



Séquence n°5

Les machines thermiques



Fiches de synthèse mobilisées :

Fiche n°5 : les machines thermiques

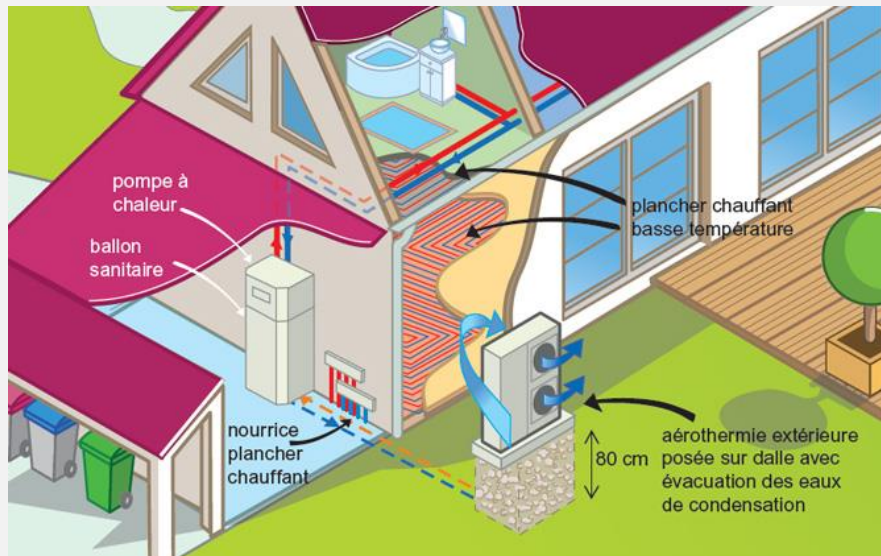


Sommaire des activités

ACTIVITÉ 1 :	Etude d'une pompe à chaleur (PAC) pour un plancher chauffant	1
ACTIVITÉ 2 :	Etude expérimentale d'une machine frigorifique	5

ACTIVITÉ 1 : Etude d'une pompe à chaleur (PAC) pour un plancher chauffant

Lors de la construction d'une maison individuelle, on installe une pompe à chaleur pour le chauffage de la maison. La pompe échange de l'énergie avec le milieu extérieur (l'air ou le sol) et chauffe l'eau qui circule en circuit fermé dans des serpentins encastrés sous le plancher chauffant.

DOCUMENT 1 : Schéma de principe d'une pompe à chaleur aérothermique pour plancher chauffant

Pompe à chaleur pour plancher chauffant

<http://www.kbane.com/pompe-a-chaaleur-pour-plancher-chauffant.html>

dessinateur : verbrughe@wanadoo.fr

DOCUMENT 2 : Pompe à chaleur (PAC) géothermique

Une **pompe à chaleur (PAC)**, est un dispositif permettant de réaliser un transfert thermique d'un milieu à basse température (source froide) vers un milieu à haute température (source chaude).

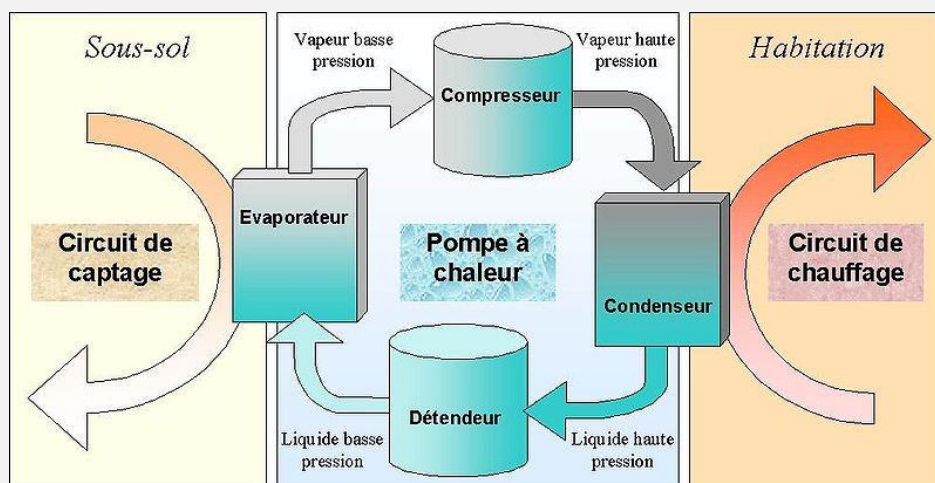
Ce dispositif permet donc d'inverser le sens spontané du transfert thermique.

Une PAC est constituée d'un circuit fermé et étanche dans lequel circule un fluide frigorigène.

Un échange thermique se fait spontanément du milieu extérieur (dans la terre dans le cas de la PAC géothermique) vers le fluide.

Un compresseur, alimenté à l'électricité, élève la pression et la température du fluide en le comprimant. Le fluide cède une partie de l'énergie au milieu intérieur (la maison) par un transfert thermique.

Le fonctionnement de la machine est cyclique.



Principe d'une pompe chaleur géothermique

**DOCUMENT 3 : Coefficient de Performance d'une pompe à chaleur (COP)**

Le COP est le coefficient de performance de la pompe à chaleur.

$$COP = \frac{\text{puissance thermique émise}}{\text{puissance électrique absorbée}}$$

Cette valeur est mesurée relativement à une norme (NF EN 14511). En effet il faut préciser le cadre dans lequel les mesures sont effectuées.

Il faut en particulier préciser les températures de la source froide et celles de la source chaude.

DOCUMENT 4 : Evolution du COP en fonction de la température de la source froide et de la température de la source chaude

Un fabricant de PAC aérothermique publie les caractéristiques de la machine dans une brochure publicitaire.

COP (chauffage) = 4,35 à +7°C / 35 °C (température source froide / température source chaude)

Plage de fonctionnement de la PAC : température minimum de l'air extérieur en mode chauffage : -20°C

Température source froide / température source chaude	Puissance thermique (W)
+7°C / 35 °C	8010
-7°C / 35 °C	7080
+7°C / 45 °C	7900
-7°C / 45 °C	6990
+7°C / 55 °C	7400
-7°C / 55 °C	6450

Les mesures de puissance thermiques effectuées sont réalisées à puissances électriques identiques.

DOCUMENT 5 : Température de fonctionnement des émetteurs de chaleur

Les émetteurs de chaleur permettent de transférer l'énergie thermique de la PAC vers les pièces d'habitation. Il s'agit classiquement des radiateurs et des planchers chauffants.

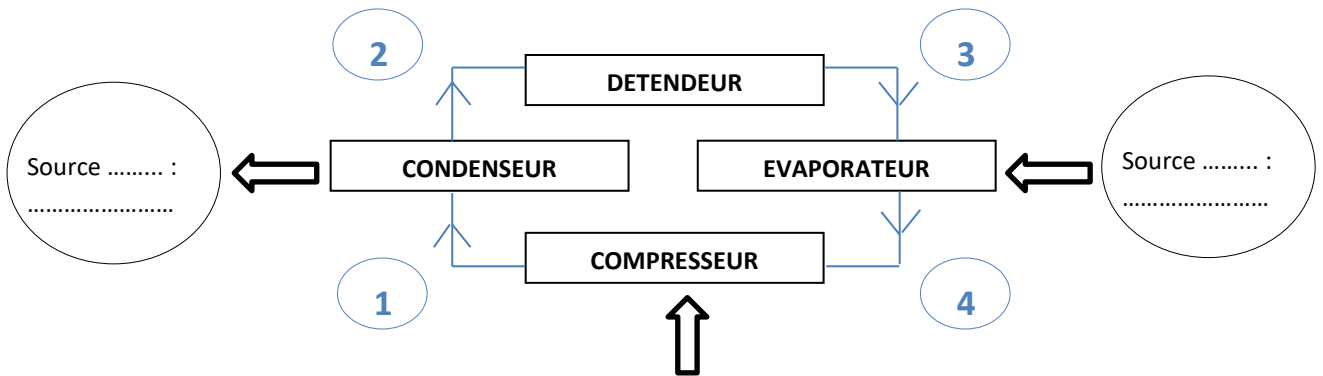
Emetteur de chaleur	Températures de fonctionnement
Plancher chauffant	≤ 35°C
Radiateur	40 à 50°C

1. D'après les documents et vos connaissances sur le sujet, expliquer quels sont les intérêts économiques et environnementaux de l'utilisation d'une pompe à chaleur pour le chauffage de la maison.
2. A l'aide du document 2, préciser sur le schéma ci-dessous quelles sont la source chaude et la source froide.



Faire apparaître sur les doubles flèches du schéma les échanges d'énergie intervenant dans le fonctionnement de cette pompe à chaleur ditherme :

- Energie thermique échangée avec la source chaude Q_c
- Energie thermique échangée avec la source froide Q_f
- Energie échangée sous forme de travail W



Préciser à chaque point du cycle (1,2, 3 et 4) quel est l'état du fluide frigorigène (liquide ou gaz) ainsi que de manière qualitative la pression du fluide (basse pression ou haute pression).

3. A l'aide des documents 3 et 4, exprimer puis calculer la puissance électrique consommée par le compresseur.
4. En effectuant un bilan d'énergie sur cette pompe, en déduire la puissance thermique échangée avec la source froide et commenter le signe du résultat obtenu.
5. Calculer le COP pour les différentes conditions d'utilisation données dans le document 4 sachant que la puissance fournie par le compresseur est constante et identique à la valeur déterminée à la question 3. Comment varie le COP avec la température de la source froide ?

Comment varie le COP avec la température de la source chaude ?

Expliquer en quoi le plancher chauffant est plus économique qu'un radiateur.

6. L'énergie thermique de la source chaude est transmise à l'eau du circuit de chauffage par l'intermédiaire d'un échangeur thermique. Le débit dans le circuit d'eau dans l'échangeur est $Q_v = 0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Calculer la variation de température entre la sortie et l'entrée de l'échangeur pour une puissance thermique $P = 8010 \text{ W}$.

On prendra les valeurs suivantes :

- Capacité thermique massique de l'eau : $C_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

7. La PAC est équipée d'une résistance chauffante d'appoint de 3000 W qui permet de réchauffer l'eau du plancher chauffant. L'utilisation de cette résistance est-elle économique ? Justifier votre réponse. Selon vous pour quelle raison l'utilisation de cette résistance est-elle nécessaire ?

ACTIVITÉ 2 : ETUDE EXPERIMENTALE D'UNE MACHINE FRIGORIFIQUE

Le dispositif suivant permet l'étude du fonctionnement d'un groupe froid à compression.

DOCUMENT 1 : Principe d'une machine frigorifique

Un réfrigérateur est une machine thermique qui permet de réaliser un transfert thermique d'une enceinte vers l'extérieur pour la refroidir.

Le principe de fonctionnement est illustré par le schéma ci-dessous :

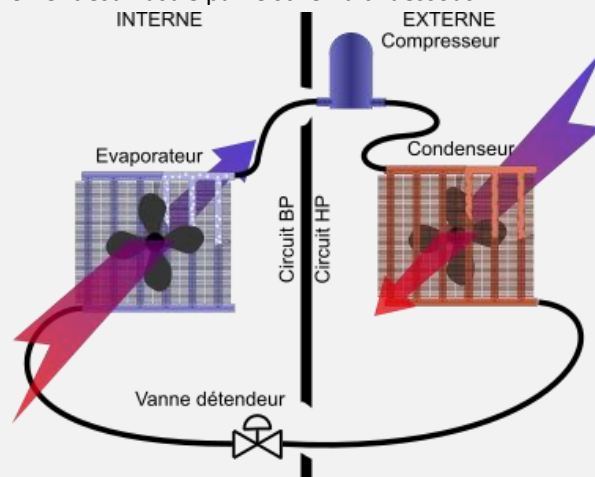


Schéma de principe du réfrigérateur (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Réfrigérateur>)

DOCUMENT 2 : Photographie légendée de la machine frigorifique didactisée



Photographie de « Refrigeration Laboratory Unit R714 », utilisant comme fluide frigorigène R134a

1. Dans l'évaporateur, le fluide frigorigère passe de l'état liquide à l'état vapeur. A l'aide d'un bilan énergétique, expliquer pourquoi l'évaporateur permet d'abaisser la température dans la l'enceinte du réfrigérateur.



2. Quel est le rôle du compresseur ?
3. A partir d'une recherche documentaire, trouver et justifier au moins 3 critères de choix d'un bon fluide frigorigène.
4. Après la mise en route de l'installation avec une puissance constante fournie à l'évaporateur par une résistance électrique, on règle le débit d'eau de refroidissement du condenseur pour obtenir une pression donnée au niveau du condenseur.

Proposer une méthode pour mesurer ce débit d'eau.

On effectue cette mesure et on trouve $Q_m = 7,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$

5. Lorsque les différentes mesures sont stationnaires (pression évaporateur, pression condenseur, températures entrée et sortie du compresseur, températures entrée et sortie du détendeur), on effectue un relevé des différentes valeurs permettant, à l'aide d'un diagramme spécifique au fluide réfrigérant, d'évaluer quantitativement les transferts thermiques au cours de l'évaporation et de la condensation.

Les résultats obtenus sont les suivants pour 1 kg de fluide sont les suivants :

$Q_{\text{évaporation}} = 150 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $Q_{\text{condensation}} = -192 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Réaliser un bilan énergétique et déterminer l'expression et la valeur du travail du compresseur.

6. Déterminer la puissance thermique P_2 échangée lors de la condensation à partir de Q_2 et du débit de fluide frigorigène.

Débit indiqué sur le débitmètre à flotteur : $Q_m(\text{fluide frigorigène}) = 3,0 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$

7. Calculer l'efficacité de la machine thermique définie par la relation suivante :

$$\eta = \frac{Q_{\text{évaporateur}}}{W}$$

8. Le coefficient de performance (COP) de cette machine frigorifique est-il plus élevé ou moins élevé que l'efficacité ? Justifier.