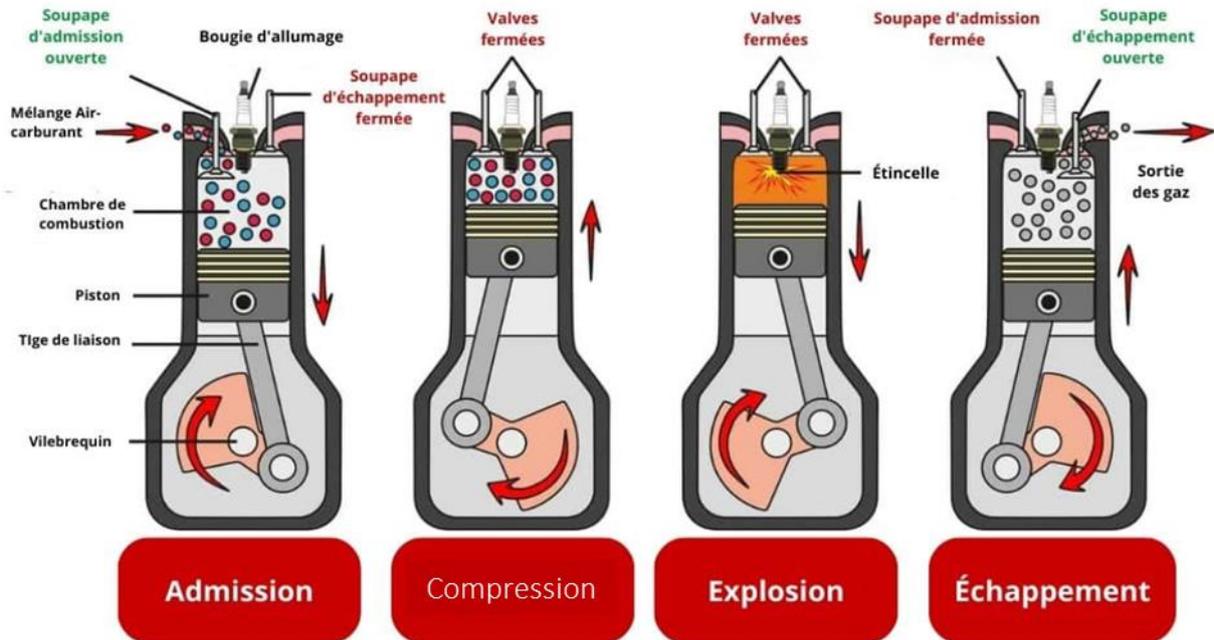


DIAGRAMME DE CONVERSION ENERGETIQUE D'UN MOTEUR A ESSENCE

CONCEPT DE PUISSANCE

1) Principe d'un moteur à essence à 4 temps



Un moteur à essence à 4 temps est généralement constitué de quatre cylindres qui fonctionnent de façon décalée.

Dans chaque cylindre s'opère un cycle de 4 temps :

1^{er} temps : Admission : Le piston descend, la soupape d'admission étant ouverte, un mélange d'air et d'essence est admis dans la chambre de combustion.

2^{ème} temps : Compression : La soupape d'admission se ferme et le piston remonte en comprimant le mélange.

3^{ème} temps : Explosion. Le piston est au point haut, une bougie enflamme le mélange via une étincelle. La température et donc la pression du mélange gazeux deviennent très élevées instantanément et le mélange exerce une pression sur le piston, le repoussant vers le bas. C'est la phase motrice et la phase où s'effectue la conversion d'énergie chimique en travail mécanique.

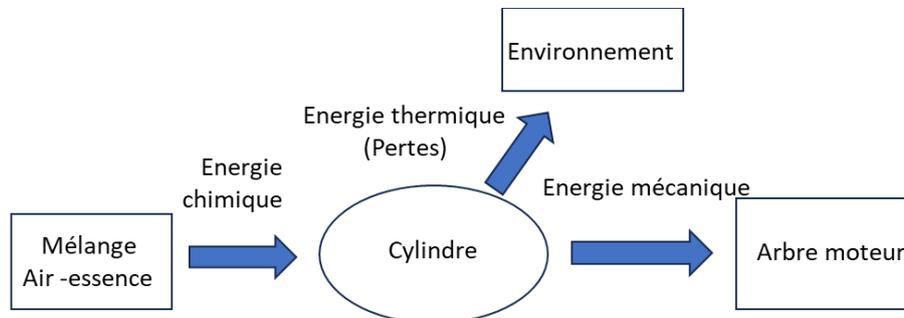
4^{ème} temps : Echappement : La soupape d'échappement s'ouvre et le piston en remontant, chasse le mélange de gaz brûlés dans le pot d'échappement.

2) Diagramme de conversion énergétique :

Pendant la phase d'admission, le mélange reçoit un travail mécanique W_1 de la part du piston qui le comprime. Ce travail est fourni par l'action d'un autre cylindre qui se trouve en phase d'explosion. Pendant la phase d'explosion, c'est l'inverse, le piston reçoit un travail mécanique W_2 de la part du mélange et ce dernier est bien plus important que le premier. La différence entre les deux $W_2 - W_1$ est le travail fourni à l'arbre moteur, celui qui est utile pour faire avancer le véhicule.

A l'instant de l'explosion, les molécules constituant le mélange se retrouvent bien plus agitées. La somme des énergies mécaniques de ces molécules, appelée énergie thermique, a augmenté d'une quantité qu'on interprète comme une perte d'énergie chimique pour le mélange afin de respecter le principe de conservation de l'énergie.

Le diagramme de conversion énergétique d'un cylindre de moteur se présente donc ainsi :



A noter que le travail mécanique qui s'exprime en Joule comme l'énergie est désigné par le terme énergie mécanique.

A noter également qu'en intégrant les 4 cylindres du moteur, on peut remplacer le mot cylindre au centre de ce diagramme par le mot moteur.

On définit alors le rendement du moteur à essence comme étant :

$$r = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie absorbée}} = \frac{\text{énergie mécanique fournie à l'arbre}}{\text{Energie chimique libérée par le mélange (*)}}$$

(*) L'énergie chimique libérée par le mélange est par définition l'énergie thermique produite par la combustion de ce mélange (voir 3) pour plus de détails)

Le rendement d'un moteur à essence est de l'ordre de 35 %.

Sa faible valeur s'explique par le fait que pendant la phase d'explosion et de descente du piston, une grande partie de l'énergie thermique libérée par la combustion est transférée par conduction via les parois du cylindre et du piston à l'environnement (cette chaleur pouvant être par ailleurs récupérée pour chauffer l'habitacle de la voiture)

A noter que le rendement d'un moteur diesel est plus élevé, de l'ordre de 42 %.

Ceci est à comparer au rendement d'un moteur électrique qui peut atteindre les 95%

On définit également la **puissance moyenne P** d'un moteur en considérant l'énergie mécanique *E* fournie à l'arbre moteur sur une durée Δt comprenant un grand nombre de cycles par :

$$P = \frac{E}{\Delta t} \text{ avec } P \text{ en Watts (W)} \text{ } E \text{ en Joules (J)}, \Delta t \text{ en secondes (s)}$$

Exemple : une voiture citadine à essence de 100 cv roulant sur route horizontale à la vitesse de 110 km/h mobilise une puissance de 35 cv (c'est la puissance de son moteur en cheval vapeur, ce qui signifie qu'elle a la même puissance que 35 chevaux)

Sachant que 1 cv est égal à environ 0,75 kW, la puissance de ce moteur $P_{méca}$ en Watt est alors $0,75 \times 35 = 26,25 \text{ kW}$ soit 26 250 W. Si cette voiture roule pendant une heure (1 heure = 3600 s), l'énergie mécanique fournie par le moteur est alors :

$$E_{méca} = P_{méca} \times \Delta t = 26\,250 \times 3600 = 94\,500\,000 \text{ J} = 94,5 \text{ MJ (Mégajoules)}$$

Si on admet pour un tel moteur un rendement de 35 % alors l'énergie chimique $E_{chimique}$ libérée par la combustion de l'essence est telle que : $E_{chimique} \times 0,35 = E_{méca}$. Donc :

$$E_{chimique} = \frac{E_{méca}}{0,35} = \frac{94,5}{0,35} = 270 \text{ MJ}$$

Or, des mesures en laboratoire (bombe calorimétrique) ont permis de mesurer l'énergie chimique pouvant être libérée par un litre d'essence (pouvoir calorifique inférieur). Elles ont donné une valeur de 47,3 MJ par litre d'essence. On peut alors en déduire la consommation de cette voiture aux 100 kms sur route horizontale à une vitesse de 110 km/h et sans vent :

$$N = \frac{270}{47,3} = 5,7 \text{ L}$$

Une telle voiture consomme donc 5,7 L aux 100 kms en roulant à 110 km/h sur route horizontale (autoroute) en l'absence de vent.

3) Pour aller plus loin ...Tranferts ordonné et désordonné d'énergie : concepts de travail et chaleur

Une conversion d'énergie s'opère via le travail de forces à un niveau microscopique (c'est-à-dire non visible à l'échelle humaine) ou macroscopique (visible à l'échelle humaine) . Ce travail peut être également ordonné ou désordonné.

Ainsi, dans l'exemple du moteur à combustion précédent, le travail opéré par le mélange de gaz chauds sur le piston est macroscopique et ordonné car les forces de pression exercées par le gaz agissent dans la même direction et le même sens pour déplacer le piston (plutôt que le chauffer). Ce travail est appelé tout simplement travail mécanique ou encore **énergie mécanique** et s'exprime en Joule

On retiendra : L'énergie mécanique est une énergie macroscopique ordonnée

En revanche, la chaleur transférée par ce mélange chaud au cylindre et au piston est le fait d'un travail non visible et désordonné (chocs des molécules de gaz sur les parois du cylindre et du piston et transfert d'énergie à la manière d'une boule de pétanque en frappant une autre. C'est donc un travail microscopique (même nanoscopique pour être plus rigoureux, le nanomètre étant l'ordre de grandeur de la taille des molécules) qu'on appelle également **énergie thermique** (ou encore chaleur).

On retiendra : L'énergie thermique est une énergie microscopique désordonnée

Dans un autre exemple, celui d'un alternateur, s'opère une conversion d'énergie mécanique (travail mécanique sur l'arbre du rotor) en **énergie électrique** laquelle est un travail qui opère à un niveau invisible à l'échelle humaine, mais qui est ordonné, d'une force électrique sur les électrons libres du réseau électrique associé au stator.

On retiendra : L'énergie électrique est une énergie microscopique ordonnée

On peut alors mieux comprendre les valeurs différentes de rendement données précédemment pour différents convertisseurs d'énergie.

Lorsqu'on veut convertir une énergie désordonnée comme de l'énergie thermique ou rayonnante en énergie ordonnée (travail mécanique, énergie cinétique ou énergie électrique) le rendement est faible

(inférieur à 50 %). C'est le cas des moteurs thermiques, des centrales à fuel, à gaz, à charbon, nucléaires (35 % à 45 %), des panneaux solaires photovoltaïques (15 à 20%).

Mais lorsqu'on veut convertir une énergie ordonnée (comme un travail mécanique, de l'énergie cinétique ou de l'énergie potentielle de position) en une énergie ordonnée, les rendements sont très bons, supérieurs à 90 %. C'est le cas des panneaux solaires thermiques qui convertissent de l'énergie rayonnante en énergie thermique, des barrages hydroélectriques qui convertissent de l'énergie potentielle de position en travail mécanique puis en électricité, des moteurs électriques.

Rappelons qu'en laissant une masse tomber sous l'action seule de son poids, c'est-à-dire sans frottements, son énergie potentielle de position est transformée intégralement en énergie cinétique via le travail du poids sur cette hauteur de chute. Il en va de même dans une réaction chimique ou nucléaire dans laquelle une forme analogue d'énergie est convertie en énergie mécanique à un niveau microscopique et de façon désordonnée donc en énergie thermique.

A noter que l'énergie chimique ou bien l'énergie nucléaire sont assimilables à une perte d'énergie potentielle chimique ou nucléaire.

On retiendra :

L'énergie chimique est une perte d'énergie potentielle chimique convertie en énergie thermique lors d'une réaction chimique.

L'énergie nucléaire est une perte d'énergie potentielle nucléaire ($E = m c^2$) convertie en énergie thermique lors d'une réaction nucléaire