

UNE « TOUR ÉNERGETIQUE »

Une tour de stockage d'énergie - premier ouvrage de ce type en France - a été inaugurée, le 23 novembre 2016, à Brest. Raccordée au réseau de chaleur brestois, cet énorme ballon d'eau chaude baptisé « Miroir des énergies » sert de chauffage d'appoint pour l'université située à proximité.

La tour permet de stocker 1000 m³ d'eau. La nuit, la tour récupère l'énergie issue de l'usine de valorisation énergétique des déchets située à proximité, ce qui permet de porter la température de l'eau à 98°C. Au matin, on utilise une partie de l'énergie stockée pour chauffer des locaux de l'université.

Ce dispositif permet de diminuer la quantité de gaz naturel consommée pour le chauffage. 2 500 MWh sont ainsi récupérés par an, entraînant une réduction des émissions de CO₂ de la métropole brestoise de 12 700 tonnes sur 20 ans.



<http://www.brest-bellevue.net> D'après : Génie climatique magazine - Thomas Hamon

1. Chauffage de l'eau durant la nuit

À l'intérieur de la tour, l'eau est stockée dans une cuve unique.

1.1. Donner le nom des trois types de transferts thermiques.

1.2. Indiquer quel type de transfert thermique principal permet à la température de l'eau de devenir homogène. Dans la suite de l'exercice, on considère que la température de l'eau est homogène.

1.3. Pendant un cycle de chauffage de 24 h des bâtiments, la température de l'eau contenue dans la tour diminue de 98°C à 72°C. La nuit, elle est portée à 98°C.

Données :

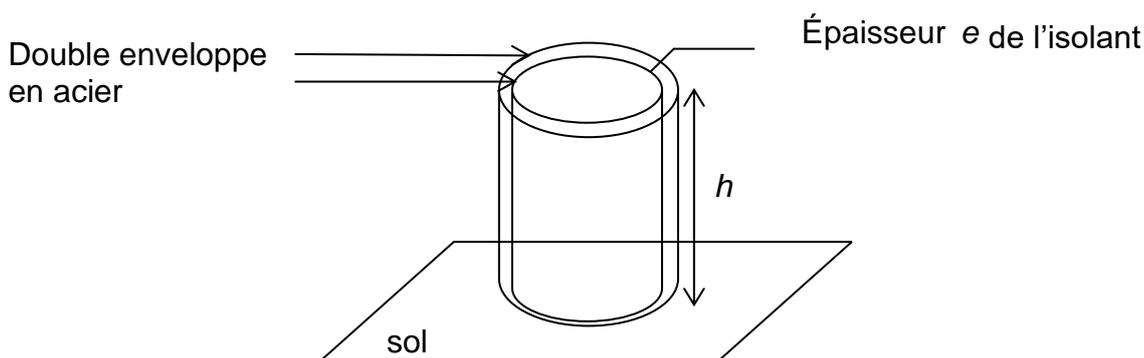
- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$

1.3.1. Donner la relation entre la variation d'énergie interne de l'eau à l'intérieur de la cuve et la variation de sa température.

1.3.2. Montrer que la quantité d'énergie Q à fournir pour élever la température de l'eau contenue dans la tour de 72 à 98°C est égale à $1,1.10^{11} \text{ J}$.

2. Isolation thermique de la tour de stockage La cuve stockant l'eau est constituée de deux enveloppes en acier séparées d'un isolant de type laine de verre d'épaisseur e .

Cette cuve peut être modélisée par un cylindre de hauteur h égale à 19,50 m et de diamètre extérieur d égal à 9,50 m et d'épaisseur e , fermé dans sa partie supérieure par un disque de même diamètre et de même épaisseur.



Données :

- La résistance thermique R_{th} d'une paroi plane est donnée par la relation : $R_{th} = \frac{e}{\lambda.S}$.

où : e est l'épaisseur de la paroi (en m), S la surface d'échange en m², λ la conductivité thermique (en W.m⁻¹.K⁻¹).

- Le flux thermique Φ à travers une paroi de résistance thermique R_{th} séparant deux milieux de températures respectives T_1 et T_2 est donné par la relation : $\Phi = \frac{T_1 - T_2}{R_{th}}$ où : Φ est exprimé en W, R_{th} en unité du système international, T_1 et T_2 en K.

- Conductivité thermique de l'isolant à l'intérieur de la double enveloppe en acier : $\lambda = 0,032 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

2.1. Indiquer le type de transferts thermiques qui n'existe pratiquement plus entre la cuve et le milieu extérieur.

Schématiser les échanges énergétiques du système {eau de la cuve} sur une durée de 24 h avec l'usine de valorisation des déchets, les locaux de l'université et l'environnement. Préciser le sens des transferts thermiques.

2.2. Isolation de la tour On néglige le transfert thermique vers le sol.

2.2.1. Montrer que la surface S de la paroi extérieure de la cuve en contact avec l'air est égale à 653 m^2 .

2.2.2. Calculer l'épaisseur minimale e de la couche d'isolant nécessaire pour que les pertes thermiques n'excèdent pas 1,0 % de l'énergie reçue de l'usine de valorisation sur 24 h en faisant les hypothèses suivantes :

- les dimensions de la tour sont telles que l'on peut modéliser la résistance thermique de sa paroi par celle d'une paroi plane de même surface S ;
- on considère que la paroi n'est constituée que du matériau isolant ;
- la valeur de la température moyenne de l'eau contenue dans la tour de stockage d'énergie thermique est de 90°C ;
- la valeur de la température moyenne extérieure à Brest est de 10°C .

3. Réduction de l'empreinte carbone

La tour de stockage permet de diminuer le recours aux ressources d'énergie fossiles telles que le gaz naturel.

Données

- La combustion complète d'un kg de gaz naturel libère une énergie de $54,0 \text{ MJ}$.
- Masses molaires moléculaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: dioxyde de carbone : $44,0$ Méthane : $16,0$
- $1 \text{ MWh} = 3\,600 \text{ MJ}$

On assimile le gaz naturel à son principal constituant, le méthane.

3.1. Écrire l'équation de combustion complète du méthane CH_4 sachant que les produits de la réaction sont le dioxyde de carbone et l'eau.

3.2. « 2 500 MWh sont ainsi récupérés par an, entraînant une réduction des émissions de CO_2 de la métropole brestoise de 12 700 tonnes sur 20 ans. »

Les données chiffrées de cette affirmation sont-elles cohérentes ?

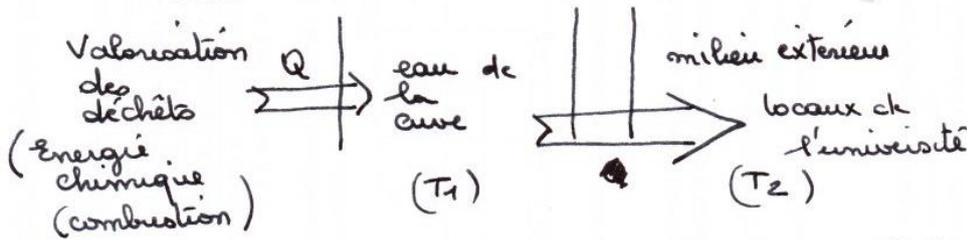
1.1. Conduction ; convection ; rayonnement

1.2. Convection

1.3.1. $\Delta U = m \cdot c \cdot \Delta \theta = \rho_{\text{eau}} \cdot V \cdot c_p \cdot \Delta \theta = 1000 \cdot 1000 \cdot 4180 \cdot (98 - 72)$
 $= 1,0 \cdot 10^{11} \text{ J}$

1.3.2. Le calcul précédent représente la variation de l'énergie d'agitation thermique de l'eau, donc l'énergie qu'elle reçoit, lorsque sa température évolue de 72°C à 98°C.

2.1. L'isolant est un solide ^{et peu} conduction (isolant) il n'y a plus de convection ^{ni de}



Le transfert thermique s'effectue de la température la plus élevée à la moins élevée.

2.2.1. $S = \left(2\pi \cdot \frac{d}{2} \right) \times h$ (Un cylindre est, déplié, un rectangle de longueur le périmètre et de largeur la hauteur)
 $= 582 \text{ m}$

2.2.2. Nous souhaitons : $1\% Q \Rightarrow \Phi_{\text{mur}} \times \Delta t \Rightarrow \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{R_{\text{th}}} \times \Delta t \Rightarrow \frac{T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}}{\frac{e}{\lambda S}} \times \Delta t$
 $\Rightarrow e \geq \frac{(T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) \cdot \Delta t \cdot 2 \cdot S}{1\% \cdot Q} = \frac{(90 - 10) \cdot 24 \times 3600 \cdot 0,032 \cdot 582}{0,01 \cdot 1,0 \cdot 10^{11}}$
 $= 13 \text{ cm}$



3.2. La combustion de 1 kg de méthane produit $\frac{1 \cdot 10^3}{16} \times 44 = 2,75 \text{ kg}$ de CO_2 .

54,0 M³ récupéré ^{2,75} réduit de 4 kg la consommation de CO_2

$2500 \times 3600 \times 20 = 1,8 \cdot 10^8$ " " " $\frac{1,8 \cdot 10^8}{54,0} \times 2,75$ " " "
 $= 9,2 \cdot 10^6 \text{ kg}$

sur 20 ans

On retrouve la même indication à 28% près. L'ordre de grandeur est vérifié.

LE "GRAND FOUR SOLAIRE" D'ODEILLO

Perché à 1535 m d'altitude, le "Grand Four Solaire" d'Odeillo est un laboratoire de recherche du CNRS (centre national de la recherche scientifique). D'une puissance de 1000 kW au foyer, il est à ce jour le four solaire le plus puissant au monde.

Située dans le sud de la France, à 74 km de Perpignan, la commune de Font-Romeu-Odeillo-Via bénéficie d'un ensoleillement exceptionnel. Elle est également célèbre pour la pureté de son air.



Les deux parties 1 et 2 sont indépendantes et peuvent être traitées dans l'ordre de votre choix.

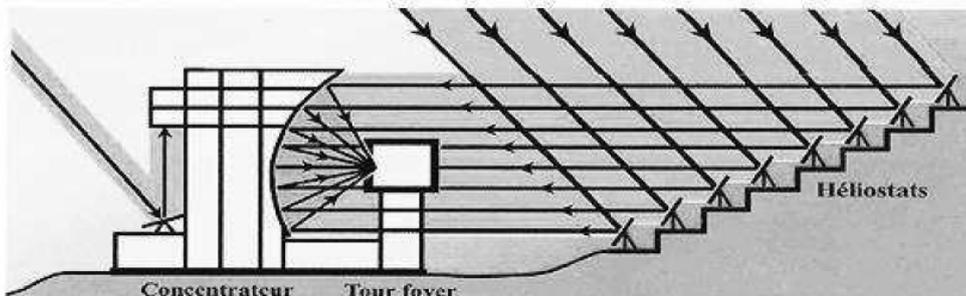
Partie 1 : fonctionnement du four solaire

La lumière du Soleil est captée par 63 héliostats. De 45 m² chacun, ils sont mobiles suivant deux axes pour suivre le mouvement apparent du Soleil tout en réfléchissant les rayons vers un grand miroir parabolique fixe, aussi appelé concentrateur. Les rayons réfléchis par les héliostats, parallèles à un axe Nord-Sud, éclairent toujours la même surface du concentrateur. Réfléchis une deuxième fois par la parabole du concentrateur, ils viennent enfin se concentrer dans un foyer situé 18 m en avant. La tache lumineuse fait seulement 40 cm de diamètre.

Au niveau du foyer, la température peut atteindre 3400 °C.

D'après la vidéo : Odeillo, le Soleil apprivoisé réalisée par le CNRS

Schéma de principe



Données concernant le "Grand Four Solaire"

Le concentrateur (ou parabole) constitué de plusieurs miroirs	Les héliostats (chaque héliostat est constitué de plusieurs miroirs plans)
Superficie totale de la parabole : 1830 m ² Nombre total de miroirs : 9130	Superficie totale : 2835 m ² Nombre total de miroirs : 11340

Données générales

- La réflectivité moyenne des miroirs des héliostats, ainsi que celle du concentrateur, est estimée à 70%.
La réflectivité correspond au pourcentage de rayonnement incident qui est réfléchi par la surface d'un matériau.
- On supposera que la puissance reçue par unité de surface de miroir pendant l'utilisation du "Grand Four Solaire" d'Odeillo est de 720 W/m².

Compréhension générale du principe de fonctionnement

L'objectif est de retrouver, par calcul, la valeur de la puissance disponible au foyer du "Grand Four Solaire" d'Odeillo.

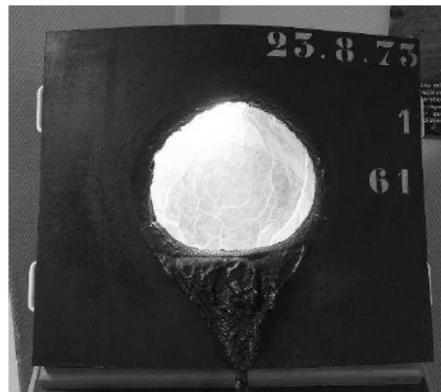
- 1.1. Exprimer, puis calculer, la puissance réfléchiée par l'ensemble des héliostats.
- 1.2. Montrer que la valeur de la puissance au foyer du four d'Odeillo vaut $1,00 \cdot 10^6$ W.

Une expérience étonnante

Pendant la phase de mise au point du "Grand Four Solaire", des expériences ont été réalisées pour tester ses performances.

Une plaque en acier de 10 mm d'épaisseur, positionnée au foyer et soumise au rayonnement solaire concentré, a ainsi été percée d'un trou de diamètre 40 cm égal à celui de la tache lumineuse en seulement 1 minute et 27 secondes.

La photo ci-contre représente une plaque en acier exposée à Odeillo à l'issue de l'expérience.



Données

- L'acier est un mélange principalement composé de fer et de carbone. Ses caractéristiques varient donc en fonction de sa composition. Pour celui utilisé, on utilisera les valeurs moyennes suivantes :
 - température de fusion : 1500°C ;
 - température d'ébullition : 2800°C ;
 - masse volumique à l'état solide : $7200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$;
 - capacité thermique massique à l'état solide : $460 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$;
 - énergie nécessaire à la fusion de 1 kg de cet acier : $L_f = 2,50 \cdot 10^5 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$.
- L'énergie E transmise lors de la fusion d'un échantillon de masse m à température constante est donnée par la relation : $E = m \cdot L_f$
- Le volume d'un cylindre de longueur e et de rayon R est : $V = \pi \cdot R^2 \cdot e$

1.3. Indiquer, parmi les relations ci-dessous, celle liant la puissance et l'énergie.

$$P = E \cdot \Delta t \quad P = \frac{E}{\Delta t} \quad P = \frac{\Delta t}{E}$$

- 1.4. Quelle conversion d'énergie est réalisée au foyer du concentrateur afin que le rayonnement solaire concentré puisse percer une plaque en acier ?
- 1.5. En déduire la température minimale atteinte au foyer pendant cette expérience.
- 1.6. À l'aide du texte de fonctionnement du Grand Four Solaire et de la description de la plaque, montrer que la masse d'acier fondu est de l'ordre de 9 kg.
- 1.7. L'objectif est de retrouver, par calcul, la durée nécessaire au perçage de la plaque d'acier et de critiquer le modèle utilisé.
 - 1.7.1. Estimer l'énergie nécessaire pour élever la température de l'acier jusqu'à sa température de fusion. On supposera que la température initiale de l'acier était celle de l'air ambiant, à savoir 20°C .
 - 1.7.2. Estimer l'énergie nécessaire à la fusion de l'acier.
 - 1.7.3. En déduire la durée nécessaire théorique pour réaliser cette expérience.
 - 1.7.4. Comparer le résultat obtenu par calcul au résultat expérimental.
 - 1.7.5. Expliquer la différence entre ces deux résultats en identifiant des transferts thermiques qui n'ont pas été pris en compte dans le modèle.

Partie 1 : fonctionnement du four solaire

1.1. Les miroirs des héliostats ont une surface totale est de $S_T = 2835 \text{ m}^2$.

La puissance reçue par unité de surface est de $P_S = 720 \text{ W/m}^2$.

Ces miroirs ont une réflectivité de $r = 70 \%$.

Par conséquent, la puissance réfléchiée par l'ensemble des héliostats est de :

$$P_{\text{réfléchiée}} = r \cdot S_T \cdot P_S$$

$$P_{\text{réfléchiée}} = \frac{70}{100} \times 2835 \times 720 = 1,43 \times 10^6 \text{ W} = 1,43 \text{ MW}$$

1.2. Il faut maintenant prendre en compte la partie du concentrateur, la réflectivité restant la même dans ce concentrateur, on a donc :

$$P_{\text{four}} = r \cdot P_{\text{réfléchiée}} = 0,70 \times 1,43 \times 10^6 = 1,00 \times 10^6 \text{ W} = 1,00 \text{ MW}$$

$$1.3. P = \frac{E}{\Delta t}$$

1.4. Le concentrateur reçoit de l'énergie solaire qu'il convertit en énergie thermique afin de percer le trou dans la plaque.

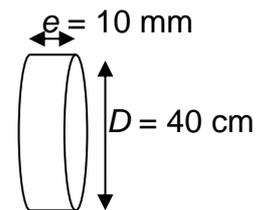
1.5. La plaque d'acier initialement solide doit devenir liquide. Il faut pour cela que la température au foyer atteigne au minimum la température de fusion de $1500 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.6. On cherche la masse du disque d'acier qui a fondu.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ donc } m = \rho \cdot V$$

$$\text{La surface de ce disque est égale à } S = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$m = \rho \cdot S \cdot e = \rho \cdot \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot e = 7200 \times \pi \times \left(\frac{0,40}{2}\right)^2 \times 10 \times 10^{-3} = \mathbf{9,0 \text{ kg}}$$



$$1.7.1. \Delta U = m \cdot c \cdot \Delta \theta = 9,0 \times 460 \times (1500 - 20) = 6,1 \times 10^6 \text{ J} = 6,1 \text{ MJ}$$

$$1.7.2. E_{\text{fusion}} = m \cdot L_f = 9,0 \times 2,50 \times 10^5 = 2,25 \times 10^6 = 2,3 \times 10^6 \text{ J} = 2,3 \text{ MJ}$$

1.7.3. L'énergie nécessaire pour faire fondre la plaque est la somme de l'énergie pour amener l'acier à sa température de fusion et l'énergie de fusion de l'acier soit :

$$E_{\text{totale}} = \Delta U + E_{\text{fusion}} = 8,4 \text{ MJ}$$

Cette énergie est apportée au foyer avec une puissance de $1,00 \times 10^6 \text{ W}$ pendant une durée théorique à déterminer.

$$P = \frac{E}{\Delta t} \text{ donc } \Delta t = \frac{E}{P} = \mathbf{8,4 \text{ s}}$$

1.7.4. La durée théorique est environ 10 fois plus faible que la durée réelle indiquée (1 min et 27 secondes).

1.7.5. La différence peut s'expliquer par le fait qu'une partie de l'énergie ne sert pas à faire fondre le disque d'acier :

- ✓ Le disque réfléchit une partie de l'énergie reçue,
- ✓ Lors de la conduction de la chaleur dans le disque d'acier, une partie de l'énergie est transférée vers le milieu extérieur (air ambiant)
- ✓ Une partie de l'acier a pu passer à l'état gazeux, il est dit dans un document qu'« au niveau du foyer, la température peut atteindre $3400 \text{ }^\circ\text{C}$ » ce qui est supérieur à la température d'ébullition de l'acier ($2800 \text{ }^\circ\text{C}$).

.TRANSFERT THERMIQUE LORS DU CHAUFFAGE D'UNE PISCINE

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.

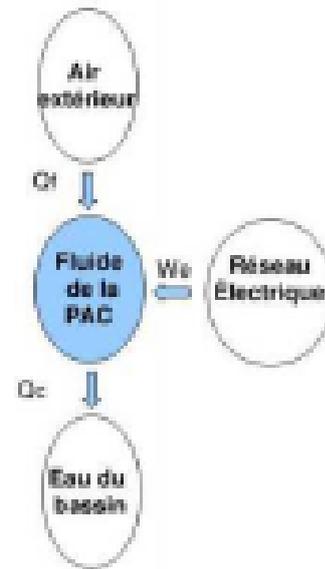


Figure 1. Schéma énergétique de la pompe à chaleur d'une piscine.

Les grandeurs Q_c , Q_f et W_e sont positives.

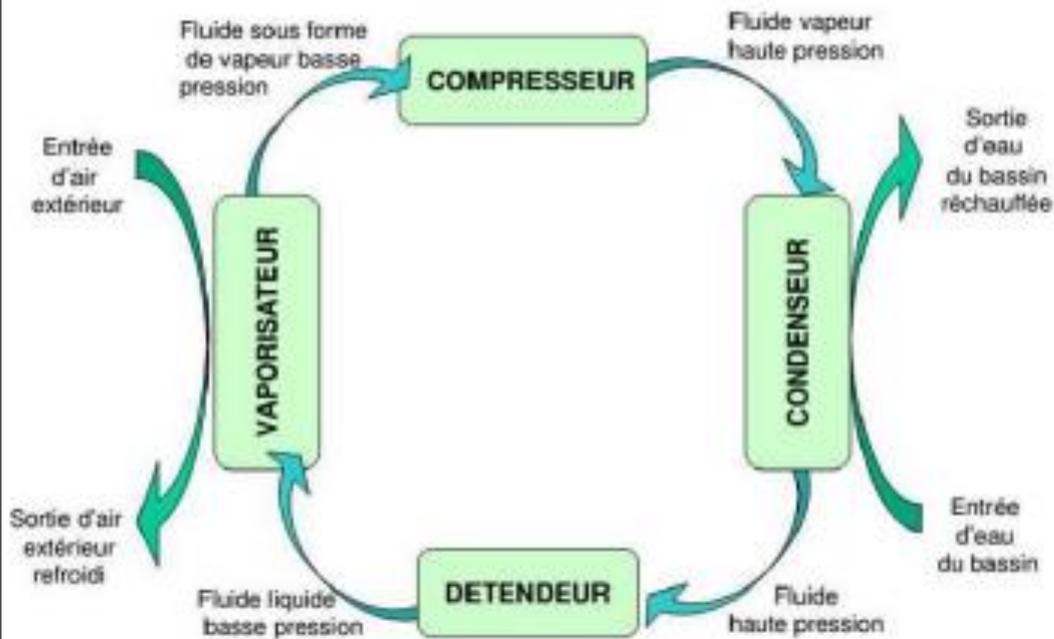


Figure 2. Cycle du fluide frigorigène dans la PAC.

Données :

- système étudié : le fluide frigorigène de la PAC ;
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_{eau} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- 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 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 considère 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 ΔU_{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_c , 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 ?

TRANSFERT THERMIQUE LORS DU CHAUFFAGE D'UNE PISCINE

1. Fonctionnement global de la pompe à chaleur

1.1. D'après le schéma de la figure 1 :

- les **énergies reçues** par le fluide de la PAC sont Q_f et W_e ;
- l'**énergie cédée** par le fluide de la PAC est Q_c .

1.2. Au cours d'un cycle du système {fluide frigorigène} de la PAC, variation d'énergie interne est nulle : $\Delta U_{\text{fluide PAC}} = 0$. Ainsi, la somme des énergies reçues par le système est égale à l'énergie cédée soit

$$Q_f + W_e = Q_c$$

Remarque : par convention, les énergies reçues par un système sont comptées positivement et celles cédées par le système sont comptées négativement. Pour le fluide la PAC, on aurait alors : $Q_f > 0$, $W_e > 0$, $Q_c < 0$. La relation $\Delta U_{\text{fluide PAC}} = 0$ conduirait alors à : $Q_f + W_e + Q_c = 0$ soit $Q_f + W_e = -Q_c$ avec $Q_c < 0$.

Dans l'exercice, il est indiqué que les grandeurs Q_f , Q_c et W_e sont positives : il faudrait donc écrire $Q_f + W_e - Q_c = 0$ pour obtenir la relation $Q_f + W_e = Q_c$.

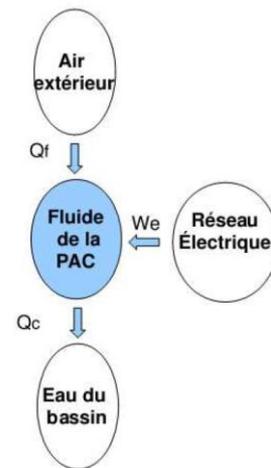
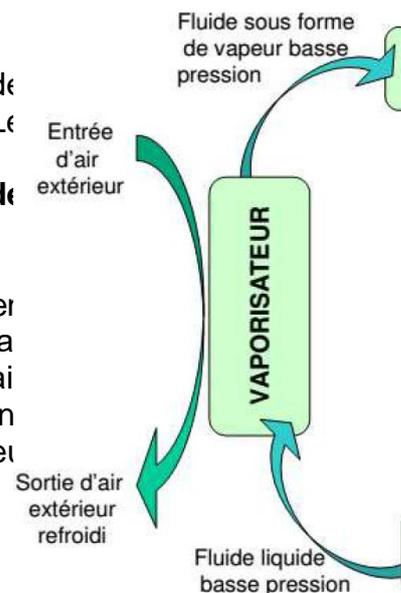


Figure 1. Schéma énergétique de la pompe à chaleur d'une piscine

2. Etude du fluide frigorigène

2.1. La figure 2 montre que le fluide frigorigène passe de l'état liquide à l'état gazeux lors de son passage dans le vaporisateur. Le changement d'état du fluide est appelé **ébullition** ou **vaporisation**. Lors de ce changement d'état, **le fluide frigorigène a reçu de l'énergie** car l'air extérieur s'est refroidi.

2.2. Le fluide de la PAC circule dans des tuyaux sans jamais être en contact direct avec l'air extérieur. Le fluide transfère de l'énergie par conduction aux tuyaux qui suivent le même mode la transfèrent à l'air extérieur. Ainsi, parmi les modes de transfert thermique (conduction convection et rayonnement), le mode de transfert thermique mis en jeu est la **conduction**.



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

3.1. La variation d'énergie interne de l'eau est :

$$\Delta U_{\text{eau}} = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta \theta$$

$$\Delta U_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \cdot V \cdot c_{\text{eau}} \cdot \Delta \theta$$

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

Le transfert thermique Q_c sert intégralement à chauffer l'eau de la piscine donc :

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

3.2. Le fluide a reçu W_e de la part du réseau électrique et Q_f de la part de l'air extérieur. Il a cédé Q_c à l'eau du bassin.

On a : $Q_f + W_e = Q_c$ donc $Q_f = Q_c - W_e$

L'air extérieur a transféré $Q_f = 2,6 \times 10^{10} - 8,0 \times 10^9 = 1,8 \times 10^{10} \text{ J}$.

3.3. Le coefficient de performance η est défini par la relation: $\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}}$.

L'énergie utile est Q_C et l'énergie dépensée est W_e donc : $\eta = \frac{Q_C}{W_e}$

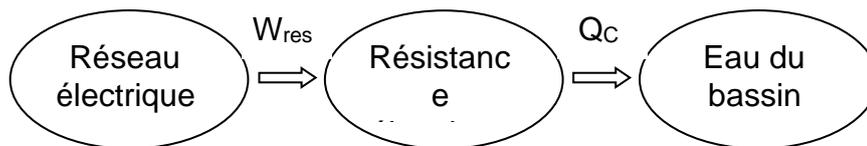
soit $\eta = \frac{2,6 \times 10^{10}}{8,0 \times 10^9} = 3,2$

Calcul effectué avec Q_C non arrondie.

La valeur de η est bien comprise entre 2,5 et 5 comme l'indique l'énoncé.

4. Enjeux énergétiques

4.1. Dans le cas d'un chauffage direct par une résistance électrique qui consommerait l'énergie électrique W_{res} pour fournir le transfert thermique Q_C , on aurait le schéma énergétique suivant :



Dans le meilleurs des cas, si $\Delta U_{res} = 0$ alors : $W_{res} = Q_C$.

Pour une PAC avec $\eta = 3$ on aurait : $\eta = \frac{Q_C}{W_e} = 3,0$ soit $W_e = \frac{Q_C}{3,0} = \frac{W_{res}}{3,0}$.

Ainsi l'énergie électrique W_e consommée avec la PAC est égale au tiers soit 33 % de l'énergie W_{res} consommée par la résistance électrique. On réalise donc bien une économie de 67 % sur la facture en énergie électrique en utilisant une PAC.

4.2. Les systèmes de chauffages classiques par résistance électrique sont énergivores. Les PAC sont des alternatives intéressantes à ces systèmes de chauffage. En effet, pour un même transfert thermique, elles permettent une économie d'énergie électrique importante grâce à leur coefficient de performance élevé.

Pour leur fonctionnement, en plus d'une source d'énergie électrique, les PAC utilisent l'air extérieur comme source d'énergie thermique renouvelable et disponible gratuitement. Pour toutes ces raisons, l'Ademe encourage l'utilisation des PAC comme système de chauffage.