

Mobilité durable | Motorisations thermiques

Décryptages

Depuis son invention, l'automobile fonctionne majoritairement à l'aide d'un moteur thermique à combustion interne, à 4 temps. En Europe, il est surtout alimenté à l'essence (moteur à allumage commandé) ou au gazole (moteur Diesel).

Des progrès technologiques importants ont permis d'augmenter le rendement des moteurs thermiques en vue de réaliser des économies d'énergie et de diminuer très fortement les émissions de polluants. La préoccupation écologique est au cœur de la recherche sur le développement des moteurs.

- Fonctionnement du moteur à combustion interne
- Qu'est-ce que le rendement d'un moteur ?
- Le traitement des émissions polluantes
- Le moteur dédié au gaz naturel



LE FONCTIONNEMENT DU MOTEUR À COMBUSTION INTERNE

Un moteur automobile à combustion interne est constitué, en général, de **plusieurs chambres de combustion.** Chacune d'entre elles est délimitée par la culasse, le cylindre et le piston.

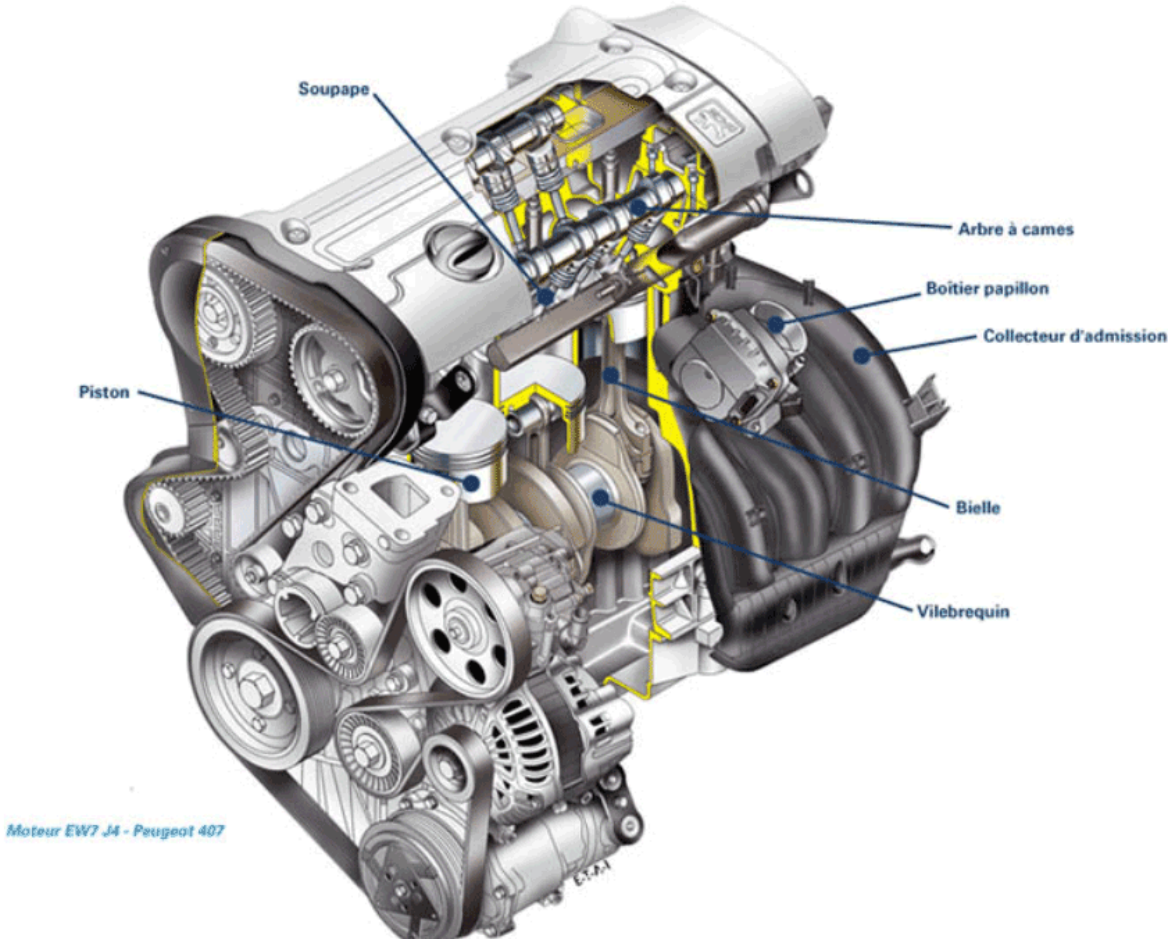
L'architecture du moteur repose également sur une **cinématique bielle-manivelle** qui permet de transformer un mouvement rectiligne alternatif (déplacement du piston) en un mouvement rotatif (rotation du vilebrequin).

La **combustion du mélange carburé (mélange air-carburant)** dans la chambre se traduit, à chaque cycle, par une élévation de la pression des gaz qui permet de mettre en mouvement le piston et le système bielle-manivelle.

Le **vilebrequin** étant connecté aux organes mécaniques de transmission (boîtes de vitesses, arbres de transmission, etc.), son mouvement permet d'entraîner les roues du véhicule. La boîte de vitesses permet d'adapter la vitesse de rotation des roues à celle du moteur.

Les **performances d'un moteur** dépendent, en premier lieu, de la quantité d'énergie dégagée par la combustion, donc de la quantité de mélange carburé présente dans la chambre de combustion. Celles-ci sont ainsi directement liées au volume de la chambre (cylindrée unitaire), au nombre de chambres ou cylindres du moteur (cylindrée totale) et à la quantité de carburant injecté.

Architecture moteur



Pourquoi l’appellation "moteur à 4 temps" ?

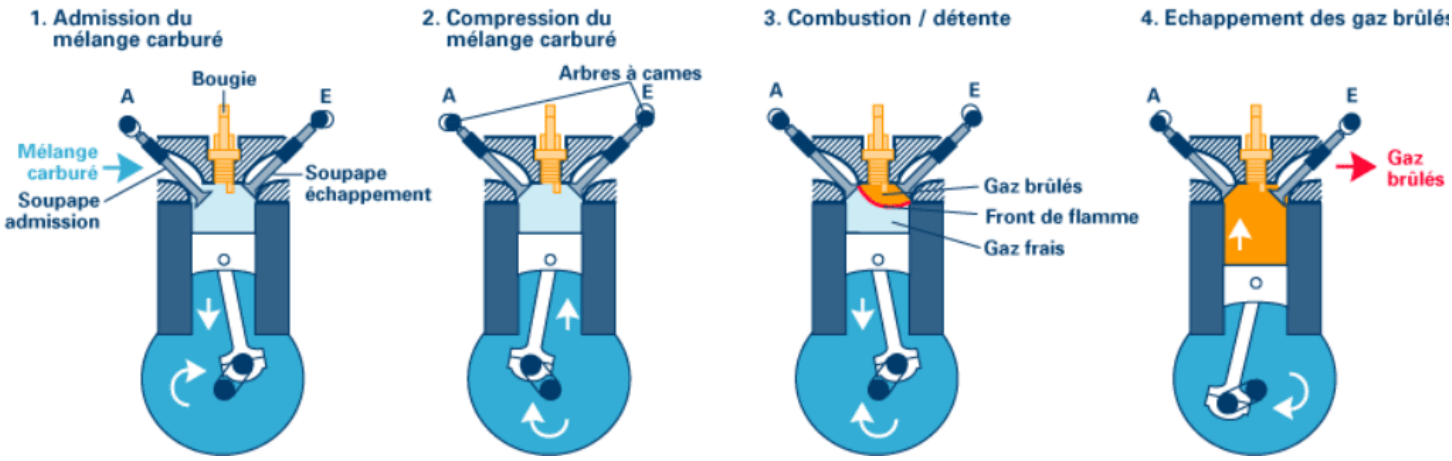
Ce sont les 4 temps nécessaires au cycle de transformation de l'énergie chimique contenue dans le carburant en énergie mécanique. Chaque temps correspond à un demi-tour de rotation du vilebrequin (une montée ou une descente du piston). Les temps 1 et 4 sont consacrés aux transferts des gaz (admission des gaz frais et échappement des gaz brûlés), les temps 2 et 3 sont les temps nécessaires à la préparation et à la réalisation de la combustion et à sa transformation en énergie mécanique.

Pour un moteur à allumage commandé et à injection indirecte, les 4 temps sont :

1. **Admission** (remplissage du cylindre). Le piston descend et aspire le mélange air-carburant.
2. **Compression**. Le piston remonte comprimant le mélange air-carburant, une étincelle est générée pour enflammer le mélange.
3. **Combustion-Détente**. Ce temps correspond au développement de la combustion et à l'expansion des gaz brûlés : le piston est repoussé vers le bas, l’énergie chimique est transformée en énergie mécanique.
4. **Échappement** (vidange des gaz brûlés du cylindre). Le piston remonte et évacue les gaz brûlés.

■ Principes de fonctionnement

Cycle à 4 temps allumage commandé



Pour un moteur Diesel à allumage par compression et injection directe, les 4 temps se déroulent de la même façon à deux différences près :

- c'est de l'**air pur qui est admis et comprimé lors des temps 1 et 2**, puis le carburant est introduit directement dans le cylindre (par injection) en fin de compression,
- le **mélange s'enflamme spontanément**, sans étincelle, du fait de l'élévation de la température de l'air liée à sa compression.

Indice de cétane/indice d'octane

L'indice de cétane caractérise l'aptitude du gazole à s'auto-inflammer spontanément.

L'indice d'octane caractérise l'aptitude de l'essence à résister à l'auto-inflammation afin de se préserver de combustions non contrôlées par l'étincelle électrique (combustions anormales, cliquetis).

Qu'est-ce que la combustion ?

Pour réaliser une combustion complète d'1 g de carburant conventionnel (essence ou gazole), il faut, en théorie, environ 14,6 g d'air. Ce mélange idéal est appelé mélange stœchiométrique.

Les **moteurs à essence à injection indirecte fonctionnent en grande majorité à la stœchiométrie** . Après introduction d'un mélange homogène d'air et d'essence dans le moteur, la combustion (inflammation du mélange) est initiée par une étincelle (allumage commandé). La combustion se traduit par la propagation d'un front de flamme qui balaye toute la chambre.

Les **moteurs à essence actuels à injection directe** : l'air arrive par l'admission et le carburant, comme dans un moteur Diesel, arrive directement dans la chambre de combustion, ce qui permet un pilotage plus précis des injections. Il n'y a plus de prémélange air-carburant, il s'agit alors d'un

mélange dit stratifié. La combustion est toujours initiée par une étincelle (allumage commandé).

Les **moteurs Diesel** fonctionnent avec un excès d'air. Le gazole est injecté sous pression dans une masse d'air préalablement comprimée. La combustion s'initie par auto-inflammation (allumage par compression). La combustion est dite stratifiée ou hétérogène car elle a lieu dans un milieu constitué à la fois de zones très riches en carburant (situées notamment près du nez d'injecteur) et de zones très pauvres (près de la paroi du cylindre).

Les carburants

En Europe, l'essence alimente les moteurs à allumage commandé et le gazole les moteurs Diesel. Ce sont les deux principaux produits finis issus du raffinage du pétrole brut et leur formulation évolue avec les exigences des moteurs et surtout avec les réglementations environnementales liées à la qualité de l'air et à la réduction des rejets de gaz à effet de serre.

Les biocarburants peuvent être mélangés directement à l'essence et au Diesel à des teneurs variables et sans adaptation particulière des moteurs, bénéficiant ainsi des réseaux de distribution existants. En France, le Diesel B7 vendu à la pompe contient couramment jusqu'à 7 % (en volume) de biocarburants et l'essence E10 jusqu'à 10 %.

QU'EST-CE QUE LE RENDEMENT D'UN MOTEUR ?

Le moteur est un transformateur d'énergie chimique en énergie mécanique. **Le rendement d'un moteur est le rapport entre l'énergie fournie au moteur (énergie chimique contenue dans le carburant) et l'énergie mécanique restituée.** Il est important d'optimiser ce rendement pour éviter la déperdition d'énergie, particulièrement dans un contexte de développement durable.

Dans des conditions optimales de fonctionnement, **un moteur automobile offre aujourd'hui un rendement maximal :**

- **de l'ordre de 36 % pour un moteur à essence**,
- **et de 42 % pour un moteur Diesel.**

C'est-à-dire que dans les points de fonctionnement les plus favorables, un peu plus d'un tiers de l'énergie fournie par le carburant est transformée en énergie utile pour faire avancer le véhicule, le reste étant principalement dissipé en chaleur dans l'atmosphère. Ces conditions optimales correspondent cependant à une utilisation du moteur à charge élevée.

La **puissance maximale** que doit fournir le moteur est déterminée par :

- **la masse** du véhicule,

- sa **vitesse maximale**,
- et son **agrément d'utilisation** (lutte contre l'inertie liée au poids, résistance à l'avancement dans l'air, potentiel d'accélération).

Or, en règle générale, les véhicules automobiles sont utilisés sur de petits parcours en agglomération, ce qui se traduit finalement par une sollicitation des moteurs à faibles charges. Dans ces conditions, le rendement se trouve dégradé avec des valeurs n'atteignant que 15 %.

De gros efforts de recherche et développement sont engagés dans ce domaine afin d'améliorer les rendements des moteurs dans toutes les conditions d'utilisation des véhicules.

> **En ville, le rendement d'un moteur se dégrade et n'atteint que 15 %.**

LE TRAITEMENT DES ÉMISSIONS POLLUANTES

Le post-traitement des émissions

C'est l'étape qui consiste à transformer les gaz d'échappement, entre le moteur et le pot d'échappement, pour obtenir des émissions de gaz moins polluants.

Actuellement, il existe deux principaux moyens pour réaliser le post-traitement des émissions :

- le **pot catalytique** qui convertit principalement le CO, les HC et les NOx, et qui permet de réduire également les particules de suie (fraction organique soluble présente sur les particules),
- le **filtre à particules** qui stocke les particules, puis les brûle périodiquement (tous les 500 km environ) dans des conditions parfaitement maîtrisées.

D'autres technologies sont mises en œuvre pour améliorer encore le traitement des émissions, parmi lesquelles on peut citer, les pièges à oxyde d'azote et la catalyse "SCR" (avec injection d'un agent réducteur spécifique, l'urée).

La réduction de la pollution à la source

Le traitement de la pollution est réalisé à la source au sein de la chambre de combustion. Deux voies sont possibles :

- l'**optimisation des combustions traditionnelles** au travers de la mise en œuvre de nouvelles technologies (injection, suralimentation, etc.),
- la mise en œuvre de **nouveaux modes de combustion homogène**.

LE MOTEUR DÉDIÉ AU GAZ NATUREL

Les moteurs au gaz naturel sont souvent issus de la conversion de moteurs Diesel ou à essence existants. Mais des moteurs spécialement conçus pour le gaz naturel sont également développés.

Le carburant gaz naturel : GNV

Il est stocké et utilisé sous forme gazeuse. Il est distribué en station-service dédiée ou par le biais d'un compresseur individuel connecté au réseau chez le particulier.

Et le bioGNV ?

Alors que le GNV provient de sources fossiles, le **bioGNV est obtenu à partir de la méthanisation de déchets organiques** : ordures ménagères, boues des stations d'épuration, produits agricoles et tontes des espaces verts, résidus de l'industrie agroalimentaire ou de la restauration collective, etc.

Moins d'émissions de CO_2

Ces moteurs dédiés permettent une **réduction des émissions de CO_2 de l'ordre de 5 à 10 % par rapport à un moteur Diesel.**
Par ailleurs, les gaz d'échappement ne contiennent pas d'oxydes de soufre et peu de particules.

Parc de véhicules GNV

Quelque **19 millions de véhicules GNV, soit 2 % du parc, sont actuellement en circulation à travers le globe**. En règle générale, c'est dans les pays où les ressources en gaz naturel et les stations de ravitaillement sont les plus développées que le gaz carburant rencontre le plus de succès. Sans oublier le prix à la pompe qui reflète un facteur décisif dans le choix des consommateurs.

À l'échelle mondiale, l'Iran arrive ainsi en tête avec plus de 3,5 millions de véhicules GNV en circulation, suivi par la Chine et le Pakistan. En Amérique latine, l'Argentine et le Brésil se classent 4^{e} et 5^{e}. Capitale européenne du GNV, l'Italie se place en 7^{e} position au classement mondial.

Le problème du stockage et de l'approvisionnement

Le GNV présente encore aujourd'hui des inconvénients au quotidien. Les réservoirs sont lourds et encombrants. Ce handicap, ainsi que celui de la perte de puissance par rapport à l'essence, pourraient être corrigés à l'avenir par des innovations en cours de développement.



Nos expertises > Motorisations thermiques

Les véhicules essence et Diesel

Lien vers la page web :