

Le moteur "Diesel" est un moteur alternatif à combustion interne dans lequel l'allumage du mélange s'effectue par simple compression.

Les diesels sont appelés moteurs à **autoallumage**, par opposition aux moteurs à essence, appelés moteurs à allumage commandé. Dans un premier temps, l'air porté à une pression très élevée s'échauffe : lorsque la température dans la chambre de combustion est suffisante, le combustible est injecté en fines particules qui s'enflamment spontanément au contact de l'air. Les moteurs Diesel, qui ont un rendement thermique plus élevé que les moteurs à essence, sont préférés pour les unités de forte puissance (plus de 3 000 ch) : c'est pourquoi ils sont utilisés pour la propulsion des navires.

Dans ce cas, il s'agit de moteurs à simple effet fonctionnant selon le cycle à deux temps à des régimes très lents (120 à 180 tr/mn). Ils développent des puissances allant jusqu'à 45 000 ch et sont capables de brûler dans de bonnes conditions (faible consommation spécifique) des combustibles de qualité inférieure (huiles lourdes). Par rapport aux groupes à essence, ces gros moteurs permettent une réduction du tiers de la consommation. De tout temps, les diesels furent destinés aux véhicules industriels à cause de leur fiabilité. L'inconvénient caractéristique du poids et de l'encombrement leur a longtemps interdit l'application automobile.

Le cycle Diesel

C'est le cycle de fonctionnement des moteurs à allumage par compression. Le cycle théorique se compose d'une **détente isobare**, d'une **détente adiabatique** et d'une **transformation isochore**).

Dans les débuts, le cycle de fonctionnement comportait une phase théorique de combustion à pression constante, comme Rudolf Diesel en avait eu l'idée. Pour un fonctionnement à quatre temps du moteur, c'est-à-dire pour un cycle se déroulant pendant deux tours de vilebrequin et quatre courses du piston, les opérations à réaliser étaient les suivantes :

- Introduction de l'air dans le cylindre (par aspiration naturelle ou mécanique au moyen d'un compresseur)
- compression de la charge d'air et, à partir d'environ 9/10 de la course de compression, injection d'huile combustible finement pulvérisée par insufflation d'air comprimé à 60 et 80 atmosphères et allumage spontané de ce combustible
- combustion du mélange à pression presque constante (la pression atteinte à la fin de la course de compression était d'environ 32 atmosphères) pendant 1/10 de la course de détente, suivie de la détente proprement dite des gaz brûlés, avec production de travail
- Expulsion mécanique des produits de la combustion par l'action de poussée du piston pendant sa remontée. Le rendement thermique était caractérisé par les valeurs de deux rapports caractéristiques

$$\rho = V_i / V_f$$

- Le rapport volumétrique qui est le rapport du Volume initial au Volume à la fin de la course de compression

$$\delta = V_c / V_f$$

- Le rapport du volume V_c en fin de combustion au volume en fin de compression.

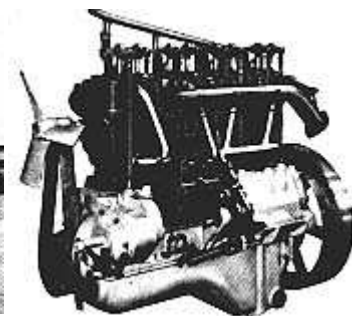
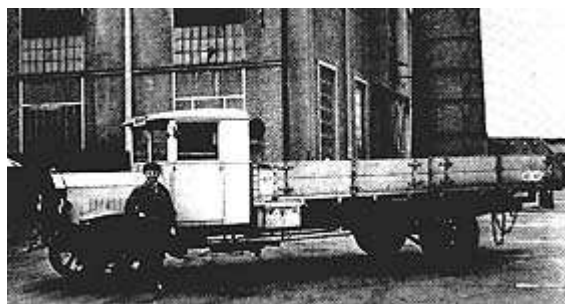
L'expression qui permettait de calculer le rendement thermique était par conséquent :

$$\eta_t = 1 - (1/\rho)^{k-1} \times \frac{\delta^{k-1}}{(\delta-1) \times K}$$

K étant l'exposant de l'adiabatique, on remarque que ce rendement était d'autant plus élevé que le taux de compression ρ était plus grand et que le rapport δ , ou le volume V_c , était plus petit.

Historique

Initialement, les moteurs Diesel furent adoptés presque exclusivement pour des installations fixes. Après quelques essais sporadiques sur des embarcations fluviales, la véritable utilisation natale débuta en 1911 pour s'étendre ensuite au, submersibles et, en 1925, à l'équipement des locomotives. Ce ne fut qu'après 1930 que débutèrent ses réelles applications routières : autobus, camions, voitures automobiles.



Moteur Benz 1923 et camion sur lequel il était monté.

Les **locotracteurs** Diesel se sont imposés depuis 1934 et bénéficièrent d'une diffusion rapide et exceptionnelle aux États-Unis, à cause des conditions particulières de leurs transports ferroviaires. beaucoup plus lourds que ceux d'Europe et parcourant des distances beaucoup plus longues, facteurs qui permettaient une bonne utilisation des deux caractéristiques propres au moteur Diesel :

sa puissance unitaire élevée et son autonomie évidente.

L'introduction des systèmes d'injection mécanique permit d'éliminer le compresseur d'air d'insufflation qui abaissait d'environ 7% le rendement du moteur, de simplifier les mécanismes de distribution et de régulation et d'augmenter la vitesse de rotation, ce qui conduisit à une réduction de l'encombrement, du poids et du prix de revient.

L'injection directe le l'huile combustible fut inventée dans les années 1910-1911. presque simultanément en Allemagne et en Angleterre.

En 1922 apparurent les premiers diesel relativement rapides et légers. Ces moteurs ne correspondaient plus aux cycles initiaux de celui de **Rudolf Diesel**. La différence tenait au phases d'injection, d'allumage et de combustion (cette dernière étant caractérisée par une élévation rapide de la pression).

Dans le processus de combustion, on distingue désormais **trois périodes successives** :

- La première est influencée par le phénomène du retard à l'allumage (intervalle de temps pendant lequel il y a formation de foyers d'allumage et une combustion presque sans flamme caractérisée par une augmentation de pression modérée) ;
- La seconde, partant des divers foyers d'allumage et intéressant la totalité de l'huile combustible injectée dans la chambre de combustion, est caractérisée par une augmentation brutale de pression ;
- La troisième, à combustion plus lente, se distingue par une petite augmentation supplémentaire de la pression.

Diesel à quatre ou à deux temps

Un diesel à quatre temps comprend les phases suivantes, correspondant chacune à une course du piston :

- 1) aspiration d'air (par dépression du piston avec ou sans intermédiaire d'un compresseur)
- 2) compression de l'air (14 à 22)
- 3) injection de combustible en fin de course et inflammation de celui-ci par auto-allumage
- 4) détente et échappement.

Dans le cycle à deux temps toutes ces phases s'effectuent en un seul tour du vilebrequin donc deux courses de piston :

- 1) balayage du cylindre, admission. compression, injection et allumage
- 2) détente, début de l'échappement.

Ce cycle élimine deux courses, mais nécessite une alimentation mécanique du moteur. Celle-ci peut être réalisée par une soufflante de balayage et de réalimentation en air centrifuge ou rotative (certaines réalisations à piston dans le passé).

Pour des petits moteurs, la pompe peut être réalisée par la compression dans le carter, mais le remplissage est trop faible dans ce cas et cette solution est extrêmement rare.

Dans un deux-temps à carter-pompe, la cylindrée utile est inférieure à la cylindrée unitaire à cause des lumières d'admission d'air et de transfert, en conséquence, le rapport volumétrique sera nettement inférieur à la valeur théorique.

Dans ces conditions, la puissance développée par un tel moteur sera toujours inférieure à celle d'un moteur de cylindrée équivalente fonctionnant à quatre temps.

Les moteurs Diesel suralimentés

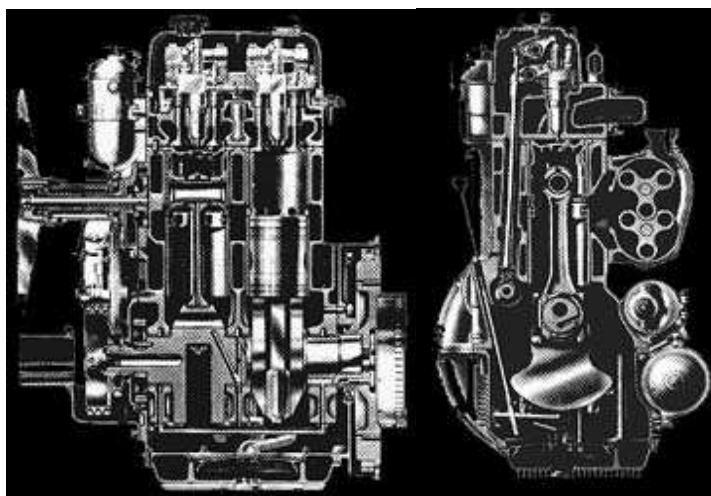
La suralimentation réalisée grâce à un compresseur d'air permet d'augmenter considérablement la puissance spécifique des diesels à deux ou à quatre temps. Rapidement répandue dans les applications marines et industrielles, elle ne s'étendit pas au domaine automobile. L'entraînement d'un compresseur se soldant par une perte de puissance, on utilise l'énergie des gaz d'échappement pour entraîner une turbine reliée au compresseur (**turbocompresseur**).

L'augmentation du taux de suralimentation d'un moteur implique l'élévation de la pression moyenne effective (ce qui est avantageux pour la puissance) et celle de la pression maximale.

Ce dernier aspect amène à reconsidérer le problème des contraintes mécaniques et à renforcer certains organes.

Dans les diesels à vitesse moyenne, le rapport pression maximale - pression moyenne est de l'ordre de 10, tandis qu'il peut dépasser cette valeur pour les moteurs rapides.

Toute l'habileté des constructeurs s'exercera à limiter autant que possible ce rapport, en particulier en s'efforçant de réduire la pression maximale. Le rapport pression maximale/pression moyenne est un facteur déterminant pour le rapport poids-puissance d'un moteur.



Moteur Lancia Beta 1953

La puissance dépend en effet de la pression moyenne tandis que le poids, qui est lié à la robustesse des organes mécaniques, dépend de la pression maximale. Le rapport poids-puissance est plus défavorable pour les diesels que pour les moteurs à essence fonctionnant suivant le cycle Beau de Rochas. Cet inconvénient est lié aux valeurs élevées des rapports de compression et de détente (qui, par ailleurs, conditionnent un rendement thermique élevé).

Les progrès de la technologie, dus à l'augmentation de ces valeurs dans les moteurs à explosion principalement, tendent à rapprocher les performances de ces deux catégories de moteurs.

Les chambres de combustion

Les études de chambres de combustion sont extrêmement soignées pour éviter le cognement (diesel knock) et les bruits excessifs qui caractérisaient les premiers diesels rapides.

La première condition à réaliser est d'assurer le contact de chaque particule injectée avec l'air comprimé dans la chambre pour limiter le délai d'inflammation. La seconde consiste à éviter un fonctionnement trop brutal et une pression maximale trop élevée.

Il existe deux solutions :

Imprimer au combustible, grâce à une pression d'injection très élevée, une vitesse telle que les gouttelettes puissent atteindre toutes les parties de la chambre de combustion ;

Créer une turbulence de l'air qui lui fera rencontrer les gouttelettes de combustible.

Avec le premier procédé, tout mouvement de rotation de l'air ne sera qu'un complément avantageux (citons le masquage partiel

de la soupape d'admission d'air par un écran, système Hesselman en 1930).

Le second procédé oblige à concevoir des chambres de combustion à haute turbulence ou bien des préchambres d'allumage dans lesquelles s'amorcera la combustion.

Les études et recherches expérimentales du physicien Harry Ricardo ont attribué la brusque augmentation de pression constatée peu avant le point mort haut à trois facteurs :

- Le délai d'allumage
- L'allumage du mélange dans un temps très bref, déterminant une élévation très rapide de la pression (transformation presque à volume constant) ;
- Une période de combustion plus lente à la fin de laquelle on enregistre la pression maximale.

Ces phases ne sont pas toujours nettement identifiables. Enfin, on ne peut exercer une action régulatrice que sur la dernière, en contrôlant l'injection du gas-oil. Le délai d'inflammation de l'huile dépend principalement :

- Des caractéristiques des gas-oils et huiles pour diesels ;
- Des températures atteintes dans la chambre de combustion et des pressions finales de compression ;
- Des caractéristiques techniques du système d'injection ;
- De la forme et des dimensions de la chambre de combustion.



Début de la compression

L'air aspiré est animé d'un mouvement tourbillonnaire microscopique créé par les effets de l'aspiration et les formes du piston et de la chambre



Début de l'injection

La compression subdivise le tourbillon principal en une multitude de tourbillons (turbulences) mais le combustible ne s'allume pas immédiatement.



Combustion

La combustion se propage instantanément grâce à la turbulence mais elle continue pendant un certain temps car le combustible est injecté progressivement.

[RETOUR ACCUEIL](#)

A partir des recherches de Ricardo, on a remarqué que le délai d'allumage et la première phase de combustion étaient pratiquement constants quels que soient le régime et la charge du moteur. On a donc prévu un angle d'avance dont la valeur augmentera en fonction de la vitesse de rotation.

La seconde phase (combustion lente) correspond par contre à un angle de rotation du vilebrequin assez constant aux divers régimes du moteur. Les chambres de combustion simples les plus courantes ont une cavité de forme hémisphérique creusée dans le piston. Elles se caractérisent, grâce à cette disposition, par un rapport surface-volume très faible, ce qui limite les pertes de chaleur.

Le combustible est injecté sous une pression de 300kg/cm² environ. Le mélange est facilité par la turbulence créée lors de l'admission de l'air et par un écran partiel masquant la soupape d'admission.

Ces dispositions permettent d'abaisser les rapports volumétriques (13 - 15 : 1) et de supprimer les bougies de réchauffage. D'autre part, la pression moyenne est élevée.

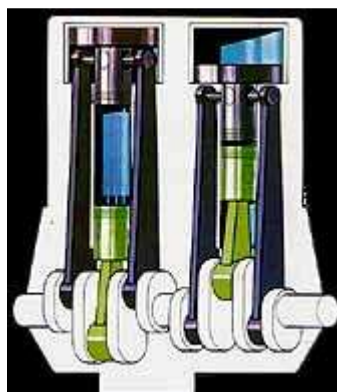
Ces moteurs se caractérisent par un rapport pression maximale pression moyenne relativement élevé, ce qui se traduit par un fonctionnement brutal. Le principe de la chambre d'allumage auxiliaire a été appliqué pour la première fois par la Benz Motorenfabrik. Le volume de cette cavité supplémentaire représente environ 40 % de l'espace intérieur destiné au déroulement de la combustion.

Le combustible s'y enflamme et brûle partiellement, créant des mouvements de turbulence qui poussent la charge dans la chambre principale. Dans le conduit chambre-cylindre la turbulence augmente, ce qui facilite le mélange du combustible avec l'air. Les inconvénients de cette solution sont :

- un refroidissement lors du passage des gaz dans la chambre principale (donc une diminution du rendement thermique) ;
- la nécessité de monter une bougie de réchauffage. Les avantages, qui sont :
- une limitation de la pression maximale .
- un fonctionnement du moteur moins brutal .
- des gaz d'échappement moins polluants.

et ne compensent pas les inconvénients.

Dans la réalisation de chambres à turbulence contrôlée (chambre auxiliaire), il faut signaler encore la contribution de H. Ricardo qui, le premier, a vu l'importance qu'il y avait à créer un mouvement tangentiel de l'air, tourbillonnant autour de l'axe du cylindre. Le tourbillon libre continue durant toute la course de compression ; en injectant le gas-oil perpendiculairement à l'axe du cylindre, on obtient une répartition rapide et complète des gouttelettes dans la masse d'air comprimé. Cette solution permet d'abaisser la pression d'injection (120 - 150 kg/cm²) et assure une consommation spécifique intéressante.



Moteur Diesel à deux temps. Le fonctionnement est analogue aux moteurs à essence à l'exception du fait que le balayage est effectué avec de l'air pur et non avec du mélange. On évite ainsi de rejeter des gaz non brûlés. Le dessin ci contre montre le principe d'un moteur Junkers (années 50). La chambre de combustion est réalisée entre deux pistons opposés qui agissent sur un seul vilebrequin par l'intermédiaire de bielles de longueurs différentes.

Des perfectionnements ultérieurs de ce principe conduisirent aux chambres Ricardo-Comet (réalisée de préférence dans le piston) qui sont encore actuellement très répandues .

La forme initiale, pratiquement sphérique a été abandonnée pour la chambre Whirlpool, caractérisée par l'aplatissement de la partie supérieure de la sphère et la disposition de deux conduits créant le tourbillon. Autre caractéristique de l'évolution de la chambre Ricardo : la bougie d'allumage (formant la partie inférieure de la chambre lorsqu'elle était logée dans la culasse), qui fut remplacée par un second injecteur plus petit et orienté différemment (système Ricardo-Pintaux).

Le principe de la double turbulence prévoit, dans les réalisations actuelles, deux soupapes d'admission, dont les têtes sont

partiellement masquées par des écrans, et deux soupapes pour l'échappement des gaz brûlés : les deux mouvements de turbulence sont ainsi superposés. L'injecteur possède quatre orifices de giclage de diamètre relativement grand et orientés radialement : la pression d'injection est alors plus faible.

Si le rapport volumétrique est au moins égal à 15 :1, il n'est pas nécessaire de prévoir des bougies ; étant donné l'intensité de la turbulence, le délai d'allumage est plus court. Les moteurs à charge stratifiée, d'innovation récente, sont dus à des initiatives visant à perfectionner la combustion dans les moteurs poly carburants demandés par l'armée.

Dans les dernières années du XIXème siècle, Nikolaus August Otto tenta, sans succès, de se livrer à des recherches dans cette voie. La stratification consiste à former une charge en plusieurs couches de dosages différents et doit toujours être compatible avec la création d'une turbulence suffisante, devant être d'autant plus forte que le régime sera rapide.

La turbulence tend en effet à s'opposer à la stratification, ce qui constitue une difficulté majeure. Les moteurs à charge stratifiée étant caractérisés par des rapports course-alésage inférieurs à l'unité, possèdent un meilleur rendement thermique et s'avèrent moins polluants; ils devraient théoriquement réunir les avantages des diesels et des moteurs à explosion.

Le diesel rapide

Les remarquables progrès réalisés ces dernières années : (ci contre : Moteur Mercedes 190 D 1950)

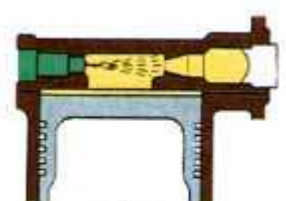
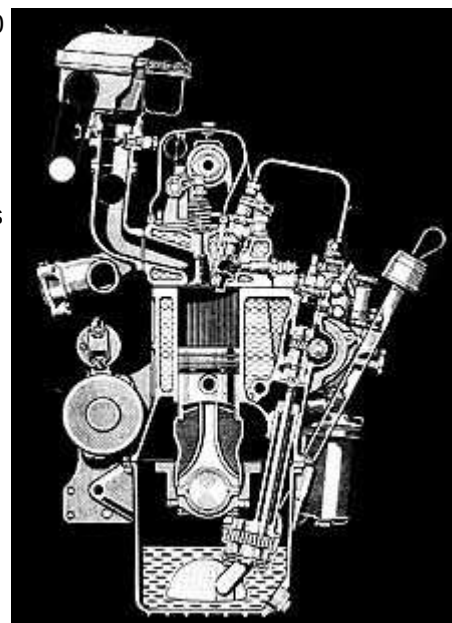
- Augmentation des régimes ;
- Réalisation d'un cycle voisin du cycle théorique à volume constant ;
- Construction à partir d'un moteur à essence ; ont permis de réduire le poids et l'encombrement unitaires sans pour autant réduire les caractéristiques internes des moteurs. Par rapport aux moteurs à essence, les diesels rapides se caractérisent par :
- Un rapport volumétrique très élevé, dépassant parfois 22 : 1 ;
- Une plus grande turbulence dans la chambre de combustion ;
- Une meilleure compatibilité avec un fonctionnement "à charge stratifiée" ;
- L'allumage spontané du combustible (sauf dans la phase de démarrage du moteur à froid qui est facilité par une bougie de réchauffage) ;
- Une consommation spécifique plus basse et l'utilisation d'un combustible dont le prix est de l'ordre de la moitié de celui de l'essence ;
- Des émissions polluantes plus réduites à l'échappement.

Le diesel automobile actuel est un moteur très rapide (4 800-5 000 tr/mn) caractérisé par :

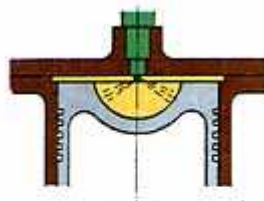
- des rapports course-alésage toujours inférieurs à l'unité ;
- des chambres de combustion avec pré-chambre à turbulence élevée ;
- des rapports et des taux de compression élevés qui atteignent même 22 : 1.

En ce qui concerne les normes antipollution, le diesel est plus avantageux que le moteur à essence :

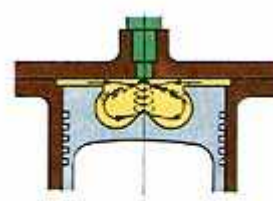
la combustion amorcée dans la préchambre s'achève en présence d'un excès d'air dans la chambre de combustion.



**à chambre
d'accumulation**



**hémisphérique
à injection directe**



**toroïdale à
injection directe**



à préchambre



**à injection directe
moteur deux temps**



**avec préchambre à
turbulence élevée**

Diverses chambres de combustion de moteurs Diesel

Elle est pratiquement complète : les gaz d'échappement ne contiennent que très peu d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures incomplètement brûlés.

Par contre, et ce sont là leurs principaux inconvénients, les moteurs Diesel montés sur des automobiles ont un niveau sonore élevé. On leur reproche également l'odeur de leurs gaz d'échappement.

L'encombrement d'un diesel est approximativement le même que celui d'un moteur à essence de même cylindrée. S'il ne possède pas de carburateurs, bobines, tête d'allumage, etc., son rapport poids-puissance sera toujours supérieur (dimensions plus importantes des parois de cylindres et des organes mobiles).

Ses organes sont capables de supporter des pressions très élevées (le vilebrequin exige un traitement anti-grippage spécial, analogue à celui qui est utilisé en compétition). Les températures de fonctionnement plus élevées et les charges thermiques et mécaniques plus importantes imposent, en outre, un circuit de refroidissement très soigné (chambre de combustion en particulier).

[RETOUR ACCUEIL](#)