

Chapitre n°16 : Thermodynamique et enjeux énergétiques

Exercice n°1 : Transferts thermiques lors du chauffage d'une piscine (Pondichéry 2015)

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 : www.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.

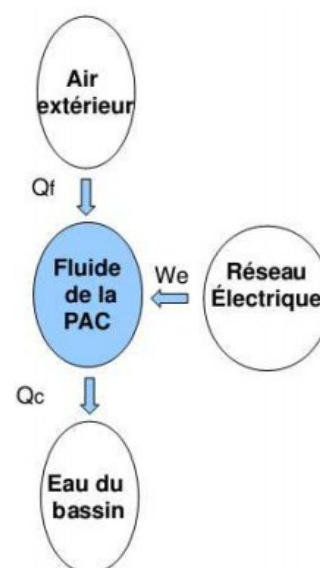


Figure 1. Schéma énergétique de la pompe à chaleur d'une piscine.

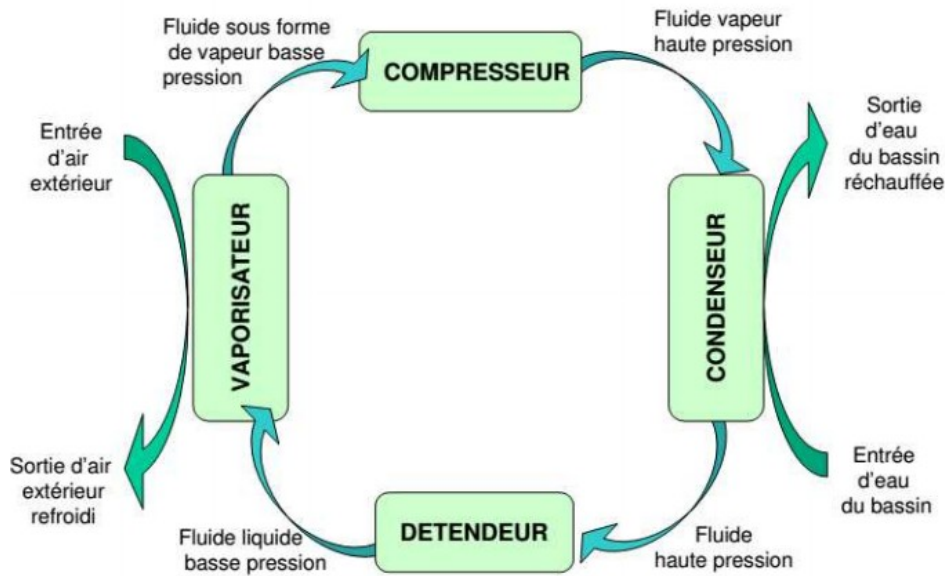


Figure 2. Cycle du fluide frigorigène dans la PAC.

Données :

- système étudié : le fluide frigorigène de la PAC ;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.K^{-1}$;
- masse volumique de l'eau liquide : $\rho_{eau} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ 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 $V = 560 \text{ m}^3$ 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 $W_e = 8,0 \times 10^9 \text{ J}$. 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 ?

Exercice n°2 : Transferts d'énergie (Amérique du Sud 2013)

Réduire la consommation d'énergie est, de nos jours, au cœur des préoccupations afin de préserver l'environnement, épargner les ressources naturelles et limiter les dépenses. Une grande part de la consommation d'énergie provient de l'habitat. Comment rendre une maison plus économe en énergie de chauffage ?

1. Isolant thermique : faire le bon choix

Soucieux de réduire ses dépenses de chauffage, Frédéric décide d'améliorer l'isolation thermique de son habitation. Sa maison possédant un grenier non chauffé, il décide d'en isoler le sol.

Données :

- Température du grenier : $\theta_1 = 5,0 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Température de la maison : $\theta_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Surface du sol du grenier : $S = 80 \text{ m}^2$;
- Résistance thermique du sol du grenier : $R = 7,5 \times 10^{-3} \text{ K.W}^{-1}$.

1.1. Dans quel sens s'effectuera le transfert thermique dans la maison de Frédéric ?

1.2. Donner l'expression puis calculer le flux thermique Φ à travers le sol du grenier.

Frédéric consulte de nombreuses documentations sur l'isolation thermique. Il existe de nombreux matériaux isolants caractérisés par leur conductivité thermique notée λ . Plus la conductivité thermique d'un matériau est élevée, plus il conduit facilement la chaleur.

1.3. Utiliser le tableau suivant pour conseiller Frédéric dans son choix de matériau. Justifier.

Nom du matériau	Laine de roche	Polystyrène extrudé	Liège naturel expansé	Cellulose
Conductivité thermique λ en $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	0,035	0,033	0,042	0,039

1.4. La résistance thermique totale du sol du grenier doit atteindre la valeur $R = 6,3 \times 10^{-2} \text{ K.W}^{-1}$. Sachant que lorsque plusieurs parois sont accolées, la résistance thermique totale est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi, calculer la résistance thermique de l'isolant choisi précédemment par Frédéric à la question 1.3.

1.5. Frédéric a lu que la résistance thermique d'une paroi plane dépend de la conductivité thermique λ du matériau constituant la paroi, de son épaisseur e et de la surface S traversée par le flux thermique. La résistance thermique est inversement proportionnelle à la conductivité thermique et à la surface traversée et proportionnelle à l'épaisseur.

1.5.1. À partir des informations ci-dessus, donner l'expression de la résistance thermique d'une paroi plane. Vérifier l'homogénéité de votre expression.

1.5.2. Tous les matériaux proposés dans le tableau s'achètent sous forme de panneaux rigides dans le commerce. Quelle épaisseur minimale doit posséder le panneau du matériau choisi par Frédéric ?

2. Principe d'un chauffe-eau solaire

Toujours dans le but de réaliser des économies d'énergie, Frédéric envisage de produire son eau chaude sanitaire en tirant profit de l'énergie solaire. Il se documente sur le principe d'un chauffe-eau solaire individuel. Voici le résultat de ses recherches :

Un chauffe-eau solaire se compose d'un capteur solaire thermique (qui se comporte comme une mini serre) (1). Dans le circuit primaire (2) calorifugé circule le liquide caloporteur (eau + glycol). Ce liquide s'échauffe lorsqu'il passe dans les tubes du capteur solaire et se dirige vers le ballon de stockage (5) de l'eau sanitaire. Le liquide caloporteur cède sa chaleur à l'eau sanitaire par l'intermédiaire d'un échangeur thermique (3). Une fois refroidi, le liquide caloporteur repart vers le capteur solaire où il sera à nouveau chauffé. Une pompe électrique (7) met en mouvement le liquide caloporteur lorsque la température de celui-ci est supérieure à celle de l'eau sanitaire du ballon.

L'énergie solaire ne peut pas assurer la production d'eau chaude quelle que soit la saison. C'est pourquoi le ballon de stockage est également équipé d'un dispositif de chauffage d'appoint (ensemble (11) et (12)).

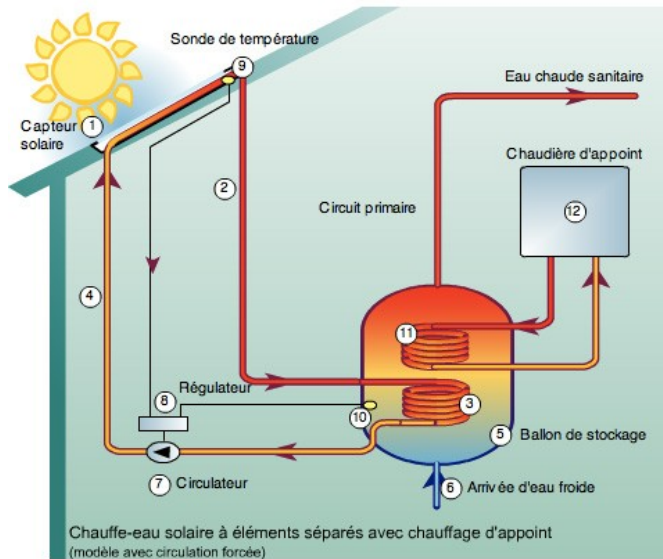


Schéma du principe d'un chauffe-eau solaire individuel (D'après Ademe)

2.1. Citer les trois modes de transfert thermique. Les présenter brièvement.

2.2. Quel mode de transfert thermique intervient :

- au niveau du capteur solaire (1),
- au niveau de l'échangeur thermique (3),
- et à l'intérieur du ballon de stockage (5) ? Justifier.

2.3. Le fluide caloporteur s'échauffe lorsqu'il passe dans le capteur solaire. Comment varie son énergie interne ? Pourquoi ?

3. Bilan thermique

Installé dans sa cuisine, Frédéric poursuit ses réflexions sur les modifications à réaliser dans sa maison tout en se préparant une tasse de thé. Il réchauffe l'eau de son thé à l'aide de son four à micro-ondes. Lorsque les micro-ondes atteignent les molécules d'eau présentes dans les aliments, celles-ci se mettent à osciller $2,45 \times 10^9$ fois par seconde. La mise en mouvement des molécules d'eau produit la chaleur nécessaire pour réchauffer les aliments.

Données :

- Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,00 \text{ kg.L}^{-1}$;
- Capacité thermique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- On rappelle que l'énergie transférée à un système avec une puissance P pendant la durée Δt est : $E = P \Delta t$.

3.1. À quel type d'ondes les micro-ondes appartiennent-elles ?

3.2. Déterminer la longueur d'onde des micro-ondes du four.

Frédéric chauffe un volume $V = 250 \text{ mL}$ d'eau dans sa tasse. Il souhaite que la température de l'eau passe de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ à $90 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.3. Calculer la variation d'énergie interne de l'eau contenue dans la tasse.

On suppose que le four à micro-ondes est bien isolé. Le four est réglé sur la position de puissance $P = 900 \text{ W}$.

3.4. Au bout de combien de temps l'eau du thé sera-t-elle prête ?