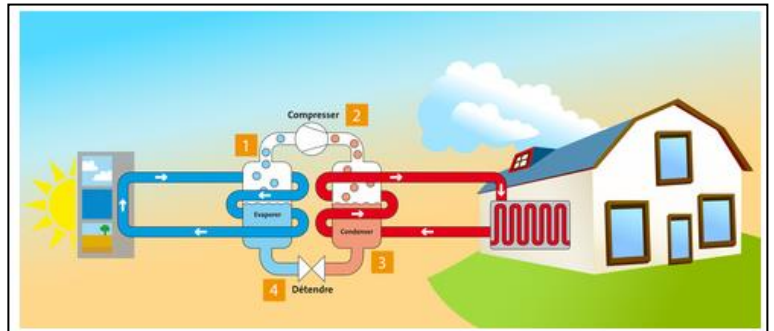


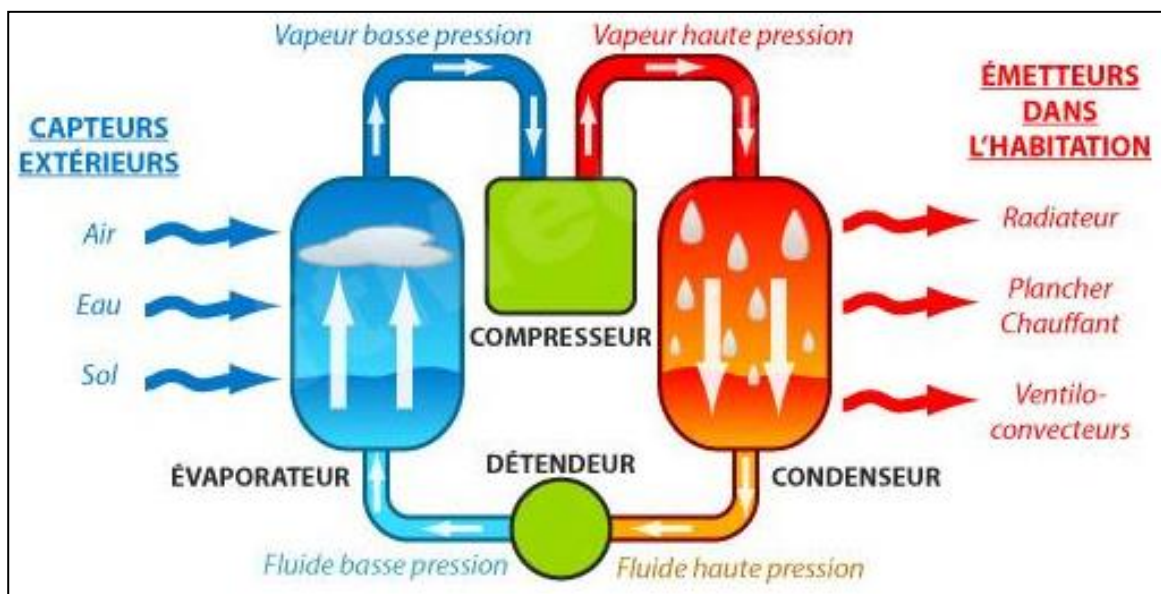
Pompe à chaleur et climatiseur

► Une pompe à chaleur (PAC) est un appareil qui puise la chaleur à l'extérieur de la maison (dans l'air ou dans la terre) pour la transférer ensuite, à l'intérieur du logement. La PAC permet donc de chauffer l'air de la maison et produire de l'eau chaude sanitaire.



► La PAC utilise une énergie propre, inépuisable et gratuite ; elle permet une importante économie sur la facture de chauffage. L'installation d'une PAC bénéficie d'un crédit d'impôt (selon la loi de finances en vigueur)

↳ Mais comment la pompe à chaleur peut-elle capter de la chaleur d'un milieu froid (air extérieur, eau, terre) pour ensuite la donner à un milieu chaud (intérieur de la maison) ?



1. Evaporateur et condenseur

DOC1 : Les états de la matière

▪ Si au niveau macroscopique la matière semble immobile, au niveau microscopique elle ne l'est jamais totalement :

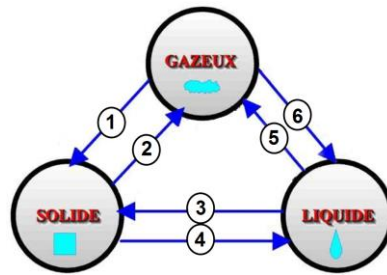
→ **L'état solide** est caractérisé par des molécules ou des ions en contact les uns avec les autres, dans un empilement compact, ordonné, en vibration constante autour d'une position d'équilibre.

→ **L'état liquide** est caractérisé par des molécules ou des ions en contact les uns avec les autres, dans un arrangement irrégulier, désordonné, et en mouvement constant.

→ **L'état gazeux** est caractérisé par des molécules ou des ions éloignés les uns des autres (la distance les séparant étant supérieure à la taille des molécules ou des ions), en mouvement constant.

DOC2 : Les changements d'états

- (1) condensation solide (2) sublimation
- (3) solidification (4) fusion
- (5) vaporisation
- (6) liquéfaction ou condensation liquide



→ Certains changements d'états nécessitent un apport d'énergie : la fusion et la vaporisation

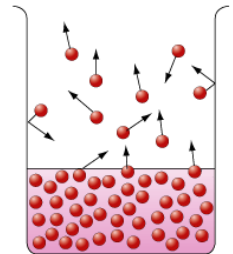
→ Certains changements d'états libèrent de l'énergie : la liquéfaction et la solidification

Remarque :

La **vaporisation** d'un liquide (passage des molécules de l'état liquide à l'état solide) peut se faire de deux façons : par **évaporation** ou par **ébullition**.

L'évaporation est une vaporisation lente de surface : elle se fait sans qu'il soit nécessaire de chauffer. Les molécules d'eau se trouvant en surface, en contact avec l'air, sont moins liées aux autres molécules d'eau. Sous l'agitation naturelle des molécules, les molécules de surface se détachent donc relativement facilement de leurs voisines et sont ainsi libérées dans l'air. C'est un processus lent qui a lieu à toute température et qui est favorisé par :

- une grande surface de contact avec l'air
- la ventilation de la surface libre
- la température élevée du liquide



L'ébullition est une vaporisation rapide se déroulant dans le volume du liquide sous l'action de chaleur. Si on chauffe de l'eau, les molécules vont s'agiter de plus en plus jusqu'à ce que les liaisons qui les maintiennent ensemble se brisent. Le liquide a alors atteint son point d'ébullition : les molécules sont brusquement libérées : du gaz se forme dans le liquide, sous forme de bulles qui remontent en surface.

→ Que se passe-t-il dans l'**évaporateur** de la PAC ?

.....

.....

.....

.....

→ Que se passe-t-il dans le **condenseur** de la PAC ?

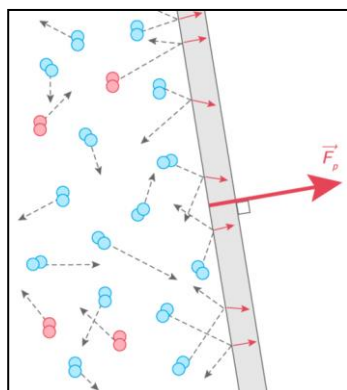
.....

.....

.....

.....

2. Compresseur et détendeur



DOC3 : Pression d'un gaz

- Le gaz est constitué de molécules éloignées les unes des autres ; Ces molécules sont en mouvement continu en ligne droite. Au cours de leur mouvement, les molécules subissent des chocs, soit sur d'autres molécules de gaz, soit sur les parois du récipient contenant le gaz (Dans l'air que nous respirons la vitesse moyenne des molécules de diazote et de dioxygène est de 500 m.s^{-1} environ ; le nombre de chocs subis par une molécule de gaz pendant 1 s est de l'ordre de 10^8 à 10^9).
- Ces très nombreux chocs créent une force exercée par le gaz sur les parois : on l'appelle **force pressante**.

- On définit **la pression** comme étant le rapport de la valeur de la force pressante par la surface de la paroi pressée :

$$P = \frac{F}{S}$$

Remarque: L'unité de la pression est le pascal, mais il existe d'autres unités couramment utilisées :

F : force exercée par le gaz (en newtons, N)
S : surface pressée par le gaz (en m^2)
P : pression du gaz (en pascal, Pa)

- **le bar** (unité utilisée pour exprimer la pression dans les pneus ou dans les bouteilles de gaz comprimés) : **1 bar = 10^5 Pa**
- **l'atmosphère** (unité utilisée pour exprimer la pression atmosphérique) : **1 atm = 1013 hPa**

Mise en évidence de la pression atmosphérique

- Placer un ballon de baudruche fermé contenant un peu d'air, sous une cloche à vide.
- Faire le vide sous la cloche en aspirant l'air à l'intérieur.

→ Qu'observe-t-on?

.....

.....

Interprétations

- Au départ, il y a de l'air dans le ballon et autour du ballon. Les faces interne et externe du ballon sont soumises à un bombardement incessant par les molécules des gaz constituant l'air. Ces molécules appuient de la même façon de chaque côté : la paroi est soumise à des forces qui se compensent ; elle est à l'équilibre.
- Ensuite, lors de l'aspiration, il y a de moins en moins de molécules qui appuient sur la face externe ; par contre, il ya toujours autant de molécules qui appuient sur la face interne. Sous l'action de ce bombardement qui a lieu de l'intérieur vers l'extérieur, le ballon se déforme : son volume augmente

- Recouvrir un verre vide d'une gaze (pansement).
- Remplir le verre d'eau à travers la gaze puis retourner l'ensemble

→ Qu'observe-t-on?.....

.....

.....

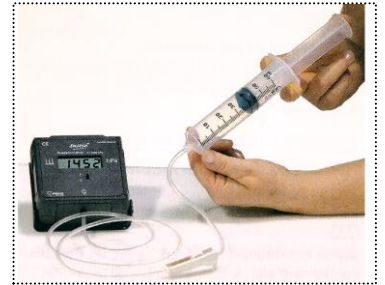
.....

.....

Variation de la pression d'un gaz en fonction de son volume

- La pression d'un gaz se mesure à l'aide d'un **manomètre** (un baromètre, est un manomètre mesurant la pression atmosphérique).

On dispose d'une seringue fermée par un manomètre.



- Pousser ou tirer sur le piston de la seringue, afin de changer le volume de l'air intérieur.

- Noter la pression de l'air suivant son volume

V (mL)									
P (hPa)									

→ Tracer à l'aide d'un tableur la courbe $P = f(V)$, la courbe représentant les variations de la pression en fonction du volume ; la pression est-elle proportionnelle au volume de gaz ?

.....

.....

→ Tracer à l'aide d'un tableur la courbe $P = f(1/V)$, la courbe représentant les variations de la pression en fonction de l'inverse du volume

→ Conclure en indiquant la relation que l'on peut écrire entre les grandeurs P et V ; cette relation n'est valable qu'à température constante.

.....

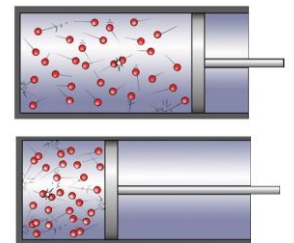
.....

→ Compléter les phrases suivantes :

« Quand on comprime un gaz, le volume disponible pour ses molécules, les chocs des molécules sur les parois sont, et la pression »

« La pression d'un gaz augmente lorsque son volume »

« Lorsque le volume est divisé par 2, la pression est »



Variation de la pression d'un gaz en fonction de sa température

- Un dispositif permet de mesurer la température et la pression dans un flacon fermé.

- Chauffer le flacon et observer les valeurs de la température et de la pression du gaz.

→ Qu'observe-t-on?.....

.....

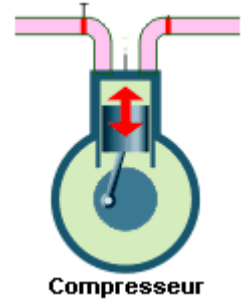
→ Comment peut-on expliquer le phénomène observé ?

.....

.....

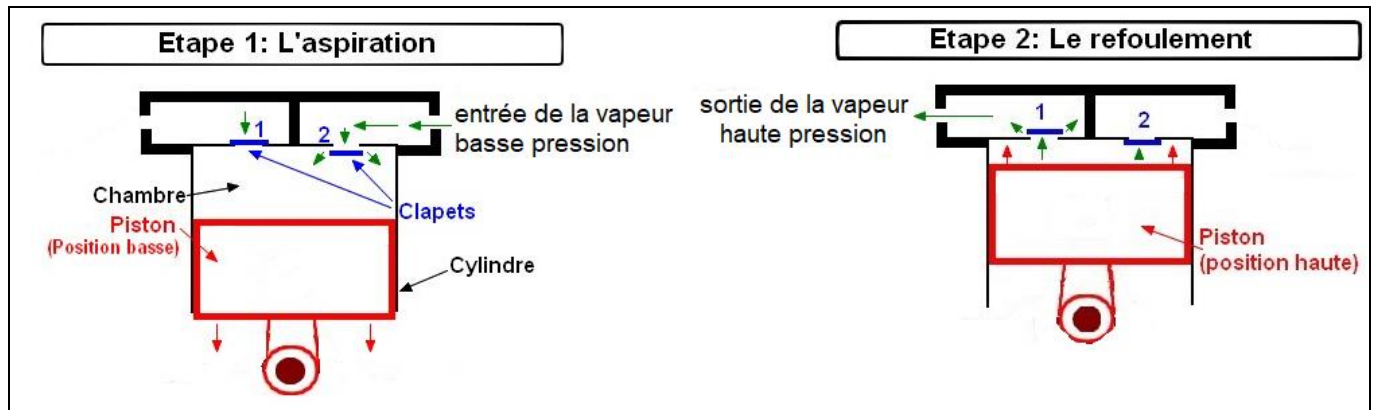
.....

Compresseur et détendeur



▪ Dans une pompe à chaleur (ainsi que dans un climatiseur ou un réfrigérateur), on trouve un compresseur et un détendeur

↳ Comment fonctionnent-ils ? A quoi servent-ils ?



- Lors du fonctionnement, un piston se trouve soit en position basse, soit en position haute.
- Lorsque le piston descend dans le cylindre, le clapet (1) se ferme par aspiration et le clapet (2) s'ouvre, ce qui permet l'entrée de la vapeur d'eau à basse pression dans la chambre.
- Lorsque le piston remonte dans le cylindre, la vapeur d'eau est comprimée, et sa température augmente. Le clapet (1) s'ouvre et permet la sortie de la vapeur d'eau à haute pression

→ Quel est le rôle du compresseur dans un appareil ?

.....

.....

.....

→ Quel est le rôle du détendeur ?

.....

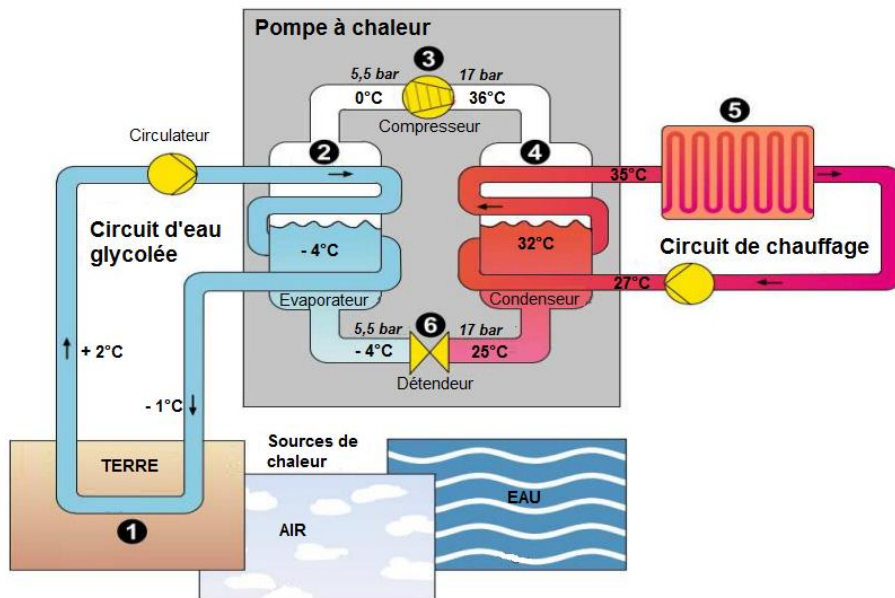
.....

.....

3. La pompe à chaleur

DOC4 : La pompe à chaleur (PAC)

▪ Une PAC est un dispositif permettant de transférer la chaleur du milieu le plus froid (le sol, l'air, l'eau) vers le milieu le plus chaud (l'intérieur de la maison). Certains modèles de PAC sont réversibles et utilisables en climatiseur (la chaleur de l'intérieur est transférée vers l'extérieur)



(1) De l'eau glycolée (le glycol présent dans le fluide évite au liquide de geler) circule dans un circuit extérieur et capte les calories du milieu extérieur (air, terre, nappe d'eau).

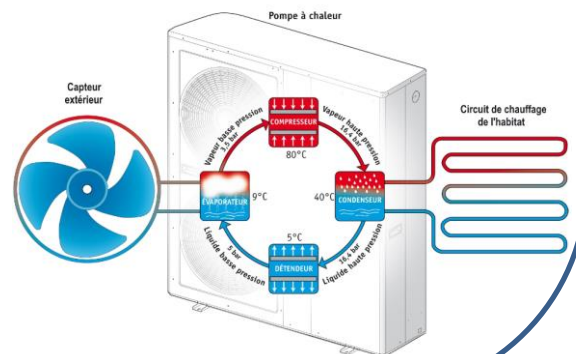
(2) Dans l'évaporateur, l'eau glycolée cède de la chaleur au fluide de la PAC : cette chaleur permet au liquide de la PAC de passer de l'état liquide à l'état gazeux.

(3) Dans le compresseur, le gaz est comprimé : sa pression augmente. Cette augmentation de pression réchauffe le gaz.

(4) Dans le condenseur, le gaz cède sa chaleur à l'eau du circuit de chauffage : l'eau du circuit de chauffage se réchauffe et le gaz en se refroidissant se liquéfie

(5) L'eau du circuit de chauffage circule dans la maison et la réchauffe pour ensuite revenir dans le serpentin du condenseur (4) où elle va être de nouveau réchauffée.

(6) Le liquide sortant du condenseur (4) arrive dans un détendeur : sa pression va être abaissée. La baisse de pression du liquide abaisse la température du liquide avant son arrivée dans l'évaporateur (2)



DOC5 : Le COP, coefficient de performance des pompes à chaleur

▪ L'énergie électrique consommée par une PAC est beaucoup plus faible que l'énergie thermique restituée à l'habitation

Le COP ou coefficient de performance d'une pompe à chaleur (ou d'un climatiseur) est le rapport entre la quantité d'énergie produite et la quantité d'énergie utilisée.

Le COP est de l'ordre de 5 sur les modèles de PAC géothermique installés actuellement. Cela signifie que pour 1 kWh d'électricité consommée, la maison recevra 5 kWh de chaleur. Ainsi, la pompe à chaleur permet de couvrir **100% des besoins de chauffage d'un logement** en consommant seulement 20% d'énergie électrique, les **80% restants étant puisés dans l'environnement tout en le préservant**.

Les systèmes les plus performants ont des COP de 7. Les PAC aérothermique, moins performants, ont des COP variant de 2 à 5,20.

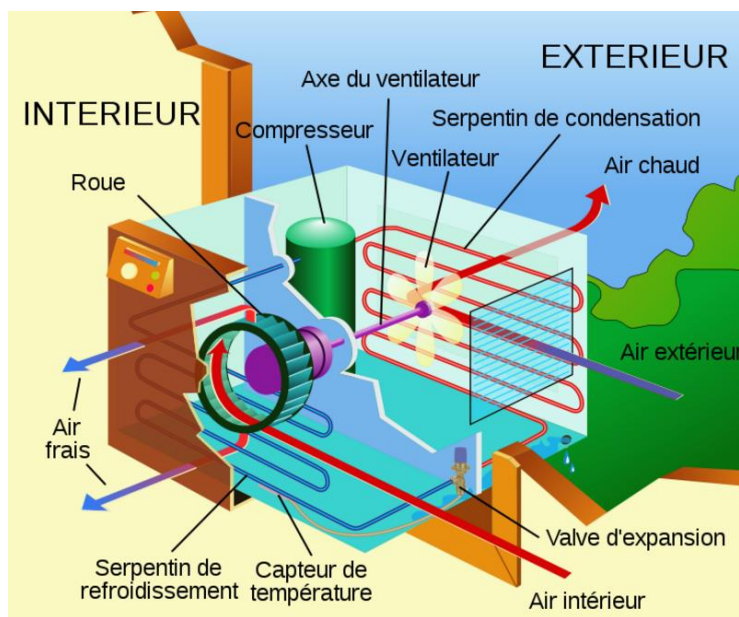
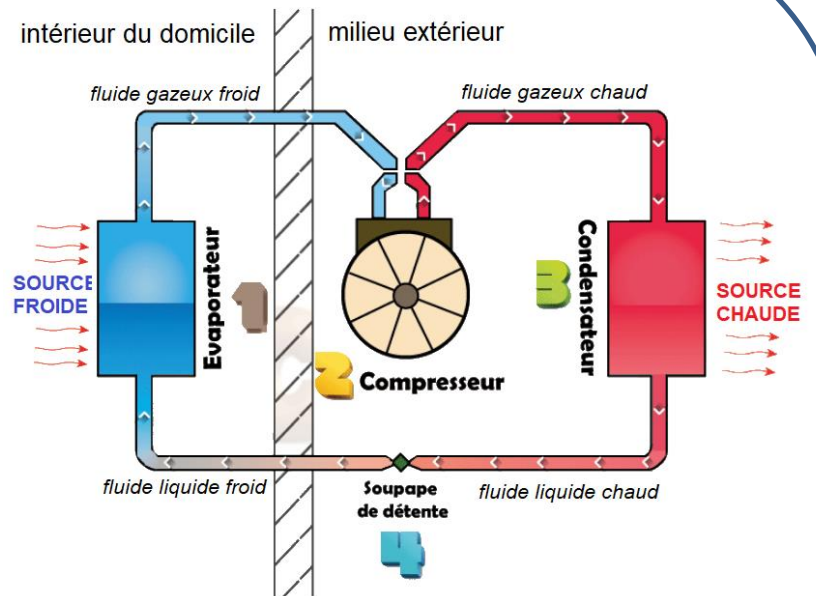
Le COP est dépendant de plusieurs facteurs dont le facteur essentiel est la température de fonctionnement. En effet, le rendement d'une PAC ou d'un climatiseur décroît avec l'écart de température qu'il doit fournir

4. Le climatiseur

DOC6 : Le climatiseur

- Pour le cycle de climatisation, 4 éléments sont utilisés : le *compresseur*, le *condenseur*, le *détendeur* et l'*évaporateur*.

Le réfrigérant liquide se vaporise dans l'évaporateur placé à l'intérieur de l'habitation, en absorbant la chaleur de l'espace à refroidir. La vapeur est ensuite amenée vers un compresseur à moteur, où elle est portée à une pression élevée, ce qui augmente sa température. Le gaz surchauffé sous pression se condense alors dans un condenseur refroidi à l'air ou à l'eau. Du condenseur, le liquide passe par une soupape d'expansion pour diminuer sa pression et sa température. Le réfrigérant retrouve alors la température qu'il avait dans l'évaporateur.



DOC7 : le climatiseur, polluant et onéreux

- Les climatiseurs fonctionnent avec des fluides frigorigènes à base d'hydrofluorocarbones (HFC). Hors, au bout d'un certain temps, un système de climatisation se dégrade et les circuits, les joints et les tuyaux laissent fuir le HFC dans l'atmosphère qui a un fort pouvoir de réchauffement, 1300 fois supérieur à celui du CO₂.
- D'après Thierry Salomon, président de Negawatt, une association militant pour la maîtrise de l'énergie, la climatisation d'un appartement de trois pièces coûte jusqu'à 700 euros par an. Et d'après un rapport de l'ADEME (2002), les climatiseurs français ont consommés en 2002 quelque 12 térawatt/heure (=12.10⁹ kW.h), soit la production de 1,7 réacteur nucléaire (84% pour les bureaux, 16% pour l'habitat)
« *Pourtant des moyens simples, efficaces et peu coûteux permettent souvent de gagner la poignée de degrés qui rendent la température supportable* », remarque Michel Carré, ingénieur spécialiste des bâtiments urbains à l'Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME)

Applications

EX1) 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.

- Calculer l'énergie à apporter à l'eau de la piscine pour la chauffer de 17 à 28 °C
- 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.
- Exprimer, puis calculer le coefficient de performance η de la PAC.
- Montrer qu'avec la PAC, on réalise 69 % d'économie sur sa facture en énergie électrique par rapport à un chauffage direct utilisant, par exemple, une résistance électrique.

EX2) Les arguments des installateurs de pompes à chaleur (PAC) sont : la réduction des coûts énergétiques de chauffage, la lutte contre le réchauffement climatique et les aides fiscales. A travers l'exemple suivant, vous voulez montrer les intérêts et les limites des PACs.

Un couple possédant une chaudière à gaz pour le chauffage central, désire installer une PAC. On comparera les énergies consommées par le fonctionnement de la chaudière à gaz et par deux types de PAC (aérothermique et géothermique) ainsi que l'impact sur l'environnement des installations.

- La dernière facture de gaz (hors abonnement) indique une somme de 1032,55 euros pour une consommation annuelle de 1930 m³ de gaz.

- La combustion du gaz dans la chaudière a libéré 18 900 kW.h

- On désire que les 2 PAC libèrent la même énergie que la chaudière à gaz, soit une énergie de 18 900 kWh.

Calculer la consommation énergétique de la PAC aérothermique (possédant un COP de 2,5) et de la PAC géothermique (possédant un COP de 5).

- Calculer le prix de la consommation énergétique pour les 2 PAC ; on prendra 0,11 euro pour le prix d'1 kW.h. En déduire les baisses de prix par rapport au gaz