# Transfert thermique lors du chauffage d'une piscine

Bac S 2015 Inde (Pondichéry) (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

**1.1** Parmi les transferts d'énergie $Q_c$, $Q_f$ et $W_e$, indiquer ceux qui sont reçus par le fluide de la PAC et ceux qui sont cédés par ce fluide.

Sur la figure 1, les flèches $Q_f$ (venant de l'air extérieur) et $W_e$ (venant du réseau électrique) pointent vers le fluide ; la flèche $Q_c$ part du fluide vers l'eau du bassin.

Énergies **reçues** par le fluide : $Q_f$ et $W_e$. Énergie **cédée** par le fluide : $Q_c$.

**MÉTHODE**
Sur un schéma énergétique, le sens de la flèche donne le sens du transfert : une flèche qui arrive sur le système est une énergie reçue, une flèche qui en part est une énergie cédée.

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

Système : {fluide frigorigène}. Sur un cycle, le fluide revient dans son état initial, donc $\Delta U = 0$.

Bilan d'énergie du système : la variation d'énergie interne est égale à l'énergie reçue diminuée de l'énergie cédée. Les trois grandeurs étant positives :

$$\Delta U = Q_f + W_e - Q_c = 0$$

$Q_c = Q_f + W_e$

**PIÈGE**
Écrire $Q_f + W_e + Q_c = 0$ : ce serait juste avec des grandeurs algébriques ($Q_c < 0$), mais l'énoncé impose trois grandeurs positives. Il faut donc mettre soi-même le signe « $-$ » devant l'énergie cédée.

**COMPRENDRE**
Toute l'énergie qui entre dans le fluide en ressort : l'eau du bassin reçoit davantage que l'énergie électrique consommée, la différence étant prélevée dans l'air.

**2.1** Nommer le changement d'état subi par le fluide frigorigène dans le vaporisateur. Le fluide a-t-il alors reçu ou cédé de l'énergie ?

D'après la figure 2, le fluide entre dans le vaporisateur à l'état liquide (basse pression) et en sort à l'état de vapeur (basse pression) : il passe de l'état liquide à l'état gazeux.

Dans le même temps, l'air extérieur ressort refroidi : il a cédé de l'énergie au fluide.

Le changement d'état est une **vaporisation** ; le fluide a **reçu** de l'énergie (c'est $Q_f$).

**COMPRENDRE**
Fusion, vaporisation et sublimation exigent un apport d'énergie : il faut rompre des interactions entre les molécules. Dans le condenseur, la liquéfaction fait l'inverse et libère $Q_c$ vers l'eau du bassin.

**2.2** Quels sont le ou les modes de transfert d'énergie entre l'air extérieur et le fluide frigorigène ?

Le fluide circule dans des tuyaux : il n'est jamais en contact direct avec l'air. L'énergie traverse donc la paroi solide des tuyaux, de proche en proche et sans déplacement de matière : c'est un transfert par **conduction**.

L'air, lui, est en mouvement le long des tuyaux (il entre puis ressort refroidi) : ce déplacement de matière apporte l'énergie jusqu'à la paroi par **convection**.

Conduction à travers la paroi des tuyaux, accompagnée de convection dans l'air extérieur.

**PIÈGE**
Citer un mode sans le justifier. L'argument attendu vient du texte : les tuyaux empêchent tout contact direct entre l'air et le fluide, donc l'énergie passe forcément par la paroi.

**COMPRENDRE**
Trois modes de transfert thermique : conduction (de proche en proche, sans transport de matière), convection (avec mouvement d'ensemble d'un fluide), rayonnement (ondes électromagnétiques, possible dans le vide). Ici le rayonnement est négligeable.

**3.1** Calculer la variation d'énergie interne $\Delta U_{\{eau\}}$ de l'eau du bassin quand sa température a atteint 28 °C. En déduire la valeur de $Q_c$.

**Données utiles** $V = 560\ \text{m}^3$ ; $\rho_{eau} = 1000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ; $c_{eau} = 4{,}18\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ; $\theta_i = 17\ ^\circ\text{C}$ ; $\theta_f = 28\ ^\circ\text{C}$

Masse d'eau : $m_{eau} = \rho_{eau}\, V$.

Pour l'eau liquide, sans changement d'état : $\Delta U_{\{eau\}} = m_{eau}\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i) = \rho_{eau}\, V\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)$

$$\Delta U_{\{eau\}} = 1000 \times 560 \times 4{,}18 \times 10^3 \times (28 - 17) = 2{,}6 \times 10^{10}\ \text{J}$$

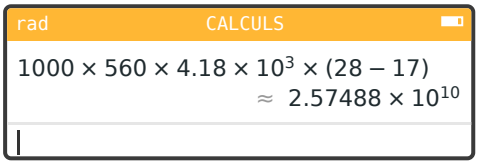
Le transfert thermique issu de la PAC sert intégralement à chauffer l'eau, sans déperdition : l'eau ne reçoit que $Q_c$, donc $Q_c = \Delta U_{\{eau\}}$.

$$\boxed{\Delta U_{\{eau\}} = Q_c = 2{,}6 \times 10^{10}\ \text{J}}$$

**PIÈGE**
Laisser $c_{eau}$ en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ : le résultat sortirait en kJ. Convertir en $4{,}18 \times 10^3\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs : l'écart de température, 11 °C, n'en a que deux. Un écart de température a la même valeur en °C et en K, inutile de convertir.

**À LA CALCULATRICE**




**3.2** L'énergie électrique consommée pendant ce transfert vaut $W_e = 8{,}0 \times 10^9$ J. Déterminer la valeur de $Q_f$, énergie transférée par l'air extérieur.

**Données utiles** $W_e = 8{,}0 \times 10^9$ J ; $Q_c = 2{,}6 \times 10^{10}$ J (3.1)

D'après la relation établie en 1.2 : $Q_c = Q_f + W_e$, donc $Q_f = Q_c - W_e$.

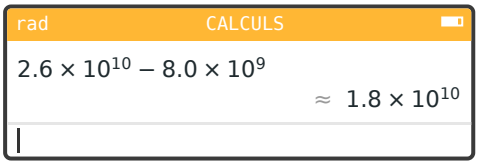
$$Q_f = 2{,}6 \times 10^{10} - 8{,}0 \times 10^9 = 1{,}8 \times 10^{10}\ \text{J}$$

$$\boxed{Q_f = 1{,}8 \times 10^{10}\ \text{J}}$$

**PIÈGE**
Soustraire les deux nombres sans regarder les puissances de dix : $2{,}6 \times 10^{10}$ J, c'est $26 \times 10^9$ J.

**COMPRENDRE**
L'air fournit gratuitement plus des deux tiers de l'énergie reçue par l'eau.

**À LA CALCULATRICE**




**3.3** Exprimer, puis calculer le coefficient de performance $\eta$ de la PAC.

**Données utiles** $Q_c = 2{,}57 \times 10^{10}$ J (3.1, valeur non arrondie) ; $W_e = 8{,}0 \times 10^9$ J

Le coefficient de performance est le rapport de l'énergie utile fournie par la PAC sur l'énergie électrique nécessaire à son fonctionnement. L'énergie utile est $Q_c$ (elle chauffe l'eau), l'énergie électrique consommée est $W_e$ :

$$\eta = \frac{Q_c}{W_e} = \frac{2{,}57 \times 10^{10}}{8{,}0 \times 10^9} = 3{,}2$$

Cette valeur est bien comprise entre 2,5 et 5, comme l'annonce le texte.

$$\boxed{\eta = \frac{Q_c}{W_e} = 3{,}2}$$

**PIÈGE**
Diviser par $Q_f$, ou par $Q_f + W_e$ : l'énergie prélevée dans l'air est gratuite, elle ne figure pas au dénominateur. Seule compte l'énergie facturée, $W_e$.

**COMPRENDRE**
$\eta$ est sans unité et supérieur à 1 : ce n'est pas un rendement de conversion. L'énergie n'est pas créée, elle est déplacée de l'air vers l'eau.

**MÉTHODE**
Reprendre la valeur non arrondie de la question précédente pour un calcul enchaîné : avec $2{,}6 \times 10^{10}$ J, on trouverait 3,3.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2.57 \times 10^{10}}{8.0 \times 10^{9}} \approx 3.2125$$

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

**Données utiles** $\eta = 3{,}0$

Pour fournir à l'eau la même énergie $Q_c$ :

- une résistance électrique convertit, au mieux, toute l'énergie électrique reçue en transfert thermique : $W_{res} = Q_c$ ;
- la PAC consomme $W_e = \dfrac{Q_c}{\eta} = \dfrac{Q_c}{3{,}0}$.

Économie relative sur l'énergie électrique facturée :

$$\frac{W_{res} - W_e}{W_{res}} = 1 - \frac{1}{\eta} = 1 - \frac{1}{3{,}0} = 0{,}67$$

L'économie est de $67\ \%$ : la PAC ne consomme que le tiers de l'énergie électrique d'une résistance, valeur attendue.

**MÉTHODE**
Pour comparer deux dispositifs, fixer le service rendu (ici la même énergie $Q_c$ fournie à l'eau), puis comparer ce que chacun consomme. Le résultat ne dépend pas de la valeur de $Q_c$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$1 - \frac{1}{3.0} \approx 0.6666667$$

**4.2** En conclusion, expliquer en quelques lignes en quoi l'utilisation de pompes à chaleur apporte une réponse à des problématiques énergétiques contemporaines.

Le chauffage est un poste très consommateur d'énergie, et produire de l'électricité a un coût économique et environnemental.

Pour un même chauffage, une PAC consomme entre 2,5 et 5 fois moins d'énergie électrique qu'une résistance : ici $8{,}0 \times 10^9$ J facturés au lieu de $2{,}6 \times 10^{10}$ J.

Le complément, $Q_f$, est prélevé dans l'air extérieur : cette énergie est renouvelable et gratuite.

La PAC réduit la consommation d'énergie électrique et la facture, en exploitant une ressource renouvelable : elle contribue aux économies d'énergie.

**COMPRENDRE**
Limite à connaître : $\eta$ dépend de la température de la source froide. Par temps froid, la PAC est moins performante et consomme davantage d'électricité.

**MÉTHODE**
Une question de synthèse se construit en trois temps : le problème posé, l'argument chiffré tiré de l'exercice (ici $\eta$ et l'économie de 67 %), puis la conclusion qui répond à la question de l'introduction.