

# Activité Documentaire – Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques

## Doc 1 – Du microscopique au macroscopique

La description de la matière peut être faite au niveau microscopique ou au niveau macroscopique.

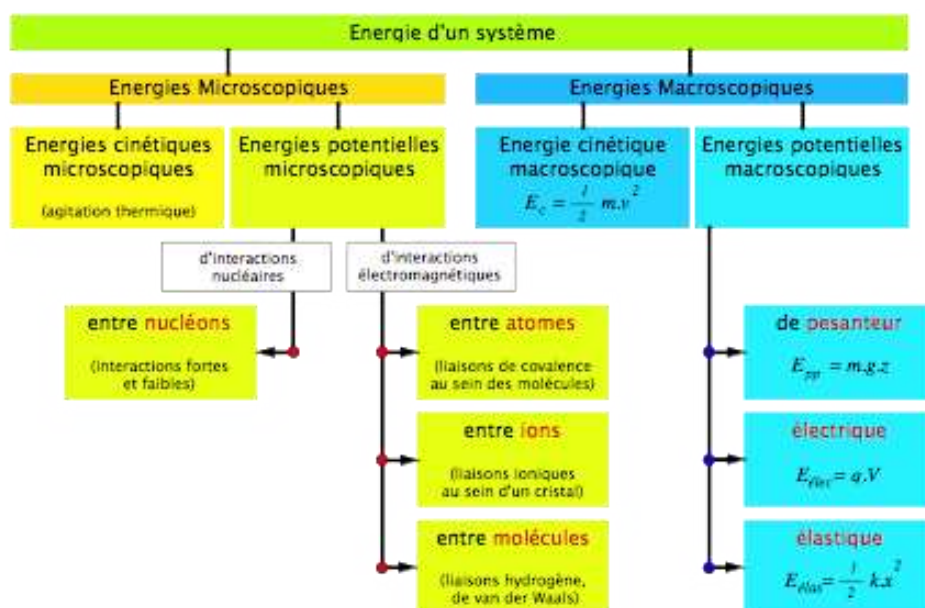
- L'approche microscopique décrit le comportement individuel des constituants d'un système (atomes, molécules, ions, particules). A ce niveau, les particules sont dénombrables : leur description passe par la mesure de leur vitesse  $v$ , leur masse  $m$ , leur charge électrique  $q$ ...

- L'approche macroscopique ne s'intéresse qu'au comportement de l'ensemble des constituants du système, à une échelle facilement accessible à l'être humain. La description macroscopique utilise des grandeurs comme la quantité de matière  $n$  (en moles), la température  $T$ , la pression  $P$ , le volume  $V$ ...

Le trait d'union entre ces deux mondes est la constante d'Avogadro qui représente le nombre d'entités dans une mole de cette entité :

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

## Doc 2 – Energie de systèmes macroscopiques



- L'énergie interne d'un système, notée  $U$ , en joules ( $J$ ), est une grandeur macroscopique définie comme la somme des énergies microscopiques des particules constituant le système étudié.

Seule est mesurée sa variation  $\Delta U = U_f - U_i$ , qui dépend uniquement de l'état initial du système et de son état final, sans influence de la nature de la transformation faisant évoluer le système.

- L'énergie totale du système s'écrit :

$$E_{tot} = E_m + U = E_c + E_p + U$$

Dans l'absolu, on ne peut pas mesurer l'énergie totale d'un système : seules les variations d'énergie sont mesurables :

$$\Delta E_{tot} = \Delta E_m + \Delta U$$

- La variation de l'énergie totale  $\Delta E_{tot}$  d'un système au cours d'une évolution est donc égale à la somme des travaux  $W$  des forces non conservatives et des transferts thermiques  $Q$  échangés avec le milieu extérieur :

$$\Delta E_{tot} = W + Q$$

- Pour un système dont l'énergie mécanique est constante, on a :

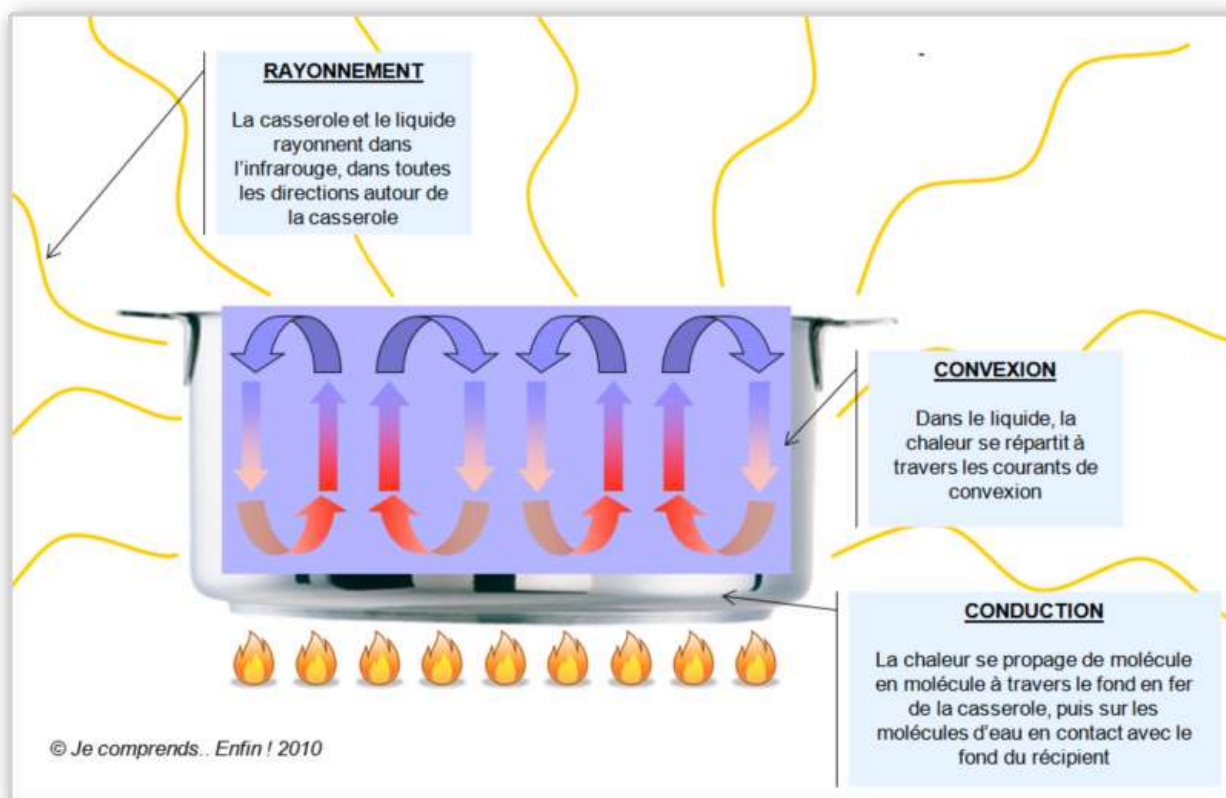
$$\Delta U = W + Q$$

Par convention, les travaux et les transferts thermiques sont comptés positivement s'ils sont reçus par le système et négativement s'ils sont cédés par le système. Dans le cas où le système étudié n'interagit pas avec son environnement, son énergie interne ne varie pas :  $\Delta U = 0$ . Le système est dit « isolé ».

### Doc 3 – transferts thermiques

L'existence d'une différence de température entre deux systèmes, ou au sein d'un système, induit un transfert *spontané* d'énergie de la partie la plus chaude vers la partie la plus froide. On parle de *transfert thermique*, noté  $Q$ . Lorsque les deux systèmes sont à la même température, le transfert thermique cesse : on est alors à l'*équilibre thermique*. Ce phénomène est spontané et *irréversible*. Ainsi, le mélange d'un verre d'eau chaude et d'un verre d'eau froide donne de l'eau tiède. Une fois le mélange effectué, il est impossible d'obtenir à nouveau l'eau chaude et l'eau froide à partir de ce verre d'eau tiède. On peut interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique suivant trois modes principaux :

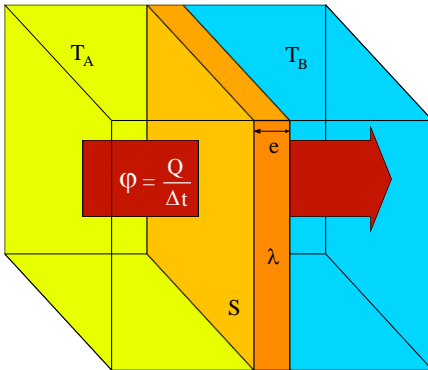
- Le transfert thermique par *conduction* qui est généré au niveau microscopique par des interactions entre des entités en contact direct. C'est le seul mode de transfert thermique au sein des solides.
- Le transfert thermique par *convection* qui est généré par un mouvement interne des entités microscopiques à l'intérieur du système. Ce mode de transfert est spécifique aux systèmes fluides.
- Le transfert thermique par *rayonnement* qui est généré par l'absorption ou l'émission d'un rayonnement électromagnétique. Ce transfert est possible dans le vide.



## Doc 4 – Flux thermique

- Le *flux thermique*  $\varphi$  caractérise la vitesse du transfert thermique  $Q$ , pendant la durée  $\Delta t$ , au sein d'un système ou entre différents systèmes :

$$\varphi = \frac{Q}{\Delta t}$$



Le flux thermique a la dimension d'une énergie (joule) divisée par un temps (seconde). Sa dimension est celle d'une puissance (Watt)

- A travers une *paroi plane* d'aire  $S$  et d'épaisseur  $e$ , constitué d'un matériau de *conductivité thermique*  $\lambda$ , le flux thermique est proportionnel à l'écart de température entre les deux faces A et B de la paroi :

$$\varphi = \lambda \cdot \frac{S}{e} \cdot (T_A - T_B)$$

## Doc 5 – Résistance thermique (analogie avec la loi d'Ohm)

Entre les bornes A et B d'un conducteur électrique de résistance  $R$  soumis à une tension électrique  $U_{AB} = V_A - V_B$ , un courant électrique d'intensité  $I$  circule. La loi d'Ohm s'écrit :

$$U_{AB} = V_A - V_B = R \cdot I$$

On peut comparer la relation du document 4 avec la loi d'Ohm :

$$T_A - T_B = \frac{e}{\lambda \cdot S} \cdot \varphi$$

A la différence de température entre le corps chaud et le corps froid (séparés par la paroi) correspond la différence de potentiels électriques aux bornes de la résistance. Au flux thermique à travers la paroi correspond l'intensité du courant électrique (flux d'électrons libres à travers la section du conducteur). Par analogie avec la résistance électrique, on définit la *résistance thermique* :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$$

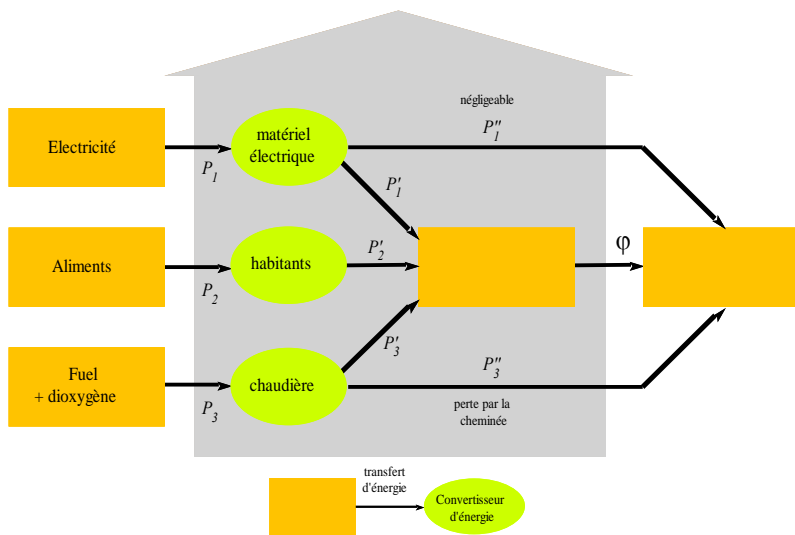
$$T_A - T_B = R_{th} \cdot \varphi$$

La résistance thermique d'un mur constitué de plusieurs parois accolées en « série » est égale à la somme des résistances thermiques de chaque paroi.

## Doc 6 – Bilan énergétique d'une maison, économies d'énergie

Le bilan énergétique d'une maison modélise *les apports et les déperditions d'énergie* qu'elle subit pendant une *durée donnée*. Il permet donc de calculer la facture énergétique à payer (électricité, gaz, fuel...). Le *bilan de puissance* permet de s'affranchir de cette durée et s'établit à un instant donné. Ces bilans se représentent par une *chaîne énergétique* qui prend en compte :

- Les sources d'énergie dans la maison :
  - les appareils destinés au chauffage de la maison,
  - les autres appareils électriques (éclairage, électroménager),
  - les habitants ;
- Les déperditions d'énergie :
  - liées au flux thermique  $\varphi$  (en watt) à travers l'enveloppe extérieure de la maison (toiture, murs, fenêtres, plancher),
  - autres (ouvertures des fenêtres, cheminée, ventilation, élimination d'eau chaude dans les égouts, etc...).



Dans une maison, les éléments qui apportent de l'énergie sont :

- La chaudière (par exemple 10 kW),
- Les appareils électriques (par exemple 1 kW),
- Les habitants (par exemple 60 W par personne au repos).

Ceux qui provoquent une déperdition d'énergie sont les transferts d'énergie vers l'extérieur.

Bilan de puissance de la maison

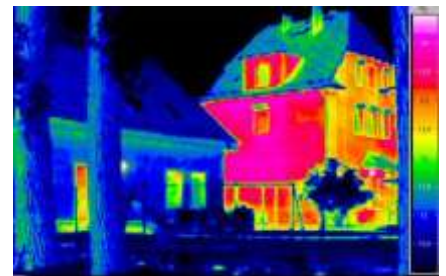
$$P_1 + P_2 + P_3 = \varphi + P''_1 + P''_3$$

• Pour réduire la dépense énergétique due aux appareils électriques, il faut :

- Réduire la durée d'utilisation des appareils (éteindre la lampe en sortant de la pièce, éteindre un ordinateur inutilisé...),
- Réduire la puissance consommée par le matériel électrique en utilisant des appareils moins « gourmands » en énergie,
- Optimiser le rendement des appareils électriques afin de diminuer la portion d'énergie cédée à la maison (en utilisant par exemple des ampoules basses consommation).

• Pour réduire l'énergie due au chauffage, il faut :

- Optimiser le rendement de la chaudière  $\eta = P'_3 / P_3$ ,
- Maintenir une température modérée car le flux thermique  $\varphi$  à travers les parois de la maison (fenêtres, murs et toiture) est d'autant plus grand que la différence de température  $\Delta T$  entre l'intérieur et l'extérieur est grande,
- Augmenter la valeur des résistances thermiques des parois de la maison en isolant correctement les murs et le toit et en utilisant du double vitrage.



thermogramme (caméra IR)

### Doc 7 – Réglementation thermique 2012

L'objectif de la réglementation thermique 2012 (RT 2012) est d'imposer aux nouveaux logements une consommation maximale de 50 kWh.an<sup>-1</sup> par mètre carré habitable. Cette norme impose des valeurs minimales pour les résistances thermiques des parois en contact avec des zones froides (extérieur de la maison, comble, garage, etc.).



• Le tableau ci-contre donne des résistances thermiques surfaciques utilisées dans le bâtiment :

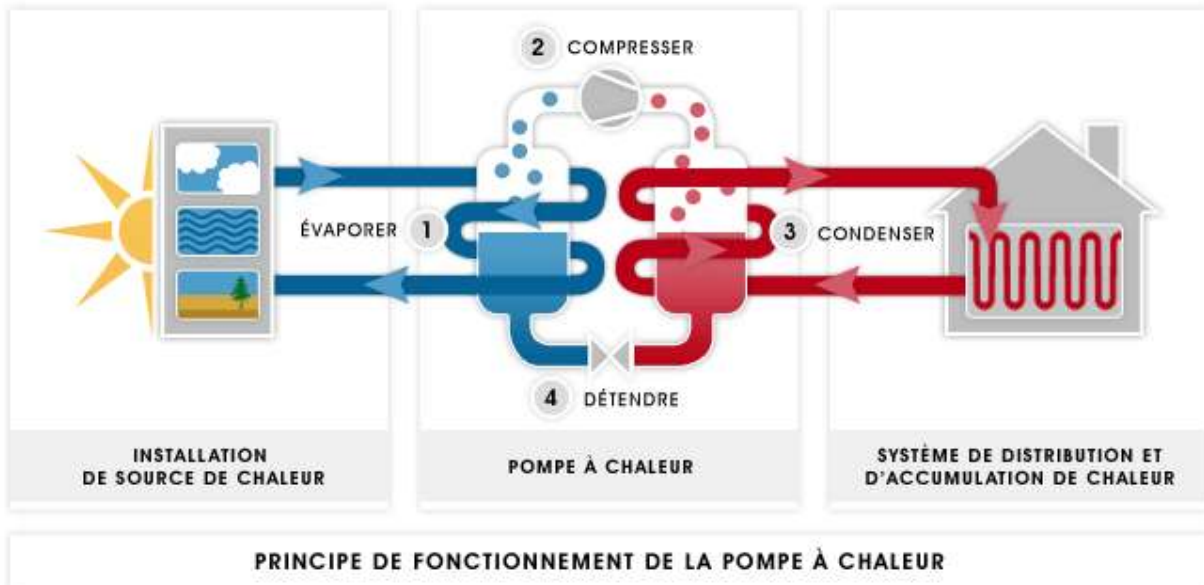
Type de paroi	Valeur minimale de la résistance thermique surfacique $r$ de la paroi (m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )
Mur extérieur	<b>2,3</b>
Combles	<b>2,5</b>
garage	<b>2,0</b>

Valeurs pour des habitations à moins de 800 m d'altitude

• Relation entre résistance thermique  $R_{th}$  et résistance surfacique  $r$  du matériau :

$$R_{th} = \frac{r}{S}$$

La température interne du sous-sol est moins sensible aux changements de température que l'air. Il en est de même pour l'eau des lacs ou des rivières. Ainsi, la terre procure une source d'énergie inépuisable. Le rôle de la pompe à chaleur est de capter l'énergie thermique contenue dans l'air (Aérothermie) ou dans le sol (Géothermie), afin de l'utiliser pour chauffer le circuit de chauffage de la maison (radiateurs, plancher chauffant, murs chauffants).



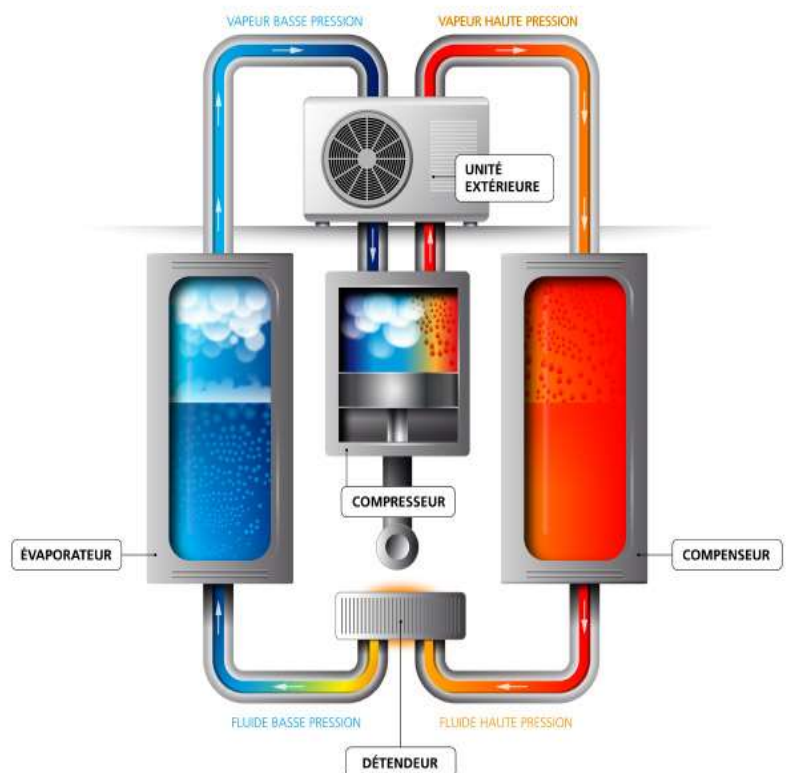
- Un fluide frigorigène subit une succession de transformations qui le conduit à réaliser des transferts thermiques avec deux environnements distincts appelés source froide ( $T_1$ ) et source chaude ( $T_2$ ). Le système étudié est le fluide frigorigène qui parcourt des cycles au cours desquels il subit des changements d'état gaz / liquide.

- Le fluide frigorigène circulant dans le dispositif s'évapore, à l'extérieur de la maison dans l'**évaporateur**. En passant de l'état liquide à l'état gazeux, son énergie interne augmente.

Il est ensuite comprimé, donc gagne de l'énergie grâce au travail des forces pressantes que lui fournit le **compresseur**.

Le fluide est ainsi envoyé sous haute pression dans le circuit à l'intérieur de la maison, où il passe de l'état gazeux à l'état liquide dans le **condenseur** cédant ainsi de l'énergie aux pièces à chauffer.

- Le fluide frigorigène subit un cycle thermique. Cela signifie que sa variation d'énergie interne est nulle sur ce cycle.



## Questionnaire

**Partie I** . Une salle de séjour de surface  $27 \text{ m}^2$  est chauffée par deux radiateurs électriques de puissance  $1000 \text{ W}$  chacun. Avant le chauffage, la température de la pièce est  $T_1 = 17^\circ\text{C}$ .

- 1 . Quelle est l'énergie fournie à la pièce par ces radiateurs s'ils fonctionnent pendant 2 h 30 min ?
- 2 . Par quel mode de transfert l'énergie est-elle reçue par les radiateurs ?
- 3 . Par quel mode de transfert est-elle transmise à l'air de la pièce ?
- 4 . Les radiateurs sont programmés pour s'arrêter au bout de 2 h 30 min. La température de la pièce est alors  $T_2 = 22^\circ\text{C}$ . En attendant encore 2 h 30 min après l'arrêt des radiateurs, on constate que la température de la pièce est retombée à  $T_1 = 17^\circ\text{C}$ .
  - a . Qu'est devenue l'énergie fournie par ces radiateurs ?
  - b . Quelle a été la consommation d'énergie pour cette pièce pendant ces cinq heures ?
  - c . Quelle est la valeur maximale autorisée par la réglementation RT 2012 pour cette pièce en cinq heures ?
  - d . Cette maison respecte-t-elle la réglementation ?
  - e . Pourquoi ce raisonnement n'est-il pas suffisant pour conclure que la pièce respecte ou non la réglementation ?

**Partie II** . La pièce étudiée ayant un défaut d'isolation, le propriétaire fait appel à un spécialiste nommé *économiste de flux* afin de déterminer les murs les moins isolés de la pièce pour effectuer d'éventuels travaux. L'économiste constate que deux murs, d'une surface totale de  $25 \text{ m}^2$ , donnent sur l'extérieur ; un troisième mur de  $10 \text{ m}^2$  donne sur un garage. Le dernier mur donne sur d'autres pièces à l'intérieur de la maison. Enfin, le plafond de ce séjour est situé juste sous les combles. Les mesures sont effectuées quand l'ensemble des pièces de l'intérieur de la maison (garage et combles non compris) sont à la température  $T_{int} = 20^\circ\text{C}$ .

- 1 . On souhaite calculer les pertes par les murs donnant sur l'extérieur. En utilisant un capteur de flux thermique, l'économiste de flux évalue le flux thermique à travers les murs donnant sur l'extérieur à :

$$\varphi = 100 \text{ W}$$

- a . En déduire l'énergie ainsi perdue en une heure.
  - b . La température extérieure étant  $T_{ext} = 8^\circ\text{C}$ , montrer que la résistance thermique des murs donnant sur l'extérieur est  $R_{th} = 0,12 \text{ K.W}^{-1}$ .
  - c . Ces murs respectent-ils la valeur minimale de la résistance thermique surfacique imposée par la réglementation ?
- 2 . On souhaite calculer les pertes par le plafond.
    - a . Quelle doit-être la valeur minimale de  $R_{th}$  pour le plafond de cette pièce ?
    - b . Les combles étant à la température  $T_{combles} = 10^\circ\text{C}$ , en déduire le flux maximal qui peut être perdu par le plafond pour respecter la réglementation.

### **Partie III** .

De nombreux dispositifs existent pour chauffer l'eau des piscines en hiver. Parmi les plus performants et économiques à l'usage figure le chauffage par pompe à chaleur (PAC). La pompe à chaleur est une machine thermique ditherme qui fonctionne entre une source de température variable au cours du temps et une source de température constante, en recevant de l'énergie électrique. Pendant le chauffage, la piscine est équipée d'un couvre piscine qui rend négligeable les échanges thermiques entre l'eau et l'air extérieur.

- 1 . On étudie le fonctionnement de la PAC d'une piscine à l'extérieur pendant l'hiver. La température de l'air extérieur où est placée la PAC est de  $10^\circ\text{C}$ . Avant chauffage, la température initiale de l'eau vaut  $10^\circ\text{C}$ .

Identifier ce qui sera la source froide et ce qui sera la source chaude lors du fonctionnement de la PAC.

- 2 . Représenter un diagramme énergétique faisant apparaître le système (liquide frigorigène de la PAC) et les transferts énergétiques  $Q_f$  et  $Q_c$  dont le système est le siège.
- 3 . Que se passe-t-il au niveau microscopique pour l'eau pendant le fonctionnement de la PAC ?
- 4 . La piscine contient une masse  $m_{eau} = 10,0 \text{ tonnes}$  d'eau.

- a . Calculer la variation d'énergie interne de l'eau quand la température de l'eau atteint  $27^{\circ}\text{C}$ .
- b . En déduire la valeur de  $Q_c$ , transfert thermique fourni par la PAC à la source chaude.

5 . La PAC fonctionne comme une machine cyclique. Etablir le bilan énergétique du système.

6 . Le système a reçu un transfert thermique  $Q_f = 4,7.10^8 \text{ J}$  de la source froide. En déduire la valeur de l'énergie électrique  $W_e$  reçue.

7 . L'efficacité de la PAC est définie par la valeur absolue du rapport de l'énergie utile sur l'investissement requis. Déterminer l'efficacité  $\eta$  de cette PAC.

8 . Quelle énergie électrique  $W'_e$  aurait dû fournir une série de résistances chauffantes pour obtenir la même température ? La PAC est-il un dispositif de chauffage performant ?