

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

« Evaluation de l'installation d'une Machine à absorption (LiBr-eau) pour la production de froid »

Préparé par : Martine Tohme

1-Faire du froid avec la chaleur d'été :

Les sources des énergies renouvelables sont multiples et variées (soleil, vent, eau, biomasse) et sont présentes partout. Elles sont inépuisables grâce aux cycles naturels. Le soleil peut fournir après transformation, de l'énergie thermique, de l'énergie rayonnante et de l'énergie électrique.

L'énergie solaire est une source de chaleur et d'eau chaude très répandue, cependant elle peut servir à la climatisation des maisons et donc réduire la consommation d'électricité nécessaire aux machines à air conditionné. Une idée nouvelle et originale à exécuter !

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

2- Compression thermique de vapeur : le froid à sorption :

Pour cela comparons dans le cycle frigorifique même, la compression mécanique qui est énergivore avec la compression thermique de vapeur : le froid à sorption.

Dans les systèmes à sorption, le froid est produit par une compression thermique de vapeur qui se substitue à la compression mécanique. La compression thermique de vapeur est obtenue grâce à l'utilisation de la chaleur provenant d'une source chaude et on obtient ainsi un cycle tritherme.

Schéma d'un cycle frigorifique à compression

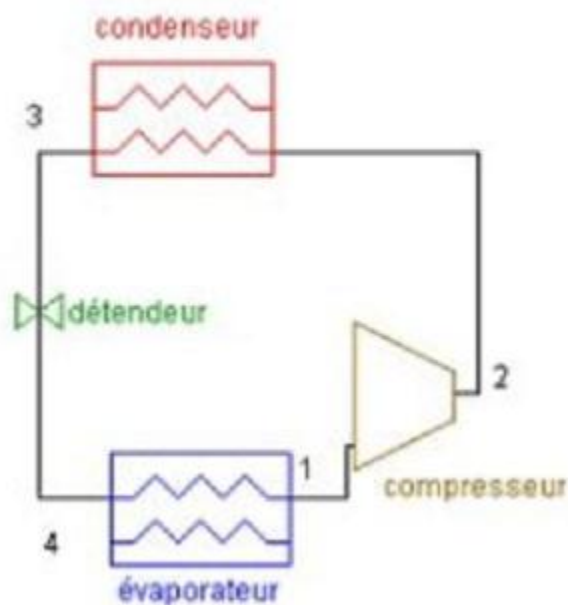


Fig.1.- Cycle frigorifique à compression mécanique

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

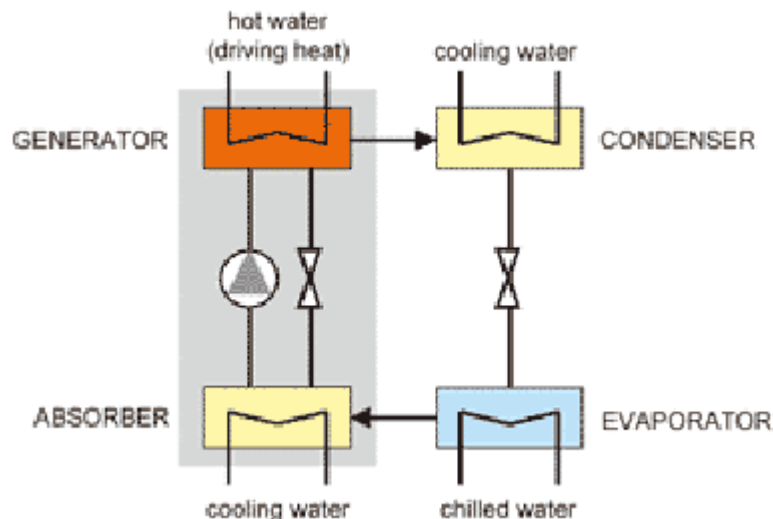


Fig.2.-Cycle frigorifique à compression thermique

La seule différence tient au fait que la transformation 1-2 est effectuée par un compresseur mécanique dans le cas classique et par un système à sorption dans le cas étudié qui est le système à absorption liquide dont le fluide absorbant est le bromure de lithium (LiBr) et le fluide frigorigène est l'eau (H₂O).

D'après des études faites, et en comparant les coûts des différents équipements des systèmes frigorifiques (chiller,DX....) on voit que le système de refroidissement optimal est celui de la machine à absorption de point de vue coût d'installation, consommation d'énergie et durée de vie.

3-L'efficacité énergétique ou COP-froid:

Une machine frigorifique est énergétiquement efficace si elle demande peu d'énergie pour fournir une puissance frigorifique donnée.

On évalue son efficacité par le calcul du COP (coefficient de performance) : rapport entre la puissance frigorifique produite et la puissance fournie au compresseur.

- Dans le cas d'une machine frigorifique traditionnelle, la puissance fournie est électrique. Le COP d'une telle machine peut atteindre la valeur de 3, voire plus.

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

- Dans le cas d'une machine frigorifique à absorption, le COP réel tourne autour de 0.7; celui d'une machine à adsorption varie entre 0.5 et 0.6.

4-Quel est alors l'intérêt d'une telle machine ?

- Un premier avantage réside dans l'absence de compresseur mécanique, donc de vibrations et de bruits. D'où le fait que ces machines demandent un entretien limité et présentent une grande longévité.
- Le second avantage vient de la possibilité de valoriser une énergie calorifique disponible et d'éviter ainsi la consommation électrique d'un compresseur.
- La cogénération permet de produire simultanément de l'énergie électrique et de la chaleur. La tri génération consiste à utiliser la chaleur disponible pour produire du froid lorsque la chaleur ne peut être valorisée pour le chauffage du bâtiment. Les machines frigorifiques à absorption sont alors utilisées.
- L'intérêt du refroidissement solaire réside aussi dans la simultanéité de la demande de froid et de l'ensoleillement. Lorsque la chaleur nécessaire au fonctionnement de la machine frigo est fournie par le soleil, le froid fourni est gratuit (pas de coût, pas de pollution).
- Pas de fluide frigorigène polluant, dégradant la couche d'ozone ou à effet de serre (CFC, HCFC, HFC...)

5-Quelques inconvénients ?

- La production frigorifique dépendant des apports solaires, le système ne fonctionne qu'en journée. Il est donc plutôt adapté à la climatisation d'entreprises, locaux ou machines ne fonctionnant que le jour.

Il est cependant possible de stocker de la chaleur emmagasinée en journée dans des ballons tampons ou des étangs solaires afin d'utiliser le système pendant les périodes non ensoleillées.

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

- La climatisation assistée présente des inconvénients sanitaires, mais aussi des risques pour la santé et l'environnement :
- Certains climatiseurs ou systèmes extérieurs de réfrigération produisent des eaux où, si les appareils sont mal entretenus, des organismes pathogènes peuvent proliférer. L'exemple le plus cité est celui de l'agent de la légionellose.
 - L'injection de désinfectants dans ces systèmes (produits chlorés en général) peut aussi poser des problèmes de santé, et favoriser l'apparition de pathogènes chlororésistants.
 - Presque tous les systèmes de climatisation comportent des filtres, qui doivent être nettoyés ou changés périodiquement ; cet entretien n'est pas toujours effectué.
 - Les produits tels que le bromure de lithium (LiBr) sont à la fois dangereux pour la santé et pour l'environnement. Utilisé dans les machines à absorption à raison de centaines de litres (plus de 1000 litres souvent dans les climatiseurs industriels), il peut fuir et doit être vidangé par des professionnels qualifiés en fin de vie de la machine. Après les faillites ou cessations d'activité, il est parfois difficile de savoir ce que sont devenus ces produits.

L'installation de la machine à absorption au Liban est très minime encore ; Cependant, beaucoup de précautions doivent être prises en considération afin d'assurer un bon investissement dans ce type de refroidissement

Température intérieure de confort	21°C
-----------------------------------	------

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

Température minimale	5°C
Vitesse du vent	24 Km/h
Température du sol (dessous du plancher)	12°C
Taux d'infiltration (fenêtres à encadrement métallique)	2.9 m ³ /h par mètre d'interstice
Taux d'infiltration (les portes d'entrée en bois)	5 m ³ /h par mètre d'interstice

Table 2 : Paramètres de Calcul de la charge maximale en chauffage.

La table 3 donne un résumé des résultats obtenus :

Local	S _{nette} (m ²)	Q _{con} kcal/h	Q _{infi} kcal/h	Q _{total} kcal/h (watts)
Chambre 1 (séjour)	20.09	2741	175	2916 kcal/h (3390 w)
Chambre 2 (cuisine)	20.21	2697	132	2829 kcal/h (3290 w)
Chambre 3 (salon)	27	2777	132	2909 kcal/h (3383 w)
Chambre 4 (coucher)	21	2859	215	3074 kcal/h (3574 w)
Chambre 5 (coucher)	16.65	2331	215	2546 kcal/h (2960 w)

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

Chambre 6 (coucher)	18.86	2422	83	2505 kcal/h (2913 w)
Chambre 7 (toilette)	6.09	756	38	794 kcal/h (923 w)
Chambre 8 (toilette)	3.84	494	38	532 kcal/h (619 w)
Chambre 9 (entrée princi-)	13.2	1660	227	1887 kcal/h (2194 w)
Chambre 10 (2 ^{ème} Entrée)	9.1	1093	148	1241 kcal/h (1443 w)
Total maison	156.04 m²			21233 kcal/h (24690 watts)

Table 3 : calcul de la puissance de chauffage pour la maison.

a) Calcul de besoins annuels en chauffage

Le calcul de La puissance maximale en chauffage permet de dimensionner les éléments du système de chauffage comme la chaudière, les radiateurs, la tuyauterie et accessoires. Ce système doit être capable de maintenir le confort quelque soient la température extérieure en hiver.

Étant donné que les échanges thermiques sont toujours proportionnels à la différence de température interne-externe, il sera possible de déterminer les besoins en énergie en connaissant la température moyenne mensuelle de l'air dans les environs de la maison étudiée.

La table 4 permet de produire le calcul de besoins mensuels et annuel en chauffage à partir de données statistiques sur les moyennes de température extérieure en hiver.

Mois	T _{extérieure} Moyenne °C	$\Delta T =$ (T _{ex} -T _{in}) °C	Besoins Horaires Kcal/h	Nombre de jours	Besoins Mensuels Kcal	Besoins Mensuels KWh
Condition extrême	5	16	21233	-	-	-

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

Novembre	19	2	2654	30	1910880	2224
Décembre	14.6	6.4	8493	31	6318792	7354
Janvier	12.8	8.2	10882	31	8096208	9423
Février	13.3	7.7	10218	28	6866496	7992
Mars	14.9	6.1	8095	31	6022680	7010
Avril	17.5	3.5	4645	30	3344400	3893
Total an- née	156.04 m²			181	32559456	37896

Table 4 : calcul de besoins mensuels et annuel en chauffage.

1. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES SYSTÈMES

a) Description des systèmes en considérations

Un système de base et quatre options sont considérés :

- Le système de base opère avec une chaudière de chauffage à eau chaude dont la seule source d'énergie est le mazout; Les éléments de chauffage dans les chambres sont des radiateurs classiques installés en dessous de fenêtres extérieures;
- L'option no 1 : utilise le même système de chauffage avec chaudière à eau chaude, mais les éléments de chauffage sont des serpentins à eau chaude disposés en dessous du plancher;
- L'option no 2 : identique à l'option no 1, mais la chaudière de chauffage est remplacée par une pompe à chaleur air-eau dont la source d'énergie primaire est la chaleur gra-

La LETTRE

Numéro 26

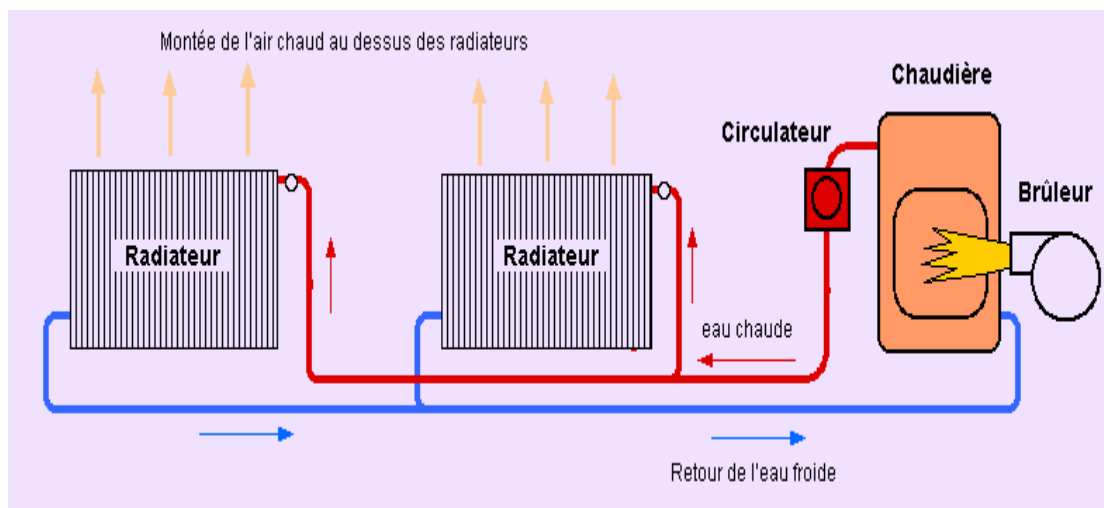
Mars 2014

tuite contenue dans l'air. l'électricité qui fait fonctionner la pompe à chaleur représente une source d'énergie secondaire;

- L'option no 3 : identique à l'option no 1, mais la chaudière de chauffage est remplacée par une pompe à chaleur eau-eau dont la source d'énergie primaire est la chaleur gratuite contenue dans l'eau souterraine. l'électricité qui fait fonctionner la pompe à chaleur représente une source d'énergie secondaire;
- L'option no 4 : identique à l'option no 1, mais la chaudière de chauffage est remplacée par une pompe à chaleur sol-eau dont la source d'énergie primaire est la chaleur gratuite contenue dans le sol. l'électricité qui fait fonctionner la pompe à chaleur représente une source d'énergie secondaire. Le capteur dans le sol est du type vertical étant donné que le capteur horizontal nécessite une grande surface de terrain.

b) Option de base : système avec chaudière au mazout et radiateurs

Ce système est représenté à la figure 1. Nous devons spécifier un endroit dans la maison pour installer la chaudière, le circulateur ou pompe à eau et la cheminée.



2.

3. *Figure 1 : Système de chauffage avec chaudière à eau chaude et radiateurs.*

La table 5 montre les résultats obtenus pour un système avec chaudière à eau chaude au Mazout.

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

Mois	Besoins Mensuels Kcal	Besoins Mensuels KWh	Rendement de la chaudière	Consommation de la chaudière KWh	Consommation litre du mazout litres	Prix du mazout consommé \$
Novembre	955440	1112	85 %	1308	131	131
Décembre	5331504	6205	85 %	7300	730	730
Janvier	7108920	8274	85 %	9734	973	973
Février	5974752	6954	85 %	8181	818	818
Mars	5035392	5861	85 %	6895	690	690
Avril	2388960	2780	85 %	3271	327	327
Total année	26794968	31186	-	36689	3669	3669

Table 5 : consommation du système de chauffage avec chaudière à eau chaude.

Ce tableau est développé avec les considérations suivantes :

- Pouvoir calorifique inférieure de mazout extra léger (huile de chauffage) :

PCI =10 KWh/litre

- Si le rendement de la chaudière est $r = 0.85$ (85 %), donc la consommation de la chaudière: $\text{Consommation} = \text{besoins mensuels} / r$
- Besoins en litres du mazout = consommation de la chaudière / PCI
- Le prix de litre du mazout = 1 \$/litre.

c) Option 1 : système avec chaudière au mazout et plancher chauffant

L'option no 1 utilise le même système de chauffage avec chaudière à eau chaude, mais les éléments de chauffage sont des serpentins à eau chaude disposés en dessous du plancher (partie basse de la figure 2).

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014



Une installation de chauffage central à eau chaude comprend une production de chaleur (ici, une chaudière), une distribution (des canalisations) et des émetteurs (ici, un plancher chauffant et des radiateurs).

Figure 2 : Système de chauffage avec chaudière à eau chaude et plancher chauffant.

La consommation énergétique de cette option est identique à l'option précédente. Le réseau de chauffage par contre est distribué à basse température. Ce système possède quelques avantages : chauffage et distribution uniforme de la chaleur; pas d'interférence avec ce système se manifeste par la basse température de l'eau qui augmente la performance des systèmes d'économie d'énergie comme les capteurs solaires ou les pompes à chaleur.

d) Option 2 : système avec pompe à chaleur air-eau

Dans cette option, la chaudière à eau chaude est remplacée par une pompe à chaleur air-eau. La source d'énergie primaire est l'énergie gratuite contenue dans l'air extérieur. Le réseau de distribution de chaleur est à l'eau chaude produite par la pompe à chaleur. La chaleur est diffusée dans chaque local via un plancher chauffant avec un serpentin de tuyaux d'eau chaude en dessous du plancher. Avec cette disposition, la chaleur est produite à basse température ce qui donne un rendement élevé de la pompe à chaleur.

Dans cette option, le rendement de la pompe à chaleur est variable en fonction de la température extérieure. Ce rendement est établi à partir du coefficient de performance de la pompe à chaleur (COP) qui est défini comme le rapport entre l'énergie calorifique fournie par la

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

pompe à chaleur et l'énergie électrique consommée par celle-ci. L'énergie supplémentaire fournie par la pompe à chaleur représente l'énergie gratuite soutirée de l'air extérieur. Pour un chauffage avec un plancher chauffant, une température de 35 °C suffit pour le chauffage de la maison.

D'après ce qui précède, il est possible de déterminer la consommation électrique nécessaire à l'opération de la pompe à chaleur air-eau (Tchaud =24 °C). La table 6 donne les résultats :

Mois	Besoins Mensuels Kcal	Besoins Mensuels KWh	Température extérieure °C	Valeur approximative COP	Besoins d'électricité KWh	Prix d'électricité consommé \$
No- vembre	955440	1112	19	4.8	232	81.2
Décembre	5331504	6205	14.6	4.5	1379	482.65
Janvier	7108920	8274	12.8	4.0	2068	723.8
Février	5974752	6954	13.3	4.1	1696	593.6
Mars	5035392	5861	14.9	4.5	1302	455.7
Avril	2388960	2780	17.5	4.7	591	206.85
Total an- née	2679496 8	31186			7268	2543.8

Table 6 : consommation du système de chauffage avec pompe à chaleur air-eau.

Ce tableau est développé en considérant un cout d'électricité de 0.35 \$/KWh (200 L.L/KWh pour EDL et 850 L.L/KWh pour générateur dans notre région, on considère leur moyenne). A cette consommation s'ajoute la consommation nécessaire à la force motrice du ventilateur d'air qui représente près de 15 % de la consommation de la pompe à chaleur. Le cout total de consommation de cette option s'élève à **2925.37 \$/an.**

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

e) Option 3 : système avec pompe à chaleur eau-eau

Dans cette option (figure 3), le rendement de la pompe à chaleur est variable en fonction de la température de l'eau soutirée du puits souterrain. Ce rendement est établi à partir du coefficient de performance de la pompe à chaleur (COP) qui est défini comme le rapport entre l'énergie calorifique fournie par la pompe à chaleur et l'énergie électrique consommée par celle-ci. L'énergie supplémentaire fournie par la pompe à chaleur représente l'énergie gratuite soutirée de l'eau souterraine.

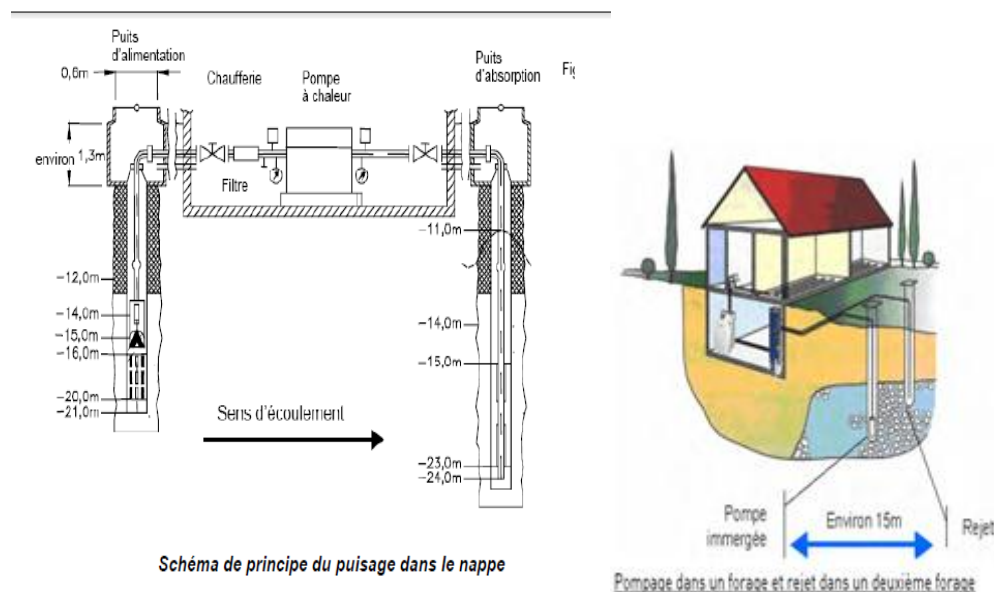


Figure 3 : Système de chauffage avec pompe à chaleur eau-eau.

La température de l'eau d'une nappe phréatique varie peu durant l'année. On peut considérer une température moyenne constante de 20 °C. Dans ce cas la valeur du COP sera évaluée à 5. La table 7 donne les résultats obtenus :

Mois	Besoins Mensuels Kcal	Besoins Mensuels KWh	Besoins d'électricité KWh	Prix d'électricité consommé \$
------	-----------------------	----------------------	---------------------------	--------------------------------

La LETTRE

Numéro 26			Mars 2014	
Novembre	955440	1112	222	77.7
Décembre	5331504	6205	1241	434.35
Janvier	7108920	8274	1655	579.25
Février	5974752	6954	1391	486.85
Mars	5035392	5861	1172	410.2
Avril	2388960	2780	556	194.6
Total année	26794968	31186	6237	2182.95

Table 7 : consommation du système de chauffage avec pompe à chaleur eau-eau.

A cette consommation s'ajoute la consommation nécessaire à la force motrice de la pompe à eau qui représente près de 15 % de la consommation de la pompe à chaleur. Le cout total de consommation de cette option s'élève à **2510.393 \$/an.**

f) Option 4 : système avec pompe à chaleur sol-eau (capteur vertical)

Dans cette option (figure 4), le rendement de la pompe à chaleur est variable en fonction de la température du sol souterrain. Ce rendement est établi à partir du coefficient de performance de la pompe à chaleur (COP) qui est défini comme le rapport entre l'énergie calorifique fournie par la pompe à chaleur et l'énergie électrique consommée par celle-ci. L'énergie supplémentaire fournie par la pompe à chaleur représente l'énergie gratuite soutirée en profondeur du sol.

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

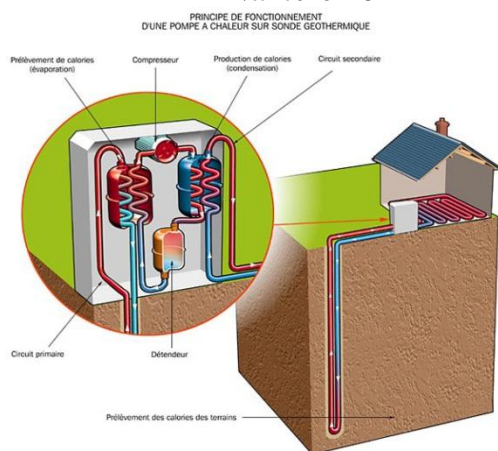


Figure 4 : Système de chauffage avec pompe à chaleur sol-eau.

La performance de pompes à chaleur sol-eau est semblable à celle obtenue avec une PAC eau-eau étant donné une température de sol peu variable et proche de celle de l'eau souterraine. Le fait que le sol est mauvais conducteur de la chaleur, l'écoulement de la chaleur est ralenti et la température du sol autour du capteur sera réduite. Dans notre calcul, nous avons retenu une valeur conservatrice de 4.5. La table 8 donne les résultats obtenus :

Mois	Besoins Mensuels Kcal	Besoins Mensuels KWh	Besoins d'électricité KWh	Cout d'électricité consommée \$
Novembre	955440	1112	247	86.45
Décembre	5331504	6205	1379	482.65
Janvier	7108920	8274	1839	643.65
Février	5974752	6954	1545	540.75
Mars	5035392	5861	1302	455.7
Avril	2388960	2780	618	216.3
Total an-née	26794968	31186	6930	2425.5

Table 8 : consommation du système de chauffage avec pompe à chaleur sol-eau.

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

A cette consommation s'ajoute la consommation nécessaire à la force motrice additionnelle pour entraîner le réfrigérant dans le sol. On évalue cette énergie à près de 15 % de la consommation de la pompe à chaleur. Le cout total de consommation de cette option s'élève à **2789.325 \$/an.**

4. ANALYSE ECONOMIQUE

L'énergie devient de plus en plus le produit le plus cher au monde. Mais la réalité veut que l'offre et la demande reste le maître du marché : toute option d'économie d'énergie ne peut voir la vie si elle n'est pas justifiée par sa rentabilité économique à court et moyen terme. Cette vision nécessite une étude de performance économique chaque fois qu'il existe une proposition d'économie d'énergie.

a) Option de base : système avec chaudière au mazout et radiateurs

Ce système a été présenté à la figure 1. Le calcul du cout approximatif (achat et installation) est montré au tableau 9.

Élément	Cout achat \$	Cout installation \$	Cout total \$
Chaudière et bruleur	2500	300	2800
Cheminée	300	200	500
Radiateurs	2000	500	2500
Pompe	200	100	300
Tuyauterie	1500	700	2200
Autres accessoires (réservoir mazout, vase d'expansion etc.)	500	200	700
Total	7000	2000	9000

Tableau 9 : cout du système avec chaudière au mazout et radiateurs à eau chaude.

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

b) Option 1 : système avec chaudière au mazout et plancher chauffant

Ce système a été présenté à la figure 2. Les éléments de chauffage sont des serpents à eau chaude disposés en dessous du plancher (partie basse de la figure 2). Le calcul du coût approximatif (achat et installation) est montré à la table 10.

Élément	Coût achat \$	Coût installation \$	Coût total \$
Chaudière et brûleur	2500	300	2800
Cheminée	300	200	500
Plancher chauffant pour les chambres	3000	1500	4500
Pompe	200	100	300
Tuyauterie	2500	700	3000
Autres accessoires (réservoir mazout, vase d'expansion etc.)	500	200	600
Total	9000	3000	12000

Table 10 : Coût du système de chauffage avec chaudière au mazout et planchers chauffants.

c) Option 2: pompe à chaleur air-eau et plancher chauffant

Ce système a été présenté au paragraphe (1.d). Le calcul du coût approximatif (achat et installation) est montré à la table 11.

Élément	Coût achat \$	Coût installation \$	Coût total \$
Pompe à chaleur air-eau	7000	800	7500
Résistance électrique auxiliaire	300	200	500
Plancher chauffant pour les chambres	3000	1500	4500
Pompe	200	100	300
Tuyauterie	2500	700	3000
Autres accessoires (installation extérieure PAC, vase d'expansion etc.)	500	200	600

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

Total	13500	3500	17000
--------------	--------------	-------------	--------------

Table 11 : cout du système avec pompe à chaleur air-eau et planchers chauffants.

d) Option 3: pompe à chaleur eau-eau et plancher chauffant

Ce système a été présenté à la figure 3. Le calcul du cout approximatif (achat et installation) est montré à la table 12.

Élément	Cout achat \$	Cout installation \$	Cout total \$
Pompe à chaleur eau-eau	7000	300	7300
Résistance électrique auxiliaire	300	200	500
Puits artésien et accessoires	3000	3000	6000
Plancher chauffant pour les chambres	3000	1500	4500
Pompe	200	100	300
Tuyauterie	2000	700	3200
Autres accessoires (installation PAC, vase d'expansion etc.)	500	200	700
Total	16000	6000	22000

Table 12 : cout du système avec pompe à chaleur eau-eau et planchers chauffants.

e) Option 4: pompe à chaleur sol-eau et plancher chauffant

Ce système a été présenté à la figure 3 (capteur vertical). Le calcul du cout approximatif (achat et installation) est montré à la table 13.

Élément	Cout achat \$	Cout installation \$	Cout total \$
Pompe à chaleur sol-eau	6000	800	6500
Résistance électrique auxiliaire	300	200	500
Forage puits et accessoires	2500	2500	5000
Plancher chauffant pour les chambres	4000	500	4500
Pompe	200	100	300

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

Tuyauterie	2500	700	3000
Autres accessoires (installation PAC, vase d'expansion etc.)	500	200	600
Total	16000	5000	21000

Table 13 : cout du système avec pompe à chaleur sol-eau et planchers chauffants.

5. COMPARAISON DES SYSTEMES

Dans la table 14, les paramètres sont calculés par rapport à l'option de base et pour durée de vie supposée 20 ans.

Option	Investissement \$	Consommation \$/an	Cout relatif réalisation \$	Cout annuel relatif consommation \$	"pay-back time" an	VAN \$
<u>Base</u>	9000	3669	0	0	-	-
<u>Option 1</u>	12000	3699	3000	0	-	-3000
<u>Option 2</u>	17000	2925.37	8000	-773.63	10.34	5960.581
<u>Option 3</u>	22000	2510.393	13000	-1188.607	10.94	8449.071
<u>Option 4</u>	21000	2789.325	12000	-909.675	13.2	4415.588

Table 14 : Evaluation de rentabilité pour les options considérées par rapport à l'option de base.

6.

7.

Option	8. Besoins d'énergie KWh	9. gCO ₂	10. MgCO ₂
<u>Base</u>	11. 36689 (mazout)	12. 9979408	13. ~10

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

<u>Option 1</u>	14. 36689 (mazout)	15. 9979408	16. ~10
<u>Option 2</u>	17. 7268	18. 6544834	19. ~6.5
<u>Option 3</u>	20. 6237	21. 5616418.5	22. ~5.6
<u>Option 4</u>	23. 6930	24. 6240465	25. ~6.2

Table 15 : Evaluation de l'émission de CO₂ pour les options.

La table 15 a traité en utilisant les paramètres ci-dessous :

- mazout produit 272 gCO₂/KWh
- pour EDL (15 % perte de transport, 35 % rendement de centrale (fuel lourd) et 95 % de centrale sont thermiques et 5 % hydrauliques).

Fuel lourd produit 282 gCO₂/KWh en tenant compte les paramètres précédents : $282 \cdot 0.95 / (0.85 \cdot 0.35) = 900.5$ gCO₂/KWh.

26. DISCUSSION, CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le système de base en chauffage utilisé pour mesurer la performance énergétique et économique d'un système 'pompe à chaleur' est également important. À titre d'exemple, on peut chauffer la maison par la méthode traditionnelle avec chaudière au mazout et radiateurs dans les chambres, ou par un système similaire qui remplace les radiateurs par un chauffage distribué en dessous du plancher. Ce système qui produit presque la même consommation d'énergie que le système de base, procure un confort additionnel et évite le problème d'espace dans les chambres (pour rideaux ou autres), pour cela il coûte plus cher. Ce type de système est très approprié pour 'les pompes à chaleur' étant donné qu'il fonctionne à basse température et améliore grandement leur performance. Par conséquent ce système est considéré dans notre étude et peut servir comme système de base pour l'analyse des résultats.

Les critères résultant des problèmes d'entretien spécifiques à chaque option n'ont pas été considérés dans la présente étude.

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

Tous les couts sont approximatifs et varient selon le fournisseur ou pays d'origine de fabrication de systèmes (Europe, Chine, US, etc.). Mais nous considérons que la conclusion finale reste valide.

Le système de chauffage est considéré en opération 24 heures pour toute la saison d'hiver. L'utilisation partielle ou interrompu du système de chauffage implique le non validité des résultats obtenus avec cette étude.

En référant la table 14, on peut tirer les conclusions suivantes (et figure 5 ci-dessous) :

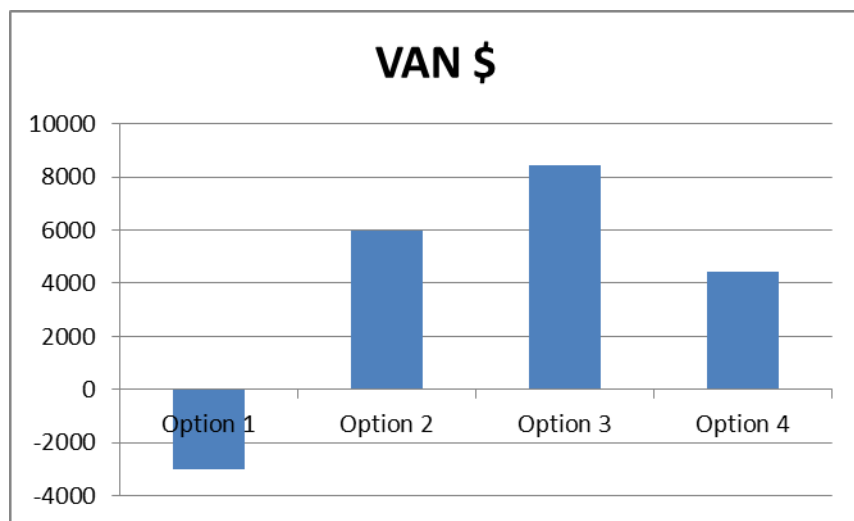


Figure 5 : Représentation de VAN de systèmes par rapport à celle de base.

- L'option no 1 consiste à remplacer les radiateurs dans les chambres par des tubes de chauffage installés en dessous du plancher de chaque chambre. La température de chauffage sera maintenue à 35 °C. Ce système n'utilise pas une 'pompe à chaleur' et produit la même consommation d'énergie qu'un système de chauffage traditionnel (option de base). Par contre ce système possède plusieurs avantages par rapport au système traditionnel dont le principal est sa compatibilité avec les systèmes 'pompes à chaleur' puisqu'il fonctionne à basse température de chauffage. Selon la table 14, cette

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

option coûte près de 3000 \$ de plus mais permet d'obtenir les avantages déjà mentionnés.

- L'option no 2 consiste à utiliser l'option no 1 et, en plus, remplacer la chaudière au mazout par une pompe à chaleur air-eau. La pompe à chaleur soutire l'énergie gratuite de l'air extérieur et la transmet à l'eau de chauffage maintenue à 35 °C. La chaleur est transmise finalement dans les chambres via un plancher chauffant. Selon la table 14, cette option donne du gain de 5960 \$ durant leur vie et de temps de retour de 10.34 ans. Cette solution est bien de l'option de base dans notre cas, mais à condition que le système de chauffage soit en opération continue. Si le système de chauffage est utilisé partiellement ou si la maison était mieux isolée thermiquement, les économies seront moins élevées et la période de retour de l'argent sera plus longue.
- L'option no 3 consiste à utiliser l'option no 1 et, en plus, remplacer la chaudière au mazout par une pompe à chaleur eau-eau. La pompe à chaleur soutire l'énergie gratuite de l'eau souterraine à l'aide d'un puits artésien et la transmet à l'eau de chauffage maintenue à 35 °C. La chaleur est transmise finalement dans les chambres via un plancher chauffant. Selon la table 14, cette option sera remboursé dans 10.94 ans et du gain de 8500\$ durant leur vie. Cette solution est l'idéale dans notre cas, mais à condition que le système de chauffage soit en opération continue. Si le système de chauffage est utilisé partiellement ou si la maison était mieux isolée thermiquement, les économies seront moins élevées et la période de retour de l'argent sera plus longue.
- Le même résultat peut être obtenu en considérant l'option no 4 qui utilise une pompe à chaleur sol-eau. Selon la table 14, cette option sera remboursée dans 13.2 ans avec du gain de 4415 \$ durant leur vie. Cette solution est également bien à celle de base dans notre cas, mais à condition que le système de chauffage soit en opération continue. Si le système de chauffage est utilisé partiellement ou si la maison était mieux isolée thermiquement, les économies seront moins élevées et la période de retour de l'argent sera plus longue. L'option no 3 reste une meilleure solution.

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

D'après ce qui a été discuté, il apparaît clairement que l'option no 3 qui utilise une pompe à chaleur eau-eau semble être le plus rentable économiquement. Selon notre opinion, cette conclusion est obtenue à cause d'une température d'eau modérée au Liban, ce qui donne un meilleur rapport (performance/prix). Les deux autres options (PAC air-eau ou sol-eau) restent toujours très rentable par rapport à un système de chauffage traditionnel.

Reste à mentionner que les questions du cout d'entretien et de la vie souhaitée pour chaque système n'ont pas été discutées. Ces questions peuvent influencer sur l'exactitude de nos conclusions. Ces deux paramètres sont défavorables à la solution avec pompe à chaleur.

Le même commentaire peut être mentionné au niveau de l'environnement (gaz à effet de serre et production de gaz toxiques) lors de fonctionnement qui donne avantage aux solutions avec pompes à chaleur et surtout pour l'option 3 qui a la minimum émission de CO₂ (figure 6) et de plus la plus rentable économiquement (figure 5).

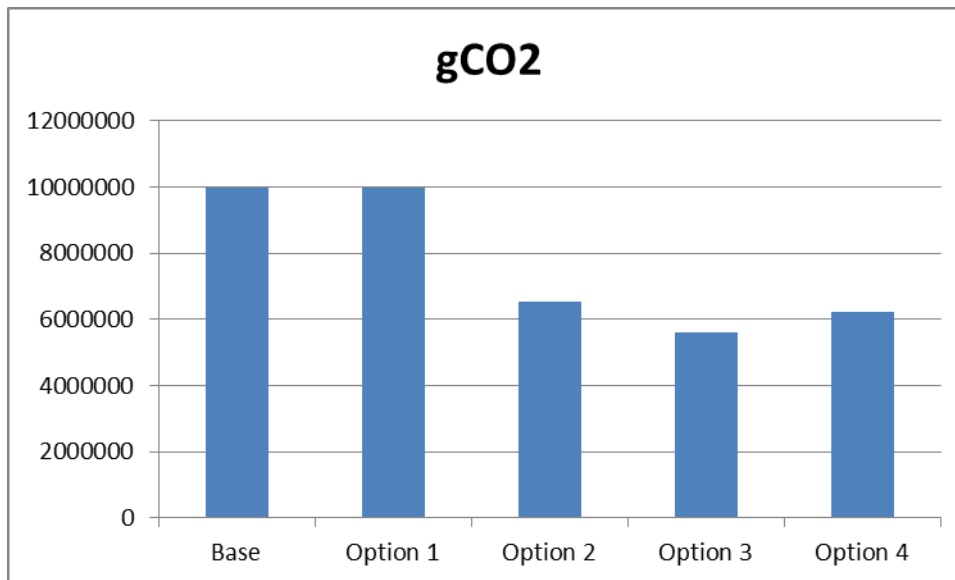


Figure 6 : Représentation de l'émission de CO₂ de chaque système

Espérons que l'objectif principal de cette étude soit complété, il sera toujours préféré de procéder à l'étude de chaque cas en particulier et ne pas généraliser les résultats à tous les systèmes qui utilisent des pompe à chaleur pour le chauffage de bâtiments. L'étude présentée

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

dans ce rapport nous propose simplement une méthodologie de travail afin d'atteindre un tel objectif.

Références:

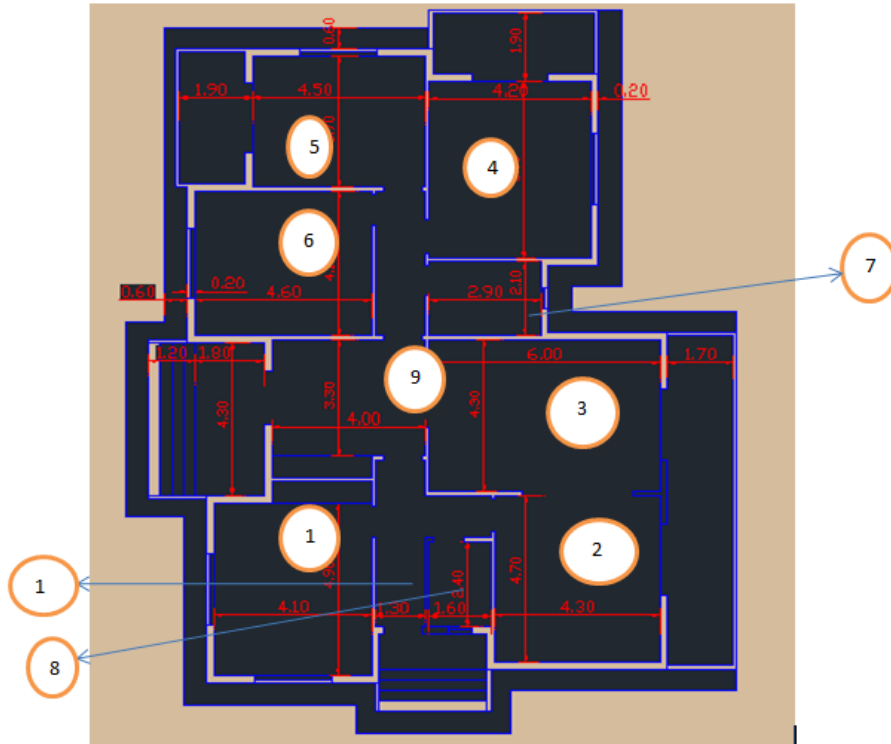
- ✓ 1ere Partie-bilan thermique (cour confort thermique et conditionnement de l'air).
- ✓ Indice de consommation d'énergie, Association Neuchâteloise d'information en Matière d'Énergie (ANIME).
- ✓ Cour Evaluation à projets pour énergie renouvelable.
- ✓ http://www.anah.fr/fileadmin/anahmedias/eqtor/pdf/pompes_a_chaleur.pdf
- ✓ <http://www.idealoo.fr/cat/18406F1562017-1562052/chaudieres.html>
- ✓ <http://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaaleur/aspects-techniques/>
- ✓ La pompe à chaleur, un système de chauffage simple et efficace, DB Techniques Sàrl Case postale 246, 1400 Yverdon-les-Bains.
- ✓ Pompes à chaleur et habitat, PROSPECTIVE DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE ET DES EMISSIONS DE CO2 DANS L'HABITAT : LES GISEMENTS OFFERTS PAR LES POMPES A CHALEUR, Clip janvier 2007
- ✓ Petit guide des pompes à chaleur géothermales, Stéphanie Laporte, MARS 2004
- ✓ La pompe à chaleur : théorie simplifiée, Constitution Classification et Applications. Me Béatrice JOURDON et M Abdoulaye NDIAYE.
- ✓ Chaleur et confort sans gaspillage, le chauffage, la régulation, l'eau chaude; ADEME.
- ✓ Le chauffage central dans les habitations, Edition 1998.
- ✓ LES DIFFÉRENTS MODES DE CHAUFFAGE : www.pointp.fr/spip/IMG/SPIPCMD/pdf/chap17.pdf
- ✓ Plancher chauffant basse température géothermie très basse énergie, Tarif Décembre 2008
- ✓ Présentation du programme THERMASOL, Dimensionnement du chauffage par le sol, Jean Yves MESSE – THERMEXCEL
- ✓ <http://www.lv11.lignon-vert.fr/Atlantic%20Chauffage.pdf>

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

Annexe 1 : L'architecte de maison et la description des éléments de bâtiment

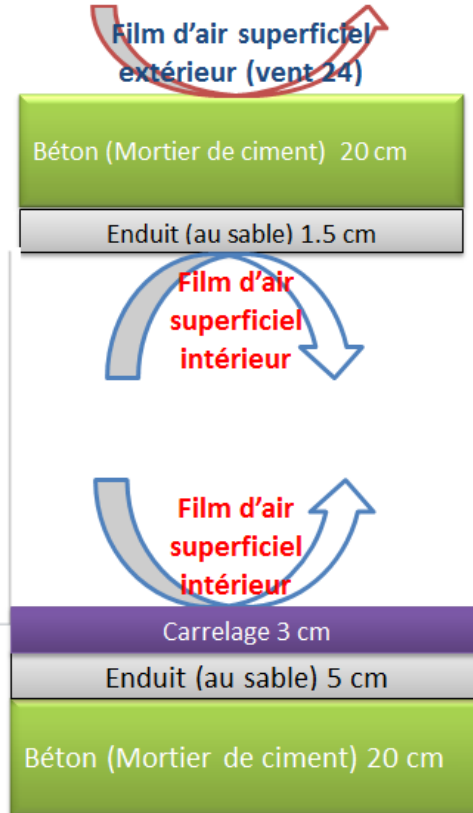


La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

- 1- enduit (au sable) 1.5 cm;
- 2- aggloméré creux (sable et gravier) 10 cm;
- 3- isolant en Fibre de verre 2,5 cm;
- 4- Aggloméré creux (sable et gravier) 7,5 cm;
- 5- Pierre calcaire 5 cm.



Annexe 2 : Formules utilisées dans le travail.

- leur :
 - ✓ $Q_{con} = K \cdot S \cdot \Delta T$
 - ✓ $Q_{infi} = 0.29 \cdot L \cdot T \cdot \Delta T$ avec Longueur interstice (L) et Taux infiltré (T)
- Transfert de chaleur :
 - Par conduction : Q
 - Par infiltration : Q
- Valeur Actuelle
- Nette : (i=10% et n=20)

La LETTRE

Numéro 26

Mars 2014

$$VAN = G \times \left(\frac{1 - \frac{1}{(1+i)^n}}{i} \right) - INV$$

- Le "pay-back time :

PB = montant initial de l'investissement / flux entrants nets annuels liés à l'investissement

1-