

## TP N°3 : POMPE A CHALEUR

### GENERALITES

La pompe à chaleur est le modèle de démonstration d'une pompe à chaleur à compression. Ce modèle permet de mesurer la température et la pression du fluide frigorigère et d'observer l'état de ce fluide par des regards.

#### I- Eléments fondamentaux :

##### 1) Principe d'une pompe à chaleur :

Le but d'une pompe à chaleur consiste à retirer de la chaleur  $Q_1$  d'un environnement à basse température  $T_1$  et de restituer cette chaleur à un autre environnement, se trouvant à une température plus élevée  $T_2$ . Ceci nécessite un certain travail  $W$ . Ce travail est fourni par un compresseur. Une pompe à chaleur à compression travaille suivant un cycle qui doit se rapprocher au plus près du cycle parfait de Carnot (diagrammes (P,V) et (T,S) figure 1).

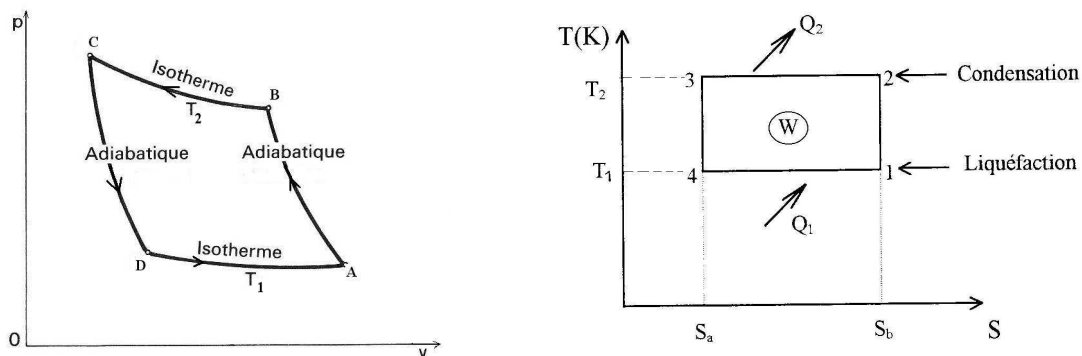


Figure 1

##### 2) Description du cycle :

Dans le détail, ce cycle se déroule de la façon suivante :

En partant du point 1, le fluide de travail, sous forme de vapeur à la pression  $P_1$  et à la température  $T_1$  est comprimé à la pression  $P_2$  du point 2 ; pendant ce parcours, la température du fluide de travail augmente de  $T_1$  à  $T_2$ . Cette transformation AB se fait de façon adiabatique, c'est-à-dire  $\delta Q = 0$  et  $S = \text{const}$ .

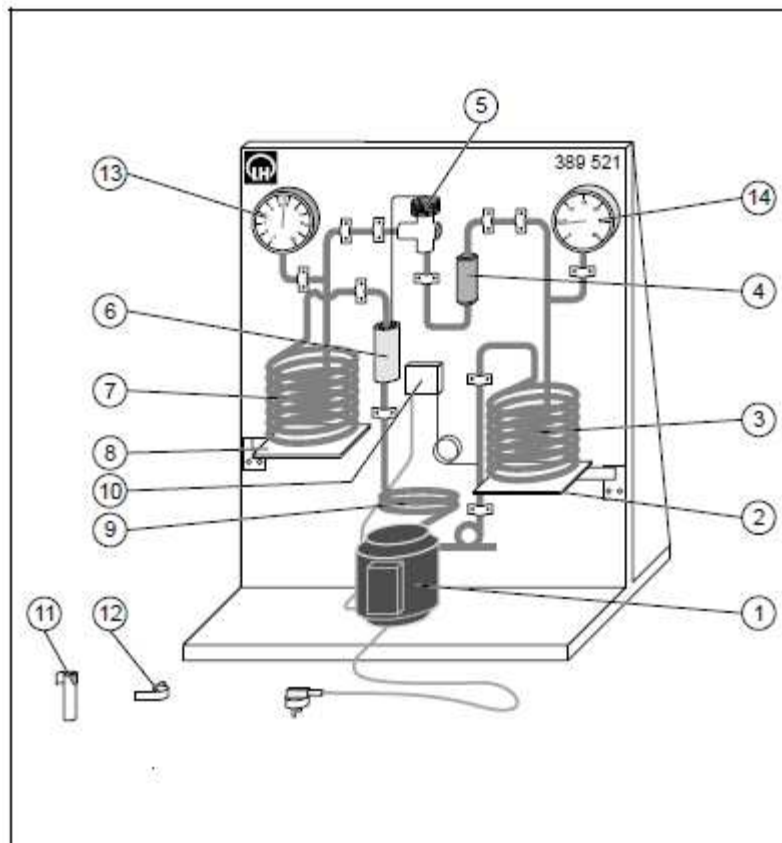
Au point 2, la soupape d'échappement du compresseur s'ouvre et le fluide de travail s'écoule dans le condenseur. Dans cet appareil, il se liquéfie et il dégage, à la température  $T_2$ , la quantité d'énergie  $Q_2$  en tant que chaleur utile. Jusqu'à la fin de la liquéfaction, la température  $T_2$  reste constante (transformation isotherme BC). Comme  $dS = \delta Q/T$  et  $T = \text{const}$ , il faut que l'entropie  $S$  diminue constamment de  $S_b$  à  $S_a$  (point 3 du diagramme).

Du point 3 au point 4, le fluide de travail traverse un détendeur où il est détendu à la pression  $P_1$ . La température s'abaisse lors de cette détente de  $T_2$  à  $T_1$ , tandis que l'entropie reste constante (transformation adiabatique CD).

Le fluide de travail s'écoule alors dans l'évaporateur sans qu'il y ait absorption ou cession de chaleur. Dans cet organe, le fluide absorbe une quantité de chaleur  $Q_1$  de la source de chaleur à la température  $T_1$  et il s'évapore. La vapeur est aspirée par le compresseur. L'énergie stockée dans le fluide de travail augmente jusqu'à ce que ce dernier soit totalement évaporé. Comme pendant cette opération la température reste constante (isotherme DA), l'entropie augmente de  $S_a$  à  $S_b$ . Le cycle est fermé en atteignant le point de départ 1 et le processus se renouvelle.

La surface 1-2-3-4 du diagramme représente le travail  $W$  fourni par le compresseur et la surface 1-4- $S_a$ - $S_b$  la chaleur  $Q_1$  soustraite à la source de chaleur. Dans le cas idéal cité ci-dessus, la surface  $S_b$ -2-3- $S_a$  représente alors la chaleur utile  $Q_2$  soutirée à la température  $T_2$ ,  $Q_2$  étant égal à  $Q_1 + W$ .

## II- Description et mode de fonctionnement :



Réfrigérant: R134a (sans gaz propulseur)

1 Compresseur 230 V ; 50/60 Hz. Puissance absorbée env. 130 W pour 50 Hz.

2 Plaque pivotante pour le réservoir d'eau chaude marqué d'un trait rouge

- 3 Condenseur, diamètre intérieur d'env. 13 cm
- 4 Collecteur/épurgateur
- 5 Vanne de détente à régulation thermostatique
- 6 Sonde de température de la vanne de détente, isolée thermiquement
- 7 Évaporateur, diamètre intérieur d'env. 13 cm
- 8 Plaque pivotante pour le réservoir d'eau froide marqué d'un trait bleu
- 9 Tuyau en serpentin comme liaison élastique entre le compresseur et l'échangeur thermique
- 10 Manostat
- 11 Support en plastique (2x) pour thermomètre et sonde de température à fixer au tuyau en cuivre, chacun des deux porte-thermomètres étant constitué d'une pince double et d'un tube en plastique.
- 12 Cosse de mesure en cuivre (2x) avec vis de fixation et perçages, Ø 2 mm, pour enficher des sondes de température destinées à la mesure de la température sur le tuyau en cuivre pour la circulation du réfrigérant.
- 13 Manomètre dans la partie basse pression; échelle intérieure pour la mesure de la pression de -1 à +10 bars, échelle extérieure avec température des points de rosée pour R134a de -60 °C à +40 °C.
- 14 Manomètre dans la partie haute pression; échelle intérieure: pression de -1 à +30 bars, échelle extérieure avec température des points de rosée pour R 134a de -60 °C à + 85°C.

### Fonctionnement :

Une pompe à chaleur prélève de la chaleur d'un réservoir de température  $T_1$  pour la délivrer à un réservoir de température  $T_2$ . L'écart de température ( $T_1 - T_2$ ) entre les deux réservoirs en est ainsi accentué. Le transfert de chaleur se fait par un réfrigérant R134a qui absorbe de la chaleur en s'évaporant et la délivre à nouveau en se condensant.

Les réservoirs de chaleur sont des récipients remplis d'eau dans lesquels sont immergés les deux «échangeurs thermiques» 3 et 7.

Le réfrigérant gazeux est comprimé par le compresseur 1 tout en étant fortement chauffé. Il refroidit dans le serpentin en cuivre 3 du condenseur et se condense tout en délivrant sa chaleur de condensation à l'eau du réservoir d'eau chaude.

Le réfrigérant liquéfié mais encore traversé de bulles de gaz est filtré dans l'«épurgateur» 4. Celui-ci agit simultanément comme «collecteur»: il se forme à l'intérieur un niveau de liquide qui assure une alimentation en liquide sans bulles pour la vanne de détente 5.

La vanne de détente est le pendant du compresseur: elle dose le réfrigérant délivré à l'évaporateur 7 où il est à basse tension superficielle, s'évapore tout en refroidissant considérablement et en prélevant ainsi de la chaleur du réservoir d'eau froide. Le réfrigérant désormais à nouveau gazeux est aspiré par le compresseur où tout recommence depuis le début. La vanne de détente 5 protège le compresseur contre les «Attaques du liquide», c-à-d l'aspiration d'un réfrigérant liquide à laquelle succède la destruction du compresseur. L'amenée du réfrigérant à l'évaporateur est en effet régulée par une sonde de température 6 (d'où la désignation plus précise de «vanne de détente thermostatique»).

L'écart de température entre les tubes d'arrivée et de sortie de l'évaporateur sert de grandeur réglée. Si cette dernière tombe en-dessous d'une valeur précise réglée sur la vanne de détente (par ex. parce que l'alimentation en chaleur pour l'évaporateur ne suffit pas), l'apport de réfrigérant est alors réduit. Le manostat A met le compresseur hors service lorsque la pression côté condenseur est supérieure à 16 bars (réglage sur l'échelle de gauche). Cela peut arriver en cas de surchauffe ( $T_2 > 60$  °C) du condenseur 3 suite à un fonctionnement sans réservoir d'eau. Le compresseur ne se remet en marche que lorsque la pression est tombée de la valeur (9 bars) réglée sur l'échelle de droite, en dessous de la pression de coupure.

Le tuyau en serpentin 9 à l'entrée et à la sortie du compresseur empêche les vibrations du compresseur de se répercuter sur tout l'appareil.



## **PRATIQUE**

**On prendra garde à ne pas déplacer la pompe à chaleur. Les seaux seront remplis sans être déplacés et on les vidangera à l'aide des robinets.**

Liste du matériel :

- \* une pompe à chaleur
- \* une soufflerie
- \* deux thermomètres numériques
- \* un chronomètre
- \* pâte thermo-conductrice
- \* un trépied

### **I- Problème :**

#### 1) Pompe à chaleur eau - eau :

Mesurer la pression et les températures dans le circuit et les récipients d'eau alternativement côté condenseur et côté évaporateur.  
Calculer l'énergie absorbée et cédée.

#### 2) Pompe à chaleur air - eau :

Mesurer la température du bain-marie côté condenseur pour différentes conditions de marche côté évaporateur :

- a) avec une circulation d'air chaud fournie par la soufflerie
- b) sans soufflerie

Dans les trois cas précédents, calculer le coefficient de performance.

### **II- Montage et mode opératoire :**

#### 1) Pompe à chaleur eau - eau :

Verser dans les deux récipients 4L d'eau. Il faut veiller à ce que l'eau ne soit pas plus froide côté condenseur que côté évaporateur. Durant l'expérience, ne jamais cesser d'agiter l'eau dans les 2 réservoirs.

Mesurer toutes les pressions et températures avant l'enclenchement de la pompe à chaleur :

Côté condenseur :

$P_1$  : pression

$T_1$  : température de l'eau

Côté évaporateur :

$P_2$  : pression

$T_2$  : température de l'eau

Enclencher la pompe à chaleur et le chronomètre, et alternativement (toutes les 30 secondes), mesurer les pressions et les températures côté condenseur et côté évaporateur. Arrêter les mesures au bout d'environ 15 minutes. **Eteindre la machine** ! Afin de rétablir rapidement les conditions initiales de pression de la pompe, inverser les contenus des seaux (eau chaude et eau froide) jusqu'à ce que les pressions reviennent aux valeurs initiales puis retirer les seaux et attendre quelques minutes l'équilibre avant de démarrer la manip suivante.

2) Pompe à chaleur air - eau :

Vider le récipient d'eau côté évaporateur ; sécher soigneusement les serpentins de l'échangeur thermique.

a) Installer à une distance d'environ 30 cm du serpentin de l'évaporateur, le générateur d'air chaud et soumettre l'évaporateur à ce jet d'air.

Enclencher la pompe à chaleur et mesurer la température à la sortie de l'eau  $T_1$  en fonction du temps (toutes les 30secondes).

b) Répéter l'expérience et la série de mesures sans jet d'air.

**Eteindre la pompe à la fin de chaque série de mesures.**

### **III- Exploitation des mesures :**

Tracer sur un même diagramme l'évolution de toutes les températures relevées en fonction du temps.

Tracer les pressions en fonction du temps.

La quantité de chaleur échangée est définie par :  $Q = mC.\Delta T$

avec:  $m$  : masse de l'eau dans chaque récipient

$C$  : chaleur massique de l'eau (1 cal /g / K)

On en déduit le flux thermique :  $\dot{Q} = mC \frac{\Delta T}{\Delta t}$  avec  $t$  représentant le temps.

La mesure de la puissance  $P$  du compresseur permet de calculer le coefficient de performance  $\epsilon$  de la pompe. Soit :

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{P}$$

Pour chaque expérience, on calculera le flux thermique côté condenseur et le coefficient de performance  $\varepsilon$  de la pompe.

**Dresser un tableau récapitulatif.**

Lequel des types de pompes étudiées est-il le plus rentable économiquement ?

Si l'on voulait chauffer l'eau de la source chaude directement (par exemple avec une résistance électrique) quelle puissance faudrait-il fournir ? Quel est l'avantage de la pompe à chaleur ?