EXERCICE II.TRANSFERT THERMIQUE LORS DU CHAUFFAGE D'UNE PISCINE (6 points)

Parmi les divers équipements publics ou privés, les piscines sont souvent considérées comme énergivores. Pourtant, de nombreuses solutions techniques permettent d'optimiser la consommation d'énergie d'une piscine en agissant sur sa forme, son orientation et sur la source de production d'énergie nécessaire à son chauffage. Les pompes à chaleur sont des dispositifs désormais préconisés pour le chauffage de ces bassins d'eau.

L'objectif de cet exercice est de répondre à la question suivante : en quoi l'utilisation d'une pompe à chaleur contribue-t-elle à apporter une solution au défi énergétique ?

La pompe à chaleur

La pompe à chaleur (PAC) est un équipement de chauffage thermodynamique à énergie renouvelable. La PAC transfère de l'énergie depuis une source renouvelable, appelée source froide, telle que l'air extérieur, l'eau (d'une nappe souterraine ou de la mer), ou la terre vers un autre milieu (un bâtiment, un logement, un bassin d'eau, etc.).

Pour exploiter ces différents gisements d'énergie renouvelable, une source d'énergie, généralement électrique, est toutefois nécessaire : aussi les PAC consomment-elles de l'électricité.

Le coefficient de performance η de la PAC est plus ou moins élevé selon la technologie, la source renouvelable ou l'usage de la PAC. Plus le coefficient de performance est élevé, plus la quantité d'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner la pompe est faible par rapport à la quantité d'énergie renouvelable prélevée au milieu.

Le coefficient de performance η d'une pompe à chaleur traduit donc la performance énergétique de celle-ci. Il est défini par le rapport de l'énergie utile fournie par la PAC sur l'énergie électrique requise pour son fonctionnement. La valeur de ce coefficient η est généralement comprise entre 2,5 et 5. Elle dépend de la conception et du type de PAC, mais aussi de la température extérieure de la source froide.

d'après : wwww.ademe.fr

Schéma énergétique de la pompe à chaleur air / eau

La pompe à chaleur air / eau est une machine thermique ditherme qui fonctionne entre une source de température variable au cours du temps et une source de température quasi constante, tout en recevant de l'énergie électrique. La PAC fonctionne comme une machine cyclique. Au terme d'un cycle, la variation d'énergie interne ΔU du système {fluide frigorigène} contenu dans la PAC est nulle.

Des transferts énergétiques Q_f, Q_c et W_e sont mis en jeu au cours d'un cycle de la PAC, avec :

- Q_f énergie transférée de l'air extérieur (source froide dans ce dispositif) au fluide de la PAC ; cette énergie est renouvelable et gratuite ;

- Q_c énergie transférée par le fluide de la PAC à l'eau du bassin de la piscine ;

- W_e énergie électrique consommée par la PAC et transférée intégralement au fluide de la PAC sous une autre forme.

Les grandeurs Q_f, Q_c et W_e sont positives.

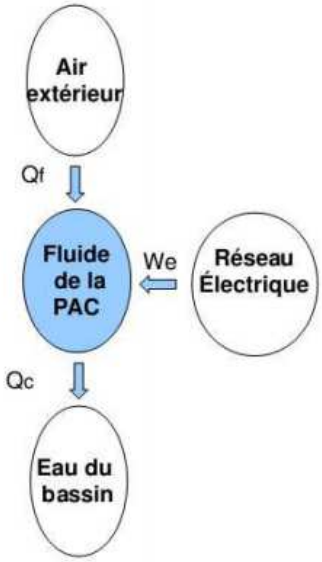


Figure 1. Schéma énergétique de la pompe à chaleur d'une piscine.

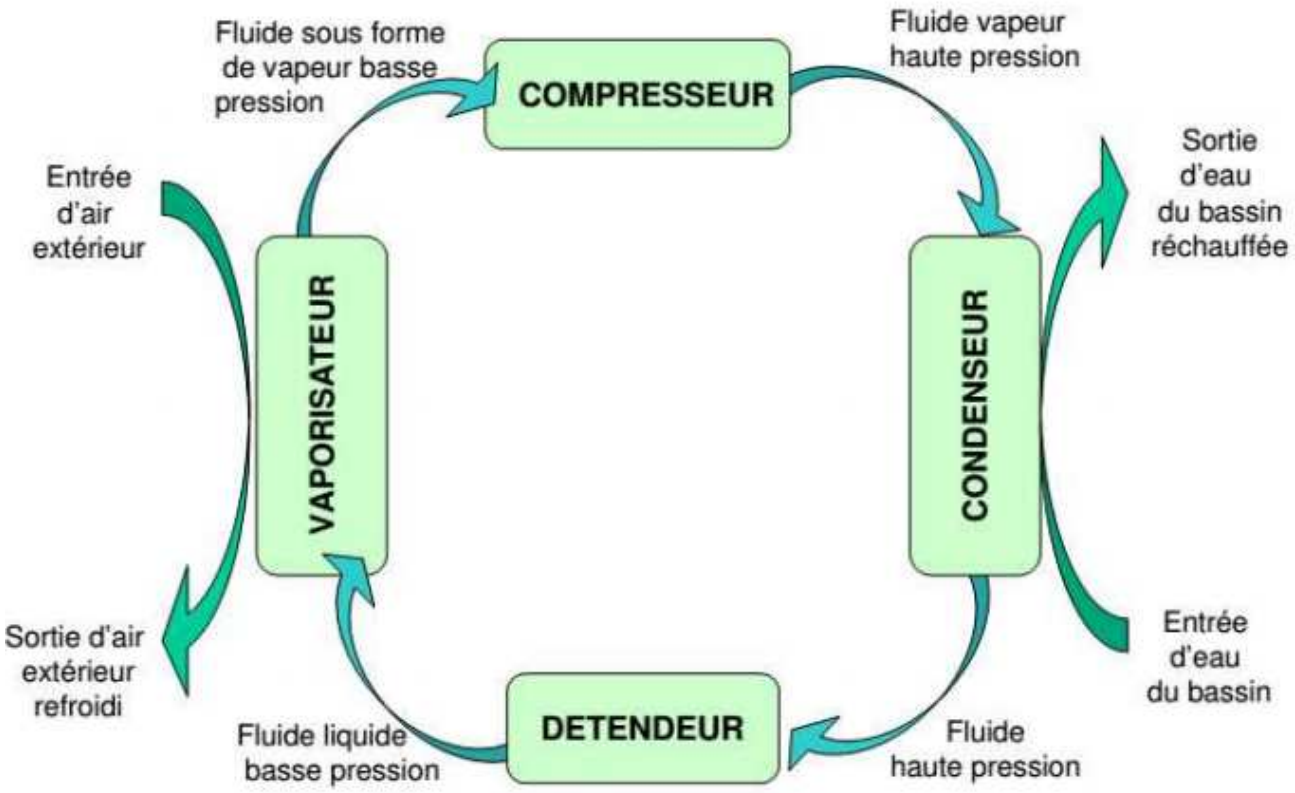


Figure 2. Cycle du fluide frigorifique dans la PAC.

Données :

- système étudié : le fluide frigorigène de la PAC ;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4{,}18$ kJ.kg^{-1}.K^{-1} ;
- masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{eau} = 1000$ kg.m^{-3} dans les conditions de l'étude.

1. Fonctionnement global de la pompe à chaleur

1.1. Parmi les transferts d'énergie Q_c, Q_f et W_e, indiquer ceux qui correspondent à une énergie reçue par le fluide de la PAC et ceux qui correspondent à de l'énergie cédée par le fluide de la PAC.

1.2. Montrer que pour un cycle du fluide, on a l'égalité $Q_c = Q_f + W_e$.

2. Étude du fluide frigorigène

Le fluide frigorigène est un mélange choisi pour ses propriétés thermiques. Il circule dans des tuyaux à l'intérieur de la PAC et n'est donc jamais en contact direct avec l'air extérieur.

2.1. Nommer le changement d'état que subit le fluide frigorigène contenu dans la PAC lors de son passage dans le vaporisateur. Lors de ce changement d'état, le fluide frigorigène a-t-il reçu ou cédé de l'énergie ?
2.2. Quels sont le ou les modes de transfert d'énergie entre l'air extérieur et le fluide frigorigène ?

3. Chauffage de l'eau du bassin d'une piscine

Après remplissage d'une piscine de volume $V = 560$ m^3 avec une eau initialement prise à une température de 17°C, on souhaite augmenter la température de l'eau de piscine jusqu'à 28°C. On considérera que le transfert thermique depuis la PAC sert intégralement à chauffer l'eau de la piscine sans déperdition.

3.1. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau du bassin $\Delta U_{\{eau\}}$ quand la température de l'eau a atteint 28°C. En déduire la valeur de Q_c, énergie transférée par le fluide de la PAC à l'eau du bassin de la piscine.

3.2. On a mesuré l'énergie électrique W_e consommée (et facturée) pendant ce transfert et trouvé une valeur égale à $W_e = 8{,}0 \times 10^9$ J. Déterminer la valeur de Q_f, l'énergie transférée par l'air extérieur.

3.3. Exprimer, puis calculer le coefficient de performance η de la PAC.

4. Enjeux énergétiques

4.1. Montrer qu'avec une PAC de coefficient de performance $\eta = 3{,}0$, on réalise 67 % d'économie sur sa facture en énergie électrique par rapport à un chauffage direct utilisant, par exemple, une résistance électrique.

4.2. En conclusion, répondre en quelques lignes à la question suivante : en quoi l'utilisation de pompes à chaleur apporte-t-elle une réponse à des problématiques énergétiques contemporaines ?