

MOTEURS A COMBUSTION INTERNE. CYCLE BEAU DE ROCHAS & OTTO

PROBLEME DE LA PUISSANCE.

MOTEURS A COMBUSTION INTERNE.

Le moteur à essence de l'automobile, le moteur Diesel du camion, sont des machines thermiques alternatives à combustion interne; essence ou gas-oil sont brûlés à l'intérieur même du moteur.

Turbine à vapeur et turbomoteur sont des moteurs thermiques, mais le fluide qui parcourt le cycle, reçoit de la chaleur en dehors même de la machine motrice, dans le générateur de vapeur ou dans la chambre de combustion du turbomoteur; nous pourrions les appeler moteurs à combustion externe.

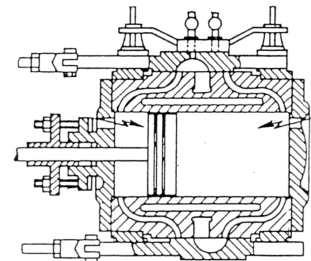
Nous savons que le turbomoteur le plus simple comprend un compresseur d'air, une chambre de combustion, une turbine. Ces trois éléments sont groupés dans l'ensemble cylindre et piston du moteur alternatif; la simplicité schématique de celui-ci est évidente.

LA TRANSFORMATION DE CHALEUR EN ENERGIE MECANIQUE

Initié par LENOIR dont le moteur à cycle sans compression reprend une bonne partie des solutions techniques de la machine à vapeur, dont notamment une distribution par tiroir, les moteurs à combustion interne ont rapidement évolué pour accroître leur rendement (infime sur le moteur de LENOIR). Cette amélioration passa principalement par une pré compression du mélange combustible tel que décrit par le cycle de BEAU DE ROCHAS et réalisé sur le moteur de OTTO.

Les moteurs à combustion interne peuvent fonctionner suivant deux cycles :

- Le Cycle Beau de Rochas & Otto à combustion à volume constant.
- Cycle Diesel à combustion à pression constante.

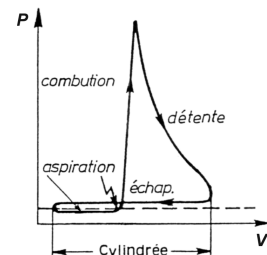


Moteur à gaz LENOIR

ENTRE LA MACHINE A VAPEUR ET LE MOTEUR A COMBUSTION INTERNE, LE CHAINON OUBLIE DU MOTEUR LENOIR.



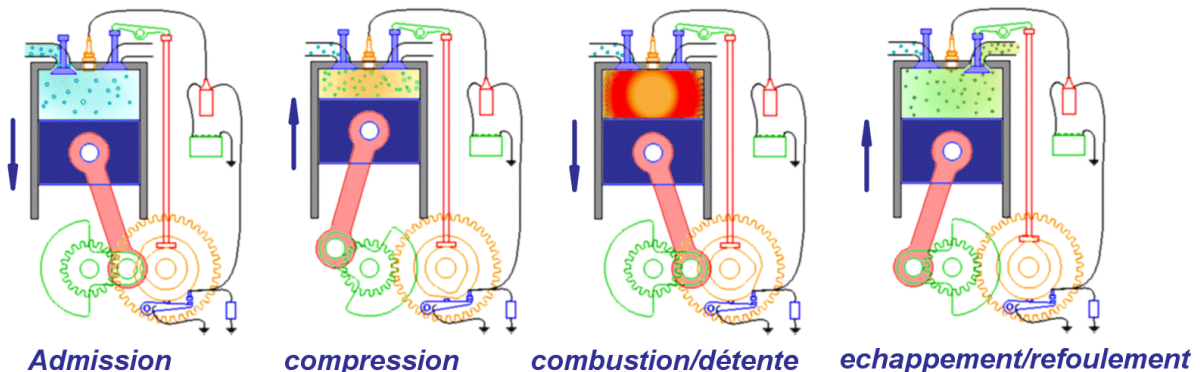
Le moteur de Lenoir (1860), premier moteur à combustion interne, était loin de la perfection; sa consommation de gaz d'éclairage par kilowatt-heure était très élevée. Mais il possédait déjà cette simplicité qui permettait à l'artisan de l'installer dans son atelier. Il n'était plus question de stockage de charbon, de chaudière et de machine à vapeur encombrantes. L'apparition des combustibles liquides volatils simplifiait encore le problème et assurait le développement prodigieux du moteur de traction.



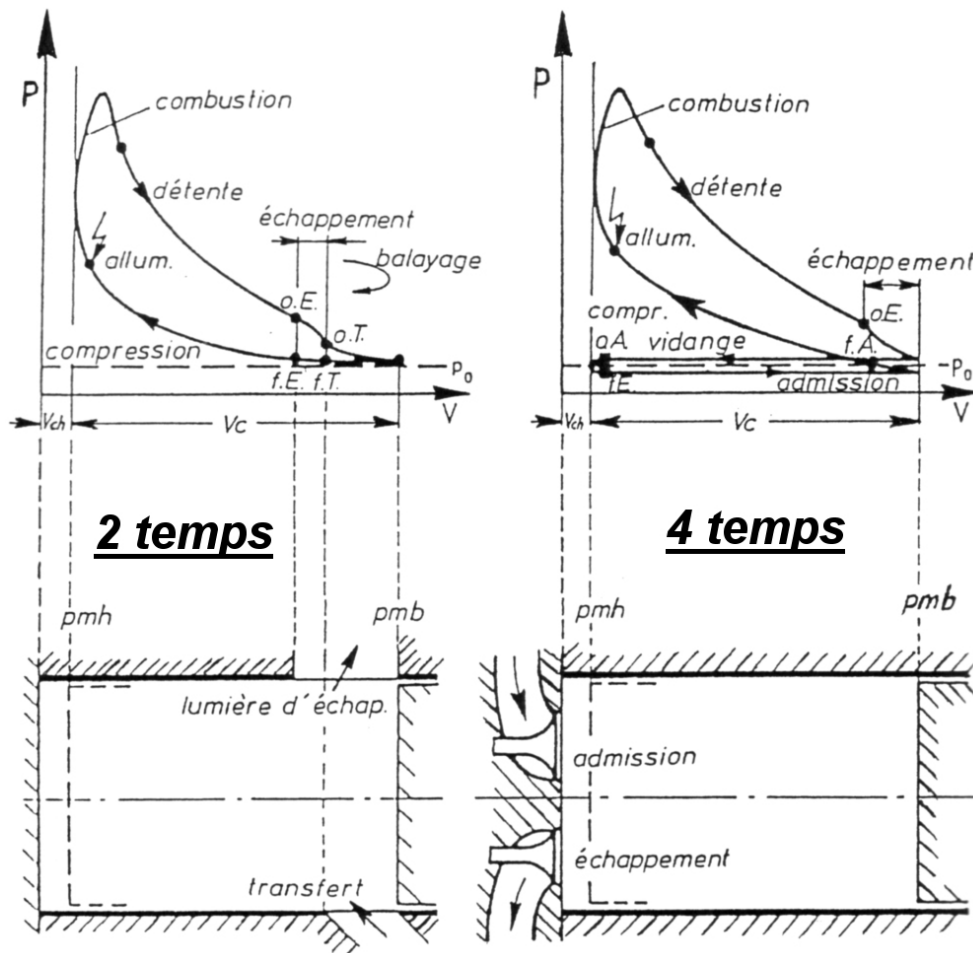
LE CYCLE BEAU DE ROCHAS & OTTO (B-O) A COMBUSTION A VOLUME CONSTANT.

Fonctionnement pratique : 2 types de fonctionnement et donc 2 types de moteurs répondent à ce même cycle :

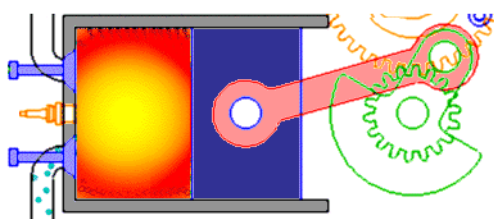
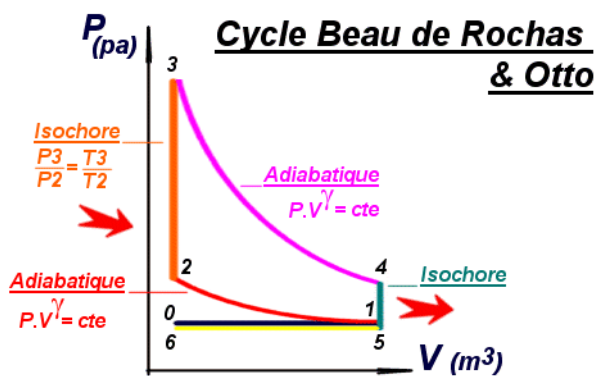
- Le moteur 4 Temps qui exige 2 tours de vilebrequin pour réaliser le cycle B-0 complet



- Le moteur 2 Temps qui tamponne admission et compression d'une part et, combustion échappement de l'autre, et qui n'exige qu'un tour de vilebrequin pour boucler le cycle B-0.



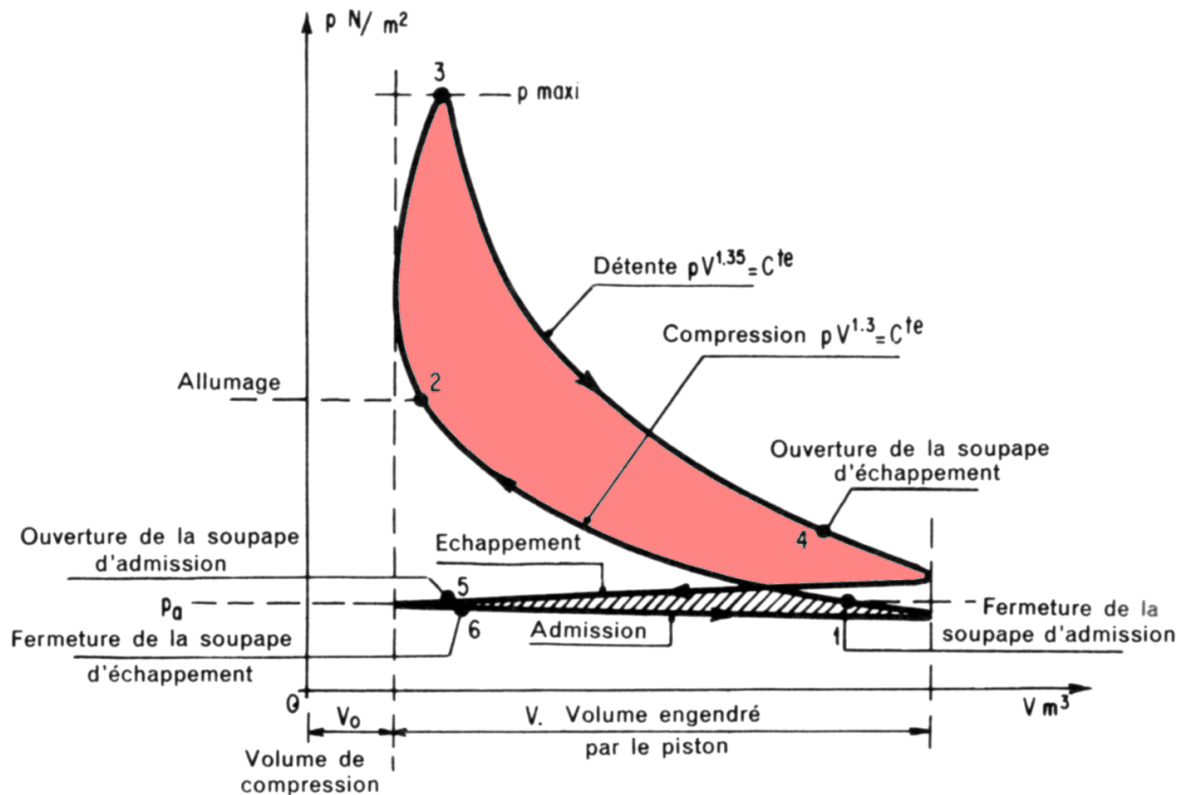
1. LE CYCLE THEORIQUE IDEAL B-0 :



LE CYCLE BEAU DE ROCHAS - OTTO EST CONSTITUE :

- D'UNE COMPRESSION ADIABATIQUE
- D'UNE COMBUSTION ISOCHORE
- D'UNE DETENTE ADIABATIQUE
- D'UN ECHAPPEMENT ISOCHORE

2. LE CYCLE REEL B-0 :



RESULTATS TIRES DU CYCLE REEL

LE RENDEMENT THERMIQUE h EST DEFINI COMME ETANT LE TRAVAIL FOURNI DIVISE PAR LA CHALEUR ABSORBEE:

$$h = \frac{W}{|Q_c|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_c|}$$

LA PUISSANCE INDIQUEE EST EGALE AU PRODUIT DU TRAVAIL PAR CYCLE PAR LE

NOMBRE DE CYCLE THERMODYNAMQUES/S : $P = W \cdot n_{cycle}$

LA PRESSION MOYENNE EFFECTIVE EST DEFINIE : $Pme = \frac{W}{V}$ AVEC V CYLINDREE EN m^3)

RELATION FONDAMENTALE DES MOTEURS THERMIQUES.

Soit V , le volume engendré par le ou les pistons du moteur lors d'une course (V est la cylindrée du piston) (m^3)

Le travail par cycle est : $W_{\text{cycle}} = P_{me} \cdot V$

Le nombre de cycles par secondes : $n_{\text{cycle/s}}$

La **puissance effective** du moteur est donnée par la relation :

$$P = W_{\text{cycle}} \cdot n_{\text{cycle/s}}$$

$$P = P_{me} \cdot V \cdot n_{\text{cycle/s}}$$

POUR AUGMENTER LA PUISSANCE, ON PEUT :

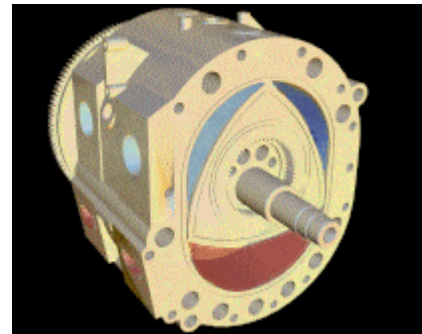
- AUGMENTER LA P_{me} EN GONFLANT LE CYCLE REEL, DONC EN ADMETTANT DANS LE CYLINDRE UNE MASSE M (KG) DE MELANGE CARBURE AUSSI ELEVEE QUE POSSIBLE.
- AUGMENTER LA CYLINDREE V (m^3). GRAND NOMBRE DE CYLINDRES DE CYLINDREE UNITAIRE ELEVEE MAIS LE REFROIDISSEMENT EFFICACE D'UN GROS CYLINDRE EST DIFFICILE.
- AUGMENTER LE NOMBRE DE CYCLES PAR SECONDE EN AUGMENTANT LE REGIME MOTEUR, MAIS LES FORCES D'INERTIE DEVIENNENT ELEVEES QUE LA VITESSE MOYENNE DU PISTON NE DEPASSE PAS 14 M/S. ON PEUT ADOPTER LE CYCLE 2 TEMPS EN SOIGNANT LE REFROIDISSEMENT.

LES ALTERNATIVES ACTUELLES AU MOTEUR A PISTONS.

L'aviation légère et générale, L'industrie et l'automobile utilisent actuellement deux types de moteurs : les turbopropulseurs pour les puissances comprises entre 150 et 1000 cv, et les moteurs à piston à essence aéronautique et à allumage commandé qui occupent la plage de 18 à 700 cv. Aucun autre type de moteur n'a réussi à s'imposer en ce domaine. Sans doute y a-t-il de bonnes raisons à cela; en tout cas, nul n'en a cure et les tentatives, forcément malheureuses, se poursuivent allégrement. Faisons rapidement l'examen de ces causes rédhibitoires.

LE MOTEUR ROTATIF

Inventé dans les années cinquante par WANKEL, le moteur rotatif a de quoi séduire : il est, à puissance équivalente, excessivement léger et compact (le rêve pour les constructeurs d'avion). Malheureusement, il collectionne les problèmes non résolus :



1. PRESSION DE CONTACT DES SEGMENTS D'APEX

Du fait de la variabilité de courbure des surfaces en contact tout au long de la trochoïde, le contact entre les pièces s'établit sur une ligne et non plus sur une surface. Cela a pour effet (puisque la pression est le rapport d'une force sur une surface tendant ici vers zéro) d'induire une pression qui, elle, tend vers l'infinie. Il va sans dire qu'aucun système technologique n'est en mesure de supporter de telles conditions. De fait il n'existe aucune solution de technologie de construction pour résoudre ce problème.

2. L'ÉTANCHEITÉ DES SEGMENTS D'APEX :

L'étanchéité d'apex, ne peut se faire que sur un seul étage, contrairement au piston alternatif qui peut recevoir plusieurs segments. Les pressions maxi qui peuvent monter jusqu'à 100 bars engendrent alors d'inévitables fuites qui nuisent au rendement global, donc qui accroissent la consommation spécifique.

3. LES DEFORMATIONS THERMIQUES DU SEGMENT D'APEX :

Du fait de la répartition non homogène de la température du rotor, le segment d'apex se déforme de façon à prendre une flèche qui est loin d'être négligeable. Des essais menés au Japon ont montré des flèches de 0,02 mm pour un segment de 70 mm de long, ce qui donne une section de fuite (de forme approximativement triangulaire) de $(0,02 \times 70) / 2 = 0,7 \text{ mm}^2$. Mais ce n'est pas tout dans la mesure où une chambre de combustion présente :

- 2 fuites d'apex de $0,7 \text{ mm}^2$ chacune, auxquelles il faut rajouter :
- 4 fuites de coin d'apex de $(0,4 \times 0,4)/2 = 0,08 \text{ mm}^2$
- 4 fuites de coin sur les segments latéraux de $(0,3 \times 0,3)/2 = 0,045 \text{ mm}^2$

Soit au total $1,9 \text{ mm}^2$

Ce qui équivaut à percer un trou de 1,55 mm de diamètre dans chacun des pistons d'un moteur conventionnel! Il est facile d'imaginer ce que cela représente en soi comme perte de rendement et comme accroissement de consommation spécifique... Sans compter que les fuites se passent pour une bonne part entre les 3 chambres de combustion du rotor, ce qui revient à freiner la détente dans la chambre suivante, mais surtout à freiner la compression dans la chambre précédente dans laquelle des gaz brûlés et chauds viennent se mélanger à l'air d'admission pour dégrader le cycle thermodynamique.

4. LES VIBRATIONS DU SEGMENT D'APEX

Soumis à la poussée d'un ressort et à la pression variable des gaz, excité par la rotation de l'arbre excentrique et la surface de la trochoïde, le segment d'apex ne demande qu'à entrer en vibration pour engendrer des ondulations sur la surface de la trochoïde (pression tendant vers l'infinie = arrachement de matière). Ces excitations sont encore aggravées par l'inégalité des dépôts de calamine qui résultent du graissage à huile perdue incontournable sur ces parties.

5. L'ÉTANCHEITÉ A L'HUILE DE GRAISSAGE

Le mouvement excentré du rotor engendre par ailleurs un pompage de l'huile de graissage au niveau des joints d'étanchéité latéraux. La combustion de cette huile "perdue" constituant un facteur intéressant pour l'environnement ... et ses défenseurs.

6. LE REFROIDISSEMENT INTERNE DU MOTEUR

Si la trochoïde est facile à refroidir, il n'en est pas de même du rotor, surtout si ce refroidissement se fait à l'huile. Outre sa tendance à fuir, ici, elle s'accumule encore par centrifugation, et crée des balourds qui déséquilibrent le rotor, constituant ainsi une source supplémentaire de vibrations.

7. LA COMBUSTION ET LES PERTES A LA PAROI

La forme, de la chambre de combustion n'a rien d'optimale. Son rapport surface/volume n'est guère favorable à la combustion qui est d'une part incomplète (les flammes ne vont pas dans les recoins), alors que par ailleurs les échanges à la paroi sont plus importants que ceux, obtenus dans une chambre compacte de même volume. Cela aussi contribue substantiellement à aggraver les consommations spécifiques.

8. L'OBLIGATION DE REDUCTION

Les régimes des moteurs rotatifs sont incompatibles avec les régimes hélice. Un réducteur s'impose donc d'emblée. Or, un réducteur c'est avant tout un système supplémentaire, coûteux, susceptible de défaillir (l'ondulation du couple de sortie est toujours présente), et qui amène une masse qui diminue d'autant l'avantage initial de légèreté. L'ensemble de ces problèmes non résolus, ou mal résolus, fait que le moteur Wanckel est inutilisable en aéronautique où la fiabilité reste l'impératif numéro Un.

LES MOTEURS A BARILLET

Toute une série de moteurs, à barillet ont vu le jour dont les plus connus, sont les moteurs à plateau oscillant ou à came, dont le célèbre Dynacam qui refait à nouveau surface... Malgré l'élégance naturelle de la réduction par deux apportée par le système de la came, ces moteurs doivent encore apporter la preuve de la tenue au matage des galets et des chemins de roulement, en admettant que soient résolus tous les autres problèmes (refroidissement interne, lubrification des rotules ou des galets, alignement et non déformation de-, pistons rigides, etc.).

En admettant que tous ces problèmes technologiques soient un jour résolus, un problème majeur subsiste qui n'est pas technique, mais financier : tous ces types de moteur ne sont pas modulaires. Autrement dit ils ne peuvent en aucun cas constituer des familles de moteurs, et chaque classe de puissance devra être étudiée et certifiée pour soi. C'est là un handicap suffisant pour ne pas constituer un concurrent sérieux au moteur à piston classique dont ils reprennent d'ailleurs les mêmes principes de base du cylindre et du piston alternatif.

LES TURBOPROPULSEURS

Les turbopropulseurs présentent deux avantages liés à leur technologie : ils sont excessivement légers, et ne présentent pas d'ondulation de couple, ce qui autorise l'installation de réducteurs légers, et d'hélices à pas variable qui peuvent aussi s'alléger puisqu'elles n'ont plus à remplir le rôle de volant d'inertie. De plus leur TBO est largement supérieure à celle des moteurs à piston. Ceux sont donc des motorisations très prisées chez les aviateurs. Malheureusement l'aviation légère n'en voit que rarement la couleur pour les raisons suivantes :

1. LEUR COUT

Le Couperet de l'étiquette n'est pas prêt de s'arrêter : avec un prix d'achat d'environ cinq fois celui du moteur à piston de puissance équivalente, les choix sont vite faits.

2. L'IMPOSSIBILITE DE SURALIMENTATION

Tout moteur perd sa puissance quand l'altitude augmente. N'ayant pas de chambre de combustion volumétrique, le turbopropulseur ne peut pas être suralimenté comme le sont les moteurs à piston. Pour obtenir de la puissance en altitude, il suffit d'installer un moteur de plus forte puissance et de limiter sa puissance au sol (détarage). Évidemment, un moteur plus puissant (même détaré), est aussi plus lourd, et sa consommation spécifique plus élevée.

Cette impossibilité de suralimentation est un inconvénient majeur qui limite sérieusement le domaine d'optimalité des turbopropulseurs.

3. UNE CONSOMMATION SPECIFIQUE ELEVEE

Le turboprop est sensible à l'effet d'échelle". En dessous de 400 cv sa consommation spécifique dépasse largement celle du moteur à piston équivalent, et cela va en s'aggravant lorsque la puissance nominale diminue. Ainsi, dès que la durée de vol dépasse 2 à 3 heures, la masse du combustible nécessaire au turboprop surcompense sa faible masse propre de telle manière que la masse (combustible + propulseur) est plus faible avec un moteur à piston. Le turbomoteur de faible puissance (1600cv) n'est donc adapté qu'aux vols de faible durée tels que pratiqués avec les hélicoptères

Ainsi, malgré sa faible masse spécifique et sa capacité à utiliser un carburant peu cher et universellement disponible, le turbopropulseur n'est pas une alternative au moteur à piston en aviation légère et en automobile