

Synthèse des informations scientifiques et références

Activité : holà les moteurs !

Partie I : le moteur électrique

Principe de base d'un moteur électrique

Ce qui est à la base du fonctionnement d'un moteur électrique, c'est le magnétisme. C'est un continuel mouvement de répulsion et d'attraction entre les pôles d'un aimant et un solénoïde qui va créer un mouvement de rotation.

Parties de base d'un moteur électrique

Il y a trois parties de base qui constituent un moteur électrique simple :

- 1- La source d'énergie électrique
- 2- Le rotor
- 3- Le stator

1- La source d'énergie électrique

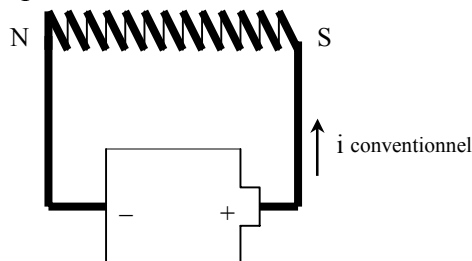
Plus souvent qu'autrement, l'énergie électrique dont a besoin un moteur pour fonctionner provient soit d'une ou de plusieurs piles, soit d'une prise électrique que l'on trouve un peu partout dans nos bâtiments.

2- Le rotor

Le rotor est la partie mobile d'un moteur électrique. Il est empreint d'un mouvement rotatif. Le rotor est en fait un solénoïde que l'on a quelque peu modifié.

Qu'est-ce qu'un solénoïde ?

Si on enroule un fil conducteur autour d'un cylindre, on obtiendra un solénoïde. Si le cylindre est une substance ferromagnétique (qui a la propriété de devenir temporairement un aimant), on dira que le solénoïde est un électroaimant. Tant et aussi longtemps qu'il y a du courant électrique qui passe dans le fil conducteur d'un solénoïde, il y a un champ magnétique qui est induit. Par exemple, pour construire un solénoïde relié à une source de courant électrique, on pourrait enrouler un fil de cuivre autour d'un tube de rouleau de papier de toilette, puis retirer le tube et relier les deux extrémités du fil de cuivre à une batterie.



Qu'est-ce que le champ magnétique ?

Le champ magnétique est provoqué par le spin des électrons. Son unité est le Tesla (T). Les lignes de force du champ magnétique peuvent être représentées de cette façon :

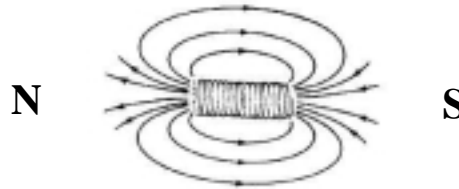


image tirée et modifiée du site web de Jean-Marie Duchamp, enseignant à l'école secondaire Antoine-Brossard. <http://jduchamp.ctw.cc/solenoides.htm> (fermé)

Par convention, pour tous les aimants ainsi qu'à l'extérieur d'un solénoïde, les lignes de force du champ magnétique sortent du pôle nord et entrent dans le pôle sud. À l'intérieur du solénoïde, les lignes de force du champ magnétique vont du pôle sud au pôle nord.

Les lignes représentées dans la figure ci-haut n'apparaissent pas en réalité lorsque du courant électrique circule dans le fil. On peut cependant se les représenter de deux façons, soit par une expérimentation avec de la limaille de fer, soit à l'aide de la règle de la main droite.

Expérimentation avec de la limaille de fer

Cette expérimentation a l'avantage de permettre à l'élève de visualiser de façon concrète les lignes de force du champ magnétique. Lorsque le courant circulera dans le solénoïde, la limaille aura tendance à s'orienter dans le sens du champ magnétique, comme le montre la photo suivante :

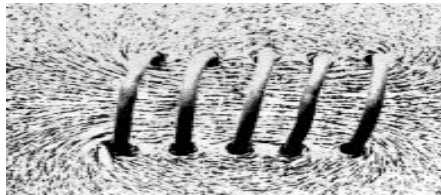


image tirée du site web de Jean-Marie Duchamp, enseignant à l'école secondaire Antoine-Brossard. <http://jduchamp.ctw.cc/solenoides.htm> (fermé)

Règle de la main droite

On peut aussi utiliser la règle de la main droite afin de connaître le sens des lignes de force du champ magnétique. Les doigts représentent le sens du courant conventionnel – de la base des doigts vers l'extrémité – et le pouce pointe vers le nord, tel que le montre la figure suivante :

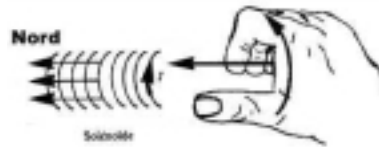


image tirée du site web de Jean-Marie Duchamp, enseignant à l'école secondaire Antoine-Brossard. <http://jduchamp.ctw.cc/solenóide.htm>(fermé)

Construction d'un rotor

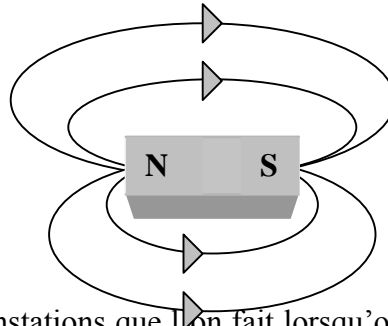
Afin de construire un rotor pour monter un moteur électrique, un document est disponible à partir du canevas. Vous y trouverez les instructions pour fabriquer les pièces d'un moteur électrique.

3- Le stator

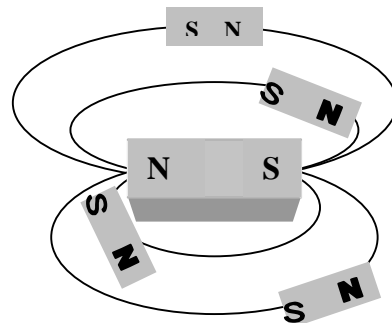
Le stator est la partie fixe d'un moteur. Dans un moteur électrique, il s'agit d'un aimant permanent ou d'un électroaimant fixe.

Principes physiques du fonctionnement d'un moteur électrique

C'est le magnétisme qui explique le fonctionnement d'un moteur électrique. Un aimant a deux pôles, soit le pôle nord et le pôle sud. Cela induit un champ magnétique pouvant être représenté par la figure suivante :

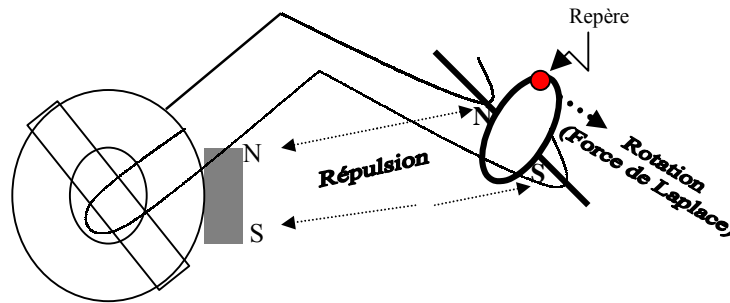


Une des premières constatations que l'on fait lorsqu'on joue avec des aimants, c'est que les pôles opposés s'attirent, alors que les pôles identiques se repoussent. Cela est dû au fait que lorsqu'on met un aimant dans le champ magnétique d'un autre aimant, il a tendance à se placer dans le même sens que la force magnétique :

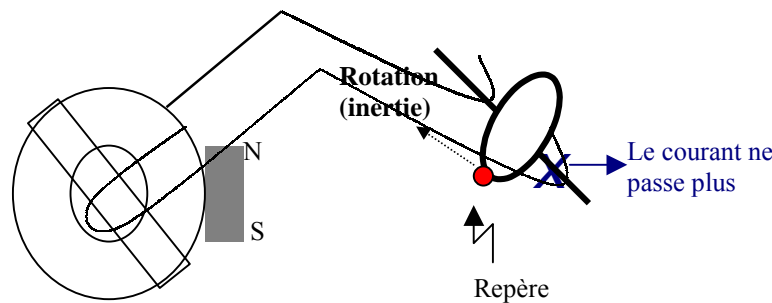


La rotation du rotor dans le moteur électrique proposé dans cette activité repose sur ces forces d'attraction et de répulsion. En effet, lorsque le courant circule dans le rotor, un champ magnétique est formé (champ magnétique induit). Si les pôles du champ

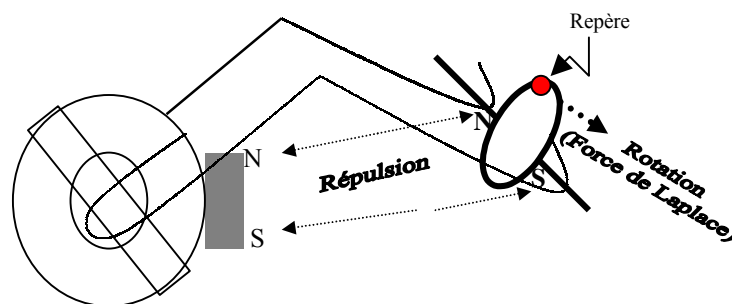
magnétique induit sont dans le même sens que ceux du champ magnétique permanent (provenant du stator), le rotor aura tendance à tourner à cause de la force de répulsion. La force donnant un mouvement de rotation au rotor se nomme force de Laplace.



Lorsque le rotor aura fait un demi-tour, les pôles opposés devraient s'attirer et provoquer un arrêt de la rotation. Par contre, dans le moteur électrique proposé dans cette activité, le courant électrique ne passe plus, car sur une des branches du rotor, l'isolant a été gardé sur une moitié de la circonférence du fil du cuivre. Il n'y a donc plus de champ magnétique induit, puisqu'il n'y a plus de courant. Le rotor peut donc faire un tour complet grâce à son inertie.



Lorsque le rotor reviendra à sa position initiale, le courant électrique pourra alors passer, créant à nouveau un champ magnétique. Le phénomène de rotation se produira donc à nouveau. Le rotor pourra donc révolutionner tant et aussi longtemps que la source d'énergie fournira des électrons.



Le moteur utilisé dans cette activité est un des plus simples qui soit. Le plus souvent, on trouve le rotor à l'intérieur d'un aimant permanent en U. Afin que les forces de répulsion soient quasiment toujours existantes, le sens du courant dans le rotor s'inverse à chaque demi-tour à l'aide d'un système de balais. Grâce à l'inversion du courant, les

pôles magnétiques induits sont toujours situés aux mêmes extrémités du rotor, même si celui-ci révolutionne.

Pour bien visualiser cette situation, un applet (miniapplication Java) a été développé par W. Fendt et Y. Weiss et est disponible à l'adresse suivante : <http://home.a-city.de/walter.fendt/physfra/moteurelec.htm>.

Dans les moteurs électriques plus sophistiqués, trois balais plutôt que deux sont utilisés. Il y a deux avantages à utiliser trois balais plutôt que deux. Premièrement, cela enlève le risque que le moteur soit « gelé » au démarrage, car avec trois balais, les pôles magnétiques opposés du rotor et de l'aimant permanent ne peuvent jamais être parfaitement en phase et ainsi empêcher le rotor de révolutionner à cause des forces d'attraction entre les pôles opposés. Le deuxième avantage est que l'utilisation de trois balais empêche de court-circuiter la batterie, ce qui lui permet d'être efficace plus longtemps.

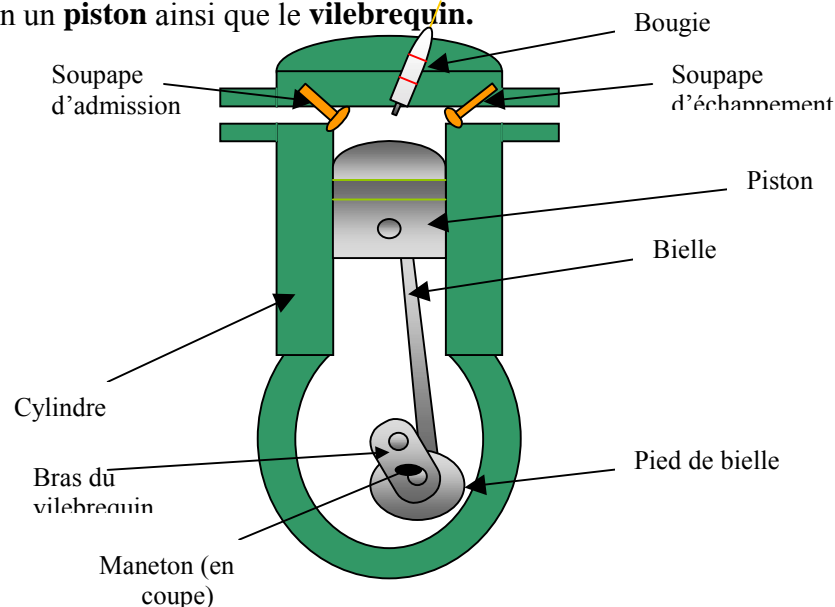
Partie II : les moteurs à essence

Considérations historiques

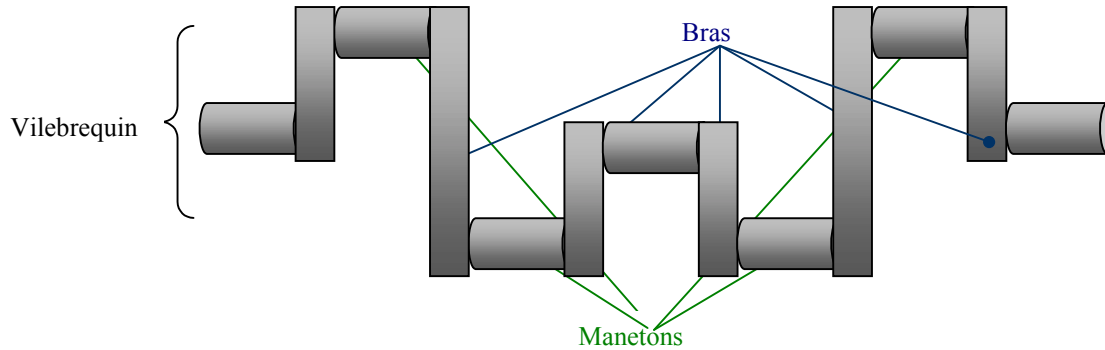
Le premier moteur à combustion aurait été inventé par Jean-Étienne Lenoir qui aurait mis au point un moteur à combustion interne à un cylindre utilisant le gaz des lampadaires comme carburant. Quelques années plus tard, Lenoir plaça son invention sur un véhicule et réussit à parcourir une dizaine de kilomètres en deux heures. Par l'entremise d'un journal, Nikolaus August Otto pris connaissance de cette invention et fabriqua un moteur à quatre cylindres, qui utilisait un cycle à quatre temps, toujours utilisé de nos jours dans la plupart des automobiles. C'est pourquoi on dira que bien des voitures ont un moteur utilisant le cycle d'Otto.

Fonctionnement d'un moteur à essence.

Les pièces maîtresses d'un moteur à quatre temps sont les **cylindres** qui contiennent chacun un **piston** ainsi que le **vilebrequin**.



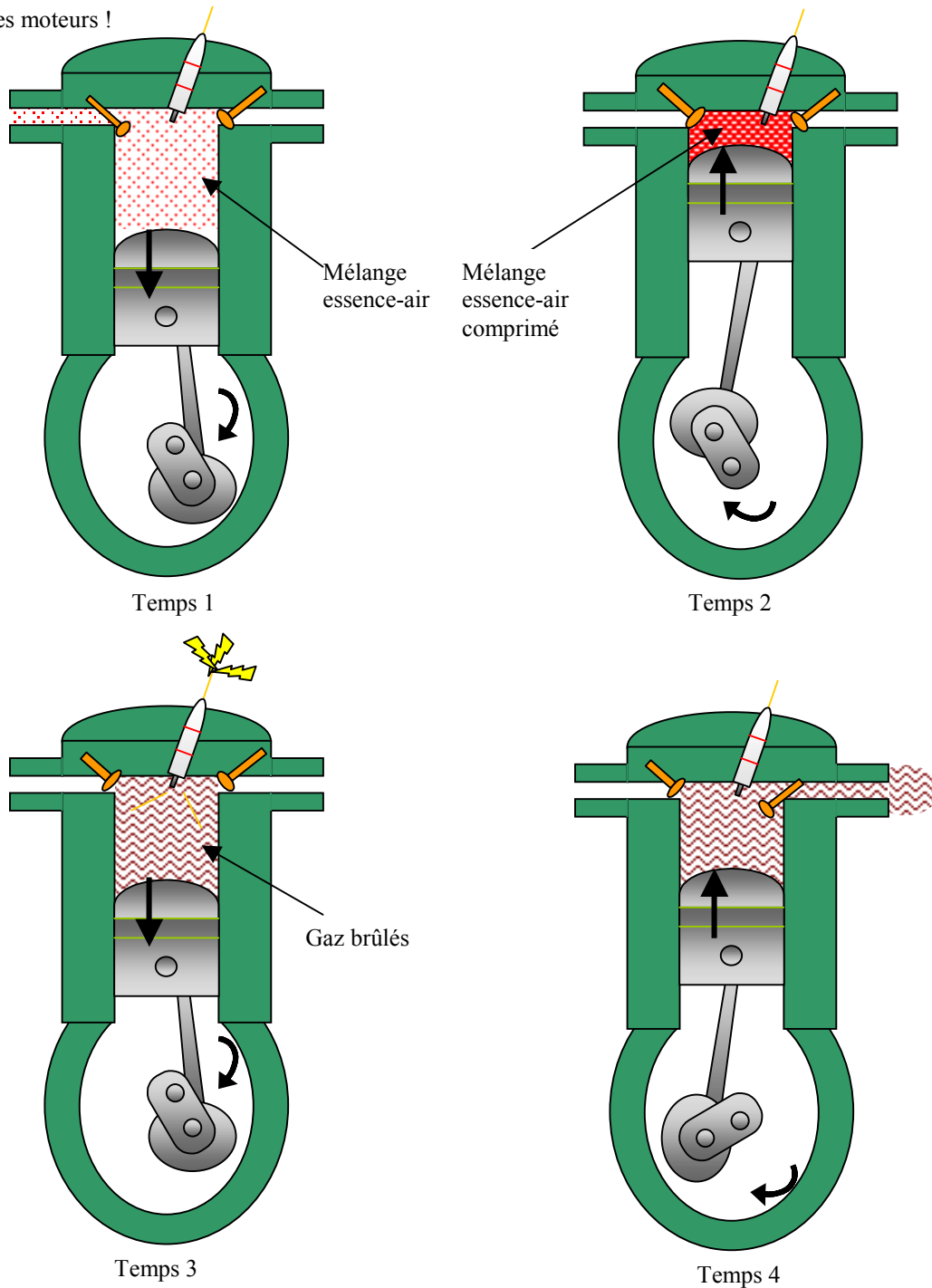
Le vilebrequin est relié au piston par la bielle. Celle-ci s'accroche au vilebrequin par le maneton. Donc, lorsque le piston fera son chemin dans le cylindre, le vilebrequin révolutionnera. Dans la figure haute, le vilebrequin est montré en coupe transversale. Voici l'allure qu'il a sur le sens de la longueur :



Fonctionnement d'un moteur à quatre temps

On dit d'un moteur qu'il est à quatre temps parce qu'il prend quatre temps pour compléter un cycle. Les quatre temps sont les suivants :

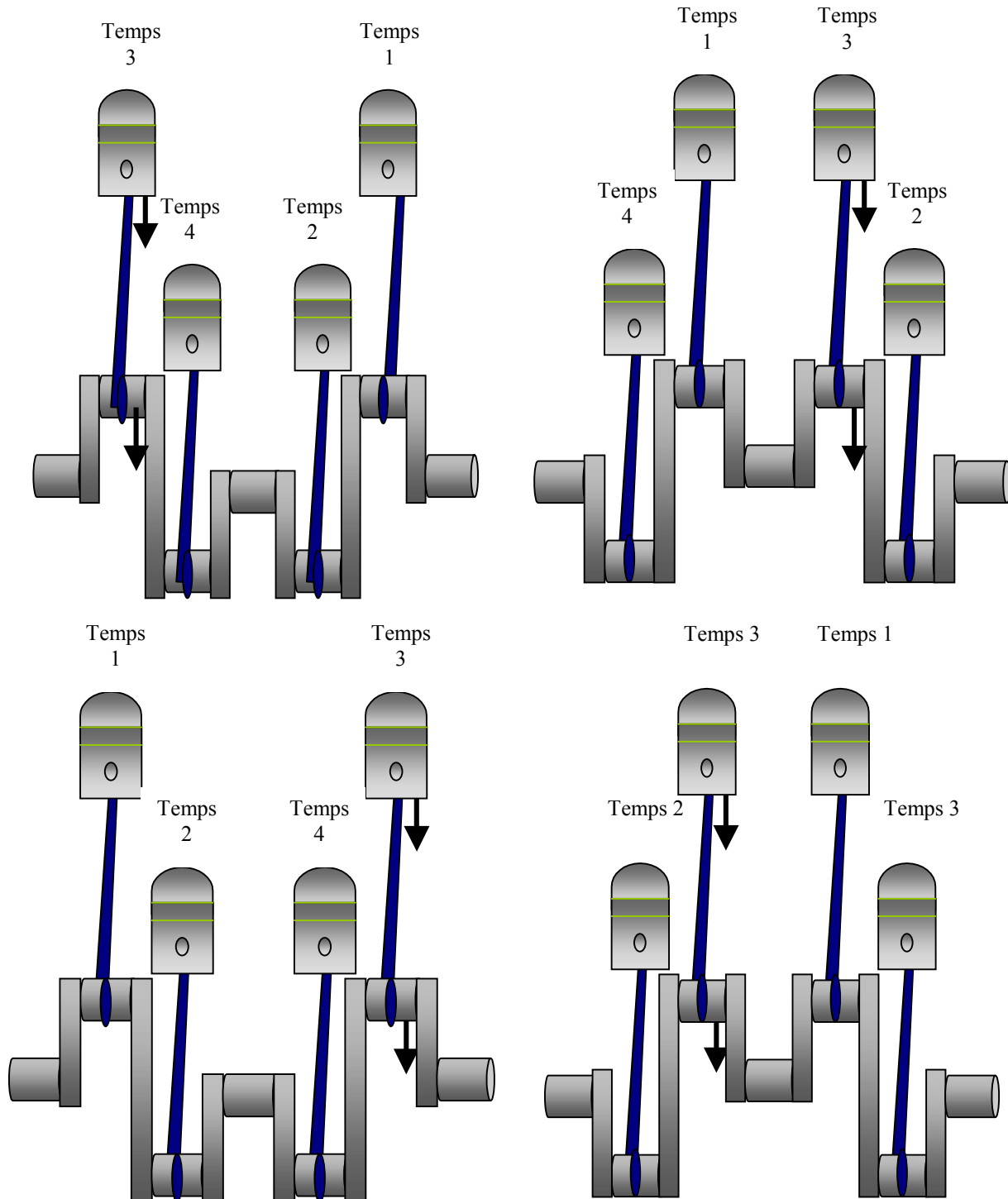
- Temps 1 : En redescendant, le piston attire le mélange essence-air qui entre dans le cylindre. La soupape d'admission est ouverte, la soupape d'échappement est fermée. C'est le **temps d'admission**.
- Temps 2 : Le mélange essence-air est comprimé alors que le piston remonte puisque le vilebrequin continue sa rotation. Les deux soupapes sont alors fermées. C'est le **temps de compression**.
- Temps 3 : L'essence et l'air sont bien comprimés, une simple étincelle suffit pour engendrer une explosion. La bougie d'allumage produit donc une étincelle. Les gaz brûlés prennent de l'expansion, ce qui fait redescendre le piston. Les deux soupapes sont encore fermées. C'est le **temps d'explosion**.
- Temps 4 : La soupape d'échappement s'ouvre, celle d'admission reste fermée et le piston remonte, repoussant les gaz brûlés à l'extérieur. C'est le **temps d'échappement**.



Il faut noter ici que pendant que le piston fait un cycle, le vilebrequin fait deux tours. L'inertie du vilebrequin après l'explosion le pousse à révolutionner même s'il n'a pas d'énergie. C'est le cas des moteurs à 1 cylindre que l'on trouve par exemple dans les tondeuses.

Par contre, en ajoutant des cylindres, il y a moyen de donner plus d'énergie au vilebrequin pour qu'il tourne. Pour les moteurs de moins de quatre cylindres, la rotation constante du vilebrequin continue à se faire grâce à son inertie. À partir de quatre cylindres, il y en aura toujours un qui sera au temps trois. Pour avoir une souplesse de

conduite, il faut alors que les temps des quatre cylindres soient déphasés. Il y aura donc en tout temps un cylindre dans lequel il y aura eu une explosion et qui transférera l'énergie provenant de l'explosion en énergie mécanique pour faire tourner le vilebrequin. Pour les moteurs à six, huit, dix et douze cylindres, il y aura chevauchement des phases, mais bien calculé pour la souplesse de conduite. Pour voir une belle animation montrant ces phénomènes, reportez-vous aux figures 2 à 4 sur la page web suivante : <http://www.howstuffworks.com/engine2.htm>. La figure qui suit montre le phénomène pour un moteur à quatre cylindres en I.



Systèmes mis en cause pour régulariser les explosions

L'arbre à came et la courroie de distribution

La suite d'explosions bien régularisée se fait en ouvrant et en fermant les valves (aussi appelées soupapes) à un rythme déterminé. C'est le rôle de l'arbre à came, qui est relié au vilebrequin par la courroie de distribution, d'ouvrir et de fermer les valves selon un rythme déterminé. Donc, plus le vilebrequin tourne vite, plus l'arbre à came va tourner vite afin de garder toute la puissance.

L'allumage des bougies grâce à la batterie et à l'alternateur.

Il faut aussi régulariser l'allumage des bougies. Du courant électrique à haut voltage est envoyé à un distributeur. Le distributeur à un fil conducteur par cylindre, et c'est son rôle d'envoyer le courant aux bougies selon la séquence d'allumage requise pour faire tourner le vilebrequin de façon optimale. C'est d'abord le rôle de la batterie d'envoyer le courant au distributeur. Par contre, il faut la recharger. C'est alors qu'intervient l'alternateur.

L'alternateur fonctionne sur le principe de l'induction électromagnétique. Au début de ce glossaire, il a été montré qu'un courant électrique pouvait induire un champ magnétique. Et bien le contraire est aussi vrai : un champ magnétique peut aussi induire du courant électrique. L'alternateur est en fait constitué d'un rotor (qui a la forme d'un solénoïde) et d'un stator, constitué de bobinages de fils conducteurs fixes. Du courant électrique continu est envoyé dans le rotor, induisant un champ magnétique. Ce champ magnétique induira du courant électrique dans le stator qui sera conduit vers la batterie pour la recharger, vers le rotor lui-même et vers les autres composantes automobiles nécessitant de l'électricité. La rotation du rotor est assurée par une courroie reliée au vilebrequin. Comme le rotor révolutionne, le champ magnétique révolutionne également, c'est pourquoi ce sera du courant alternatif qui sera induit dans les fils du stator. Plusieurs composantes électriques de l'automobile fonctionnent au courant alternatif. Par contre, il y a moyen de transformer du courant alternatif en courant continu (et vice-versa) à l'aide de composantes pour, par exemple, recharger la batterie. Le moteur automobile, grâce à l'alternateur, fournit donc toute l'énergie électrique nécessaire pour les composantes électriques de l'automobile et pour recharger la batterie qui sera nécessaire pour un démarrage ultérieur.

Un régulateur est disposé avec l'alternateur afin de rendre le champ magnétique du rotor plus ou moins neutre, en fonction de l'apport en électricité demandé par la batterie et les composantes électriques de l'automobile.

L'apport en air et en essence

Pour la plupart des voitures, l'air passe à travers un filtre à air et va ensuite vers le cylindre. Certaines voitures sont munies d'un turbo. Le rôle du turbo est de compresser l'air d'avance. Puisque l'air sera comprimé, il y en aura plus dans le cylindre, et plus d'essence sera ajoutée, provoquant ainsi des explosions plus énergétiques. Le turbo est rattaché au système d'échappement du moteur. Les gaz brûlés feront tourner une turbine (à environ 150 000 tours minutes) dans le turbo, ce qui comprimera l'air avant qu'il ne se

rende aux cylindres. Un des gros avantages du turbo, c'est qu'il est léger. Il procure donc des performances plus élevées sans augmenter le poids du moteur.

L'essence provient du réservoir d'essence et est pompée grâce à la pompe à essence. L'ajout d'essence à l'air se fera soit à l'aide d'un carburateur (peu coûteux mais moins efficace) ou par un système appelé système à injection. Le carburateur va mélanger l'air (parfois comprimé par un turbo) et l'essence d'avance. Ensuite, ce mélange sera distribué aux cylindres pour la combustion. Le système à injection ne mélange pas l'air avec l'essence d'avance. L'air est directement acheminé aux cylindres ; le volume nécessaire d'essence sera délivré à chaque cylindre soit juste avant la valve d'approvisionnement, soit directement dans le cylindre. Il est facile ici de s'apercevoir que le système à injection peut être beaucoup plus efficace qu'un carburateur, puisque le volume de gaz peut varier d'un cylindre à l'autre dans un même tour du vilebrequin.

Fonctionnement du système d'allumage du moteur

C'est un moteur électrique qui est mis en cause. On l'appelle le démarreur. Lorsqu'on tourne la clef, la batterie envoie du courant au moteur et celui-ci fait faire quelques révolutions au moteur. Ainsi, le processus de combustion peut commencer. Le démarreur doit être un moteur très efficace : il doit outrepasser la friction causée par les pistons ainsi que la pression de compression des cylindres qui se trouvaient remplis d'air comprimé et d'essence. Le démarreur doit fournir également l'énergie nécessaire pour que l'arbre à came ouvre et ferme les valves et pour que toutes les autres composantes du moteur fonctionnent, telles que la pompe à eau, l'alternateur, la radio si elle est allumée, etc.

Le système de lubrification

Ce système assure que chaque pièce mobile du moteur reçoit de l'huile pour qu'elle puisse accomplir son travail avec le moins de friction possible. Les deux parties du moteur qui ont le plus besoin d'huile sont le piston et les billes de roulement qui permettent la rotation de plusieurs pièces telles que le vilebrequin et l'arbre à came. La réserve d'huile qui se trouve dans le réservoir à huile est pompée par la pompe à l'huile et passe à travers le filtre à l'huile (pour y enlever les résidus s'y trouvant) et est acheminée à pression intense vers les cylindres et les billes de roulement. Elle revient ensuite dans le réservoir et le cycle recommence. L'huile que l'on met dans nos moteurs est habituellement quantifiée de deux chiffres (ex. : 10W30). Le premier chiffre représente la viscosité à basse température, alors que le deuxième représente la viscosité à haute température (100 °C). Ces chiffres sont standardisés par la *Society of Automotive Engineers*. Donc, plus le premier chiffre est petit, plus la viscosité de l'huile sera basse à haute température. Il en est de même pour le deuxième chiffre : plus le chiffre est bas, plus la viscosité sera basse à haute température.

Le système de refroidissement du moteur

Bien que le principe de base d'un moteur à essence soit de transformer de l'énergie chimique provenant de l'explosion en énergie mécanique, il reste que la plus grande partie de l'énergie est transformée en chaleur. Il faut donc éviter que les cylindres deviennent trop chauds, pour ne pas qu'ils fondent. La température optimale pour que la

chambre de combustion vaporise le plus possible l'essence, pour que l'huile ait une viscosité optimale et pour que le métal s'use le moins possible est de 93 °C.

Certains moteurs sont refroidis à l'air. Sur le bloc moteur sont montées des palettes d'aluminium, un excellent conducteur de chaleur, qui conduisent la chaleur hors des cylindres. Un ventilateur puissant pousse de l'air à travers ces palettes. La chaleur sera donc transférée à l'air qui sortira ensuite du moteur. L'avantage d'un système de refroidissement à l'air est qu'il est plus léger. Par contre, le moteur se refroidit moins bien, ce qui a pour effet de diminuer les performances des moteurs ainsi que leur espérance de vie. Les moteurs des tondeuses et des motocyclettes sont pour la plupart refroidis à l'air.

C'est pourquoi le système de refroidissement de la plupart des moteurs est constitué d'un radiateur, d'une pompe à eau et de liquide. Le liquide est en fait de l'eau, à laquelle on ajoute une solution augmentant son point d'ébullition et diminuant son point de congélation (ex. : prestone). Cette solution est en fait de l'éthylène glycol ($C_2H_6O_2$), aussi appelée antigel. L'effet de l'éthylène glycol sur les points d'ébullition et de congélation est remarquable, tel que le démontre le tableau suivant :

	Eau pure	Mélange 50/50 d'antigel et d'eau	Mélange 70/30 antigel/eau v/v
Point de congélation	0 °C	-37 °C	-55 °C
Point d'ébullition	100 °C	106 °C	113 °C

On pourrait alors se demander pourquoi ne pas utiliser que de l'éthylène glycol. C'est que l'eau est une des substances qui absorbe et qui conserve le mieux la chaleur.

Le système de refroidissement fait circuler l'eau à travers le moteur via des boyaux grâce à la pompe à eau. Durant son passage, elle absorbe la chaleur du moteur et passe ensuite dans le radiateur. Le radiateur est en fait un échangeur de chaleur qui transfère la chaleur du liquide à l'air qui y passe. Un ventilateur peut pousser l'air à travers le radiateur surtout lorsque le moteur est dans des conditions extrêmes de température.

Une des pièces importantes du radiateur est le bouchon du radiateur. C'est en fait une valve qui maintient la pression à l'intérieur du radiateur à 103,42 kPa (1,0207 atm). Ceci a pour effet d'augmenter la température d'ébullition du liquide d'environ 25 °C.

Le thermostat est aussi une pièce importante du système de refroidissement. Sa principale fonction est de laisser le moteur se réchauffer rapidement et de garder la température du moteur constante lorsqu'elle est optimale. À basse température, le thermostat est complètement fermé, le liquide de refroidissement retourne donc dans le moteur sans avoir été refroidi par le radiateur. Lorsque la température atteint les 85 °C, le thermostat commence à s'ouvrir, laissant s'échapper un peu de liquide vers le radiateur. Lorsque le liquide de refroidissement atteint la température de 90 °C, le thermostat est complètement ouvert.

Le système d'échappement du moteur

Deux parties sont très importantes dans le système d'échappement. Il s'agit premièrement du silencieux. Sans cette pièce, lorsque les voitures roulent, on entendrait une multitude d'explosions. D'ailleurs, bien des motards mettent des silencieux modifiés sur leur engin, causant ainsi toute une pétarade lorsque la moto roule.

L'autre partie, c'est le convertisseur catalytique. En effet, un moteur d'automobile produit beaucoup de polluants. Une première façon de réduire l'émission de polluants, c'est d'injecter la juste quantité d'essence pour qu'il y ait explosion (on dit que ce serait 1 livre d'essence pour 14,7 livres d'air). Mais ce n'est pas assez.

Les principales émissions produites par une automobile sont les suivantes :

- L'azote (N_2), puisque la majeure partie de l'atmosphère est constituée d'azote et il n'est pas utilisé durant la combustion.
- Le dioxyde de carbone (CO_2), car le carbone de l'essence se lie à l'oxygène de l'air.
- Les vapeurs d'eau ($H_2O_{(g)}$), un autre produit de la combustion, puisque l'hydrogène de l'essence se lie à l'oxygène de l'air.

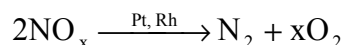
Ces émissions (mis à part le CO_2 qui contribuerait au réchauffement planétaire) sont plutôt bénignes. Celles qui suivent sont toxiques, et proviennent de la combustion imparfaite de l'essence.

- Le monoxyde de carbone (CO), un gaz toxique inodore et incolore qui prend la place de l'oxygène sur l'hémoglobine.
- Les oxydes d'azote (NO et NO_2) qui contribuent à l'acidification des pluies et qui causent des irritations aux muqueuses.
- Les composés organiques volatiles, provenant de l'essence non brûlée mais chauffée. Ces composés peuvent être irradiés par les rayons du soleil pour former des oxydants réagissant avec les oxydes nitreux pour former de l'ozone (O_3), responsable en majeure partie du smog urbain.
- Plusieurs autres, tels les oxydes de soufre, les composés organochlorés, etc. qui proviennent de la combustion incomplète de l'essence.

Afin de palier partiellement à ces émissions de gaz, les automobiles d'aujourd'hui doivent toutes avoir un convertisseur catalytique. L'intérieur de celui-ci ressemble à l'intérieur d'un nid d'abeilles ou toutes les cellules seraient en céramique et recouvertes de platine, de rhodium et/ou de palladium. L'idée du nid d'abeilles est de créer un rapport surface/volume le plus efficace possible et de réduire la quantité de catalyseur (Pt, Rh, et/ou Pd) puisque ce sont des métaux qui coûtent cher.

Le convertisseur utilise deux types de catalyse, soit une réduction puis une oxydation. Pour ce faire, il utilise de l'oxygène résiduel provenant de l'air qui a été poussé dans les cylindres et qui n'a pas participé à la combustion. La réduction catalytique utilise le platine et le rhodium pour réduire les émissions d'oxyde d'azote :

Réductions catalytiques

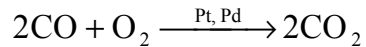


ou



L'oxydation catalytique est la deuxième étape du passage des gaz brûlés dans le catalyseur. Cette catalyse transforme le CO en CO₂.

Oxydation catalytique



Ensuite, les gaz d'échappement passent par un système de contrôle qui détermine la quantité d'oxygène présente dans les gaz d'échappement après leurs catalyses. Ce détecteur d'oxygène fournit à l'ordinateur du moteur les informations sur la quantité d'oxygène présent. L'ordinateur pourra alors augmenter ou diminuer l'injection de carburant pour qu'il y ait une quantité optimale d'oxygène disponible pour que les catalyses soient efficaces.

Il est à noter qu'il faut aussi que le convertisseur catalytique soit chaud pour qu'il fonctionne. Donc, lorsqu'on démarre la voiture l'hiver, il ne fonctionne pas tant qu'il n'est pas réchauffé par le moteur. Les ingénieurs hésitent à le mettre près du moteur, de peur qu'il surchauffe et qu'il brise, étant donné que c'est cher à remplacer. De cette façon par contre le moteur réchaufferait beaucoup plus rapidement et il faudrait attendre moins longtemps après l'allumage pour qu'il devienne efficace. Il est plutôt situé, la plupart du temps, sous le siège du passager.

Façon de calculer la puissance d'un moteur (les horse-power)

La puissance d'un moteur se calcule en horse-power (cheval-puissance). Il ne faut pas confondre et tenter de traduire horse-power par une ancienne unité de mesure, le cheval-vapeur (au pluriel : chevaux-vapeur). D'ailleurs, 1 cheval-vapeur équivaut à 0,98632 hp. *Le Petit Robert* (1993) définit le cheval-vapeur de cette façon : « ancienne unité de puissance équivalent à 736 watts. » Horse-power est un mot francisé, il est présent dans *Le Petit Robert*. C'est une « unité de puissance adoptée en Grande-Bretagne et équivalent à 75,9 kilogrammètres par seconde. » (*Le Petit Robert* : 1993). Le horse-power est donc une unité de puissance. 1 hp = 745.7 watts (j/s)

C'est le physicien James Watt qui serait à l'origine de cette mesure. Il aurait tenté de quantifier le travail fait par un cheval dans une mine de charbon. Selon Watt, un cheval pouvait faire 33 000 pieds-livres de travail par minute. Cela signifie que si un cheval tirait 100 livres, il pourrait parcourir 330 pieds en une minute, ou 10 livres sur 3 300 pieds en une minute, etc. Bien entendu, il devient farfelu de prétendre qu'un cheval ferait 33 000 pieds en une minute avec une charge d'une livre. Cela signifie qu'il parcourrait environ 10 km en une minute, soit l'équivalent d'une vitesse de 600 km/h.

Le hp d'un moteur varie selon sa vitesse de rotation (RPM = rotation par minute). La façon qu'ont les ingénieurs de calculer le hp d'un moteur à une valeur de RPM donnée ressemble un peu à ce qu'a fait James Watt, sauf qu'il faut remplacer le cheval par un moteur. Ils font révolutionner le moteur à une valeur de RPM donnée et calculent sur quelle distance il peut transporter un poids en une minute. La valeur en pied/livres est multipliée par le RPM et divisée par 5252. Le hp est donc fonction du RPM. Souvent, dans les caractéristiques des voitures, on donne la valeur de la puissance maximale obtenue en hp avec le RPM qui s'y rattache ainsi que la valeur du couple maximal, c'est-à-dire le plus de pied/livres qu'un moteur a pu tirer avec la valeur du RPM à laquelle il l'a fait. La valeur du couple et de la puissance ne sont pas les mêmes. Un graphique intéressant montrant le couplage versus le horse-power est présenté à l'adresse suivante : <http://www.howstuffworks.com/horsepower1.htm>

Une autre façon simple de calculer les chevaux-puissance d'un moteur est de multiplier le volume du cylindre par 0,4 et par le nombre de cylindres. Souvent, ce qui nous est donné dans les caractéristiques d'un moteur est l'alésage (bore) et la course de piston (stroke). L'alésage est le diamètre interne d'un cylindre. Donc, pour trouver le hp d'un moteur, on prend l'alésage (en pouces) et on le divise par deux. Cela nous donne le rayon qu'on multiplie par lui-même et ensuite par π , ce qui nous donne l'aire d'un cylindre (en pouces carrés). Cette valeur, on la multiplie par la course de piston, ce qui va nous donner le volume d'un cylindre (en pouces cubes). Il ne reste qu'à prendre ce volume et à le multiplier par 0,4.

Équation mathématique : $\pi r^2 \times \text{course du piston} \times 0,4$

Exemple pour un moteur de quatre cylindres ayant un alésage de 3 pouces et une course de piston de 4 pouces :

$$\pi \times 1,5^2 = 7,1 \text{ po}^2$$

$$7,1 \text{ po}^2 \times 4 \text{ po} = 28 \text{ po}^3 \qquad 11,2 \text{ hp} \times 4 = 44,8 \text{ hp}$$

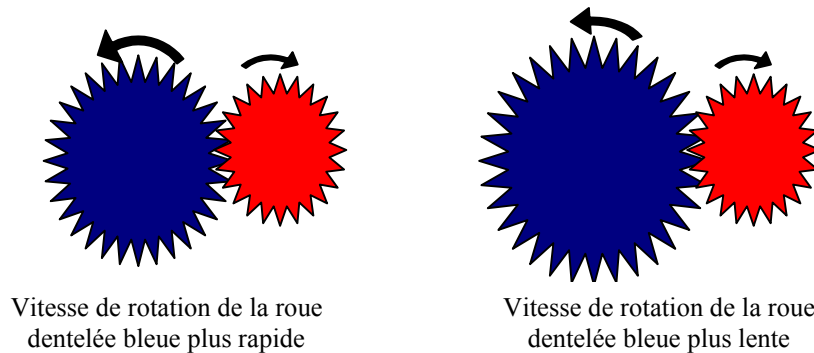
$$28 \text{ po}^3 \times 0,4 = 11,2 \text{ hp}$$

Rôle de la transmission

Comme il a été inscrit à la section précédente, la puissance maximale du moteur ainsi que son couple maximal s'obtiennent à des vitesses de rotation précises du vilebrequin. Le rôle de la transmission est de pouvoir obtenir ces vitesses de rotation dans le plus grand domaine de vitesses du véhicule possible.

Pour comprendre le principe d'une transmission, il faut comprendre le concept des engrenages. Le vilebrequin a un mouvement de rotation et il peut le transmettre à une roue dentelée. Dans la figure qui suit, disons que c'est la roue dentelée en rouge qui aurait la même vitesse de rotation que le vilebrequin et que la roue dentelée en bleu donnerait la rotation à la roue. Si le mouvement de rotation du vilebrequin est transféré à l'aide d'un engrenage à une roue dentelée plus grosse, alors cette dernière aura tendance à avoir une vitesse de rotation plus petite que le vilebrequin (son RPM sera plus petit). De plus, plus

la roue dentelée bleue sera grosse, plus sa vitesse de rotation sera petite pour une vitesse de rotation de la roue dentelée bleue constante.



C'est le rôle de la transmission que de transmettre la vitesse de rotation du vilebrequin aux roues, et de changer les engrenages. C'est pourquoi, par exemple, le vilebrequin peut tourner à 3000 tours par minutes pour faire avancer l'auto à des vitesses aussi différentes que, par exemple, 20, 40, 60, 80 et 100 km/h. Le système d'engrenage est plus complexe que celui présenté dans la figure ci-haut, mais le principe reste le même. La décision pour changer d'engrenage se fera donc automatiquement avec une transmission automatique et manuellement avec une transmission manuelle. Pour visualiser comment se font les changements d'engrenage, vous pouvez vous référer à l'adresse suivante : <http://www.howstuffworks.com/transmission.htm>.

Rôle du différentiel

Le différentiel ne serait pas nécessaire si on conduisait nos voitures toujours en ligne droite. Mais ce n'est pas le cas et, heureusement, il y a un différentiel pour permettre des virages en douceur. Le différentiel est aussi un système d'engrenage, le dernier à modifier les vitesses de rotation de façon significative avant d'arriver à la roue.

Les deux roues qui ne fournissent pas de traction sur une voiture à deux roues motrices n'ont pas besoin de différentiel, car elles ne sont pas reliées ensemble. Ce n'est pas le cas des roues motrices. Lors d'un virage à gauche, par exemple, la roue intérieure (celle de gauche) parcourra moins de distance que celle de droite, mais dans un même temps. C'est donc dire qu'elle doit avoir une vitesse de rotation moins rapide que celle de droite. C'est le rôle du différentiel, qui le fait à l'aide de systèmes d'engrenage plus ou moins complexes selon le type de différentiel posé sur la voiture.

Caractéristiques les plus fréquentes données aux moteurs

Le nombre de cylindre : Les moteurs des voitures présentent généralement 4, 6 ou 8 cylindres. Par contre, certains moteurs ont jusqu'à 12 cylindres.

La cylindrée du moteur : On entendra souvent dire d'un moteur que c'est un moteur de 1,9 litres, par exemple. Cela correspond au

volume d'air que tous les cylindres mis ensemble peuvent contenir.

La puissance du moteur : Cela correspond au nombre de hp

Fonctionnement du moteur à essence à deux temps

Le moteur à deux temps fait en deux temps ce que le moteur à quatre temps fait en quatre temps. Il y a donc une explosion pour une rotation du vilebrequin comparativement à une pour deux rotations dans le cas du moteur à quatre temps.

Il y a quelques avantages à utiliser des moteurs deux temps. Ceux-ci n'ont pas de valves (c'est plutôt le piston qui agira comme valve d'admission et d'échappement), ce qui simplifie beaucoup leur construction. En effet, le moteur deux temps n'a pas besoin d'un arbre à came. De plus, le moteur deux temps a plus de puissance puisqu'il explose à chaque rotation du vilebrequin. Les moteurs deux temps sont donc plus légers, plus simples, et moins chers.

Ils présentent par contre des désavantages. Premièrement, leur lubrification se fait en ajoutant de l'huile à l'essence. Ils coûtent donc cher en huile et durent moins longtemps puisque la lubrification est moins bonne. De plus, il peut s'échapper des nuages d'huile brûlée du moteur. Aussi, ils n'utilisent pas l'essence de façon optimale. Ils coûtent donc plus cher en essence. Comme ils rejettent beaucoup plus de gaz non brûlés, ce sont donc des engins plus polluants que les moteurs à quatre temps.

Le cycle d'un moteur à essence est le suivant :

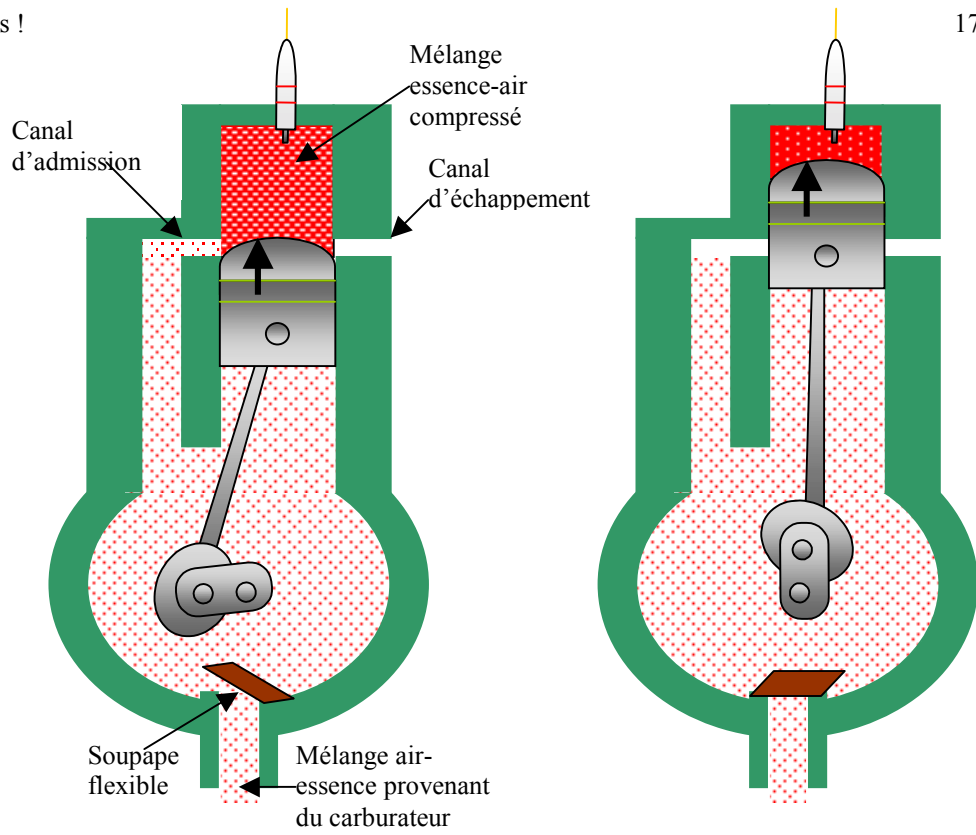
Temps 1 : Le piston monte dans le cylindre en même temps que le mélange air-essence entre dans celui-ci. Le mélange est donc comprimé au fur et à mesure qu'il entre dans le cylindre.

Temps 2 : Lorsque le piston atteint le haut de sa course, la bougie fait une étincelle. L'explosion repousse le piston par le bas. Les gaz s'évacuent au fur et à mesure que le piston descend.

La figure suivante tente de montrer cette situation :

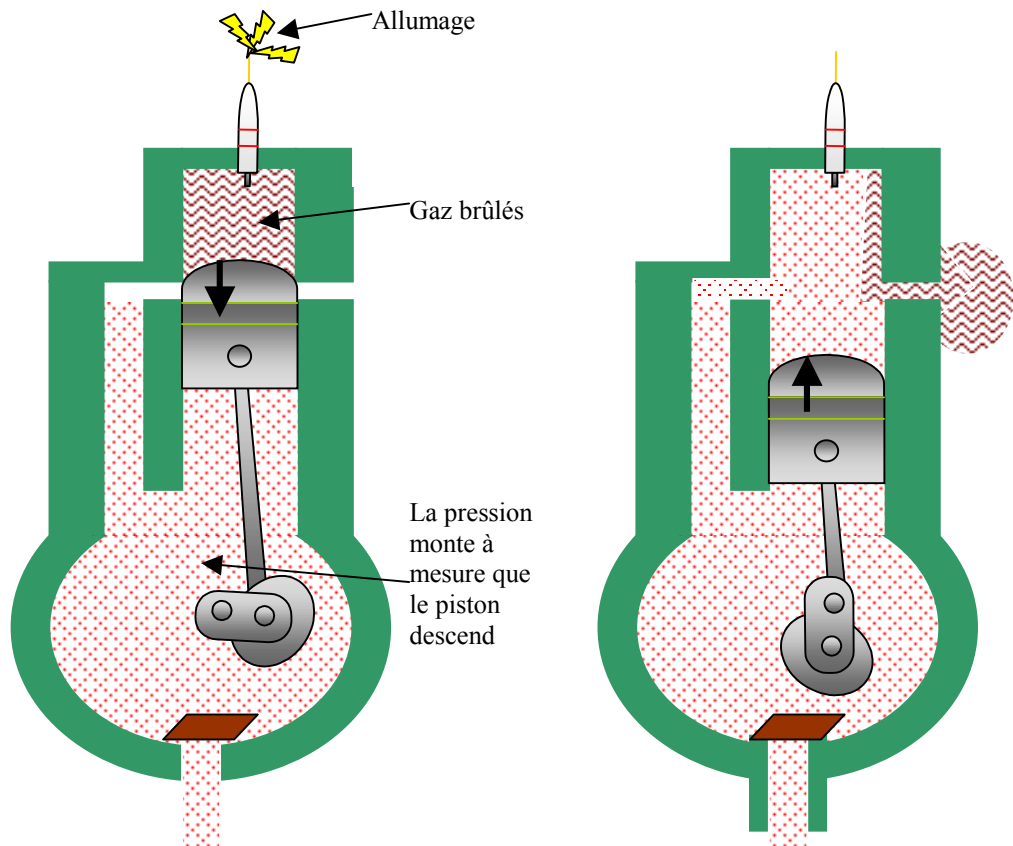
T
E
M
P
S

1



T
E
M
P
S

2



Le fonctionnement des moteurs diesels

Une fois que l'on a compris le fonctionnement des moteurs à essence, comprendre celui des moteurs diesel est tout simple. Le principe de fonctionnement d'un moteur à essence est le suivant :

- Un moteur à essence fait entrer un mélange air-essence dans le cylindre, alors que le moteur diesel ne fait entrer que de l'air.
- Selon la loi des gaz parfaits, lorsqu'un gaz est comprimé (sa pression augmente), sa température augmente. C'est ce qui se passe dans le cylindre. C'est important, puisque la température qu'atteint l'air réchauffé est suffisante pour enflammer le diesel.
- Donc, au lieu d'avoir une bougie qui allume le mélange air-essence, il y a un injecteur qui envoie une petite quantité de diesel qui va exploser à cause de l'air chaud en présence.
- L'explosion fait redescendre le piston et tourner le vilebrequin.

Il existe des moteurs à quatre temps et à deux temps fonctionnant au diesel. Un des avantages d'un moteur diesel est qu'il utilise moins de carburant que le moteur à essence. En effet, le moteur à essence tend à mélanger 8 à 12 parties d'air pour 1 partie d'essence alors que le moteur diesel aura un ratio allant de 14:1 jusqu'à 25:1. De plus, le diesel a une meilleure densité énergétique que l'essence ordinaire. 1 litre de diesel procure environ 590 joules d'énergie alors que 1 litre d'essence en procure environ 500. Le diesel s'évapore aussi moins rapidement que l'essence ordinaire, puisqu'il est plus pesant. En effet, les chaînes de carbones typiques du diesel sont C_9H_{20} alors que celles de l'essence sont $C_{14}H_{30}$.

Par contre, l'essence diesel dégage plus d'odeur que l'essence ordinaire. Aussi, le climat dans lequel nous vivons apporte certains désavantages à ce type de moteur. Comme il faut que l'air soit chaud pour que l'essence brûle, en hiver il faut parfois attendre longtemps avant que les cylindres aient été assez réchauffés pour démarrer la voiture. Les froids intenses peuvent devenir une source de combustion incomplète, amenant des dérèglements des moteurs diesel.

Les moteurs à vapeur

Ces moteurs sont les premiers à avoir été utilisés à grande envergure. Ils sont à la base de la révolution industrielle. Contrairement aux moteurs à essence et aux moteurs diesel qui sont à combustion interne, les moteurs à vapeurs sont des moteurs à combustion externe.

Lorsqu'on comprend bien les principes de fonctionnement des pistons, il est alors facile de s'imaginer que les moteurs à vapeur utilisaient la pression de vapeur pour pousser les pistons. Il y a eu des moteurs à vapeur pour toutes sortes d'application (les trains, les bateaux à vapeur, la fabrication de produits industriels) qui étaient différentes les unes des autres. C'est pourquoi il est quasiment impossible d'énumérer tous les mo-

teurs à vapeur qui ont été construits. Mais le principe est le même que celui des moteurs à essence : c'est le piston, poussé par une force quelconque, qui actionne le moteur.

Les moteurs à turbine

Les moteurs à turbines sont des moteurs dont le but n'est pas d'actionner un piston, mais plutôt de faire tourner une turbine. Les moteurs à turbine utilisant un combustible ont trois parties principales :

1. Un compresseur qui va compresser l'air à une haute pression.
2. Une chambre de combustion qui va brûler le combustible, ce qui va produire avec le comburant (l'air) des gaz à haute pression et à haute vitesse.
3. Une turbine pour transformer l'énergie du gaz provenant de la chambre à combustion en énergie mécanique.

L'avantage des moteurs à turbine est qu'ils présentent un rapport puissance poids très élevé, comparé à des moteurs diesel de même poids. Par contre, parce que la turbine tourne très vite et parce que la chaleur produite par ces moteurs est très élevée, de nombreux problèmes d'ingénierie et de manufacture peuvent être rencontrés lors de la fabrication d'un moteur. Ils sont donc beaucoup plus chers. De plus, les moteurs à turbines utilisent plus de combustible, et ce combustible est envoyé dans la chambre à combustion à un taux constant plutôt qu'à un taux variant avec la puissance demandée. Ils sont donc très polluants.

On utilise donc les moteurs à turbines pour propulser des avions, des hélicoptères et des tanks lourds. Ils génèrent beaucoup de horse-power.

Références

Voici quelques références intéressantes qui ont servi à écrire ce glossaire et qui peuvent servir pour aller chercher des informations supplémentaires.

<http://fly.hiwaay.net/~palmer/motor.html>

<http://jduchamp.ctw.cc> (fermé)

<http://lycos.howstuffworks.com/motor.htm>

<http://home.a-city.de/walter.fendt/physfra/moteurelec.htm>

<http://perso.wanadoo.fr/bernard.gillot/>

<http://members.tripod.com/simplemotor/>

<http://freeweb.pdq.net/headstrong/motor.HTM>(fermé)

<http://scio.free.fr>

de LA TAILLE, R. (1992). « Le moteur le plus simple du monde », *Science et vie*, juin, n° 892, p. 132-136.

de LA TAILLE, R. (1991). « Le plus simple des moteurs électriques », *Science et vie*, mars, n° 861, p 134-139.

Le site web « howstuffworks » à <http://howstuffworks.lycos.com>

FALES, J.F., V.F. KUETEMEYER et S.A. BRUSIC (1997). *La technologie d'aujourd'hui et de demain*, Montréal, Guérin, 576 p.

DAIGLE, L. (1991). *En quête des phénomènes électriques*, Laval, Éditions HRW, 183 p.

JOUANNEAULT, R. (1981). *Le moteur à essence I Fonctionnement et principaux réglages*, 2^e édition, Paris, Presses universitaires de France, 92 p.

<http://home.a-city.de/walter.fendt/physfra/moteurelec.htm>

<http://www.asecc.com/tips/messages/24.html>

<http://www.motorlegend.com/dossiers/>

<http://www.bmcc.ch/technique>

<http://mecanet.ctw.net>(fermé)