

## CHAPITRE 5 : INTRODUCTION AUX MACHINES THERMIQUES

### I. DEFINITION

Une machine thermique c'est un système qui permet la conversion de chaleur  $Q$  en travail  $W$  ou inversement.

Les machines thermiques fonctionnent généralement grâce à un fluide (air, eau, fréon...) auquel on fait subir des transformations cycliques (isochore, isobare, isotherme, isentropique) au cours duquel il y a échange de chaleur avec le milieu extérieur

Selon le signe de  $W$ , on distingue deux types de machines :

- *les machines réceptrices* ( $W_{cycle} > 0$ ) telles que les réfrigérateurs, permettant de réchauffer ou refroidir
- *les moteurs thermiques* ( $W_{cycle} < 0$ ) ayant pour but de fournir un travail mécanique à partir d'une source de chaleur par exemple

### II. INEGALITE DE CLAUSIUS

#### II.1. machine monotherme

C'est une machine qui échange une seule source de chaleur (thermostat) de température  $T_e$  une quantité de chaleur  $Q$ .

Exemple : Un radiateur électrique est une machine montherme qui reçoit de l'énergie électrique (travail) le restitue sous forme de transfert thermique à la pièce qu'il doit chauffer.

La machine fonctionnant par cycles, on a  $\Delta U = 0$  et  $\Delta S = 0$ .

Le premier principe s'écrit :  $\Delta U = W + Q = 0 \Rightarrow Q = -W$

Le deuxième principe s'écrit :

$$\Delta S = S_e + S_{crée} = 0 \text{ or } S_e = \int_A^B \frac{\delta Q}{T_e} = \frac{Q}{T_e}$$

$$\frac{Q}{T_e} \leq 0$$

D'où on déduit que  $W > 0$

**Ce résultat montre qu'une machine monotherme ne peut pas produire du travail**

#### II.2. machine ditherme

C'est une machine qui échange avec deux sources de chaleurs (Source 1 de température  $T_1$ , et Source 2 de température  $T_2$ ) respectivement  $Q_1$  et  $Q_2$ .

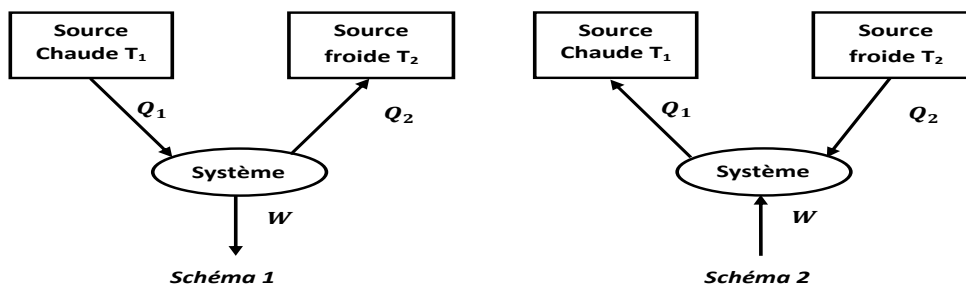
La machine fonctionnant par cycles, on a  $\Delta U = 0$  et  $\Delta S = 0$ .

- Le premier principe s'écrit :  $\Delta U = W + Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow Q_1 + Q_2 = -W$
- Le deuxième principe s'écrit :  $\Delta S = S_e + S_{crée}$

$$S_e = S_e(1) + S_e(2) = \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta Q_1}{T} + \int_{T_1}^{T_2} \frac{\delta Q_2}{T} = \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} < 0$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

Dans les deux schémas théoriques représentés ci-dessous, les sens des flèches ne sont nullement conventionnels mais correspondent au sens réel des échanges.



Ces schémas correspondent en fait à trois types de machines :

- Schéma 1 : le **moteur** qui reçoit de la chaleur de la source chaude, en fournit à la source froide et surtout **fournit du travail à l'extérieur**
- Schéma 2 :
  - la **pompe à chaleur** qui reçoit du travail de l'extérieur, reçoit de la chaleur de la source froide, et **surtout fournit de la chaleur à la source chaude**
  - la **machine frigorifique** qui reçoit du travail de l'extérieur, fournit de la chaleur à la source chaude, et surtout **reçoit de la chaleur (donc en prélève) de la source froide**

### III.1. Machine polytherme

C'est une machine avec  $n$  source de chaleur de température  $T_i$ ,

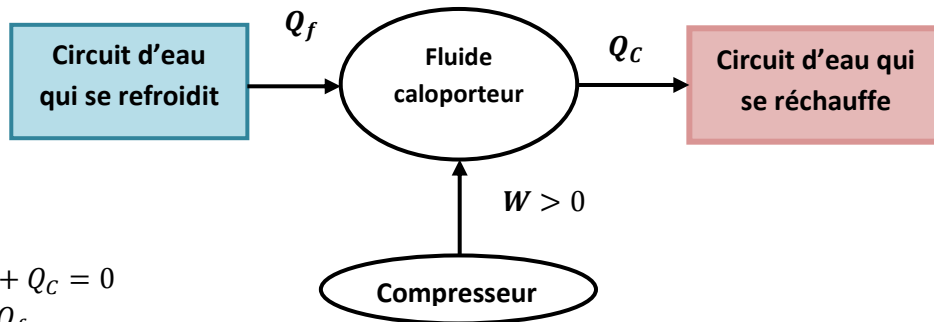
$$\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$$

$Q_i$ : La quantité de chaleur échangée avec la source  $i$ .

### III.EXEMPLE DE MACHINE THERMIQUE (pompe à chaleur)

#### III.1. Généralité

La pompe à chaleur est un système thermodynamique constituée de deux sources de chaleur (chaude et froide) entre lesquelles un fluide caloporteur (R134a), subit un cycle de transformations (des changements d'états : évaporation et liquéfaction), provoquant un transfert de chaleur entre les 2 sources.

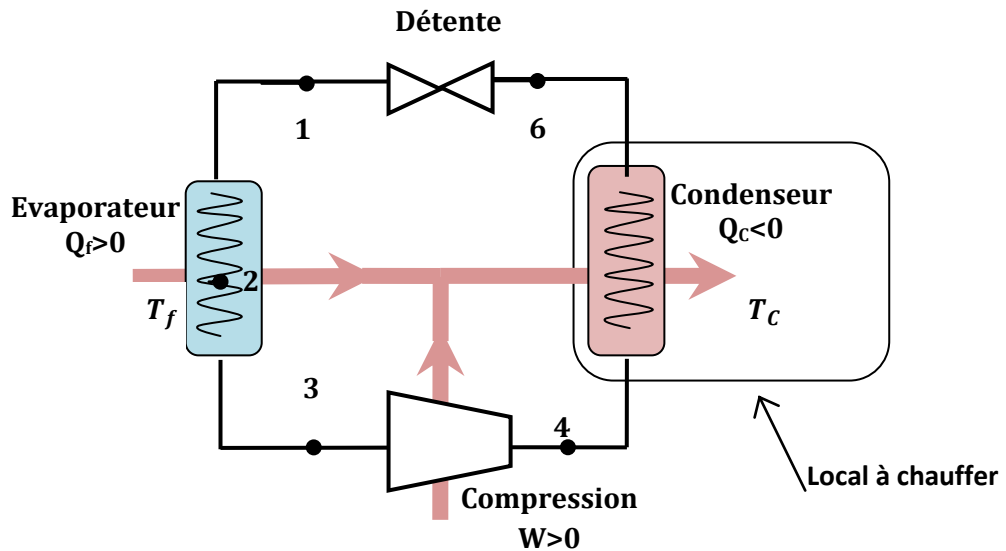


$$\begin{cases} W + Q_f + Q_c = 0 \\ \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0 \end{cases}$$

Soit  $\frac{Q_f}{T_f} + \frac{-W-Q_c}{T_c} \leq 0$  ou encore  $\frac{-W}{T_c} \leq Q_f \left( \frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_f} \right)$  d'où  $Q_c \leq Q_f \left( 1 - \frac{T_c}{T_f} \right) - Q_f$   
 $\Rightarrow Q_c \leq -Q_f \frac{T_c}{T_f} \Rightarrow Q_c \leq 0$  Le système cède de la chaleur à la source chaude

#### III.2. Schéma de principe et description

On considère une pompe à chaleur dont le schéma de principe est ci-contre.



Le fluide :

- reçoit le travail  $W$  du compresseur ;
- cède à la source chaude la chaleur  $Q_c$  dans le condenseur où il se liquéfie ;
- reçoit de la source froide la chaleur  $Q_f$  dans l'évaporateur pour se vaporiser.

**Dans l'évaporateur:**

Le fluide frigorigène liquide entre en ébullition et s'évapore en absorbant la chaleur du fluide extérieur, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur, c'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe (2-3)

- × Etat du fluide à l'entrée (1) : mélange liquide vapeur,
- × Etat du fluide à la sortie (3): vapeur basse pression surchauffée (régime sec).

**Dans le compresseur:**

Le compresseur va tout d'abord aspirer le gaz frigorigène à basse pression BP et à basse température (3), le comprime et le refoule vers le condenseur

- × Etat du fluide à l'entrée (3): vapeurs BP surchauffées
- × Etat du fluide à la sortie (4): vapeurs HP surchauffées

**Dans le condenseur:**

Le gaz chaud provenant du compresseur va céder sa chaleur au fluide extérieur. Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent, avant l'apparition de la première goutte de liquide. Puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernière bulle de vapeur. Le fluide liquide peut alors se refroidir de quelques degrés (sous-refroidissement (4-5)) avant de quitter le condenseur

- × Etat du fluide à l'entrée (4): vapeurs HP surchauffées
- × Etat du fluide à la sortie (6) : liquide HP sous refroidi.

**Dans le détendeur:**

Le fluide frigorigène se vaporise partiellement dans le détendeur pour abaisser sa température

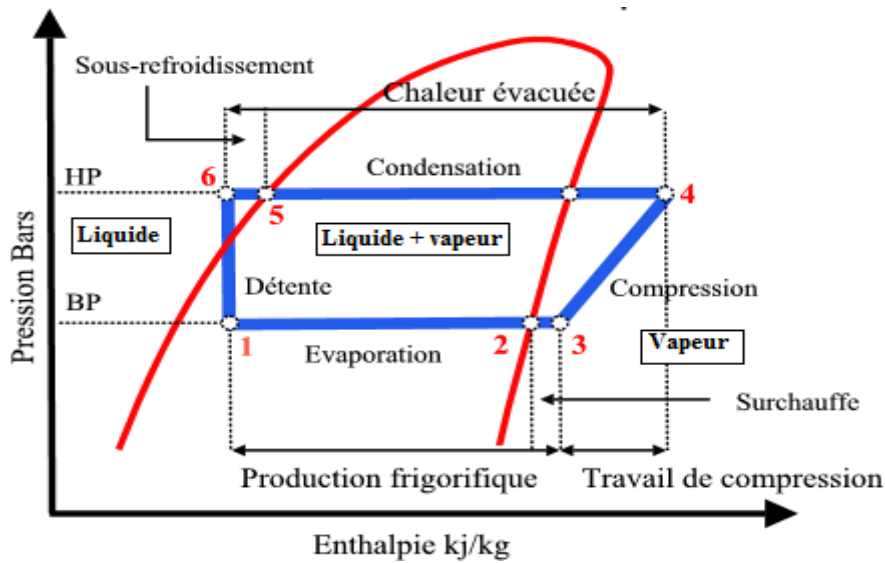
- × Etat du fluide à l'entrée (6): liquide HP sous refroidi
- × Etat du fluide à la sortie (1): mélange liquide-vapeur.

***III.3. Diagramme de Mollier***

Il représente l'évolution d'un fluide en coordonnées ( $h, P$ ). On peut faire une lecture directe des échanges énergétiques sur ce diagramme car elles sont en général exprimées par des variations d'enthalpie.

- Une compression ou une détente est en général représentée par une droite verticale.

- Dans le domaine d'équilibre liquide vapeur les isobares et les isothermes sont confondues,
- Dans le domaine vapeur si nous faisons l'hypothèse du G.P les isothermes sont des droites horizontales (h ne dépend pas de la température) les isobares sont des exponentielle
- A l'intérieur du domaine d'équilibre liquide vapeur x est proportionnelle à la longueur du segment d'isotherme depuis la courbe d'ébullition. On peut donc tracer les courbes isotitre et les utiliser pour déterminer le graphique  $\chi$



Exemple de diagramme de Mollier pour fluide caloporteur(R134a)

