

Chapitre 5 : Pompe à chaleur

5.1 Introduction

Une pompe à chaleur est un système thermodynamique permettant de chauffer un local ou une installation à partir d'une source de chaleur externe dont la température est inférieure à celui du local ou de l'installation ; c'est donc un transfert de chaleur du milieu froid vers le milieu chaud en consommant de l'énergie.

Une pompe à chaleur fonctionne avec le même principe thermodynamique que d'une machine frigorifique, la chaleur sortante du condenseur sera récupérée pour chauffer.

La plupart des pompes à chaleur fonctionne sur le principe de compression de gaz, les machines à absorption sont destinées aux installations industrielles avec des applications limitées.

5.2 Les sources d'énergie

Une pompe à chaleur peut récupérer de l'énergie du milieu extérieur de trois façons différentes :

- De l'air ambiant
- Des eaux souterraines ou de surface
- Du sol

5.2.1 Air

La chaleur est récupérée de l'air extérieur et transférée au milieu à chauffer, l'évaporateur est placé de préférence à l'extérieur du logement, le transfert se fait naturellement ou à travers un soufflage forcé, cette technique est simple mais la température extérieure varie fortement ; il faudrait prévoir un système de dégivrage pendant l'hiver lorsque la température descend en dessous de 5°C, un chauffage d'appoint est utile dans le cas où la pompe à chaleur ne peut pas fournir suffisamment de chaleur.

5.2.2 Eau

La chaleur récupérée et transférée des eaux, d'un puit, une réserve ou un cours d'eau, dans ce cas la pompe à chaleur est installée à l'intérieur du logement ; ce type de pompe à chaleur est très performant et peut suffire pour les besoins d'un logement, la température de l'eau varie peu, on obtient de bons COP.

5.2.3 Sol

La chaleur est récupérée du sol, des tuyauteries déroulées dans le sol sert à absorber l'énergie et la transfèrent vers l'intérieur de l'habitation où est posé la pompe à chaleur, la tuyauterie peut être installée horizontalement à une profondeur de 1 mètre dans un jardin ; ou verticalement avec des sondes de 50 à 150 mètres, les COP sont performants pour ce genre d'installation.

La chaleur récupérée du milieu extérieur devra être redistribuée à l'intérieur de l'habitation, plus la redistribution se fait à basse température et plus le COP de l'installation est élevé ; il est possible de redistribuer la chaleur à travers l'air pulsé à l'intérieur de l'habitation ou à travers un circuit hydraulique ou on chauffe l'eau et on l'utilise par le chauffage du sol ou par des ventilo-convecteurs.

5.3 Types de PAC

Les pompes à chaleur se différencient par la source d'énergie récupérée du milieu extérieur et le moyen de redistribution de cette chaleur à l'intérieur de l'habitation.

Tableau 5 : Les différents types de PAC

Type de PAC	Source de chaleur	Redistribution de la chaleur
Air/air	Air extérieur	Air intérieur
Air/Eau	Air extérieur	Eau de chauffage
Eau/Air	Eau de nappe phréatique	Air intérieur
Eau/Eau	Eau de nappe phréatique	Terrain du jardin
Sol/Air	Terrain du jardin	Air intérieur
Sol/Eau	Terrain du jardin	Terrain du jardin

Les pompes à chaleur Air/Air sont les plus simples, elles comportent deux blocs le premier placé à l'intérieur et le second à l'extérieur, les deux blocs sont reliés par un fluide caloporteur, la PAC absorbe de la chaleur contenue dans l'air extérieur pour l'injecter dans l'habitation, ce type de PAC ont un COP réduit en plus elles sont limitées dans leur fonctionnement en dessous de 5°C, il faut prévoir un chauffage d'appoint.

Une pompe à chaleur eau /eau absorbe de la chaleur des eaux souterraines, la température de ces eaux reste en général constante pendant toute l'année ; il faut prévoir en fait deux fosses une pour ramener l'eau et une autre pour rejeter l'eau dans son milieu naturel ; ce type de PAC ont des coefficients de performance intéressants.

Une pompe à chaleur sol/eau utilise la chaleur contenue dans le sol, les canalisations à l'extérieur peuvent être placées horizontalement ou verticalement, il est en outre préconisé que le sol soit adapté, de même qu'un système de chauffage recommandé est celui de basse température comme celui d'un chauffage au sol.

5.4 Le coefficient de performance d'une pompe à chaleur

Une pompe à chaleur consomme de l'énergie pour fonctionner en fournissant une quantité de chaleur, généralement la chaleur récupérée est plus importante par rapport à l'énergie consommée sous forme électrique pour les machines à compression mécanique de vapeur.

On peut définir un COP du système, un COP global de l'installation en intégrant les déperditions des réseaux, ou un COP moyen saisonnier en tenant compte des variations des conditions extérieures d'une saison de chauffe.

Une économie d'énergie n'est ressentie que si le COP est supérieur à 3, en effet le rendement d'une centrale électrique est de l'ordre de 1/3, il faudra qu'une pompe à chaleur fournit au minimum 3 kWh de chaleur pour 1 kWh d'énergie électrique.

5.5 Exercices

Exercice 1 :

Une pompe à chaleur Carnot fonctionne dans une habitation où la température est de 22°C et consomme 7 kW de puissance en fonctionnement. Si la température du milieu extérieur est à 7°C, déterminer la quantité de chaleur à injecter dans l'habitation, en une minute.

Correction

Le coefficient de performance :

$$COP = \frac{T_C}{T_C - T_F} = \frac{(22 + 273)}{(22 + 273) - (7 + 273)} = 19,67$$

La quantité de chaleur :

$$\dot{Q}_C = COP \cdot \dot{W} = 19,67 \cdot 7 = 137,69 \text{ kW} = 8261,4 \text{ kJ/mn}$$

Exercice 2 :

Un système de pompe à chaleur est nécessaire pour transférer la quantité de chaleur d'une maison de 8750 kJ/min pour maintenir sa température à 24°C. Si l'extérieur la température de l'air est de 15°C, déterminez la puissance requise faire fonctionner ce système de chauffage.

Correction

Le COP d'un climatiseur est :

$$COP = \frac{T_C}{T_C - T_F} = \frac{(24 + 273)}{(24 + 273) - (15 + 273)} = 33$$

La puissance absorbée par ce réfrigérateur est :

$$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_C}{COP} = \frac{8750}{33} = 265,15 \text{ kJ/mn} = 4,42 \text{ kW}$$

Exemple 3

Une pompe à chaleur réversible échange de la chaleur avec 2 sources, l'eau d'un lac ($T_F=280\text{K}$), et une réserve d'eau de masse $M=1000 \text{ kg}$ isolée thermiquement ; la température initiale de cette dernière est $T_0=280\text{K}$. $c_{\text{eau}} = 4190 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$. Lorsque la masse d'eau M atteint la température de $T=333 \text{ K}$, calculer

- La quantité de chaleur reçue par la réserve d'eau
- Le COP idéal de la pompe à chaleur et le travail fourni par la pompe.

La quantité de chaleur est :

$$Q = mc\Delta T = 1000.4190. (333 - 280) = 222070kJ$$

Le COP idéal de la pompe à chaleur

$$COP_i = \frac{T_C}{T_C - T_F} = \frac{333}{333 - 280} = 6,28$$

Le travail fourni par la pompe

$$W = \frac{Q_C}{COP} = \frac{222070}{6,28} = 35361,46kJ$$

Exemple 4

Une pompe à chaleur parfaite est mise en marche entre deux sources de températures de 20 et 40 °C, quel serait la puissance de chauffe si elle consomme une énergie électrique de 2 kW.

Le coefficient de performance :

$$COP = \frac{T_C}{T_C - T_F} = \frac{(40 + 273)}{(40 + 273) - (20 + 273)} = 15,65$$

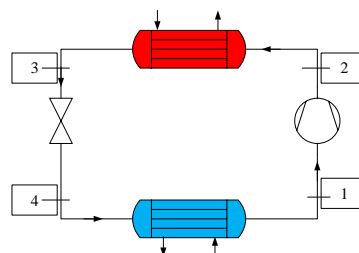
La quantité de chaleur :

$$\dot{Q}_C = COP. \dot{W} = 15,65.2 = 31,3kW$$

Exemple 5

Une pompe à chaleur fonctionne avec un réfrigérant R134a, est utilisé pour maintenir un espace à 25 °C en absorbant la chaleur de l'eau géothermique qui pénètre dans l'évaporateur à 50 °C avec un débit de 0,065 kg/s et sort à 40 °C.

Le réfrigérant pénètre dans l'évaporateur à 20 °C avec une qualité de 15% et reste à la même pression que la vapeur saturée. Si le compresseur consomme 1,2 kW de puissance, déterminer : le débit massique du réfrigérant, la puissance de chauffe du condenseur, le COP et le rendement du cycle, et finalement le COP idéal et le rendement du cycle



Correction

La puissance transférée de l'eau est le changement d'énergie de l'eau entre l'entrée et la sortie :

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_e \cdot c_p \cdot (T_e - T_s) = 0,065 \cdot 4,18 \cdot (50 - 40) = 2,7 \text{ kW}$$

L'augmentation d'énergie du fluide frigorigène est égale à la diminution d'énergie de l'eau dans l'évaporateur. C'est :

$$\dot{Q}_F = \dot{m}_r \cdot (h_1 - h_4)$$

Ce qui donne

$$\dot{m}_r = \frac{\dot{Q}_F}{(h_1 - h_4)} = \frac{2,7}{(410 - 255)} = 0,17 \text{ kg/s}$$

La puissance de chauffe du condenseur :

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_F + \dot{W} = 2,7 + 1,2 = 3,9 \text{ kW}$$

Le COP de la pompe à chaleur est :

$$COP = \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}} = \frac{3,9}{1,2} = 3,25$$

Le COP idéal

$$COP = \frac{T_C}{T_C - T_F} = \frac{(50 + 273)}{(50 + 273) - (25 + 273)} = 12,9$$

Le rendement du cycle est

$$\varepsilon = \frac{COP_r}{COP_i} = \frac{3,25}{12,9} = 25\%$$