le régime, mais aussi sur la pression d'admission, appelée aussi pression d'alimentation. Dans certains moteurs

justement, il existe une installation dite de suralimentation qui permet de comprimer le mélange à l'aide d'un compresseur avant son entrée dans les cylindres. La suralimentation est surtout employée en aviation pour compenser la chute de la pression atmosphérique avec l'altitude. Mais on l'emploie également dans les moteurs des voitures de hautes performances comme les voitures de course. Les deux compresseurs les plus couramment employés sont le compresseur mécanique et le **turbocompresseur**,



appelé aussi turbosoufflante. Pour comprimer le mélange, le compresseur mécanique puise son énergie dans le mouvement du vilebrequin. Dans le moteur turbo, ce sont les gaz d'échappement qui sont employés à cet effet. En effet, tous les moteurs classiques, dits atmosphériques, n'utilisent que 60 % de l'énergie qu'ils consomment alors que 40 % sont évacués en pure perte avec les gaz résiduels d'échappement. Le principe du moteur turbo, apparu en **Formule 1**



en 1977, consiste à utiliser une partie de cette énergie gaspillée pour donner au moteur plus de puissance. A cet effet, dans le moteur turbo, on dirige les gaz d'échappement vers une turbine où ils se détendent, entraînant sa rotation. Celle-ci entraîne alors à son tour un compresseur qui aspire et comprime l'air d'admission grâce à sa grande vitesse de rotation (plus de 100 000 tours/minute). On obtient ainsi une légère surpression de 0,5 à 1,5 bar. Ce gavage en air ainsi obtenu permet un meilleur remplissage des chambres de combustion et autorise l'injection d'une quantité plus importante d'essence. Toutefois, pour tirer le meilleur profit de la suralimentation, il y a lieu de refroidir l'air après compression au moyen d'un échangeur appelé « intercooler ».

LE MOTEUR PROPRE

L'environnement étant devenu une préoccupation essentielle, les moteurs ont évolué dans le sens d'une limitation des rejets nocifs pour l'homme et l'environnement. Certes la pollution liée au gaz d'échappement dépend de la nature du carburant. Pour la combustion des hydrocarbures, les dispositifs tels que le **pot catalytique**



ont ainsi été adjoints aux moteurs pour éliminer au maximum les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone et les hydrocarbures imbrûlés. En attendant l'utilisation de l'hydrogène comme carburant.

types de moteurs de ce genre. Il n'y a jamais ni bielle ni vilebrequin, puisque le mouvement du piston est rotatif. Le plus connu de ces moteurs est le moteur Wankel, mis au point en 1954 par l'Allemand **Félix Wankel** de la



société N.S.U. Ici, le piston est en fait un rotor de section triangulaire aux coins légèrement arrondis et aux côtés bombés qui tourne de manière excentrée à l'intérieur d'un cylindre de forme « ovale ». Celui-ci est muni d'une bougie et de deux lumières, la première pour l'admission du mélange frais, la seconde pour l'échappement des gaz brûlés. En raison de cette géométrie, le cylindre est à chaque instant divisé en trois volumes, chacun en contact avec la bougie, la lumière d'admission et la lumière d'échappement. Voici comment fonctionne le Wankel : le mélange frais air-combustible pénètre par la lumière d'admission pendant que les gaz brûlés s'échappent par la lumière d'échappement. Cela rappelle le moteur à 2 temps, mais la grande différence ici est qu'il n'y a pas de mélange possible entre les deux, puisque les deux volumes en contact avec les lumières sont hermétiquement séparés. Le rotor comprime alors ce

Fonctionnement d'un carburateur

