

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technique

Filière : génie mécanique

Spécialité : énergétique

Thème

Etude d'une pompe à chaleur

Proposé et dirigé par

Mr. KHECHKHOUCHE ABDERAHMANE

Réalisé par

- GUESSOUM TAYEB

- FRIDJAT ABDELKADER

Promotion 2009/2010

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions le bon dieu tout puissant qui nous donne de la foi, du courage et de patience afin d'accomplir ce modeste travail

Nous tenons à remercier notre promoteur Mr.khechkhouche A.Rahmane d'avoir accepté de nous encadrer et pour les efforts qu'il est déployé, pour nous aider, conseiller, encourager et corriger avec une grande gentillesse durant toute cette période.

Nous remercions tous les membres du jury qui ont accepté de juger notre travail et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce dernier.

Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué à notre formation sans exception.

SOMMAIRE

Avant propos

Chapitre I: Introduction sur la PAC.

I - 1- Historique :	6
- L'enthalpie	19
Des mesures des températures et des pressions de la PAC eau/eau ont été prises et le reste des valeurs nécessaires sont déduites du cycle frigorifique R134a (vois sou-dessous).....	25
Le but de cette manipulation expérimental est calcul:	25
• La quantité de chaleur absorbée.....	25
III -1-1-Terminologie et nomenclature des fluides frigorigènes	33
III -1-4-Critères de choix.....	34
III -1-5-1-comparaison des fluides thermodynamiques utilisés dans les cycles de PAC.....	36
IV -2-La couche d'ozone.....	42
IV -3-L'effet de serre.....	42

Notion, unités et terminologie

Symbole	Unité	Grandeurs
E_{cni}	W	L'énergie cinétique
m_i	Kg	la masse d'un sous-système i
V_i	m/s	la vitesse d'un sous-système i
E_{pot}	W	L'énergie potentielle
$E_{méca}$	W	l'énergie mécanique
W	J	travail mécanique
P	bar	La pression
Pe	bar	La pression atmosphérique
dV	m ³	La variation élémentaire de

Symbole	Unité	Grandeurs
T ₁	C°	La température d'eau dans le condenseur
T _{co}	C°	La température sortie de condenseur
T _{vi}	C°	La température entrée d'évaporateur
T ₂	C°	La température de eau dans l'évaporateur
T _{vo}	C°	La température sortie de l'évaporateur
P ₁	bar	La pression du condenseur
P ₂	bar	La pression de l'évaporateur
\dot{Q}	J/s	Le flue énergétique
m_{eau}	kg	la masse d'eau

		volume du système	C	KJ/Kg C°	La capacité calorifique massique de l'eau
H	J	L'enthalpie	ε	Nombre	Le coefficient de performance du compresseur
U	J	L'énergie interne du système	\dot{V}	m ³ /s	Le débit volumétrique
V	m ³	Le volume occupé par le système	v	m ³ /Kg	Le volume spécifique de la vapeur
ΔH	J	La variation d'enthalpie	V_g	cm ³	Le volume géométrique engendré par la course du compresseur
Q	KJ/Kg	La quantité de chaleur	F	min ⁻¹	Fréquence de rotation du piston
Δe	J/kg	La variation d'énergie mécanique massique	\dot{V}_g	cm ³ . min ⁻¹	Le débit géométrique
q	J/kg	La chaleur massique	λ	Nombre	Le rondement volumétrique du compresseur
Δ_s	J/k.kg	La variation d'entropie	COP	Nombre	Le coefficient de performance
Ts	K	La température du thermostat	$COP_{réel}$	Nombre	Le coefficient de performance réel
q ₀	KJ/kg	La quantité de chaleur absorbée			
q _c	J/kg	La quantité de chaleur cédée			
T _{ci}	C°	La température entrée condenseur			

Introduction générale

La Pompe à chaleur est l'une des solutions de chauffage qui permet de valoriser le mieux les énergies naturelles et renouvelables présentes dans notre environnement proche.

La pompe à chaleur permet de couvrir 100% des besoins de chauffage d'un logement en consommant seulement 30% d'énergie électrique, les 70% restants étant puisés dans l'environnement tout en le préservant (ces chiffres peuvent varier suivant le matériel, la source d'énergie extérieure – air, eau ou sol – et les conditions de fonctionnement).

La pompe à chaleur ou la PAC produit de la chaleur (à partir de chaleur gratuite récupérée à une température plus basse) pour chauffer un milieu, ou le maintenir à une température suffisamment haute. Ils consomment bien du travail mais pour prélever de la chaleur d'une source froide pour la restituer à une source chaude.

Certains systèmes de chauffage contiennent du chlore tandis que la plupart des fluides frigorigènes naturels des PAC ne contiennent pas de chlore : Un des principaux éléments destructeur

de la couche d'ozone est le chlore. Un atome de chlore peut détruire des milliers d'atomes d'ozone. Ils n'ont donc aucune incidence sur l'ozone.

Le fait de produire de la chaleur avec la PAC permet encore plus de limiter l'impact global sur l'effet de serre de l'habitation. La PAC est championne contre l'effet de serre !

Pour mieux comprendre on propose les chapitres suivants:

- Dans le premier chapitre on présente le principe de fonctionnement et les différents types des PAC.
- Dans le deuxième chapitre on présente l'application des lois et les cycles de la thermodynamique.
- Dans le troisième chapitre on présente une analyse comparative entre les fluides thermodynamiques et une autre analyse comparative entre les différents systèmes énergétiques (solaire, thermique, éolienne...etc.) et la PAC.
- Dans le quatrième chapitre est consacré sur l'impact des pompes à chaleur sur l'environnement.

Une conclusion générale est proposée pour commenter les résultats obtenus dans cette étude.

Chapitre I

Introduction sur la pompe à chaleur

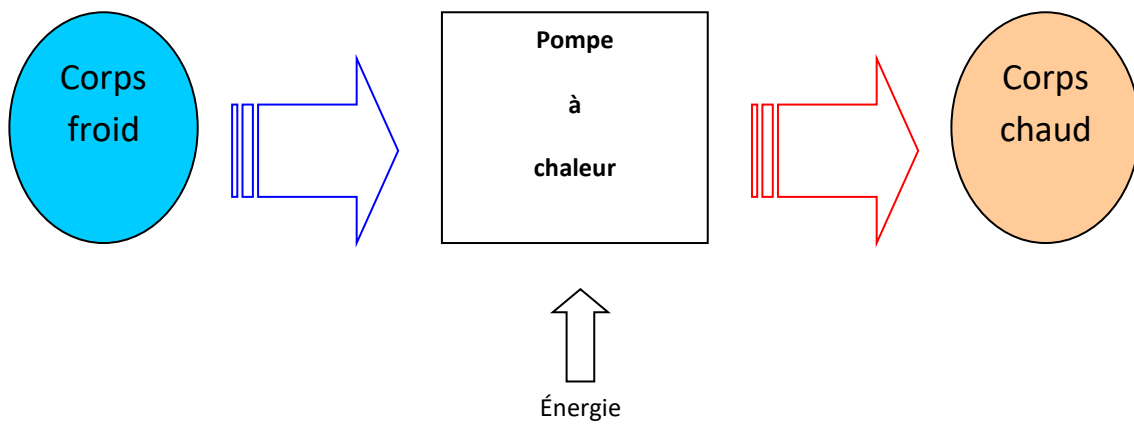
I - 1- Historique :

Des civilisations anciennes usaient, dans une moindre mesure, du principe thermodynamique duquel résulte le système de la pompe à chaleur, en faisant s'évaporer de l'eau dans des jarres poreuses pour rafraîchir leurs boissons. Des siècles plus tard, c'est sur les travaux du physicien Denis Papin (1647-1714) que se dessinera réellement une première ébauche du chauffage thermodynamique, avec l'ancêtre de la machine à vapeur. L'idée, venue en observant les chaos du couvercle d'une marmite d'eau bouillante, allait répondre au besoin industriel: transformer la chaleur en travail

- **1824** : C'est la véritable naissance de la thermodynamique, qui tire son nom des racines grecques thermos-: chaleur, et – Dunamikos: puissance. Sadi Carnot (1796-1832) en est l'instigateur en en développant les premières réflexions dans son Traité sur la puissance motrice du feu et machines propres à développer cette puissance.
- **Entre 1850 et 1900** : Les principes fondateurs de la thermodynamique sont exposés. Le premier selon lequel " l'énergie se conserve même en se transférant de façons différentes ", par James Prescott Joule en 1860, qui introduit la grandeur importante de " l'énergie interne U ", et le second par Rudolf Clausius qui introduit quant à lui " l'entropie S " en 1865. La thermodynamique s'enrichit des travaux de Boltzmann en 1875, dans les prémices de la physique statique, puis de ceux de Gibbs qui définit de nouvelles fonctions d'état pour écrire l'équilibre, en s'appuyant sur les travaux de Planck et d'Einstein définissant la théorie de l'atome. Les premières pompes à chaleur apparaissent sous formes de machines frigorifiques à compression de fluide, au rythme des découvertes thermodynamiques.
- **1859** : Suite aux premières machines de réfrigération à compression mécanique de Jacob Perkins en 1834, avec de l'éther comme réfrigérant, François Ferdinand Carré réalise la première installation industrielle.
- **1930** : L'industrie du froid connaît un essor considérable, avec la mise au point par une société américaine d'un nouveau fluide frigorigène, le " dichlorodifluorométhane " (R12).
- **1921** : Willis Havilland Carrier fait breveter la première machine centrifuge de réfrigération, " le réfrigérateur centrifuge ". Le premier climatiseur de grand espace est né. Le conditionneur d'air s'installe dans la vie quotidienne, les magasins, les cinémas...
- **1928** : Carrier sort le " Weathermaker ", qui connaîtra, malgré la crise de 1929, un grand succès auprès des particuliers après guerre. S'ouvre alors un large marché des pompes à chaleur à usage privé comme collectif.
- **A partir de 1950** : le système de climatisation se déploie dans l'industrie automobile américaine, donnant naissance à de multiples concepts, dont la combinaison d'un système réfrigérant et d'un chauffant en 1960, ou encore le système de climatisation automatisée en 1980.
- **A partir de 1970** : En écho à la première crise pétrolière, les systèmes de climatisation à usage privé ou collectif connaissent un premier essor. Passé en désuétude après le retour en force du fioul, le marché de la pompe à chaleur ne connaît son salut que dans les années 80 avec des produits améliorés et plus performants, heureux bénéficiaires des progrès techniques du forage géothermique à la fin de la décennie.

I - 2-Généralité sur la pompe a chaleur (PAC) :

Une **Pompe A Chaleur** (ou simplement **PAC**) est un dispositif thermodynamique permettant de transférer de la chaleur d'un milieu le plus froid (donc le refroidir encore) vers un milieu plus chaud (donc de le chauffer), alors que, naturellement, la chaleur se diffuse d'un milieu plus chaud vers un milieu plus froid jusqu'à l'égalité des températures.



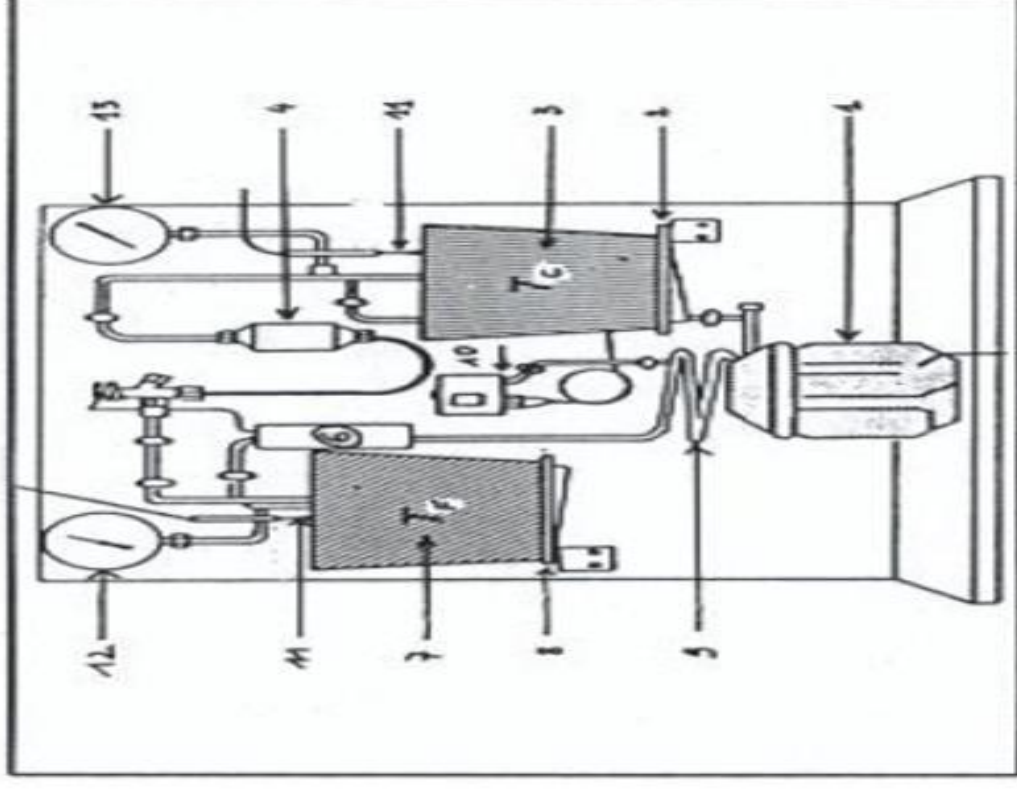
La pompe à chaleur c'est une machine thermique qui produit de la chaleur (à partir de chaleur gratuite récupérée à une température plus **basse**) pour chauffer un milieu, ou le maintenir à une température suffisamment haute.

Dans certains cas spécifiques, on peut utiliser à la fois le froid produit à la source froide et la chaleur rejetée au « puits chaud ». Un tel système est alors généralement appelé thermofrigopompe.

1-3-Description d'une pompe a chaleur:

La PAC se compose de:

1. **Compresseur.**
2. Support pivotant du réservoir rouge d'eau de la source chaude.
3. **Condenseur.**
4. Épurateur : Filtre le fréon liquide des bulles de gaz qu'il contient.
5. **Détendeur.**
6. Capteur de température du détendeur avec isolation thermique.
7. **Évaporateur.**
8. Support pivotant du réservoir bleu d'eau de la source froide.
9. Serpentin qui empêche la transmission des vibrations du compresseur à l'ensemble du montage.
10. Pressostat : Arrête le compresseur quand la pression côté condenseur dépasse 16 bar.
11. Capteurs de température au niveau des tuyaux en cuivre du circuit.
12. Manomètre côté basse pression.
13. Manomètre côté haute pression



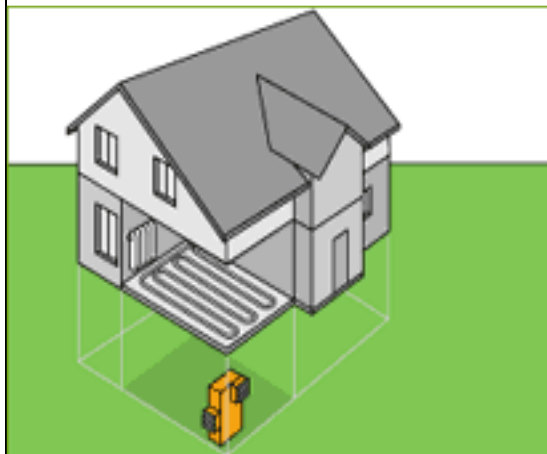
I - 4-Type des pompes à chaleur:

La pompe à chaleur peut récupérer l'énergie de trois sources différentes en fonction du milieu environnant donc il y a 3 types de PAC:

I - 4-1-Pompe à chaleur air/eau:

- Si la source est de l'air: PAC Air/Eau.

- L'évaporateur échange de la chaleur avec l'air extérieur.
- Le condenseur échange de la chaleur avec le réseau de chauffage.
- Installations pouvant être bruyantes (gros débits d'air).
- Si la température extérieure est inférieure à 0°C, il faut prévoir des dégivrages de l'évaporateur.



La source d'énergie exploitée par la pompe à chaleur est l'air extérieur. Il y a de l'air partout, en grande quantité et son exploitation ne nécessite aucun équipement important. Avec un système de distribution de la chaleur ne nécessitant que des températures aller minimales ainsi qu'avec une bonne conception de l'installation, il est possible de se servir de la pompe à chaleur en fonctionnement monovalent à des températures extérieures allant jusqu'à -20 °C. Du point de vue des frais d'investissement, la pompe à chaleur air/eau est le type de pompes à chaleur le plus économique. Il existe trois modèles de pompes à chaleur air/eau :

A- Pompe à chaleur air/eau pour installation intérieure:

La construction compacte des pompes à chaleur permet de les installer dans pratiquement toutes les caves. L'isolation acoustique de première qualité garantit en outre un fonctionnement à émissions sonores extrêmement réduites

B-Pompe à chaleur air/eau pour installation extérieure:

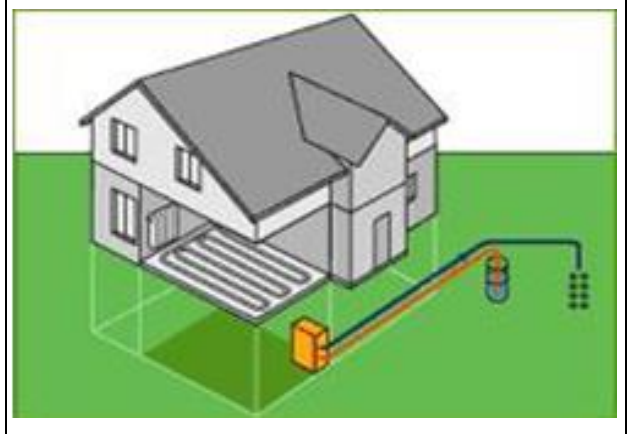
La pompe à chaleur est montée dans un boîtier résistant aux intempéries placé à l'extérieur. Il s'agit d'une solution qui réduit au maximum l'encombrement du fait qu'aucun local ne doit être prévu à l'intérieur du bâtiment pour l'installation.

C-Pompe à chaleur air/eau modèle SPLIT à éléments dissociés :

Ce modèle a pour particularité que l'évaporateur et le compresseur/condenseur sont installés chacun à un endroit distinct. L'évaporateur est placé à l'extérieur alors que le compresseur, tout comme le condenseur, sont placés à l'intérieur du bâtiment. Cette variante a comme avantage un très faible encombrement dans la cave, de nombreuses possibilités d'installations et un fonctionnement très silencieux.

I - 4-2-Pompes à chaleur eau/eau pour :

- Si la source est de l'eau: PAC Eau/Eau.
- L'évaporateur échange de la chaleur avec l'eau d'un puits.
- Le condenseur échange de la chaleur avec le réseau de chauffage.
- Température de l'eau est peu variable.



Les pompes à chaleur eau/eau exploitent l'énergie thermique de l'eau (nappes phréatiques, lacs, rivières).

Il s'agit de la source de chaleur la plus stable et la plus performante pour une pompe à chaleur. Elle se situe toujours dans une plage de températures idéale et atteint un très bon coefficient de performance.

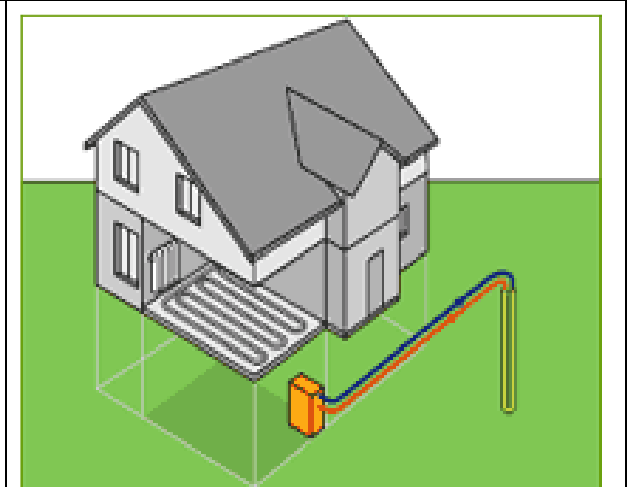
Le captage de la chaleur se fait au moyen d'un puits de prélèvement et d'un fait au moyen d'un puits de prélèvement et d'un puits de restitution distant l'un de l'autre de 10 à 15 m.

Une installation de filtrage évitera l'usure prématurée de l'évaporateur.

L'utilisation de la nappe phréatique pour le captage de la chaleur nécessite une information de l'hydrogéologue ainsi qu'une autorisation régionale.

I - 4-3-La pompe à chaleur de sol:

- Si la source provient du sol: PAC géothermique Eau/Eau.
- L'évaporateur échange de la chaleur avec une boucle d'eau réchauffée par le sol.
- Le condenseur échange de la chaleur avec le réseau de chauffage.
- La température de la source de chaleur varie peu.
- L'installation est lourde à mettre en œuvre et s'il s'agit d'épingle de surface, la zone n'est plus cultivable.



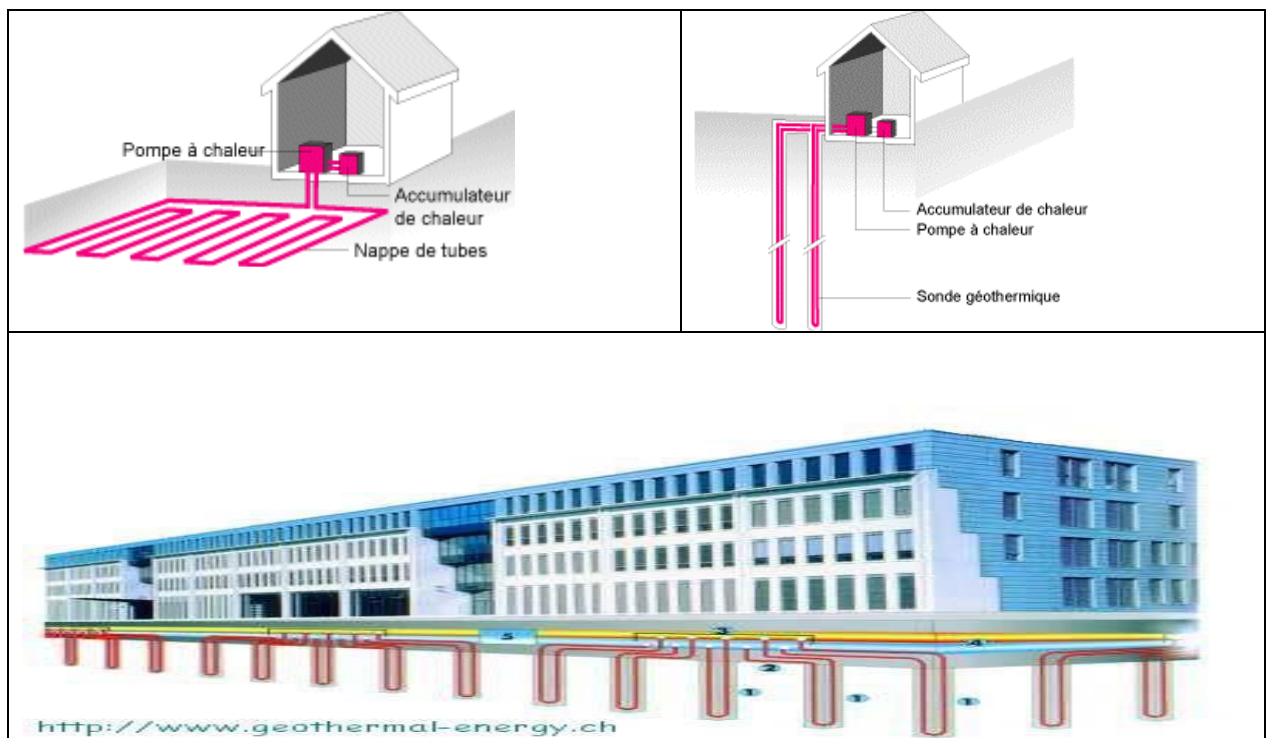
La pompe à chaleur sur sol (ou dite « géothermique ») récupère la chaleur du sol au moyen d'un réseau de tubes enterrés (capteurs) dans le jardin et les restitue au plancher chauffant. Avec ce système, pour couvrir 100% des besoins de chauffage il suffit de 20 à 40% d'électricité (consommée par la PAC).

Les 60 à 80% restant proviennent de l'énergie gratuite et renouvelable du PAC sur sol peut optionnellement assurer le chauffage de l'eau chaude sanitaire, le chauffage d'une piscine, ou le rafraîchissement par le plancher (PAC réversible).

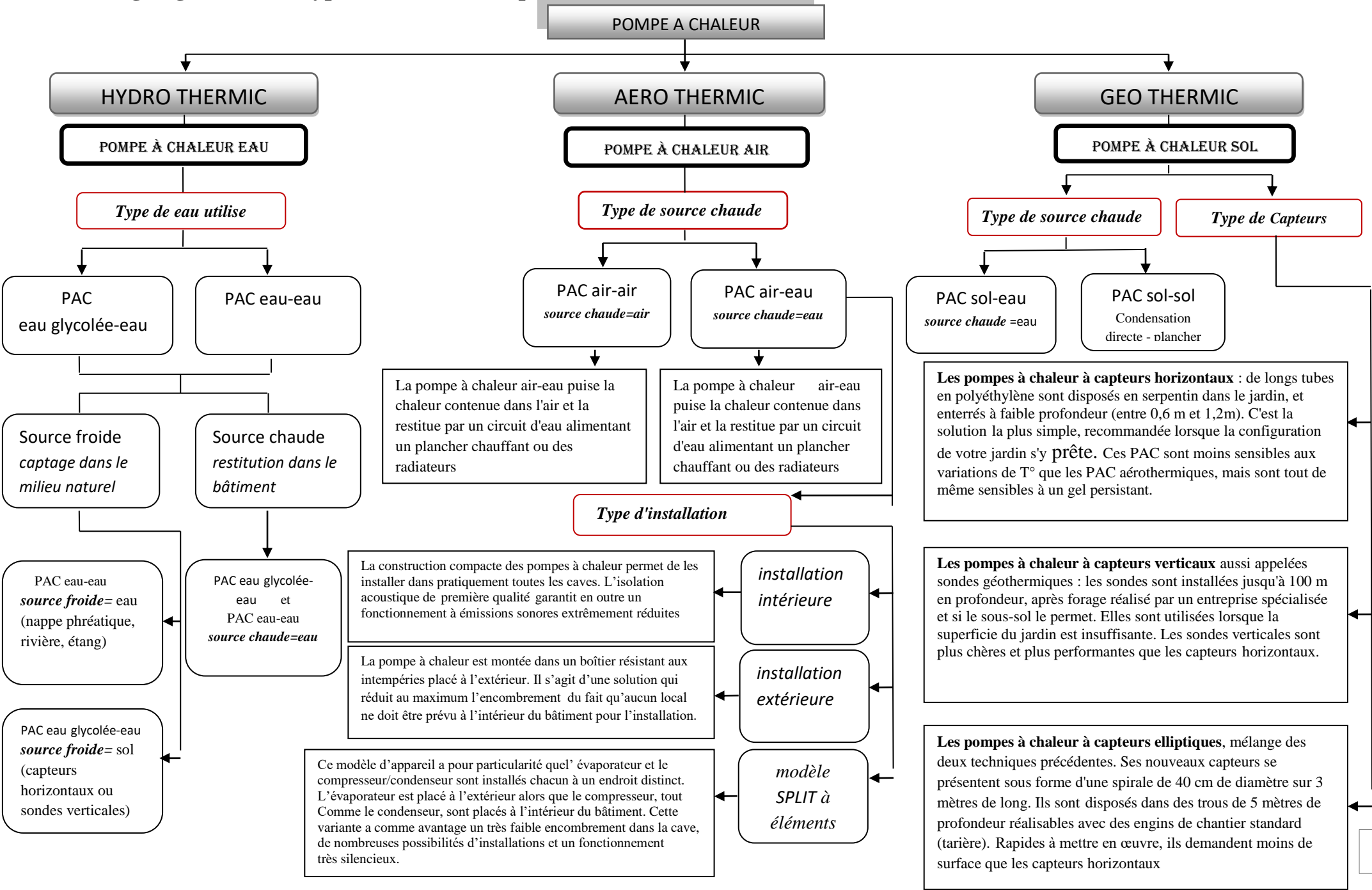
Capter la chaleur de la terre présente bien des avantages. C'est une **chaleur gratuite et disponible en permanence**. Elle ne dépend pas du jour ou de la nuit car la température de la terre reste approximativement stable.

I -5-Types de capteurs

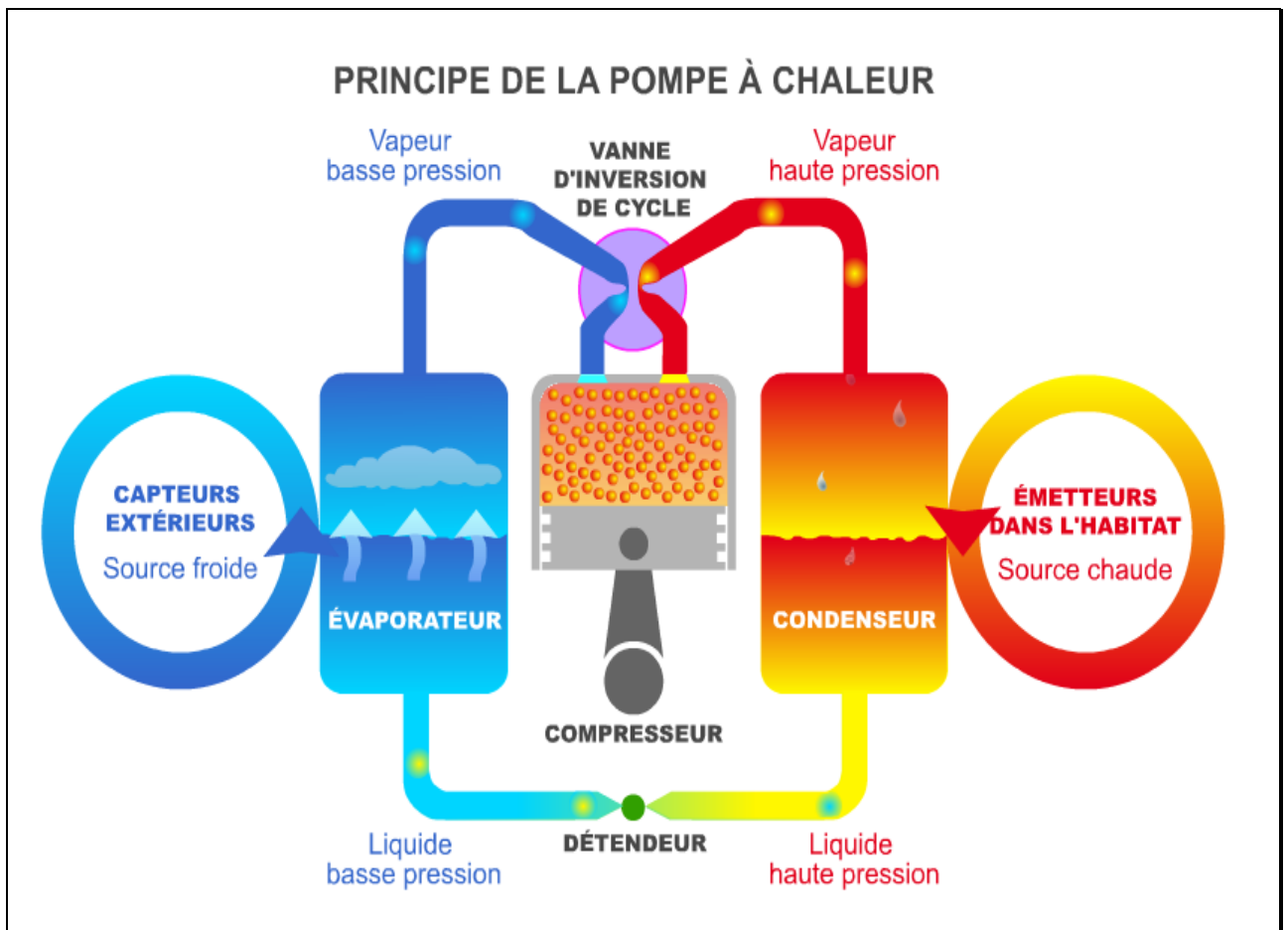
Les calories sont captées dans le sol à l'aide de deux types de capteurs : capteur horizontal et capteur vertical



I-6- Organigramme des types des PAC à compresseur



I - 7-Principe de fonctionnement de la pompe à Chaleur :



La pompe à chaleur est composée de 4 éléments principaux :

- Le compresseur ;
- Deux échangeurs l'un pour capter l'énergie à l'extérieur (évaporateur), l'autre pour la restituer à l'intérieur (condenseur) ;
- Le détendeur.
-

La compression : le compresseur va aspirer le fluide frigorigène qui est sous forme de gaz à basse température. En comprimant le gaz, sa température va s'élever en même temps que sa pression. Nous aurons donc à la sortie du compresseur un gaz chaud à une pression élevée.

Diffusion de la chaleur au condenseur: Le gaz chaud va être dirigé vers un échangeur (appelé condenseur) dans lequel circule un fluide à réchauffer (eau du réseau de chauffage par exemple ou air intérieur). Le gaz chaud va donc transmettre une partie de son énergie au fluide à chauffer dont la température va augmenter. Ce faisant, le gaz

frigorigène va condenser, c'est à dire qu'il va passer de l'état gazeux à l'état liquide (d'où le nom de condenseur).

La détente : Le frigorigène à l'état liquide, qui est toujours à pression élevée, va être ensuite détendu au travers du détendeur. C'est à dire que la pression va chuter abaissant ainsi la température du frigorigène qui reste à l'état liquide. A la sortie du détendeur, la température du frigorigène beaucoup plus basse et est inférieure à la température de la source de récupération.

Récupération de la chaleur de l'environnement par l'évaporateur : Le frigorigène, froid et à l'état liquide, va traverser un deuxième échangeur (appelé évaporateur) dans lequel circule le fluide extérieur (air extérieur, eau de nappe ou eau échangeant avec un capteur enterré dans le sol) qui est plus chaud que le frigorigène. Ce dernier va donc récupérer l'énergie (les calories) de ce fluide extérieur. En récupérant cette énergie, le frigorigène va entrer en ébullition et donc se transformer en gaz (évaporation) d'où le nom d'évaporateur.

Le gaz ainsi formé est ensuite aspiré par le compresseur pour un nouveau cycle.

La chaleur de l'environnement présente dans l'air, le sol et l'eau souterraine est une énergie toujours disponible, gratuite et sans cesse renouvelée grâce au rayonnement solaire et aux pluies.

La pompe à chaleur permet de prélever cette chaleur présente dans l'environnement et de la transférer à un niveau de température plus élevé dans les logements afin de les chauffer.

La pompe à chaleur sert donc à :

- récupérer de l'énergie dans le milieu extérieur (sol/eau/air) grâce à l'évaporateur,
- remonter le niveau de température de cette énergie thermique, via le compresseur,
- transférer cette énergie au bon niveau de température au milieu intérieur que l'on souhaite chauffer

Chapitre II

Etude thermodynamique appliquée à la PAC

Dans ce chapitre, il ya une partie théorique et une autre expérimentale faite au niveau du laboratoire (département mécanique) de l'université de Kasdi Merbah à Ouargla.

II-1- La partie théorique

II-1-1- Rappels de thermodynamique

En thermodynamique, on s'intéresse aux processus au cours desquels l'énergie se transmet sous forme de chaleur ou de travail.

- Énergie

L'énergie totale E d'un système thermodynamique peut être décomposée en trois parties :

- L'énergie cinétique E_{cin} correspondant au déplacement macroscopique des éléments du système (mais n'incluant pas l'agitation moléculaire):

$$E_{cin} = \sum_i \frac{1}{2} m_i \cdot V_i^2 \quad (\text{où } m_i \text{ est la masse d'un sous-système } i \text{ animé de la vitesse } V_i)$$

- L'énergie potentielle E_{pot} globale des éléments du système (mais n'incluant pas l'énergie potentielle atomique ou moléculaire) :

$$E_{pot} = \sum_j m_j g z_j \quad (\text{énergie potentielle due à la force de gravité})$$

où m_j est la masse du sous-système j placé au point d'altitude z_j dans la champ de gravité g)

- L'énergie interne U qui regroupe toutes les autres énergies non comprises dans les deux précédentes (énergies de translation, de rotation et de vibration des atomes et/ou des molécules contenues dans le système ainsi que l'énergie des électrons).

Toutes ces énergies sont reliées entre elles par la relation:

$$E = U + E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}}$$

ou $E = U + E_{\text{méca}}$

avec $E_{\text{méca}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{cin}}$

Représentant l'énergie mécanique du système

On a vu précédemment qu'un système thermodynamique peut échanger de l'énergie avec l'extérieur. Cet échange peut s'effectuer sous la forme de travail (énergie mécanique, énergie électrique...) ou sous la forme de chaleur (transfert de quantité de chaleur à travers « les parois » du système).

- Travail

Le travail est de l'énergie échangée par un système avec l'extérieur sous forme ordonnée : c'est à dire que les particules sont toutes poussées dans un même sens sous l'influence des forces extérieures (molécules sous la poussée d'un piston par exemple).

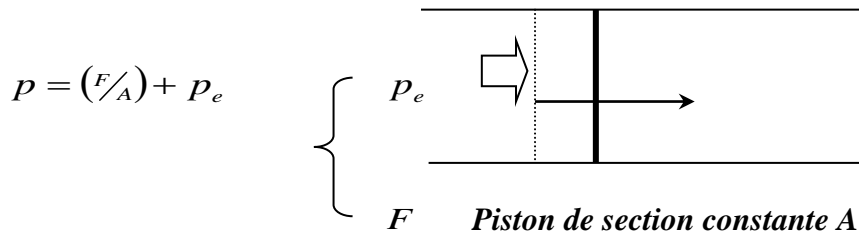
Dans l'étude des machines thermiques, c'est le travail des forces de pression qui nous intéresse :

$$\delta W = -P \cdot dV \text{ avec}$$

W : travail mécanique élémentaire échangé avec l'extérieur (en joules : J)

p : pression extérieure (tenant compte de la pression environnante P_e (pression atmosphérique le plus souvent) et du module, F , de force mécanique extérieure appliquée normalement à la surface externe du piston) (en pascals : Pa)

dV : variation élémentaire de volume du système (en m^3)



- Chaleur

Un transfert d'énergie se fait sous forme de chaleur lorsque les molécules du système interagissent de façon désordonnée avec le milieu extérieur (la chaleur est une forme dégradée d'énergie). Dans ce cas le transfert d'énergie est dû uniquement à une différence de température. L'échange de chaleur se faisant du système à la température la plus élevée vers le système à température la plus basse.

La manière la plus usuelle de fournir de la chaleur à un système est donc d'élever sa température mais ce n'est pas la seule. En effet, on verra un peu plus loin que, lors d'une transformation durant laquelle le système change de phase, la chaleur « latente » apportée au système permet une transformation à température constante.

- L'enthalpie

Par définition, l'enthalpie d'un système thermodynamique est donnée par la relation :

$$H = U + P.V \quad \text{avec:} \quad \left\{ \begin{array}{l} U: \text{énergie interne du système (en joules J)} \\ P: \text{pression du système (en pascals Pa)} \\ V: \text{volume occupé par le système (en m}^3\text{)} \end{array} \right.$$

Lorsque le système décrit une transformation quelconque à pression constante P_0 (pression du milieu extérieur) H varie de :

$$\Delta H = \Delta U + P_0.\Delta V$$

En tenant compte que $\Delta U = W + Q$ et $W = - P_0.\Delta V$ alors on obtient :

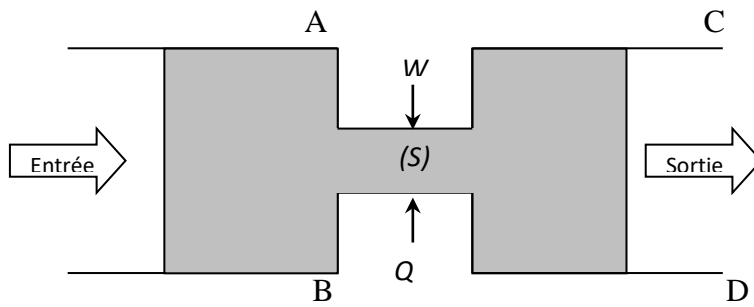
$$\Delta H = Q$$

Dans une transformation à pression constante la quantité de chaleur reçue (Q) par le système est égale à sa variation d'enthalpie ΔH .

II-1-2- L'application du premier et second principe sur une PAC

L'intérêt accordé aux systèmes ouverts se justifie par le fait que la plupart des systèmes industriels réels le sont. Parmi ceux – ci on trouve les détendeurs et les compresseurs industriels, utilisés entre autre dans les pompes à chaleur.

Considérons un système ouvert (S) limité par une surface fixe et possédant une section d'entrée fixe (AB) et une section de sortie fixe (CD).



L'application des deux principes de la thermodynamique à une unité de masse de fluide pour un système ouvert fonctionnant en régime stationnaire permet d'écrire :

- Premier principe : Le bilan d'énergie prend la forme :

$$\Delta H + \Delta e = W + q$$

avec

- ΔH : la variation d'enthalpie pour l'unité de masse du fluide entre l'entrée et la sortie du système ouvert (en J/kg).
- Δe : la variation d'énergie mécanique massique (en J/kg).
- W : le travail massique (ou travail utile) exercé par les éventuelles parties mobiles au cœur du système ouvert (ailettes de turbine...) ($w = W / m$) (en J/kg).
- q : la chaleur massique échangée avec un thermostat (source de chaleur) ($q = Q / m$) (en J/kg).

- Second principe : Le bilan d'entropie s'écrit :

$$\Delta s = \frac{q}{T_s}$$

Δs : la variation d'entropie d'une unité de masse du fluide entre l'entrée et la sortie du système ouvert (en J/(K.Kg)).

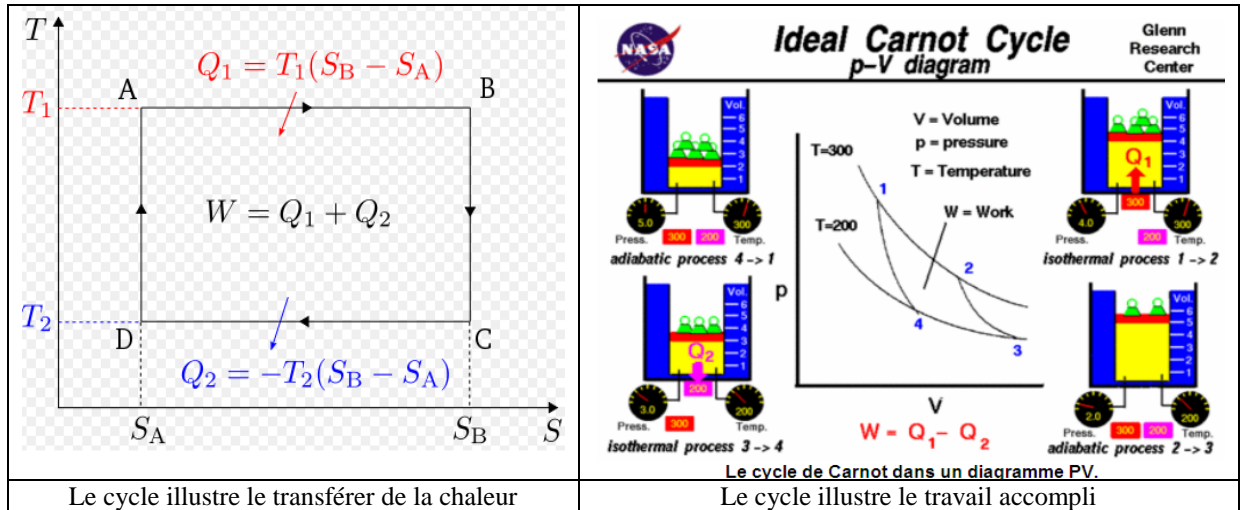
q : la chaleur massique échangée (en J/kg).

T_s : température du thermostat (source de chaleur) (en kelvin K).

II-1-3- Cycle de Carnot

Le cycle de Carnot est un cycle thermodynamique idéal constitué de quatre processus réversibles : une détente isotherme, une détente adiabatique (donc isentropique car réversible), une compression isotherme, et une compression adiabatique.

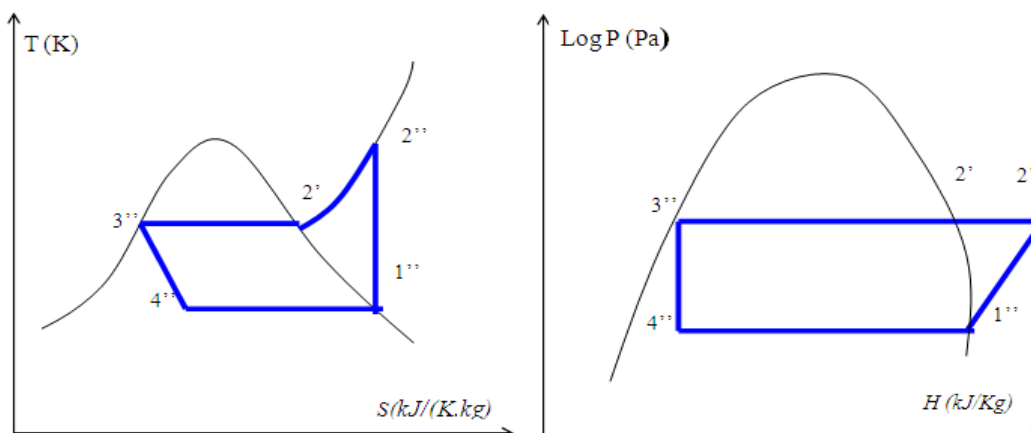
C'est le cycle le plus efficace pour obtenir du travail à partir de deux sources de chaleur de températures constantes ; le cycle inverse est le moyen le plus efficace de transférer de la chaleur d'une source froide à une source chaude à partir d'une source de travail.



Remarque: Le cycle de Carnot est utile pour comparer le cycle réel et le cycle idéal.

II-1- 4-Diagramme de Mollier

Le cycle fondamental d'une machine (à compression mono-étagée) peut être décomposé en quatre étapes illustrées dans un diagramme entropique ($T = f(s)$) ou bien dans un diagramme enthalpique ($\text{Log } P = g(h)$) appelé aussi « diagramme de Mollier ».



Cycles thermodynamiques théoriques d'une PAC à compression

Les étapes de transformation sont ainsi:

- 1''- 2'': **compression adiabatique réversible** (isentropique) : au point 1, le liquide est entièrement vaporisé.
- 2'-3'': **condensation isotherme et isobare** : il y a liquéfaction. La différence d'enthalpie entre 2' et 3 représente la quantité de chaleur laissée au condenseur (donc fournie au caloporteur).
- 3''- 4'' : **détente isenthalpique** du liquide frigorigène au travers d'une vanne de laminage. L'enthalpie ne varie pas car le froid produit sert pratiquement à refroidir le fluide.
- 4''-1'' : **évaporation isotherme et isobare** ...et le cycle recommence.

Ce cycle s'accompagne des hypothèses suivantes d'une machine supposée idéale :

- ❖ le **compresseur est parfait** (pas d'espace mort, parois imperméables, pas de frottements ni de résistance passive)
- ❖ les **échanges de chaleur** dans l'évaporateur et dans le condenseur se font d'une manière **réversible**
- ❖ les parois des **tuyauteries** sont **imperméables** à la chaleur et l'écoulement du fluide s'y effectue sans frottement ni résistance passive (sauf au détendeur évidemment).

Cette famille de cycles, extrêmement répandus, est utilisée pour la plupart des pompes à chaleur (il sert de base à la plupart des applications industrielles)

Bilan des échanges de chaleur et de travail

- Chaleur extraite à l'évaporateur : $q_0 = h1'' - h4'' > 0$
- Travail de compression : $W = h2'' - h1'' > 0$
- Chaleur dégagée au condenseur : $q_C = h3'' - h2'' < 0$
- Détente : (isenthalpique) : $h4'' = h3''$

II-1-5- Le Coefficient de performance théorique COP_{th}

Par définition le coefficient de performance d'une PAC théorique décrivant le cycle idéal est :

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{th}} &= \text{chaleur produite} / \text{travail reçu} . \\ &= |q_C| / W \quad (\text{car ce terme ne saurait être négatif}). \end{aligned}$$

$$\text{d'où} \quad \text{COP}_{\text{th}} = (h2'' - h3'') / (h2'' - h1'')$$

II-1-5-1- Bilan global

A partir des relations établies ci-dessus, il est possible de dresser le bilan global pour contrôle du cycle idéal :

- Chaleur reçue par le système : $q_0 = h1'' - h4''$
- Chaleur cédée par le système : $q_c = h3'' - h2''$

En vertu de la relation générale du cycle ditherme inverse on a :

$$w = - (q_c + q_0) \text{ (1er principe)}$$

$$w = - (h3'' - h2'' + h1'' - h4'')$$

$$w = h2'' - h1'' \text{ car on a vu ci-haut que } h3'' = h4''$$

On retrouve ainsi l'expression de w (trouvée ci – haut) pour le travail de compression.

Pour apprécier l'efficacité de cette machine thermique par rapport à la machine idéale de Carnot, on introduit « le rendement exergetique » η_{th} défini par :

$$\eta_{th} = \text{COP}_{th} / \text{COP}_{id}$$

$$\eta_{th} = \text{COP}_{th} \cdot T_C / (T_C - T_0).$$

$$\eta_{th} = ((h2'' - h3'') \cdot T_C) / ((h2'' - h1'') \cdot (T_C - T_0)) < 1$$

II-1-5-2-Les variations du COP

Le COP donné par le fabricant est un COP dit nominal, c'est à dire qu'il a été mesuré en laboratoire dans des conditions optimales et à partir de températures types, positives. Dans la réalité, le COP ne cesse de varier en fonction des températures extérieures.

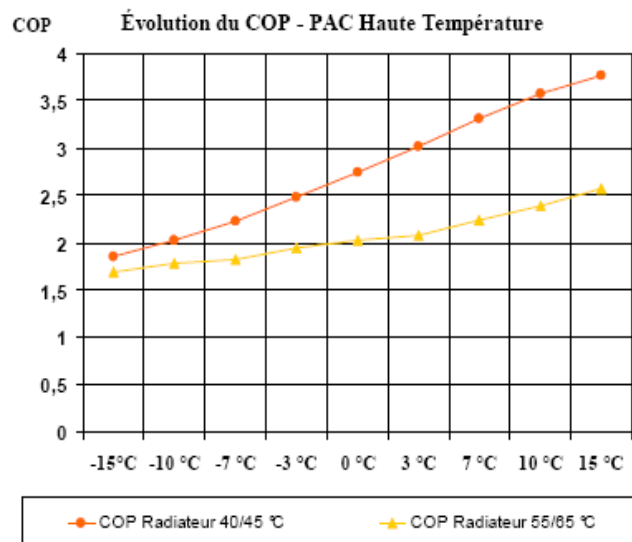
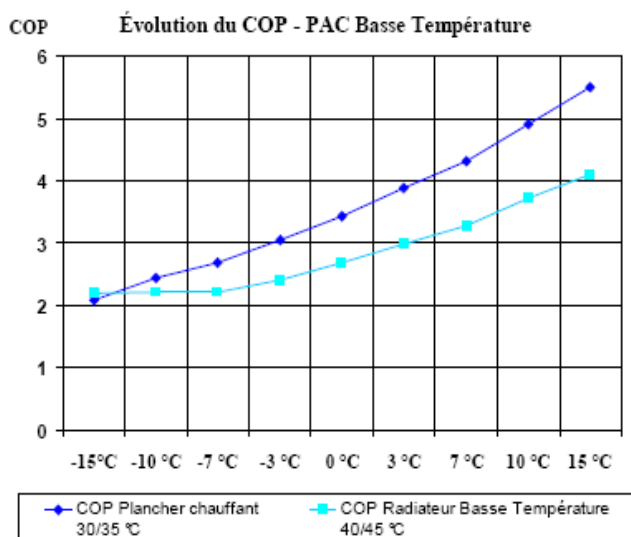
En effet, le COP est dépendant de l'écart de température entre le milieu extérieur et le milieu intérieur. Plus cette différence est grande, plus le COP est faible : la PAC consomme donc plus d'électricité pour fournir le même confort dans l'habitat. (Voir le tableau)

	COP	KWh énergie produit	kWh énergie consommé
PAC 1	2	50 % de chaleur	50 % consommé
PAC 2	3	67 % de chaleur	33 % consommé
PAC 3	4	75 % de chaleur	25 % consommé
PAC 4	5	80 % de chaleur	20 % consommé

-La variation du COP pour le chauffage d'un plancher et d'un radiateur a basse température.

Du graphe on remarque que la variation de la température de la source froide (source extérieur) influe sur la COP.

Le rapprochement de la température extérieur du température intérieure (locale ou autre) engendre l'augmentation du COP.



Réseau des Espaces INFO:ÉNERGIE de Bourgogne

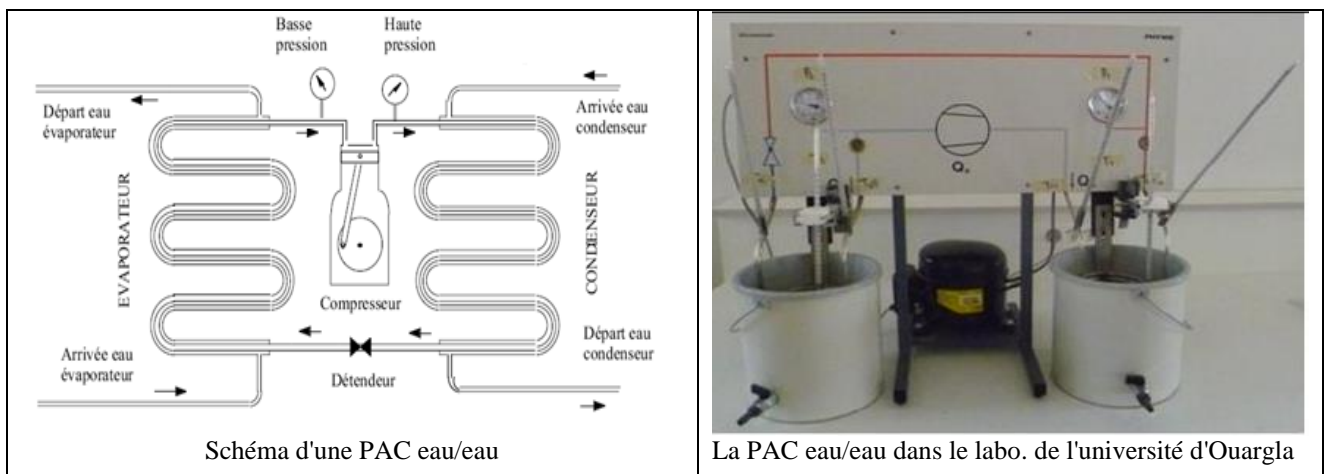
II-2- La partie expérimentale

(Laboratoire de l'université d'Ouargla)

II-2-1 Etude expérimentale

Pour extraire de la chaleur d'un milieu « froid » (la source froide) vers un milieu chaud (le local à chauffer) on utilise comme vecteur un fluide frigorigène (dans notre cas c'est le R134a). Celui ci est le siège de phénomènes physico-chimiques permettant de prélever, de transférer et de restituer la chaleur. Ainsi donc, pour extraire de la chaleur d'une source froide on fera subir au fluide frigorigène, en « contact » avec cette source, un phénomène endothermique (qui consomme de la chaleur).

De la même manière que pour extraire la chaleur stockée par le fluide frigorigène afin de la restituer à la source chaude on utilisera un phénomène exothermique (qui dégage de la chaleur). Dans la majeure partie des cas, on fait ainsi décrire une série de transformations qui ramène, périodiquement, le frigorigène dans son état initial. Le cycle de fonctionnement ainsi décrit est appelé cycle frigorifique.

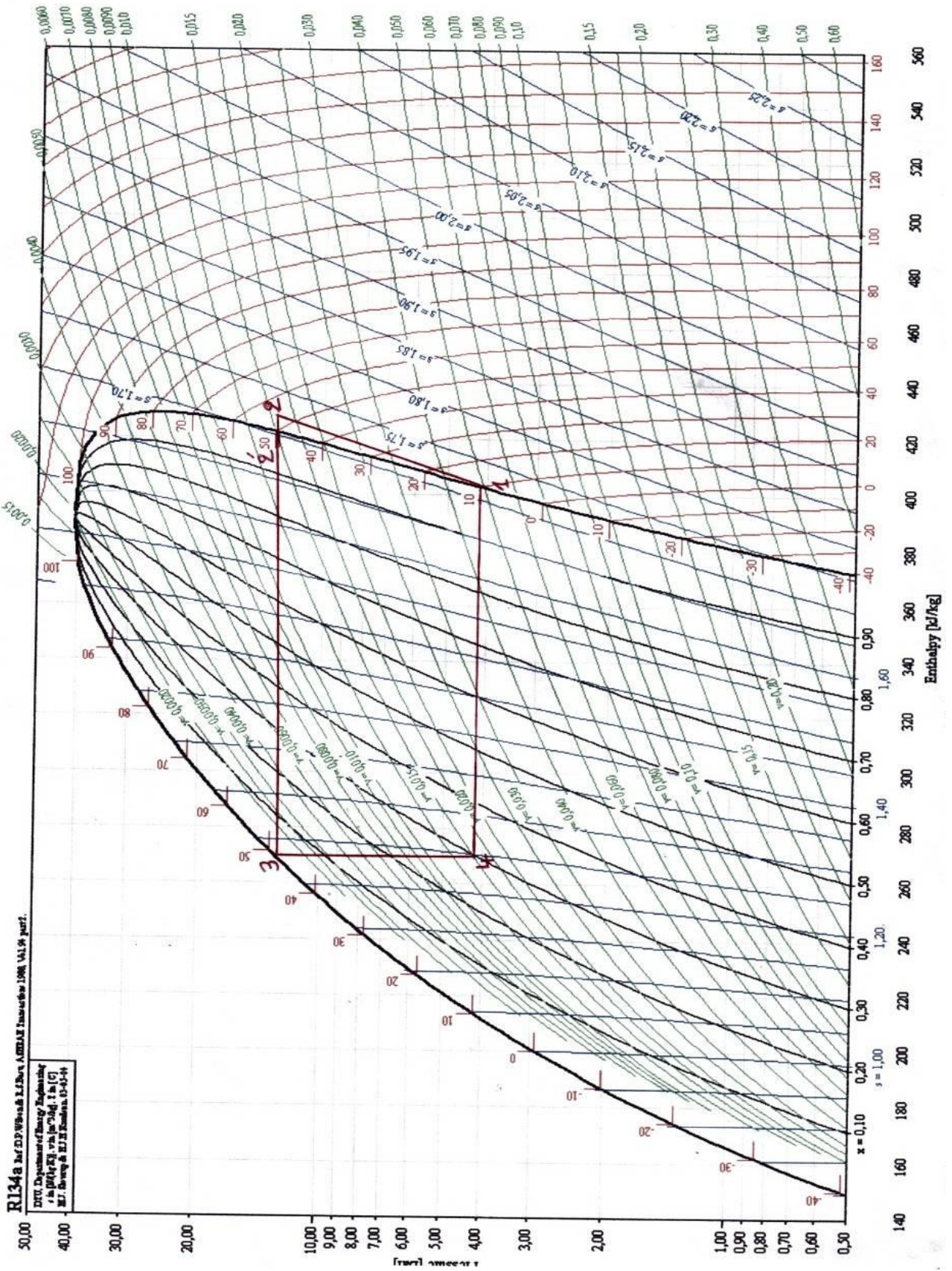


Des mesures des températures et des pressions de la PAC eau/eau ont été prises et le reste des valeurs nécessaires sont déduites du cycle frigorifique R134a (vois sou-dessous)

Le but de cette manipulation expérimental est calcul:

- Représentation du cycle frigorifique (diagramme de Mollier).
- La quantité de chaleur absorbée.
- La quantité de chaleur cédée.
- Le travail de compression spécifique.
- Le flux énergétique coté condenseur et coté évaporateur.
- Le coefficient de performance du compresseur
- Le débit volumétrique Le débit géométrique.
- Le rendement volumétrique du compresseur.
- Le coefficient de performance réel.

Cycle frigorifique du R134a



La courbe passant par le point critique délimite la vapeur humide ou la phase liquide coexiste avec la phase gazeuse. Les isothermes sont parallèles à l'axe des enthalpies (h)

En partant du point 1, le compresseur comprime le fluide réfrigérant jusqu' au point 2 ; dans le cas idéal cette opération s'effectuer sans échange de chaleur avec l'extérieur, donc d'une façon isotherme ($S = \text{constant}$), du point 2 au point 3, la chaleur utile est cédée, d'où condensation du réfrigérant. Ensuite, le fluide frigorigène traverse un détendeur thermostatique et atteint le point 4, lors d'une détente parfaite l'enthalpie reste constante. Lors du passage du point 4 au point 1, le fluide réfrigérant absorbe de l'énergie de l'environnement (eau) et s'évapore.

La quantité de chaleur absorbée (q_0) ou cédée (q_c) par Kilogramme, le travail de compression spécifique (W) nécessaire peuvent être mesurés à partir diagramme ($h, \log p$).

$$q_0 = h_1 - h_4$$

$$q_c = h_2 - h_3$$

$$W = h_2 - h_1$$

Tableau des résultats de notre manipulation au laboratoire (département mécanique) de l'université d'Ouargla

PAC eau-eau	Expérimenta	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
	Temps (min)	00	03	06	09	12	15	18	21	24	27
COTE CONDENSEUR	T_{ci}	26	40	45	46	47	48	50	52	53,5	55
	T_1	16	33	38	41	43	46	48	48,5	51,5	53
	T_{co}	25	35	39	42	44	46	48,5	49	50,5	52
	P_1	05,75	09,1	10	10,75	11,4	12	12,5	12,75	13,9	14,11
COTE EVAPORATEUR	T_{vi}	26	15	14	13	12	11,5	10,5	09	08,5	7,5
	T_2	26	26	25	22	21	20	18	17	16	15
	T_{vo}	26	24	14	12	11	10,5	10	09	08,5	08
	P_2	04,4	03,5	03,24	03	02,90	02,75	02,6	02,55	02,5	02,75

II-2-2- Calcul thermique

Remarque : Toutes les calculs thermiques sont au point (06) et le temps total est de 18 minutes.

La quantité de chaleur absorbée (q_0) :

$$q_0 = h_1 - h_4$$

✓ h_1 h_4 sont données par le diagramme Molliere donc:

$$h_1 = 403,33 \text{ (Kj / Kg)}$$

$$h_4 = 270 \text{ (Kj / Kg)}$$

$$q_0 = h_1 - h_4 = 403,33 - 270 = 133,33$$

$$q_0 = 133,33 \text{ (Kj / Kg)}$$

La quantité de chaleur cédée (q_c) :

$$q_c = h_2 - h_3$$

✓ h_2 h_3 sont données par le diagramme Molliere donc:

$$h_2 = 429,23 \text{ Kj / Kg}$$

$$h_3 = 270 \text{ (Kj / Kg)}$$

$$q_c = h_2 - h_3 = 429,23 - 270 = 159,23$$

$$q_c = 159,23 \text{ KJ / Kg}$$

Le travail de compression spécifique :

$$W = q_c - q_0 = h_2 - h_1$$

$$W = h_2 - h_1 = 429,23 - 403,33 = 25,90$$

$$W = 25,90 \text{ KJ / Kg}$$

Le flux énergétique (\dot{Q}) coté condenseur et coté évaporateur :

$$\dot{Q} = c \times m_{\text{eau}} \times \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

c = capacité calorique massique de l'eau [KJ/Kg °C] $C = 4,18 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$.

$$m_{eau} = \text{masse de eau [Kg]} , \quad m_{eau} = 4,18 \text{Kg}$$

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \text{variation de température par unité de temps [°C/s].}$$

Le flux énergétique $\left(\dot{Q}\right)$ en [W=J/S].

1) Coté condenseur :

$$\Delta T = |T_{co} - T_{ci}| = |48,5 - 50| = 1,5 \text{C}^0$$

T_{co} = température sortie condenseur .

T_{ci} = température entrée condenseur.

$$\Delta T = 03(\text{min})$$

$$\dot{Q} = c \times m_{eau} \times \frac{\Delta T}{\Delta t} = 4,18 \times 4,5 \times \frac{1,5}{03} = 9,405 .$$

$$\dot{Q} = 9,405 \text{ KW} = 9405 \text{ W}$$

2) Coté évaporateur :

$$\Delta T = |T_{vo} - T_{vi}| = |10 - 10,5| = 0,5 \text{C}^0$$

T_{vo} = température sortie de L évaporateur.

T_{vi} = température entrée de L évaporateur.

$$\Delta T = 03(\text{min})$$

$$\dot{Q} = c \times m_{eau} \times \frac{\Delta T}{\Delta t} = 4,18 \times 4,5 \times \frac{0,5}{03} = 3,135$$

$$\dot{Q} = 3,135 \text{ KW} = 3135 \text{ W}$$

Le coefficient de performance du compresseur ε définit, par le rapport du flux $\left(\dot{Q}\right)$ énergétique coté condenseur, sur la puissance utile consommée par le compresseur (P), alors :

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{P}$$

La puissance utile moyenne consommé par le compresseur est $P=120\text{w}$.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{P} = \frac{9405}{120} = 78,375 \quad \varepsilon = 78,375$$

Le débit volumétrique

A l'aide du tableau, on peut calculer le débit volumétrique $\left(\dot{V}\right)$ réel du réfrigérant dans le

circuit, par : $\dot{V} = \nu \times \frac{\dot{Q}}{h_1 - h_3}$

ν = Volume spécifique de la vapeur [m^3/Kg].

\dot{Q} = Flux de chaleur absorbée dans l'évaporateur.

h_1 h_3 ν Sont données par le diagramme Molliere.

$$h_1 = 403,33 \text{ (Kj / kg)}$$

$$h_3 = 270 \text{ (Kj / Kg)}$$

$$\nu = 0,050 \left(\frac{m^3}{Kg} \right)$$

$$\dot{V} = \nu \times \frac{\dot{Q}}{h_1 - h_3} = 0,05 \times \frac{3,135}{133,33} = 1,175 \times 10^{-3}$$

$$\dot{V} = 1,175 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Le débit géométrique $\left(\dot{V}_g\right)$: $\dot{V}_g = V_g \times F$

✓ V_g = Volume géométrique engendré par la course du compresseur, $V_g = 5,08 \text{ cm}^3$

✓ Fréquence de rotation du piston $F = 1450 \text{ min}^{-1}$

$$\dot{V}_g = V_g \times F = 5,08 \times 1450 = 7366 \text{ cm}^3 \times \text{min}^{-1}$$

$$\dot{V}_g = 7366 \text{ cm}^3 \times \text{min}^{-1} \quad , \quad \dot{V} = \frac{7366 \times 10^{-6}}{60} = 1,227 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$$

Le rendement volumétrique du compresseur (λ), (appelé aussi coefficient du remplissage) est donné par :

$$\lambda = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_g} \quad \text{donc} \quad \lambda = \frac{\dot{V}}{\dot{V}_g} = \frac{1,175 \times 10^{-5}}{1,227 \times 10^{-4}} = 9,576 \times 10^{-3}$$
$$\lambda = 9,576 \times 10^{-3}$$

Le coefficient de performance réel (COP) peut être exprimé à partir des notations du diagramme représentant le cycle réel. En effet :

$$COP_{réel} = \frac{q_c}{W} \quad \text{donc} \quad COP_{réel} = \frac{q_c}{W} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{159,23}{25,90} = 6,14$$

Tableau : Propriétés thermodynamiques du fréon R134a (d'après Rapin et Jacquard, 1999)

Temp.	Pression absolue	Volume massique	Volume massique	Masse volumique	Masse volumique	Enthalpie	Enthalpie	Chaleur de Vaporis.	Entropie	Entropie
θ [°C]	p [Bar]	Liquide [dm ³ /kg]	Vapeur [dm ³ /kg]	Liquide [kg/dm ³]	Vapeur [kg/m ³]	Liquide [kJ/kg]	Vapeur [kJ/kg]	[kJ/kg]	Liquide [kJ/(kg.K)]	Vapeur [kJ/(kg.K)]
-50,0	0,2948	0,693	604,615	1,4425	1,654	136,0	367,3	231,3	0,742	1,779
-45,0	0,3914	0,7	463,457	1,4284	2,158	142,3	370,5	228,2	0,770	1,770
-40,0	0,5122	0,707	360,036	1,4142	2,777	148,5	373,6	225,0	0,797	1,762
-35,0	0,6615	0,714	283,15	1,3998	3,532	154,9	376,7	221,8	0,824	1,755
-30,0	0,8436	0,722	225,21	1,3853	4,44	161,2	379,7	218,5	0,850	1,749
-25,0	1,0635	0,73	180,995	1,3706	5,525	167,6	382,8	215,2	0,876	1,743
-20,0	1,3265	0,738	146,855	1,3557	6,809	174,0	385,8	211,8	0,901	1,738
-15,0	1,6381	0,746	120,204	1,3406	8,319	180,4	388,8	208,4	0,927	1,734
-10,0	2,0041	0,755	99,186	1,3252	10,082	186,9	391,7	204,8	0,951	1,730
-5,0	2,4309	0,764	82,45	1,3095	12,129	193,4	394,4	201,2	0,976	1,726
0,0	2,9247	0,773	69,005	1,2934	14,492	200,0	397,4	197,4	1,000	1,723
5,00	3,4924	0,783	58,111	1,277	17,209	206,6	400,2	193,6	1,024	1,720
10,0	4,1411	0,794	49,214	1,2601	20,32	213,3	403,0	189,6	1,048	1,717
15,0	4,8779	0,805	41,893	1,2427	23,87	220,1	405,6	185,5	1,071	1,715
20,0	5,7105	0,816	35,827	1,2248	27,912	227,0	408,2	181,3	1,095	1,713
25,0	6,6467	0,829	30,766	1,2063	32,503	233,9	410,8	176,8	1,118	1,711
30,0	7,6946	0,842	26,517	1,1872	37,712	241,0	413,2	172,2	1,141	1,709
35,0	8,8626	0,857	22,927	1,1673	43,617	248,1	415,6	167,4	1,164	1,707
40,0	10,1593	0,872	19,876	1,1465	50,313	255,4	417,8	162,4	1,187	1,706
45,0	11,5939	0,889	17,268	1,1248	57,911	262,9	419,9	157,0	1,210	1,704
50,0	13,1757	0,907	15,026	1,1019	66,551	270,5	421,9	151,3	1,234	1,702

II-2-3- Conclusion de la manipulation:

- Savoir tracer un cycle thermodynamique réel d'une pompe à chaleur et de déduire des valeurs nécessaires a nos calculs.
- Savoir calculer ou de déduire le coefficient de performance réel d'une pompe a chaleur.

Chapitre III

Analyse comparative des fluides thermodynamiques

et

des installations énergétiques

Dans ce chapitre on compare les fluides thermodynamiques utilisés dans les PAC d'une part et on compare les installations thermiques d'une autre part.

III -1– Analyse comparative des fluides thermodynamiques

III -1-1-Terminologie et nomenclature des fluides frigorigènes

Un fluide frigorigène est un composé chimique facilement liquéfiable dont on utilise les chaleurs latentes (vaporisation ou de condensation) pour produire du froid ou de la chaleur.

On peut classer les frigorigènes en deux familles : les composés inorganiques et les composés organiques.

III -1-1-1-Les composés inorganiques

Les frigorigènes appartenant à cette famille sont désignés par la série des 700. Les deux derniers chiffres indiquent la masse molaire (en grammes) du corps.

L'ammoniac (NH_3) est sans doute l'exemple le plus connu de ce groupe. Sa désignation est le R717 car sa masse molaire est de 17 g. La lettre « R » signifiant qu'il s'agit d'un « réfrigérant ». L'ammoniac est utilisé aujourd'hui pour les installations de forte puissance à température moyennement basse. Ses caractéristiques techniques sont bonnes. Il est peu coûteux et peu sensible à la présence d'eau ou d'air. Cependant il est inflammable et toxique, ce qui limite pratiquement son emploi à certains équipements industriels (production de froid pour le stockage de denrées).

III -1-1-2-Les composés organiques

Ces fluides frigorigènes sont en réalité *des hydrocarbures halogénés* car ce sont des dérivés halogénés du méthane (CH_4) et de l'éthane (C_2H_6). Ces réfrigérants peuvent être des corps purs ou des mélanges de corps purs.

III -1-2-Les corps purs

Par conséquent les réfrigérants à deux chiffres sont ceux comprenant un seul atome de carbone (par exemple le R-22 - CF_2Cl_2). Le tableau ci-dessous recense quelques réfrigérants et leurs désignations :

Dénomination	Formule Chimique
R-11	CFCl_3
R-12	CF_2Cl_2
R-12B1	CF_2ClBr

R-22	CHF ₂ Cl
------	---------------------

Les corps purs les plus répandus sont :

- les **ChloroFluoroCarbone** (ou CFC) qui sont connus sous le nom commercial de *fréon* : exemple le R-12
- les **HydroChloroFluoroCarbone** (ou HCFC) pour lesquels il y a un remplacement partiel des atomes de chlore par des atomes d'hydrogène : exemple le R-22
- les **HydroFluoroCarbone** (ou HFC) pour lesquels il y a un remplacement total des atomes de chlore par des atomes d'hydrogène : exemple le R-134a

III -1-3- Les mélanges

On distingue les mélanges azéotropiques et les mélanges azéotropiques.

- Les mélanges azéotropiques se comportent comme des corps purs. Ils sont désignés sous la Série des R500. Les deux derniers chiffres indiquent le numéro d'ordre d'apparition sur le marché. Exemple : le R502 est un mélange constitué de 48,8% de R-22 et de 51,2% de R-115.
- Les mélanges azéotropiques se vaporisent et se condensent, non pas à une température constante, mais sur une plage de température. Ils ne se comportent donc pas comme des corps purs. Ces mélanges sont désignés sous la série des R400, les deux derniers chiffres indiquant le numéro d'ordre d'apparition sur le marché. Exemples de réfrigérants concernés : le R404A (ou FX 70), le R408A (ou FX 10) et le R409A (ou FX 56)

III -1-4-Critères de choix

Les fluides frigorigènes ont pour rôle d'assurer les transferts thermiques entre l'évaporateur et le condenseur. Pour cela ils doivent répondre à un certain nombre de critères :

- thermodynamiques (obtention du rendement optimal, températures d'évaporation et de condensation comprises entre le point triple et le point critique).
- de sécurité (toxicité, inflammabilité).
- techniques (action sur le milieu à refroidir, les matériaux constitutifs de la machine et les huiles de graissage).
- économiques et écologiques.

D'une manière générale les fluides frigorigènes utilisés doivent présenter les propriétés physico-chimiques suivantes :

- Une basse température de vaporisation à la pression atmosphérique afin de soutirer la chaleur à une pression légèrement supérieure à la pression atmosphérique et ainsi éviter la pénétration de l'air dans l'évaporateur.
- Une caractéristique favorable des courbes de saturation, afin d'obtenir des rapports de compression modérés.
- Des pressions de condensation réduites aux températures exigées par les consommateurs, dans le but de réduire le travail mécanique de compression, des pertes de fluide dans le milieu ambiant ainsi qu'une construction plus simple du compresseur.
- Une chaleur latente élevée dans le domaine des températures de fonctionnement, ce qui conduit à des débits réduits dans l'installation et à des coefficients de transfert thermiques élevés.
- Une valeur du volume spécifique des vapeurs et de la viscosité du liquide aussi bas que possible.
- Une stabilité chimique sur tout le domaine des températures de fonctionnement et une compatibilité avec les huiles de graissage et les matériaux constructifs de l'installation.
- Une solubilité totale par rapport à l'eau, afin d'éviter la formation de morceaux (bouchons) de glace.
- Être non inflammables, non toxiques et non explosifs.
- Une rigidité diélectrique élevée, surtout dans le cas des installations sertissées où l'agent thermodynamique entre en contact direct avec les éléments du circuit électrique.
- Être non polluants, à la suite d'éventuelles fuites, pour le milieu de distribution de la chaleur.
- Avoir un coût acceptable, surtout pour les installations de grande puissance.

III -1-5-1-comparaison des fluides thermodynamiques utilisés dans les cycles de PAC

On utilise le plus souvent les fluides R-12, R-22, R-500, R-502, R-134a, pour les PAC de basse et moyenne température (0 à 50° C), et R-11, R-113, R-114, R-123, FC-72 et FC-88 pour les PAC à haute température (70 à 120° C).

Le choix du fluide frigorigène dépend des températures des sources froide et chaude. Pour les installations les plus courantes, on utilise le R-22 qui ne pose guère de problèmes technologiques lorsque les niveaux de température restent modérés (ce qui permet de limiter le taux de compression de la machine) :

- Température inférieure à 55° C à la source chaude.
- Température comprise entre -10°C et + 10° C à la source froide.

Le R-12 mériterait d'être utilisé plus fréquemment en raison de certaines de ses qualités thermodynamiques, mais donne des résultats sensiblement inférieurs à ceux du R-22 ou du R-502 :

- Température critique plus élevée
- Température de refoulement après compression plus basse, ce qui le situe particulièrement bien lorsque la pompe à chaleur travaille à basse température d'évaporation
- Pression de condensation plus faible.

La plupart des constructeurs utilisent actuellement le R-22 lorsque l'on ne dépasse pas les plages de température rappelées précédemment (pour des raisons de durabilité, autre critère de choix d'une pompe à chaleur, le R-502 pourrait être aussi sélectionné). Ceci s'explique par sa puissance thermique élevée et son excellente conductivité thermique rapportée à celle du R-12. Ce dernier serait mieux adapté à l'obtention de températures de l'ordre de 70 à 90°C et à la production d'eau chaude sanitaire.

Pour des raisons évidentes de sécurité (inflammable et toxique), on ne peut retenir le NH₃ qui donne pourtant les meilleures performances.

Les CFC et HFC présente d'excellentes propriétés thermodynamiques, ils sont utilisés dans:

	Machines frigorifiques domestique	Conditionnement d'air	Pompa à chaleur (PAC)
R11		*	*
R12	*		*
R12B1		*	
R22	*		*
R114		*	*
R500		*	*
R502	*		*
R134a	<i>* Le fluide le plus utilisé *</i>		

Limite d'utilisation des fluides:

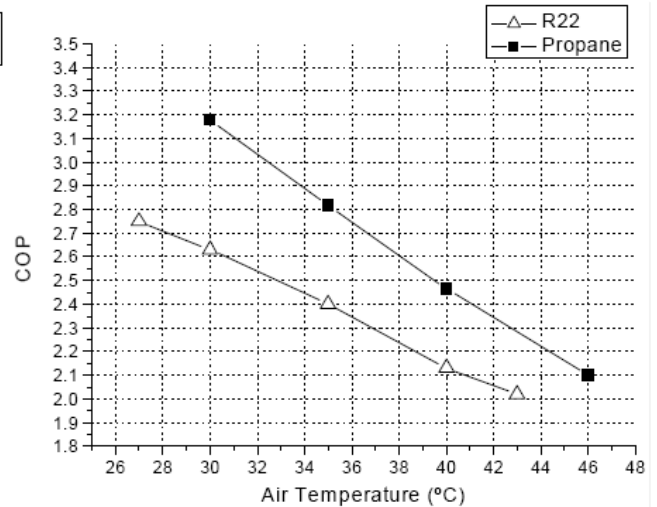
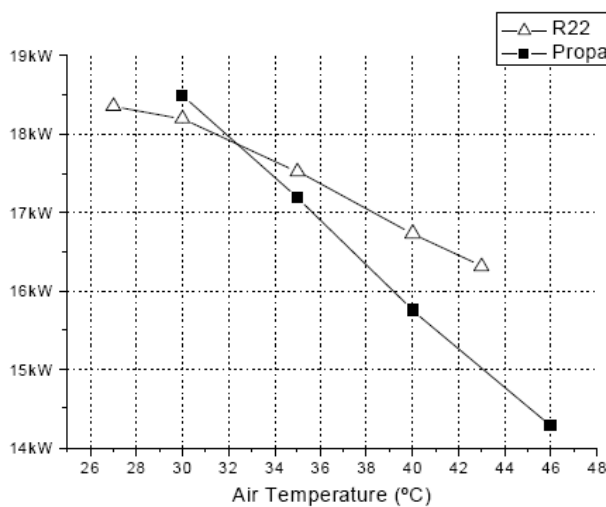
	R22	R134a	R290 propane	R407C	R717 ammoniac
Utilisation	Installation nouvelle interdit depuis 01.01.2002	Pas de restriction	Selon norme SN253130	Pas de restriction	Installation de grande taille
Inflammabilité / toxicité	Non / non	Non / non	Oui / non	Non / non	Oui / oui
Limite d'utilisation	+55°C	+ 65°C	+65°C	+55°C	+55°C

III -1-5-2-Comparaison entre R22 et le Propane

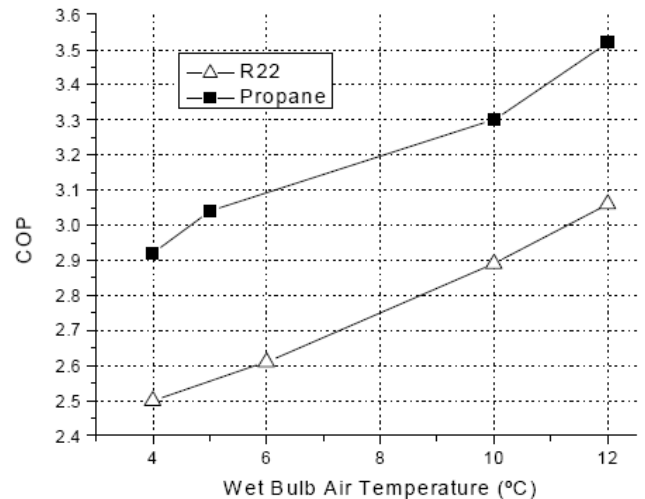
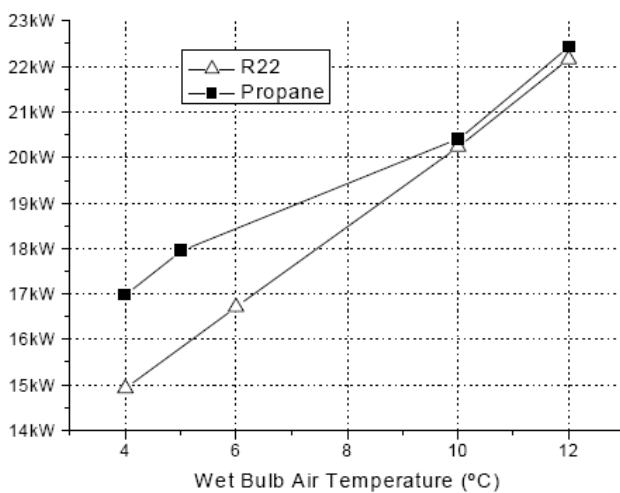
Le propane est actuellement un des fluides frigorigènes les plus étudié dans le monde puisqu'il s'agit d'un possible remplaçant des HCFCs. Ses principaux avantages sont l'absence d'impact sur la couche d'ozone et la contribution minimale à l'effet de serre. Par ailleurs, il s'agit d'un excellent réfrigérant qui peut offrir des performances sensiblement équivalentes à celles du R22 et une très bonne compatibilité avec les huiles minérales et avec la plupart des matériaux habituellement utilisés. En revanche, il présente un grand inconvénient: son inflammabilité.

Les figures suivantes représentent les résultats de puissance et de COP obtenus pour chacun des modes de fonctionnement : chauffage et rafraîchissement.

Source: Laboratoire officiel espagnol CEIS



Puissance et de COP d'une PAC (R22) et d'une PAC (Propane) en modes de chauffage



Puissance et de COP d'une PAC (R22) et d'une PAC (Propane) en modes de rafraîchissement

Conclusion:

Le propane est un excellent réfrigérant qui présente une très bonne compatibilité avec les huiles minérales et les matériaux les plus couramment utilisés dans les circuits frigorifiques.

L'application offre également de bonnes perspectives d'amélioration du rendement de la machine. Les améliorations de COP ont atteint 20%.

III -1-5-3- Comparaison R22 et R 134a

Une étude faite à l'université de Otago, New Zealand montre que l'isotropie et l'efficacité volumétrique d'un compresseur d'hermétique de rouleau sont mesurés utilisant R134a dans des conditions de pompe à chaleur moyennes de température. La température s'évaporant s'étend de 3 à 36°C et la température de condensation de 34 à 78°C.

Les paramètres d'efficacité sont adaptés aux fonctions des pressions de décharge (d'acquittement) et la succion. Aux mêmes pressions de port, il y a seulement de petites différences entre l'isotropie et les paramètres d'efficacité volumétriques pour R134a et ceux pour R22, le dernier déterminé des données du fabricant. Les paramètres d'efficacité pour R134a sont utilisés pour comparer la performance (l'exécution) du compresseur avec R12, R134a et R152a dans un cycle de pompe à chaleur moyen de température.

III -2- Analyse comparatif des installations énergétiques

Pour simplifier cette comparaison, on a fait un tableau de comparaison des installations énergétiques les plus connues et on a déduit une conclusion.

Tableau comparative des systèmes énergétiques et la PAC

	Introduction Simple	Inconvénient	Comparaison	Hybridation	Conclusion
L'énergie solaire	L'énergie solaire est disponible partout sur terre. Chaque mètre carré reçoit en moyenne 2 à 6 kWh par jour Un module photovoltaïque dit "panneau solaire" convertit entre 3 % à 30 % de l'énergie solaire qu'il reçoit en courant électrique continu	<ul style="list-style-type: none"> Le stockage de l'énergie solaire est le maillon faible. Le temps de retour des batteries est de 2 à 4 ans Les limites de fourniture d'énergie liées notamment à la météo 	<ul style="list-style-type: none"> Une éolienne peut produire de l'électricité "24 heures" par jour, en revanche un panneau solaire fonctionne de 6 à 8 heures. A puissance égale, une éolienne produit trois fois plus qu'un module solaire. 	<ul style="list-style-type: none"> Une éolienne est souvent le complémentaire d'un solaire car, par temps couvert il y a souvent du vent. Le système solaire va fournir 40 à 70% de l'énergie suivant votre région et votre installation, la pompe à chaleur va s'occuper des 60 à 30% manquants, uniquement quand c'est nécessaire. Grâce à son COP de 3, l'économie totale du système est de 80% 	<p>Plutôt que d'opposer les technologies, on propose l'hybridation :</p> <p>Le solaire fournit 50 % de l'énergie annuelle de chauffage avec son incroyable rendement (puissance consommée : 0,08 kW !), la pompe à chaleur fournit l'énergie manquante avec un rendement, faisant 3 à 4 fois mieux que les appoints traditionnellement intégrés aux chauffages solaires.</p>
L'énergie éolienne	<ul style="list-style-type: none"> Une éolienne peut produire de l'électricité 24 heures par jour, en revanche un panneau solaire fonctionne de 6 à 8 heures. A puissance égale, une éolienne produit trois fois plus qu'un module solaire, une éolienne est souvent le complémentaire d'un solaire car, par temps couvert il y a souvent du vent. 		<ul style="list-style-type: none"> Le chauffage solaire SWIMSUN présente un COP jusqu'à 25 fois supérieur à une pompe à chaleur de piscine. 		
L'énergie solaire thermique	Les systèmes solaires représentent une économie de 30 à 60% des besoins annuels d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Il doit bien entendu s'intégrer dans une approche énergétique globale de l'habitat, qui prendra impérativement en compte l'importance de l'isolation				
Pompe à chaleur	C'est une machine thermique qui produit de la chaleur (à partir de chaleur gratuite récupérée à une température plus basse) pour chauffer un milieu, ou le maintenir à une température suffisamment haute				

Chapitre IV

La PAC et l'environnement

Dans ce chapitre on va voir l'impact des PAC sur la couche d'ozone, l'effet de serre, l'environnement et la possibilité d'utilisation des PAC en Algérie.

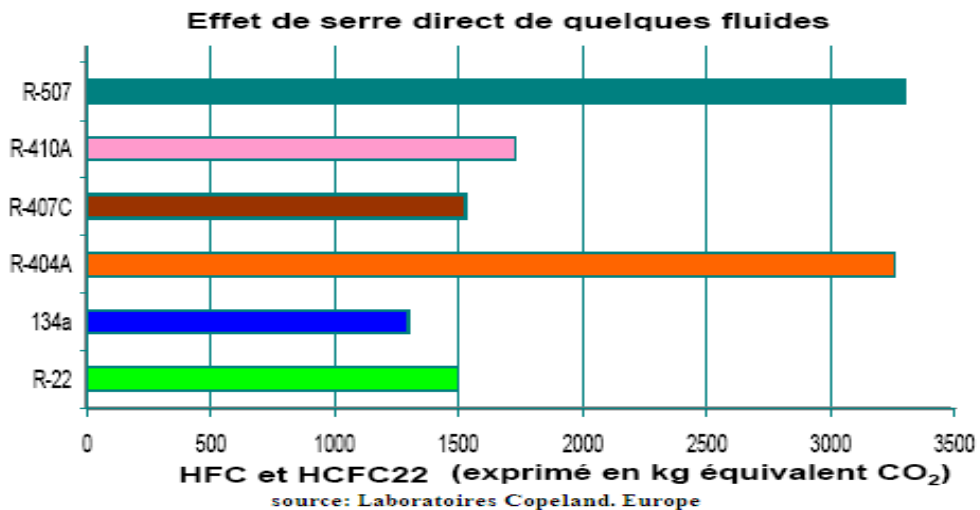
IV -1-Protection de l'environnement

Les hydrocarbures halogénés ont de bonnes propriétés thermodynamiques et de transfert de chaleur. Inodores, la présence du fluor les rend très stables (leur durée de vie est très longue (120 ans pour le R-12)), ininflammables et non toxiques. Ils sont compatibles avec les matériaux de construction, certaines huiles et les élastomères. Ils ont toujours donné satisfaction.

Malheureusement, leur très grande stabilité, en particulier des composés sans atome d'hydrogène, est également à l'origine de leur principal défaut : ils exercent une action nocive sur l'environnement. En effet ces composés diffusent sans être décomposés jusqu'à la stratosphère, où ils sont décomposés par des réactions photochimiques, libérant du chlore qui réagit avec l'ozone stratosphérique. Une molécule de chlore peut détruire 50 000 à 100 000 molécules d'ozone.

Depuis que l'on connaît leur effet destructeur de l'ozone dans la stratosphère et leur impact sur le *réchauffement de l'atmosphère (effet de serre)*, le remplacement des produits nocifs par des substances neutres et respectueuses de l'environnement s'impose.

La protection de l'environnement conduit également à limiter l'utilisation de certains de ces fluides pour lutter contre l'effet de serre qui élève la température de l'atmosphère. Egalement pour épargner la couche d'ozone stratosphérique qui protégé la Terre des rayonnements nocifs en provenance de l'espace. Une convention internationale a adopté un accord qui prévoit l'arrêt complet de la production des CFC. Plusieurs années de recherche et de développement ont conduit à l'introduction sur le marché du R-123, substitut du R-11, et du R-134a en remplacement du R-12. Les deux fluides R-12 et R-134a diffèrent peu quant aux propriétés thermodynamiques. En revanche, l'effet de serre produit par le R-134a est environ dix fois inférieur à celui du R-12. L'état actuel des connaissances a permis de constater que le R-134a est moins toxique que le R-12, son élimination peut néanmoins engendrer la production de substances toxiques.



IV -2-La couche d'ozone

Elle est située à une cinquantaine de kilomètres au dessus de la terre et son rôle est de filtrer les ultras violets provenant du soleil.

Sa destruction a pour première conséquence une forte augmentation des cancers de la peau.

Un des principaux éléments destructeur de la couche d'ozone est le chlore.

Un atome de chlore peut détruire des milliers d'atomes d'ozone.

Certains systèmes de chauffage contiennent du chlore tandis que la plupart des fluides frigorigènes naturels des PAC ne contiennent pas de chlore :

ILS N'ONT DONC AUCUNE INCIDENCE SUR L'OZONE

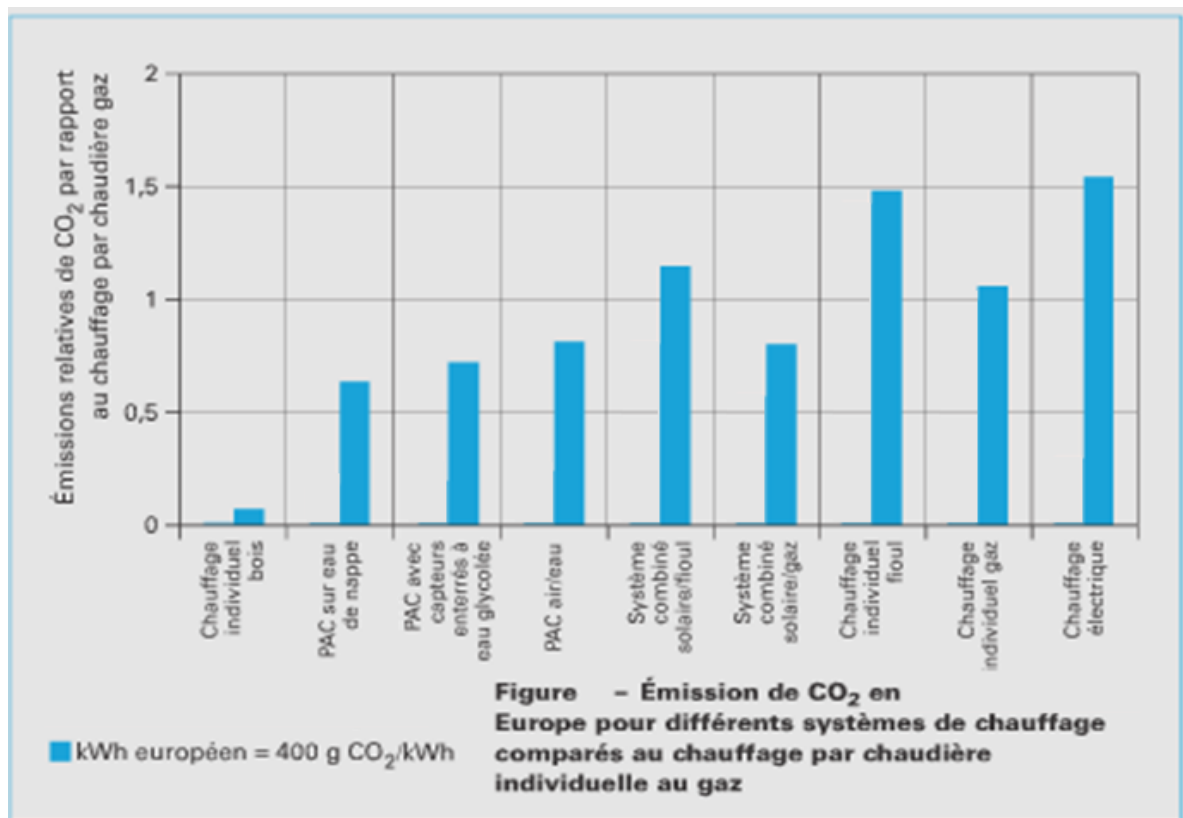
IV -3-L'effet de serre



La lumière du soleil traverse l'atmosphère et chauffe le sol. Le sol ainsi chauffé émet des rayons infrarouges dont une partie est retenue dans l'atmosphère par les gaz à effet de serre. Ces gaz existent naturellement dans l'atmosphère depuis des millions d'années, mais leur taux a augmenté depuis le début de l'ère industrielle. Certains gaz comme le CO₂ empêchent les infrarouges de repartir et les piègent comme dans une serre. La chaleur est alors plus importante que la normale et provoque un réchauffement de la planète (+2.5°C d'ici 2050 !)

L'effet de serre d'une installation avec PAC est fonction de la quantité de fluide frigorigène contenue et du fluide frigorigène lui-même ainsi que du dégagement de CO₂ produit pour assurer le fonctionnement énergétique de l'installation.

Le fait de produire également l'eau chaude sanitaire avec la PAC permet encore plus de limiter l'impact global sur l'effet de serre de l'habitation.



Conclusion: Les résultats parlent d'eux-mêmes la PAC est championne contre l'effet de serre

IV -4-La PAC et la région en Algérie (wilaya d'EL oued)

Une question qui se pose elle-même, est ce que l'Algérie est un pays favorable a la PAC? La réponse est donnée par Dr F-Z. KEDAID du Centre de Développement des Energies Renouvelables d'Alger ' *Les ressources géothermiques de l'Algérie sont relativement importantes et diversifiées. Elles sont Localisées aussi bien au Nord qu'au sud. Il appartient aux collectivités locales d'exploiter ces ressources énergétiques nationales génératrices de devises et qui rentrent parfaitement dans le cadre de la politique nationale'* voir figure 1

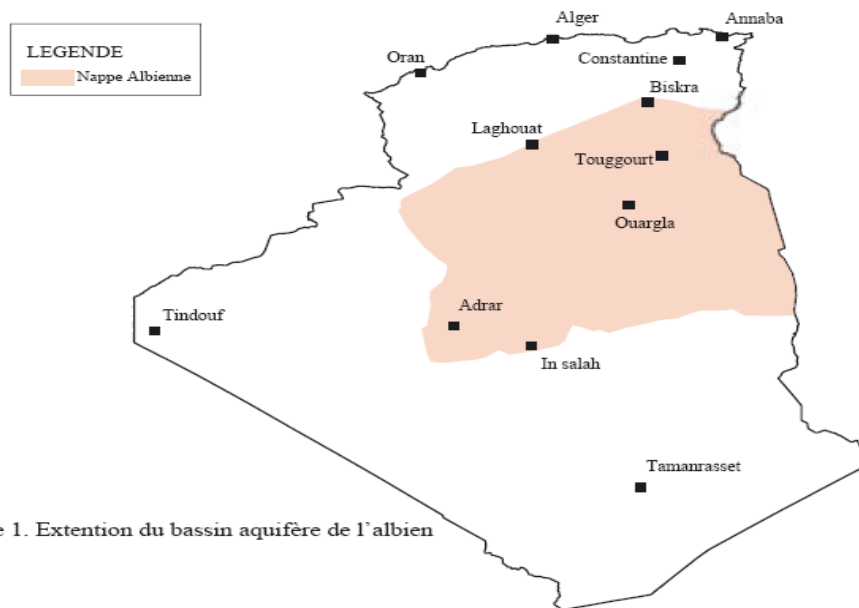


Figure 1. Extension du bassin aquifère de l' albien

D'après la figure, le sud d'Algérie est une source d'énergie renouvelable, grâce aux eaux des nappes qui sont un milieu est très favorable à la PAC géothermique.

La Wilaya d'El oued est une zone qui est situé sur une grande nappe d'eau sous terrienne. Cette eau peut être une source d'énergie pour les PAC géométriques.

Cette source gratuite peut être utile:

- Dans l'habitation pour le chauffage des hôpitaux, des complexes, des écoles, le centre universitaire...etc et peut être aussi utile pour le chauffage de l'eau sanitaire.
- Dans l'agronomie pour le chauffage des serres, séchage du tabac (région d'El oued), séchage des liguâmes ou autres.
- Dans l'industrie pour séchage les pattes (région d'El oued) ou autres.

Conclusions

CONCLUSION GENERALE

Après une étude théorique et expérimentale de la pompe à chaleur on peut conclure:

1. La pompe à chaleur permet de couvrir 100% des besoins de chauffage d'un local ou autres en consommant seulement 30% d'énergie électrique, les 70% restants étant puisés dans l'environnement tout en le préservant
2. Le choix des fluides thermodynamiques se basent sur les propriétés physico-chimiques et un certain nombre de critères telle que thermodynamiques (obtention du rendement optimal, températures d'évaporation et de condensation comprises entre le point triple et le point critique), sécurité (toxicité, inflammabilité), techniques (action sur le milieu à refroidir, les matériaux constitutifs de la machine et les huiles de graissage) et économiques et écologiques.
La plupart des constructeurs des PAC utilisent actuellement le R-22 et R134a.
3. Plutôt que d'opposer les technologies, on propose l'hybridation, le solaire fournit 50 % de l'énergie annuelle de chauffage avec son incroyable rendement (puissance consommée : 0,08 kW), la pompe à chaleur fournit l'énergie manquante avec un rendement, faisant 3 à 4 fois mieux que les appoints traditionnellement intégrés aux chauffages solaires.
4. Les PAC n'ont aucune incidence sur l'ozone et que la PAC est moyen très efficace contre l'effet de serre.
5. Le sud d'Algérie (Wilaya d'El oued) est une source d'énergie renouvelable, grâce aux eaux des nappes qui sont un milieu est très favorable à la PAC géothermique.

Bibliographie et liens

Bibliographie

- Me Béatrice JOURDON et M Abdoulaye NDIAYE Cours de thermodynamique, France.
- Roger Dumon et Gérard Cherysostome, Les pompes à chaleur, 2^e édition 1982.
- Stéphanie Laporte, Petit guide des pompes à chaleur géothermales.
- TP 01/2008 université Kasdi Merbah de Ouargla, département de physique – Algérie.
- TP 14/2006 (ENCPB) Ecole Nationale de Chimie, Physique et Biologie – France.
- Publication du Centre de Développement des Energies Renouvelables ISSN 1112-3850 Dépôt légal 2062-2002 – Algérie.
- C. G. Carrington, P. Bannister et Q. Liu, Université de Otagi, New Zealand, Article de recherche 1995: Performance of a scroll compressor with R134a at medium temperature heat pump conditions.
- Yunus A. Çengel and Michael A. Boles, Thermodynamics: An Engineering Approach, 5th edition
- José M. CORBERÁN, projet d'étude : développement d'une PAC performante utilisant le propane comme réfrigérant, Université Polytechnique de Valencia, Espagne.

Liens internet

- Association Française pour les Pompes à Chaleur – **AFPAC**, date de la consultation (avril 2010) www.afpac.org
- Wikipédia, le projet d'encyclopédie, date de consultation (avril 2010) [libre www.wikipédia.org](http://www.wikipédia.org)
- Société Piacezinc, date de la consultation (avril 2010) www.piac-solaire.com
- Magazine de l'innovation de la science et de la découverte de la société Futura-sciences, la date de la consultation (avril et mai 2010) www.futura-sciences.com
- Société Suisse pour la géothermie, date de la consultation (avril et mai 2010) <http://www.geothermal-energy.ch>
- www.energie-diderot.info
- www.u-bourgogne.fr
- <http://www.geothermal-energy.ch>