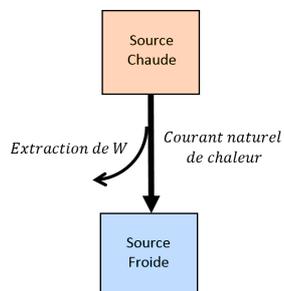


## PRINCIPE DES MACHINES CYCLIQUES DITHERMES

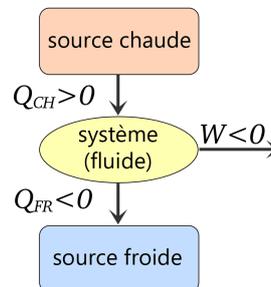
### Machines motrices

moteurs : on accompagne le sens spontané de transfert de chaleur en produisant du travail.

◇ schéma simplifié



◇ diagramme fonctionnel :

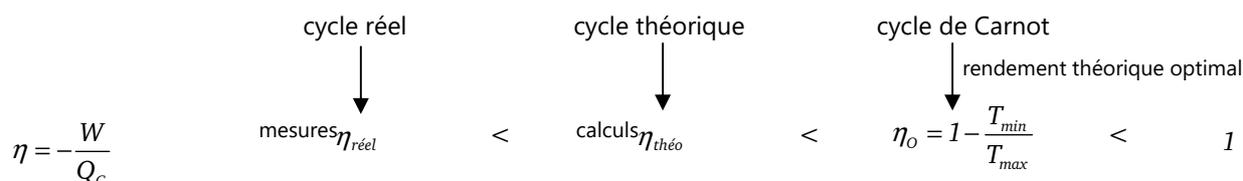


avec :  $Q_{CH}$  (ou  $Q_C$ ) : transfert thermique "coûteux" reçu par le fluide, généralement lors de la combustion du carburant, le plus souvent représenté comme une chaleur échangée avec une source chaude ( $Q_{CH} > 0$ , transfert thermique reçu).

$Q_{FR}$  : transfert thermique échangé pendant le reste du cycle ( $Q_{FR} < 0$ , transfert thermique cédé).

$W$  : quantité de travail échangée pendant le cycle ( $W < 0$ , travail produit).

◇ rendement d'un moteur



◇ Définitions

Moteur thermique : moteur transformant l'énergie thermique en énergie mécanique. On peut citer les moteurs à combustion interne ou externe et les moteurs à réaction.

Moteur à combustion interne : moteur dans lequel ce sont les gaz de combustion eux-mêmes qui fournissent la force expansive agissant sur les parties mécaniques (*moteur à allumage commandé, moteur à allumage par compression*).

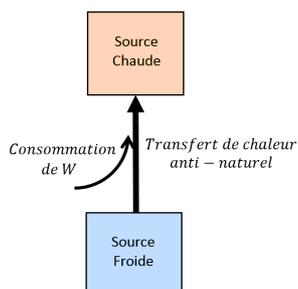
Moteur à combustion externe : moteur dans lequel l'énergie thermique fournie par le combustible n'agit pas directement sur les parties mécaniques (*turbine à gaz, machine à vapeur*).

Moteur à réaction : moteur dans lequel l'action mécanique est réalisée par l'éjection d'un flux gazeux à grande vitesse, qui crée une certaine quantité de mouvement (*turboréacteurs, moteur-fusées*).

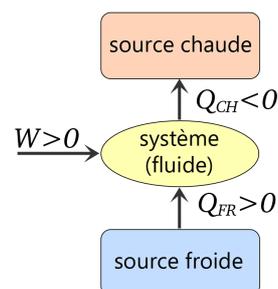
### Machines réceptrices

machines frigorifiques (réfrigérateurs/climatiseurs), pompes à chaleur : on inverse le sens naturel de transfert de chaleur en utilisant du travail.

◇ schéma simplifié



◇ diagramme fonctionnel :



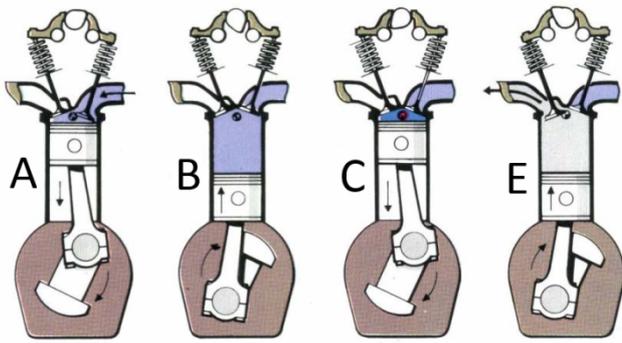
avec :  $Q_{CH}$  : transfert thermique échangé lors du contact avec la source chaude ( $Q_{CH} < 0$ , transfert thermique cédé).

$Q_{FR}$  : transfert thermique échangé lors du contact avec la source froide ( $Q_{FR} > 0$ , transfert thermique reçu).

$W$  : quantité de travail échangée pendant le cycle ( $W > 0$ , travail consommé).

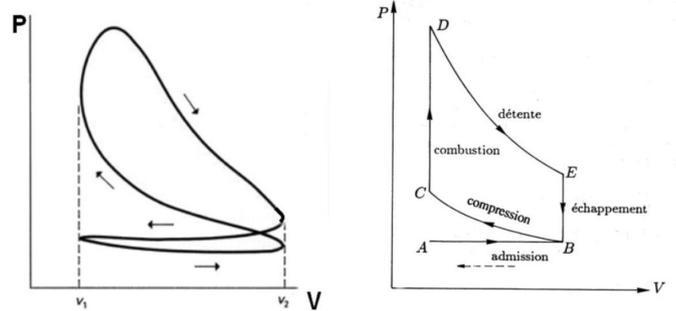
## CYCLES DES MACHINES DITHERMES

### Moteur à allumage commandé : cycle de Beau de Rochas ou cycle d'Otto.



A→B : admission ; B→C : compression

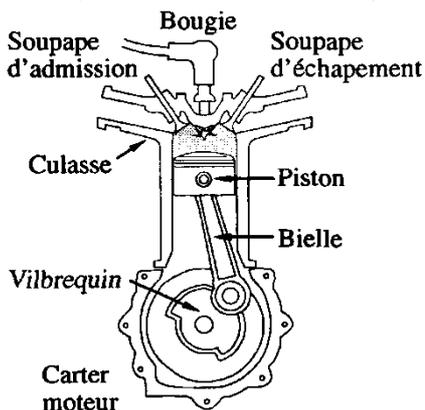
C→D : combustion ; D→E : détente ; E→B→A : échappement



Cycle réel et modélisation

Le moteur à allumage commandé, souvent appelé par abus de langage moteur à explosion, est un moteur à combustion interne dont l'allumage est commandé et réalisé grâce à des éclateurs appelés bougies. Schématiquement, on fait subir à une masse d'air et de carburant (essence) un cycle constitué de deux isentropiques (adiabatiques réversibles) et de deux isochores.

Un tel cycle a été proposé par l'ingénieur français A. Beau de Rochas dès 1862, à partir d'une idée de E. Lenoir.



Un moteur à "explosion" fonctionnant sur ce principe a été réalisé par l'ingénieur allemand N. Otto et présenté pour la première fois à l'exposition universelle de Paris en 1878. Un cylindre formant une chambre de combustion admet, par une soupape d'admission, le mélange combustible et le comprime jusqu'à la mise à feu, ce qui produit la réaction chimique de combustion ; les produits gazeux de la réaction fournissent du travail au milieu extérieur puis sont expulsés à travers une soupape d'échappement sous forme de gaz brûlés.

#### ◇ Description du cycle

Le cycle est décrit en quatre temps :

- 1°) Le cylindre admet le mélange à travers une soupape d'admission dans un volume  $V_1$  (portion 1⇒2).
- 2°) Les soupapes étant fermées, le mélange est comprimé adiabatiquement jusqu'au volume  $V_2$  (portion 2⇒3) jusqu'à l'"explosion" du mélange qui augmente la pression (portion 3⇒4).
- 3°) Les soupapes étant toujours fermées, les produits de la combustion se détendent adiabatiquement en repoussant fortement le piston (portion 4⇒1) jusqu'à la position extrême du piston.
- 4°) La soupape d'échappement s'ouvre, ce qui diminue brutalement la pression (portion 1⇒2) et les gaz brûlés sont évacués.

Dans la pratique, les moteurs à allumage commandé fonctionnent généralement avec quatre cylindres, ce qui permet de réaliser une rotation quasi-uniforme du moteur.

Notons que, le moteur à allumage commandé étant un système ouvert, l'étude thermodynamique présente est relative au système fermé constitué par une masse déterminée de fluide au cours d'un cycle.

Le rendement de ce moteur ne dépend que du taux de compression  $\alpha_v$ .

Ordres de grandeur : Comme le mélange est pratiquement de l'air assimilable à un gaz parfait diatomique,  $\gamma \approx 1,4$  et que  $\alpha_v \approx 9$ , on trouve  $\eta_M \approx 0,6$ . En pratique, on a des rendements de 30 à 35 %. Les moteurs à allumage commandé fournissent une puissance mécanique qui peut atteindre 3 MW.

*Remarque :*

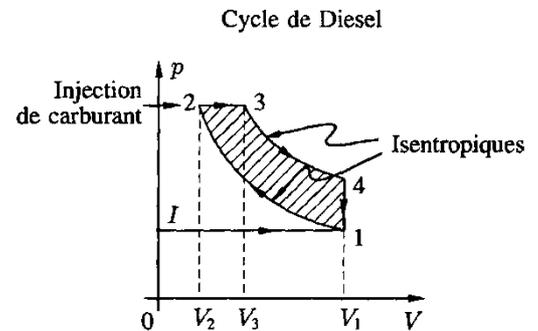
- Le cycle réel a l'allure du cycle théorique précédent mais en diffère sensiblement, notamment au voisinage des points extrêmes 1, 2, 3, 4.

### Moteur à allumage par compression : cycle de Diesel.

Le moteur Diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage n'est pas assuré par une bougie mais par une compression élevée, ce que l'on réalise sans risque d'inflammation en comprimant l'air seul et en injectant le carburant au point 2 du diagramme.

Ce moteur a été mis au point par l'allemand R. Diesel en 1893, fortement motivé par la recherche d'un moteur thermique fonctionnant avec un combustible rudimentaire, moins raffiné que l'essence, par exemple, du charbon pulvérulent.

Le cycle ressemble à celui du moteur à allumage commandé, mais la portion isochore  $2 \Rightarrow 3$  est remplacée par une isobare car, dans le moteur Diesel, le combustible est injecté sous pression en 2, de façon assez progressive.



#### ◇ Description du cycle

Le cycle est décrit en quatre temps :

- 1°) Le cylindre admet l'air seul à travers une soupape d'admission dans un volume  $V_1$  (portion  $I \Rightarrow 1$ ).
- 2°) Les soupapes étant fermées, l'air est comprimé adiabatiquement jusqu'au volume  $V_2$  (portion  $1 \Rightarrow 2$ ).
- 3°) Les soupapes étant toujours fermées, on introduit le combustible en 2 ; une fois la combustion réalisée (portion  $2 \Rightarrow 3$ ), les produits de la réaction se détendent adiabatiquement en repoussant fortement le piston (portion  $3 \Rightarrow 4$ ) jusqu'à la position extrême du piston.
- 4°) La soupape d'échappement s'ouvre, ce qui diminue brutalement la pression (portion  $4 \Rightarrow 1$ ) et les gaz brûlés sont évacués.

Dans la pratique, les moteurs Diesel fonctionnent généralement avec quatre cylindres.

Ordre de grandeur du rendement : Pour  $\gamma \approx 1,4$ , un taux de compression  $\alpha_v = V_1/V_2 \approx 14$  et un rapport de détente  $\beta_v = V_1/V_3 \approx 9$ , on trouve  $\eta \approx 0,6$ . En pratique on atteint 40 à 45 %. La puissance motrice fournie par le moteur Diesel peut atteindre 30 MW.

*Remarque :* Dans les moteurs Diesel actuels, dits à double combustion, la forme du cycle diffère légèrement de celle du cycle précédent : la portion isobare  $2 \Rightarrow 3$  est remplacée par une portion isochore  $2 \Rightarrow 2'$  et une portion isobare  $2' \Rightarrow 3$  car l'injection du combustible est avancée.