

Matière : Thermodynamique technique

Chapitre 1

Généralités

Définition1 : Thermodynamique : est une science qui permet de décrire d'étudier, de quantifier les transformations (les évolutions, les échanges) entre un système donné et l'extérieur.

Définition2 : Cycle thermodynamique :

Un cycle thermodynamique est une suite de transformation successive qui part d'un système thermodynamique dans un état donné, le transforme et le ramène finalement à son état initial, de manière à pouvoir recommencer le cycle. Le système voit sa température, sa pression ou d'autres paramètres d'état varier, tandis qu'il échange de travail et réalise un transfert thermique avec l'extérieur.

Type des cycles thermodynamique

Cycle à combustion externe :

Sans changement de phase : Brayton-Carnot-Ericsson-Stirling-Stirling adiabatique-Stirling-Vuilleumier.

Avec changement de phase :

Kalina-Rankine (et son cycle organique)-cycle régénératif, cycle hygroscopique-Stirling biphasique.

Combustion interne :

Brayton-Diesel-Lenoir- cycle à deux temps.

Cycle mixtes : cycle combiné : cycle hybride à haute rendement.

Autres cycles : Claude, Claude à double pression, Gifford-Mc Mahon, Siemens.

Définition

Les machines thermiques :

Puisqu'il est impossible d'après le deuxième principe de prélever de la chaleur et de la transformer intégralement en travail, une machine thermique doit nécessairement fonctionner entre au moins deux sources de chaleur.

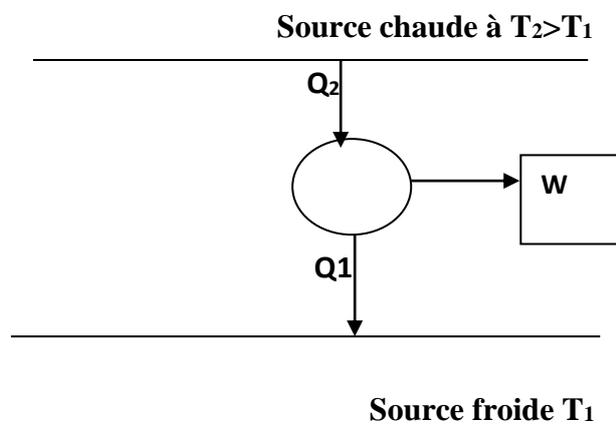
La transformation de chaleur (Q) en travail (W) à partir d'une source chaude n'est donc possible qu'à la condition de rejeter une partie de la chaleur à une autre source froide (cycle ditherme). Cette chaleur rejetée est donc perdue et influera sur les performances de la machine thermique, d'où la notion de **rendement thermique**.

Un transfert de chaleur ne s'effectue jamais d'une source froide vers une autre chaude, d'où la nécessité d'un travail de moteur supplémentaire.

Donc, on peut distinguer entre deux types de machines thermiques avec deux principes de fonctionnement.

Machines thermodynamiques

Les machines thermodynamiques (T.D) sont des machines thermiques produisant du travail, dite machines motrices. Ces des machines thermiques qui transforment une partie de la quantité de chaleur prélevée d'une source chaude en travail mécanique et le reste sera perdue.



Principe de fonctionnement d'une machine thermodynamique

Exemples de machine thermodynamiques :

-Machines à vapeur

-moteurs à combustion à essence ou à diesel

-centrales thermiques ou nucléaires de production d'électricité

Si on fait un bilan énergétique sur cette machine (T.D) ;on peut écrire :

Selon le 1^{ère} principe de la thermodynamique : $Q_2 = W + Q_1$

Selon le 2^{ème} principe de la thermodynamique :

(Notion de rendement) $\eta = \frac{W \text{ fourit}}{Q_{\text{prélevée}}} = \frac{W}{Q} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} < 1$$

Le rendement de cette machine (T.D) est toujours inférieur à l'unité, puisque la quantité de chaleur prélevée de la source chaude n'est jamais transformée intégralement en travail (énoncé de kelvin).

Cycles thermodynamiques

Les machines thermodynamiques fonctionnent avec plusieurs transformations successives formant ainsi un cycle.

Dans la pratique, ces transformations ne sont pas réversibles, alors on remplace ces processus irréversibles par des transformations réversibles plus facilement calculables, d'où on obtient des ϵ idéales.

Il existe plusieurs cycles thermodynamiques :

Cycle de Carnot

C'est un cycle de rendement maximal et le plus efficace. L'efficacité des autres cycles et des machines réelles est toujours comparée à celle du cycle de Carnot par le biais du rendement.

Le cycle de Carnot est un cycle thermodynamique théorique pour un moteur fonctionnant entre deux sources de chaleur, constitué de quatre processus réversibles :

- 1 \longrightarrow 2 : Détente isotherme (avec apport de chaleur).
- 2 \longrightarrow 3 : Détente adiabatique.
- 3 \longrightarrow 4 : compression isotherme (avec refroidissement).
- 4 \longrightarrow 1 : compression adiabatique

Le rendement du cycle de Carnot pour une machine thermodynamique est :

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2}$$

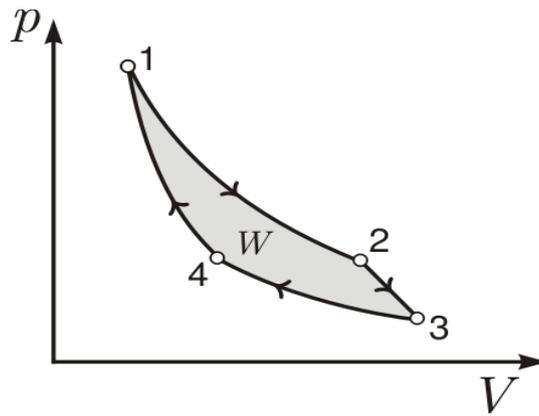
Avec :

Q_1 est la quantité de chaleur perdue à la source froide de température T_f donc $Q_1 = Q_f$

Q_2 est la quantité de chaleur prélevée de la source chaude de température T_c , donc $Q_2 = Q_c$

Donc :

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{Q_f}{Q_c} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$



Cycle de Beau Rochas (OTTO)

C'est un cycle théorique des moteurs à combustion interne à allumage commandé. Exemple du moteur à essence. Ce cycle appelé cycle de Beau Rochas (OTTO) (1862) est aussi dit cycle de moteur à essence.

Le cycle théorique est composé des transformations suivantes :

0 \longrightarrow 1 : l'admission est modélisée par une détente **isobare**

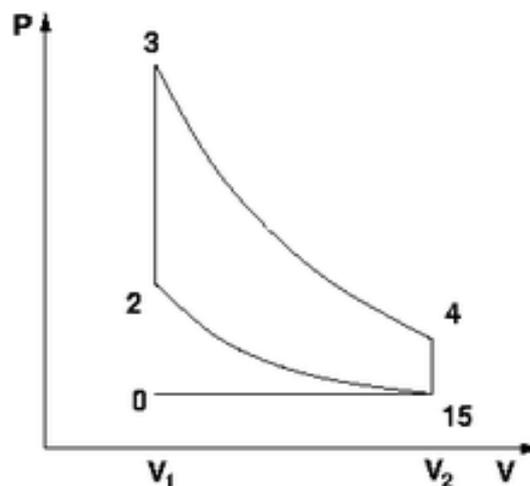
1 \longrightarrow 2 : compression adiabatique du mélange (air-carburant). le rapport de compression (V_1/V_2) est entre 4 et 10.

2 \longrightarrow 3 : combustion (apport de chaleur) isochore.

3 \longrightarrow 4 : détente adiabatique

4 \longrightarrow 5 : refroidissement (mise à l'atmosphère) isochore.

5 \longrightarrow 0 : l'échappement est modélisé par une détente **isobare** (5-0).

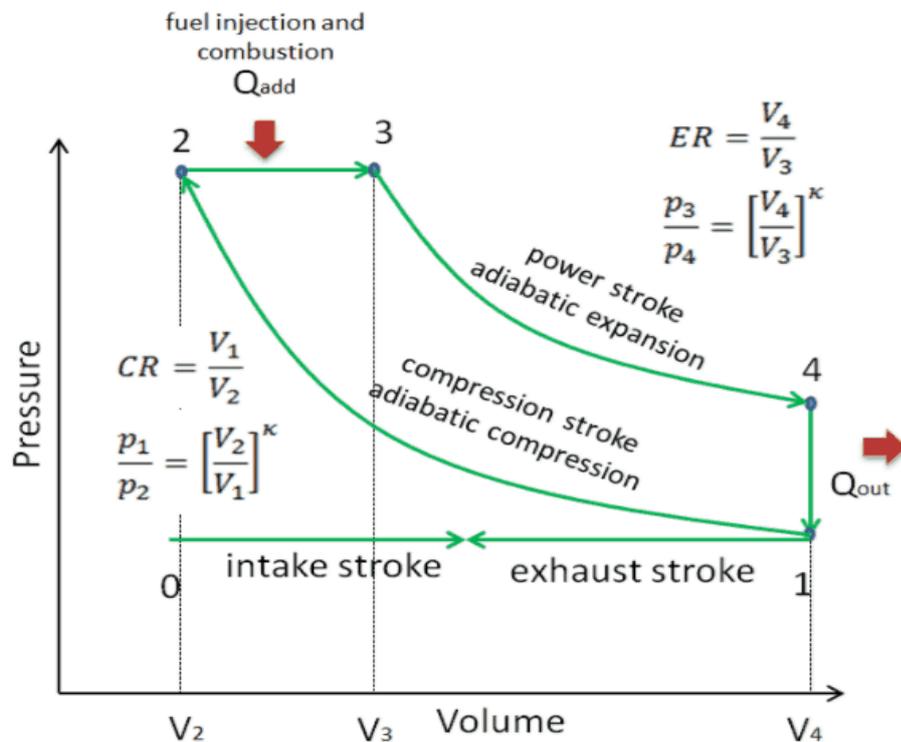


Cycle de Diesel

Le moteur Diesel est conçu par Rudolf Diesel (1893-1897). Le moteur Diesel est un moteur à combustion interne dont l'allumage est spontané au contraire du moteur à essence.

Le cycle théorique du moteur Diesel est composé de quatre transformations réversibles représenté dans le diagramme de Clapeyron ci-dessous.

- 1 → 2 : compression adiabatique qui s'effectue seulement sur l'air .le rapport de compression (V_1/V_2) est entre 14 et 25.
En point 2, le carburant est injecté dans la chambre de combustion remplie d'air porté à la température $T_2 < T_1$ (température d'inflammation du carburant).
- 2 → 3 combustions du carburant (apport de chaleur) isobare.
- 3 → 4 : détente adiabatique.
- 4 → 1 : mise à l'atmosphère par échappement (refroidissement) isochore.



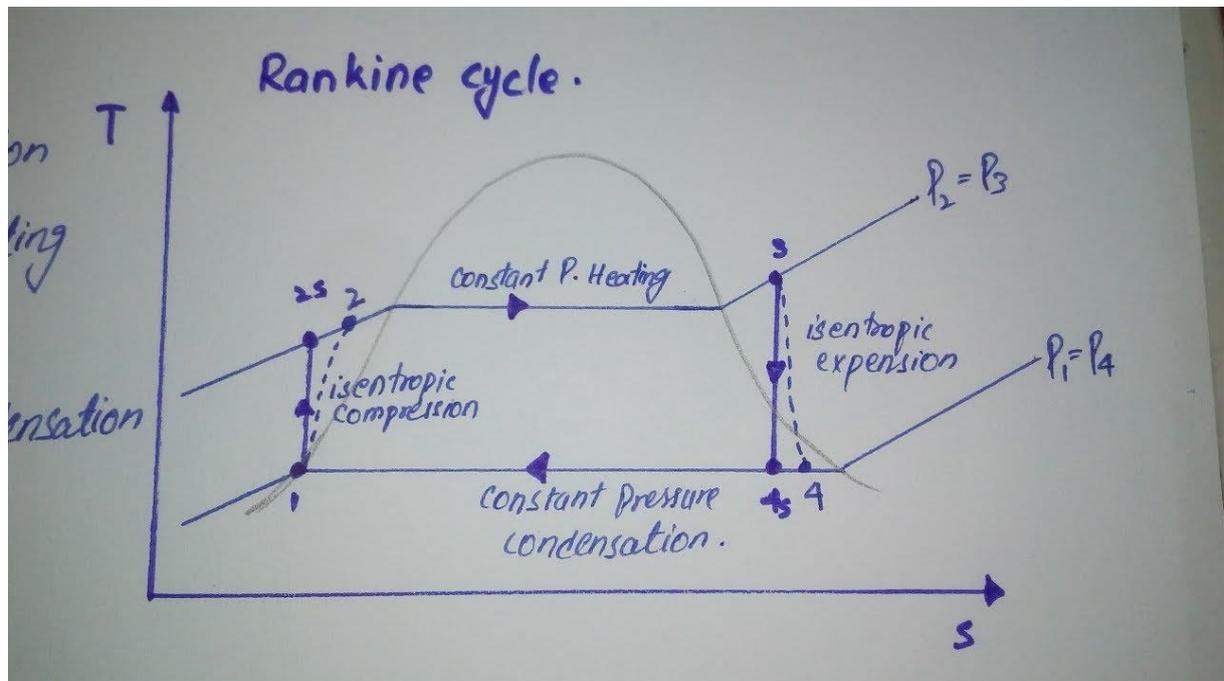
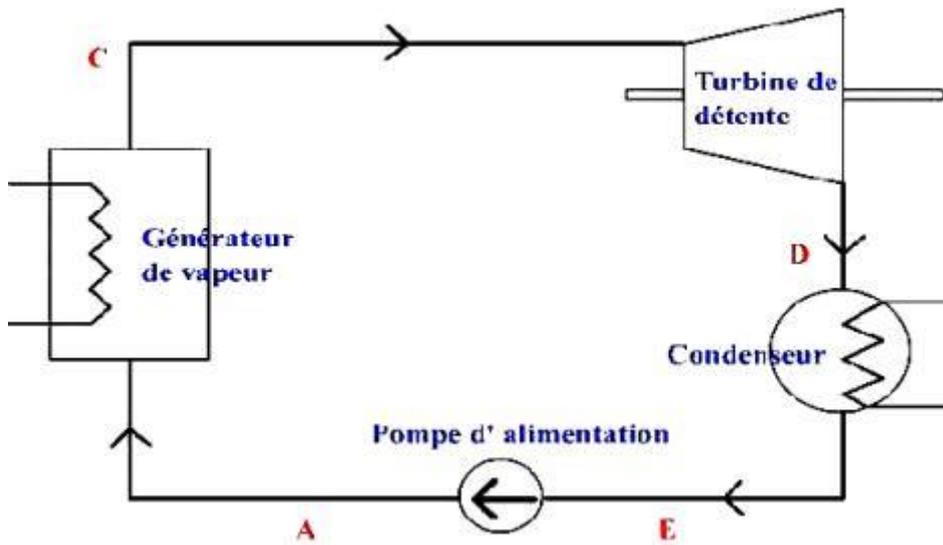
Cycle de Rankine

Le cycle de Rankine est un cycle thermodynamique composé de deux transformations isoentropiques et de deux isobares. Son but est de transformer la chaleur en travail. C'est la base de la conception des moteurs à vapeur de tout type.

Il est à la base des machines utilisant la vapeur d'eau dans les centrales thermiques ou nucléaires, comme les turbines à vapeur il comprend :

Le cycle théorique est composé de quatre transformations réversibles suivantes :

- 1 → 2 : compression adiabatique.
- 2 → 3 : vaporisation isobare.
- 3 → 4 : Détente adiabatique.
- 4 → 1 : Liquéfaction isobare.



Cycle de Stirling

C'est le cycle du moteur à air chaud qui comprend :

- Deux transformations isothermes (compression et détente).
- Deux transformations isochores.

