



# Les moteurs Diesel

### L'ÈRE DU MOTEUR DIESEL



Le moteur Diesel, également appelé moteur à autoallumage, par opposition aux moteurs à essence ou moteurs à allumage commandé, est connu pour sa puissance unitaire élevée et son autonomie. Initialement adopté presque exclusivement pour des installations fixes, le moteur Diesel a éprouvé des difficultés à s'imposer dans d'autres utilisations, notamment dans les applications routières. Ceci est lié à ses inconvénients caractéristiques que sont l'encombrement et le poids. Ces derniers n'étaient pas compatibles avec les contraintes liées à l'automobile. Depuis, les moteurs Diesel ont évolué et connu ces dernières années une expansion exceptionnelle sur le marché mondial. Elle est due en grande partie à l'introduction des systèmes d'injection mécanique qui ont permis d'augmenter le rendement du moteur, de simplifier les mécanismes de distribution et de régulation et d'augmenter la vitesse de rotation, conduisant à une réduction de l'encombrement, du poids et du prix de revient des moteurs Diesel. Actuellement, la puissance du moteur Diesel est en continue progression, notamment grâce à l'amélioration des turbocompresseurs. Les grands constructeurs automobiles se tournent également vers des systèmes conciliant une plus grande performance et une diminution de la pollution sonore et de l'air.

### L'INVENTION DE RUDOLPH DIESEL

Vingt ans après la mise au point du moteur à essence à quatre temps par Nikolaus Otto, l'ingénieur allemand



**Rudolf Diesel** (1858 - 1913) fabrique en 1897 le premier moteur à allumage par compression.

D'un rendement supérieur aux moteurs à charbon ou à essence, ce moteur est d'abord adopté pour des utilisations fixes. Suite à certains perfectionnements, il est utilisé pour

les engins de forte puissance, en particulier sur les bateaux et les sous-marins. Dès 1925, des locomotives sont équipées de



diesels qui, dans la plupart des cas, entraînent un générateur. Le courant ainsi produit alimente des moteurs électriques qui entraînent les roues. En 1927, ce moteur va connaître un nouvel essor grâce au développement de la pompe à injection diesel par la société Bosch. Cette amélioration technique rendra possible la fabrication de petits moteurs Diesel rapides et, ainsi, apparaîtront les premières véritables applications pour les camions, les autobus et les automobiles dans les



années 30. Les systèmes de suralimentation issus de l'aviation ont aussi beaucoup contribué à améliorer les performances des moteurs Diesel modernes. Aujourd'hui, près de 50 % des Européens qui achètent un véhicule neuf optent pour un diesel. Les progrès techniques ont en effet permis de supprimer un certain nombre de ses inconvénients - fonctionnement bruyant, problèmes de démarrage à froid, etc. - tout en conservant ses avantages - rendement global d'environ 35 % contre 25 % pour un moteur à essence, faible consommation, moindre pollution, etc.

### LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Comme le moteur à explosion à essence, le moteur Diesel est un moteur thermique, c'est-à-dire qu'il transforme de la chaleur en travail mécanique. Cette chaleur (ou énergie thermique) est obtenue par la combustion d'un mélange inflammable à l'intérieur d'un cylindre dans lequel se trouve un piston mobile. La combustion provoque une augmentation de la pression au-dessus du piston, entraînant celui-ci vers le bas et, une fois les gaz en expansion évacués, le piston reprend sa position initiale, prêt à entamer un nouveau cycle. Le piston étant relié par une bielle à un

arbre vilebrequin, ce déplacement linéaire de haut en bas et de bas en haut est transformé en un mouvement rotatif. La principale différence entre un moteur Diesel et un moteur à essence réside dans l'allumage du carburant. En effet, le moteur à essence est à allumage commandé car le mélange air-essence introduit dans le cylindre est enflammé par une étincelle électrique produite à l'aide d'une bougie d'allumage. Le moteur diesel est, quant à lui, à allumage par compression : l'air qui remplit le cylindre est fortement comprimé par le piston de telle sorte que cet air atteigne une température assez élevée pour que le carburant, une fois introduit, s'enflamme spontanément.

### LA STRUCTURE DU MOTEUR

Les différents organes, fixes et mobiles, des moteurs Diesel sont assez semblables à ceux des moteurs à essence. Toutefois, ils sont soumis à un taux de compression et à des niveaux de température bien plus élevés que dans ces derniers. En conséquence, l'architecture des moteurs Diesel doit être plus robuste que dans un moteur à essence. Pendant longtemps, cette robustesse a été obtenue grâce à un dimensionnement plus important des éléments. Cependant, l'amélioration des matériaux, une meilleure conception ainsi que certains progrès techniques ont permis d'alléger ces moteurs, tout en assurant une bonne résistance aux contraintes mécaniques et thermiques.

### LES ORGANES FIXES

#### Le bloc moteur

C'est l'armature dans laquelle sont usinés les cylindres et qui est conçue pour recevoir la culasse, les pistons, la distribution, le carter d'huile ainsi qu'éventuellement, à l'intérieur, l'arbre à cames, le vilebrequin et les chemises. Il est réalisé soit en fonte d'acier, soit en fonte d'aluminium afin de réduire le poids, en particulier pour les moteurs diesel automobile. Il assure la rigidité de la structure du moteur car il doit supporter toutes les contraintes de la combustion (pression, température, etc.) ainsi que celles dues au mouvement des éléments mobiles. Le bloc moteur est fixé à la carrosserie avec des cales élastiques afin de réduire les vibrations et accroître d'autant le confort.

#### La culasse

Elle est située sur la partie supérieure du moteur, délimitant ainsi le haut du cylindre. Elle

possède des conduites pour acheminer l'air et le carburant ainsi que d'autres pour évacuer les gaz brûlés. Elle peut être commune à plusieurs cylindres ou, dans les moteurs industriels, être propre à chaque cylindre. Sa conception est très différente en fonction du moteur qu'elle équipe : dans un moteur à injection indirecte, par exemple, elle comprend une chambre de précombustion et, dans le moteur à injection directe, l'injecteur débouche directement au-dessus du piston. La culasse peut aussi servir de support à l'arbre à cames.

#### Le carter d'huile

Fixé sur la partie inférieure du bloc moteur, c'est un réservoir qui reçoit l'huile de lubrification ainsi que la crêpe d'aspiration. Réalisé en tôle d'acier emboutie, il sert également de protection au vilebrequin.

### LES ORGANES MOBILES

#### Le piston

Couissant parfaitement dans le cylindre, il transmet son mouvement alternatif à la bielle, à laquelle il est relié par un axe creux en acier. Le piston doit avoir une bonne



étanchéité, pour ne pas laisser les gaz sous pression s'échapper. La forme de sa tête est très variée et détermine le volume de la chambre de combustion, lequel est délimité par le piston, le cylindre et la culasse. Avec une chambre de précombustion, la chambre se trouvant sur la calotte n'est que d'environ 20 % du volume total. Avec un moteur à injection directe, la chambre de combustion est directement située dans la tête du piston.

#### La bielle

De forme rectiligne, cet élément relie le piston au bras de manivelle du vilebrequin. C'est en fait le premier maillon qui permet de transformer le mouvement alternatif rectiligne du piston en mouvement rotatif.

#### Le vilebrequin

Ressemblant à une manivelle, il possède une partie coudée, appelée maneton, qui est associée à chaque bielle et il y a donc autant de manetons que de cylindres. Chaque mouvement de va-et-vient du piston entraîne ainsi le mouvement rotatif du vilebrequin. Ce dernier comporte aussi des contrepoids, intégrés ou fixés, permettant d'avoir un

mouvement de l'arbre plus régulier. À l'extrémité du vilebrequin se



trouve un volant, dont le rôle est également de régulariser le couple moteur. Le volant se présente comme une roue portant une couronne dentée qui sert au lancement du moteur par le démarreur.

### LES ORGANES DE DISTRIBUTION

Il s'agit des soupapes et de tous les éléments dont le rôle est de commander leur ouverture et leur fermeture, en particulier l'arbre à cames situé dans le bloc moteur ou dans la culasse (arbre à cames en tête). Il commande directement les soupapes par le biais de poussoirs, de tiges de culbuteurs et de culbuteurs. C'est le vilebrequin qui entraîne le mouvement circulaire de l'arbre à cames, les deux étant reliés par l'intermédiaire de pignons, d'une chaîne ou d'une courroie crantée.

### LE CYCLE DIESEL

Comme le moteur à essence, le moteur Diesel fonctionne selon un cycle comprenant quatre phases : l'admission, la compression, la combustion et l'échappement. Avec un moteur quatre temps, le plus répandu, ce cycle s'accomplit en quatre courses du piston, soit deux tours de vilebrequin. Avec un moteur deux temps, le cycle s'accomplit avec deux courses de piston, entraînant un tour de vilebrequin. Que ce soit pour les moteurs à quatre temps ou à deux temps, Rudolf Diesel avait conçu un cycle théorique à pression constante mais, dans le cycle réel, on a constaté que la combustion n'est pas isobare. Bien que ce cycle Diesel convienne à de gros moteurs lents, il a fallu opter en faveur d'un cycle mieux adapté pour des moteurs d'automobiles dont les régimes varient beaucoup et souvent. Sabathé fut le premier à proposer un cycle mixte conjuguant le cycle de Beau de Rochas (à volume constant, qui s'applique aux moteurs à essence) et celui de Diesel. Les moteurs Diesel fonctionnent aujourd'hui selon ce cycle baptisé « cycle de Sabathé » dans lequel la combustion a lieu, pour une première partie, à volume constant et, pour la seconde, à pression constante.

### Premiers, premières

**1890**  
Moteur à allumage par compression breveté par Akroyd Stuart.

**1897**



Premier moteur Diesel construit par Rudolph Diesel.

**1911**

Lancement de *Selandia*, premier navire à moteur Diesel (Danemark).

**1912**

Première locomotive à moteur Diesel construite par la société Sulzer et Rudolph Diesel.

**1921**

L'ingénieur français Lartrains construit un 2 cylindres Diesel 2 temps développant 40 chevaux.

**1936**

La Mercedes 260D, première automobile de tourisme à moteur Diesel.

**1975**

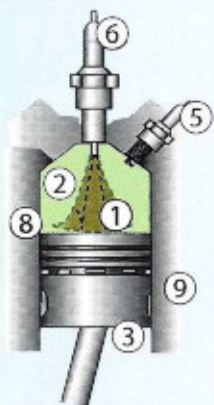
La Citroën CX 2200 D, première automobile française de tourisme diesel.

**Intercity 125**



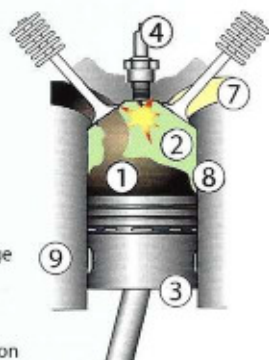
**237 km/h**

## Comparaison des types de combustion



MOTEUR DIESEL

- ① Combustible
- ② Air chaud comprimé
- ③ Piston
- ④ Bougie
- ⑤ Bougie de préchauffage
- ⑥ Injecteur
- ⑦ Gaz d'échappement
- ⑧ Chambre de combustion
- ⑨ Cylindre



MOTEUR À ESSENCE

### ADMISSION

De l'air frais pénètre dans le cylindre par une soupape d'admission et le remplit soit par aspiration naturelle avec la dépression que crée la descente du piston, soit par insufflation si le moteur est équipé d'un turbocompresseur. Le piston descend alors jusqu'à son point le plus bas, appelé « point mort bas » (PMB), et la soupape d'admission se ferme pour empêcher l'air de s'échapper.

### COMPRESSION

Le piston remonte jusqu'à sa position la plus haute appelée « point mort haut » (PMH). L'air est alors très fortement comprimé (20 à 35 bars) et, sous l'effet de cette compression, il s'échauffe pour atteindre une température d'environ 600 °C, supérieure à la température d'inflammation spontanée du carburant. Le rapport volumétrique est de 1/16 à 1/28 alors qu'il est de l'ordre de 1/9 pour un moteur à essence. Juste avant que le piston ait atteint le PMH, le carburant est injecté en fines particules et sous haute pression (entre 120 et 2 000 bars) dans la chambre de combustion par le biais d'un injecteur.

### COMBUSTION OU DÉTENTE

Quand le carburant pénètre dans la chambre de combustion, il s'enflamme spontanément : c'est la combustion ou explosion. Les gaz sont ainsi dilatés et leur « détente » pousse le piston vers le bas. C'est au début de la course de détente que la pression est la plus intense, entre 90 et 130 bars. C'est uniquement lors de cette troisième phase que le moteur fournit un travail.

### ÉCHAPPEMENT

Quand le piston est sur le point d'arriver au PMB, la soupape d'échappement s'ouvre pour que les gaz brûlés puissent s'évacuer, expulsés par la remontée du piston. Une fois que le piston a atteint le PMH, la soupape d'échappement se ferme et un nouveau cycle peut recommencer.

### LE DÉMARREUR

Pour amorcer le cycle compression-inflammation, le moteur Diesel est équipé d'un démarreur. Il s'agit d'un moteur électrique qui a pour fonction de faire tourner à grande vitesse le

moteur afin d'accroître très rapidement la pression dans la chambre de combustion. Sans cela, la température n'est pas assez élevée pour enflammer le mélange d'air et de carburant. Ainsi, alors que le démarreur d'un moteur à essence l'entraîne à environ 120 à 150 tours/minute, celui des moteurs Diesel doit le faire tourner entre 300 et 350 tours/minute. Néanmoins, les moteurs Diesel sont difficiles à démarrer à froid et doivent être équipés de bougies de préchauffage pour assurer un démarrage aisé, même avec une température extérieure basse. Ces bougies ne produisent pas d'étincelles : ce sont des résistances électriques qui vont permettre d'amorcer la combustion soit en chauffant la chambre de combustion, dans le cas de moteurs diesel à injection indirecte, soit en chauffant l'air d'admission, dans le cas de moteurs diesel à injection directe.

### LE SYSTÈME DE COMBUSTION

La combustion nécessite le mélange d'un combustible (gazole) et d'un comburant (oxygène). Pour brûler complètement 1 kg de gazole, il faut en pratique au moins 25 kg d'air. Cependant, le mélange d'air et de combustible est particulièrement délicat dans un diesel. Pour obtenir une combustion du mélange complète et rapide, les particules de gazole doivent être en contact avec l'air comprimé de la chambre de combustion. Pour obtenir cela, le moteur Diesel n'est équipé ni de carburateur ni de papillon d'admission d'air mais d'injecteurs qui doivent injecter le gazole avec une pression élevée. On peut distinguer deux types de combustion : l'injection indirecte et l'injection directe.

### INJECTION INDIRECTE

Dans un moteur à injection indirecte, le carburant n'est pas injecté directement dans le cylindre mais pulvérisé par un injecteur dans une petite chambre auxiliaire où s'amorce la combustion, la combustion finale se déroulant, elle, dans le cylindre. Cette chambre de précombustion communique avec le cylindre par une ou plusieurs ouvertures. Lors de la compression, l'air surchauffé passe rapidement du cylindre dans la chambre de

précombustion. L'injecteur y pulvérise le combustible en fin de compression et, au moment de l'inflammation, le mélange en cours de combustion passe dans le cylindre. Il existe une variante : la chambre de turbulence. Son volume représente presque le volume total de la chambre de combustion. Sa forme est conçue de telle sorte que l'air provenant du cylindre y tourbillonne afin d'assurer un meilleur brassage. De plus, le début de la combustion n'a pas forcément lieu dans la chambre de turbulence. Même si ces dispositifs d'injection indirecte ont l'avantage d'être peu bruyants, on leur préfère l'injection directe pour les moteurs Diesel routiers, car celle-ci répond



mieux à la volonté de réduire tant la pollution que la consommation.

### INJECTION DIRECTE

Avec l'injection directe, l'injecteur débouche directement sur la chambre de combustion du cylindre et injecte le carburant avec une très forte pression. Assez bruyant mais fournissant un bon rendement, ce système a d'abord été utilisé sur les moteurs fixes et ceux équipant les tracteurs ou les camions. La forme de la chambre de combustion ainsi que celle du conduit d'admission sont conçues pour favoriser les turbulences nécessaires pour un bref délai d'allumage et une bonne homogénéisation air-carburant. C'est ainsi que l'on obtient un mouvement tourbillonnaire de l'air, appelé swirl, devant atteindre une vitesse de 150 m/s. En plus d'une faible consommation et d'une pollution moindre, ce système permet un départ à froid plus aisé. Aujourd'hui, l'utilisation de l'injection directe est généralisée sur les moteurs Diesel routiers grâce à de nouveaux systèmes plus performants et qui réduisent notamment le bruit. Par exemple, avec le système Common Rail élaboré par la société Bosch, la mise sous pression est indépendante de l'injection. En fait, tous les injecteurs sont alimentés par

une même rampe (« rail ») et la pression d'injection peut être choisie entre 250 et 1 350 bars. Ainsi, grâce à des électrovalves, on peut obtenir le meilleur dosage : plus la pression est importante, plus l'injecteur pulvérise de fines gouttes de carburant. Mais il existe aussi des systèmes où la pompe à injection et l'injecteur ne font qu'un : il s'agit de l'injecteur pompe, qui permet d'atteindre des pressions de 2 000 bars.

### SURALIMENTATION

Quand l'air est aspiré naturellement, le taux de remplissage du cylindre est d'environ 85 %. Pour augmenter la puissance du moteur diesel à deux ou à quatre temps, on peut augmenter cette quantité d'air admise dans le cylindre grâce à un turbocompresseur, c'est-à-dire un compresseur d'air couplé à une turbine entraînée par les gaz d'échappement. Le rotor de cette turbine tourne à grande vitesse : 80 000 à 210 000 tours/minute. Cette technique s'est d'abord répandue dans les applications marines et industrielles pour équiper les moteurs de forte puissance, avant d'être appliquée aux moteurs d'automobiles.

### LUBRIFICATION ET REFOUILLAGE

Du fait que le moteur diesel subit de fortes contraintes thermiques et mécaniques, il est impératif d'avoir un circuit de lubrification ainsi qu'un circuit de refroidissement. Aujourd'hui, on utilise le graissage sous pression. Via un système de circulation d'huile, la pompe de graissage dirige l'huile sous fort débit vers les éléments à lubrifier. Cette huile sert évidemment à réduire le frottement entre les surfaces mobiles mais elle permet également d'évacuer la chaleur provenant des éléments du moteur, améliorer l'étanchéité et évacuer des impuretés. Quant au refroidissement, il est nécessaire, d'une part, pour que l'huile conserve ses qualités lubrifiantes, ce qui n'est pas possible au-delà de 150 °C, et, d'autre part, pour éviter la déformation des organes des moteurs. Rappelons qu'il s'agit d'un compromis car il faut conserver le maximum de chaleur pour la transformer en travail mécanique. Le refroidissement est assuré la plupart du

temps par un liquide composé d'eau et de monoéthylène glycol ou d'eau et de monoéthylène glycol, deux produits « antigels ». L'eau circule ainsi, propulsé par une pompe, dans les chemises entourant les cylindres et à l'intérieur des culasses. On peut aussi utiliser un refroidissement direct par air, en particulier dans les moteurs monocylindriques. Dans ce cas, les cylindres comme les culasses sont munis d'ailettes sur leur surface et l'air qui y circule absorbe directement la chaleur.

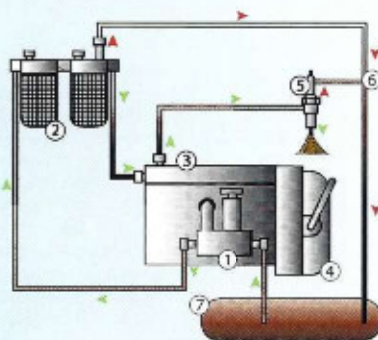
### LES CARBURANTS

Pour les moteurs Diesel routiers, on utilise du gazole qui est à 85 % composé de produits issus de la distillation du pétrole brut, plus lourds que l'essence. Pour la bonne marche de la combustion, la caractéristique déterminante est l'indice de cétane qui définit la rapidité à laquelle les carburants pour moteurs Diesel vont s'auto-enflammer une fois atteinte la température de 350 °C. Si l'indice est faible, le carburant s'enflammera avec un important délai d'inflammation, provoquant ainsi une combustion violente et un cognement. Si l'indice est élevé, le délai d'inflammation sera court, permettant une combustion moins violente. Selon les pays et les sociétés pétrolières, cet indice est



compris entre 48 et 55. Il existe également des gazoles différents pour l'hiver. En effet, le gazole, comme le fioul, contient de la paraffine et, en période de grand froid, des cristaux de paraffine se forment, obstruant les filtres. Pour éviter cela, la teneur en paraffine du gazole est réduite et celui-ci reçoit aussi des produits empêchant le figeage. Les moteurs Diesel peuvent également fonctionner avec du fioul léger (uniquement pour des utilisations industrielles et agricoles), des fiouls lourds (pour des gros moteurs fixes, marine ou industrie) et des biocarburants à base d'huiles végétales mélangés en faible pourcentage au gazole.

## Injection mécanique Diesel



- ① Pompe d'alimentation
  - ② Filtre à gazole
  - ③ Pompe à injection
  - ④ Régulateur d'injection
  - ⑤ Injecteur
  - ⑥ Canalisations
  - ⑦ Réservoir
- Chemin du gazole vers l'injecteur  
➤ Retour du surplus vers le réservoir