

# La LETTRE

*Numéro 25*

*Octobre 2013*

## Analyse de performance pour trois types de Pompes à Chaleur

Mostafa AL MASRI

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

## Sommaire

<u>Sommaire</u> .....	2
<u>1. INTRODUCTION</u> .....	3
<u>2. BILAN THERMIQUE DE CHAUFFAGE</u> .....	3
a) <u>Description du bâtiment</u> .....	3
b) <u>Résistance thermique des éléments du bâtiment</u> .....	4
c) <u>Calcul de la charge maximale en chauffage</u> .....	4
d) <u>Calcul de besoins annuels en chauffage</u> .....	6
<u>3. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES SYSTÈMES</u> .....	7
a) <u>Description des systèmes en considérations</u> .....	7
b) <u>Option de base : système avec chaudière au mazout et radiateurs</u> .....	8
c) <u>Option 1 : système avec chaudière au mazout et plancher chauffant</u> .....	9
d) <u>Option 2 : système avec pompe à chaleur air-eau</u> .....	10
e) <u>Option 3 : système avec pompe à chaleur eau-eau</u> .....	11
f) <u>Option 4 : système avec pompe à chaleur sol-eau (capteur vertical)</u> .....	13
<u>4. ANALYSE ECONOMIQUE</u> .....	14
a) <u>Option de base : système avec chaudière au mazout et radiateurs</u> .....	14
b) <u>Option 1 : système avec chaudière au mazout et plancher chauffant</u> .....	15
c) <u>Option 2: pompe à chaleur air-eau et plancher chauffant</u> .....	15
d) <u>Option 3: pompe à chaleur eau-eau et plancher chauffant</u> .....	16
e) <u>Option 4: pompe à chaleur sol-eau et plancher chauffant</u> .....	17
<u>5. COMPARAISON DES SYSTEMES</u> .....	17
<u>6. DISCUSSION, CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</u> .....	18
<u>Reference:</u> .....	22
<u>Annexe 1 : L'architecte de maison et la description des éléments de bâtiment</u> .....	23
<u>Annexe 2 : Formules utilisées dans le travail</u> .....	24

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

## 1. INTRODUCTION

L'objectif de l'étude a été défini comme étant la détermination de la performance des systèmes 'pompe à chaleur' utilisés pour le chauffage de maisons. Les critères de performance sont nombreux : énergie, cout, économie, confort, environnement, fonctionnalité, entretien, etc. Le climat et la géologie locaux jouent un rôle déterminant. L'étude traite le cas d'une maison située au Liban dont les murs et le toit sont non isolés comme la plupart de maisons libanaises.

Le système 'pompe à chaleur' est considéré à énergie renouvelable. En fait, ce système soutire la plupart de son énergie de chauffage à partir d'une source de chaleur gratuite disponible dans l'air, l'eau souterraine ou le sol naturel. Le reste de son énergie provient de l'électricité. Le rapport énergie produite/énergie électrique (ou coefficient de performance COP) est variable selon les conditions d'opération.

## 2. BILAN THERMIQUE DE CHAUFFAGE

### a) Description du bâtiment.

Il s'agit d'une maison résidentielle située à proximité de la ville de Tripoli au nord du Liban, l'architecte de maison et la description des éléments de bâtiment (composition de mur, plafond et plancher) se trouve dans Annexe 1.

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

## b) Résistance thermique des éléments du bâtiment

Les résistances thermiques des éléments de bâtiment sont représentées par la table 1.

Eléments du bâtiment	R ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}/\text{Kcal}$ )	K=1/R ( $\text{Kcal}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}$ )
Murs extérieur	1.252	0.8
Plafond	0.207	4.83
Plancher	0.292	3.42
Fenêtres	0.303	3
Portes extérieurs	0.4	2.5

Table 1 : Résistances thermiques des éléments du bâtiment.

## c) Calcul de la charge maximale en chauffage

La charge maximale en chauffage permet de déterminer la puissance thermique de l'installation. Quel que soit le système de chauffage, il doit avoir une puissance capable de chauffer la maison dans les conditions les plus défavorables en hiver : soient une température extérieure minimale et un vent à une vitesse correspondante extrême. Les déperditions thermiques se produisent à travers l'enveloppe extérieure de la maison seulement (murs extérieurs, plafonds, planchers, fenêtres et portes extérieures) et dans les conditions de la table 2.

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

<b>Température intérieure de confort</b>	<b>21°C</b>
<b>Température minimale</b>	<b>5°C</b>
<b>Vitesse du vent</b>	<b>24 Km/h</b>
<b>Température du sol (dessous du plancher)</b>	<b>12°C</b>
<b>Taux d'infiltration (fenêtres à encadrement métallique)</b>	<b>2.9 m<sup>3</sup>/h par mètre d'interstice</b>
<b>Taux d'infiltration (les portes d'entrée en bois)</b>	<b>5 m<sup>3</sup>/h par mètre d'interstice</b>

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

La table 3 donne un résumé des résultats obtenus :

<b>Local</b>	<b>S<sub>nette</sub> (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>con</sub> kcal/h</b>	<b>Q<sub>infi</sub> kcal/h</b>	<b>Q<sub>total</sub> kcal/h (watts)</b>
<b>Chambre 1 (séjour)</b>	20.09	2741	175	<b>2916 kcal/h (3390 w)</b>
<b>Chambre 2 (cuisine)</b>	20.21	2697	132	<b>2829 kcal/h (3290 w)</b>
<b>Chambre 3 (salon)</b>	27	2777	132	<b>2909 kcal/h (3383 w)</b>

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

<b>Chambre 4 (coucher)</b>	21	2859	215	<b>3074 kcal/h (3574 w)</b>
<b>Chambre 5 (coucher)</b>	16.65	2331	215	<b>2546 kcal/h (2960 w)</b>
<b>Chambre 6 (coucher)</b>	18.86	2422	83	<b>2505 kcal/h (2913 w)</b>
<b>Chambre 7 (toilette)</b>	6.09	756	38	<b>794 kcal/h (923 w)</b>
<b>Chambre 8 (toilette)</b>	3.84	494	38	<b>532 kcal/h (619 w)</b>
<b>Chambre 9 (entrée principale)</b>	13.2	1660	227	<b>1887 kcal/h (2194 w)</b>
<b>Chambre 10 (2<sup>ème</sup> Entrée)</b>	9.1	1093	148	<b>1241 kcal/h (1443 w)</b>
<b>Total maison</b>	<b>156.04 m<sup>2</sup></b>			<b>21233 kcal/h (24690 watts)</b>

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

## d) 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 <sub>extérieure</sub> Moyenne °C	$\Delta T =$ (T <sub>ex</sub> -T <sub>in</sub> ) °C	Besoins Horaires Kcal/h	Nombre jours	Besoins Mensuels Kcal	Besoins Mensuels KWh
------	--	---	-------------------------------	-----------------	-----------------------------	----------------------------

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

Condition extrême	5	16	21233	-	-	-
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
<b>Total année</b>	<b>156.04 m<sup>2</sup></b>			<b>181</b>	<b>32559456</b>	<b>37896</b>

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

## 3. 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;

# La LETTRE

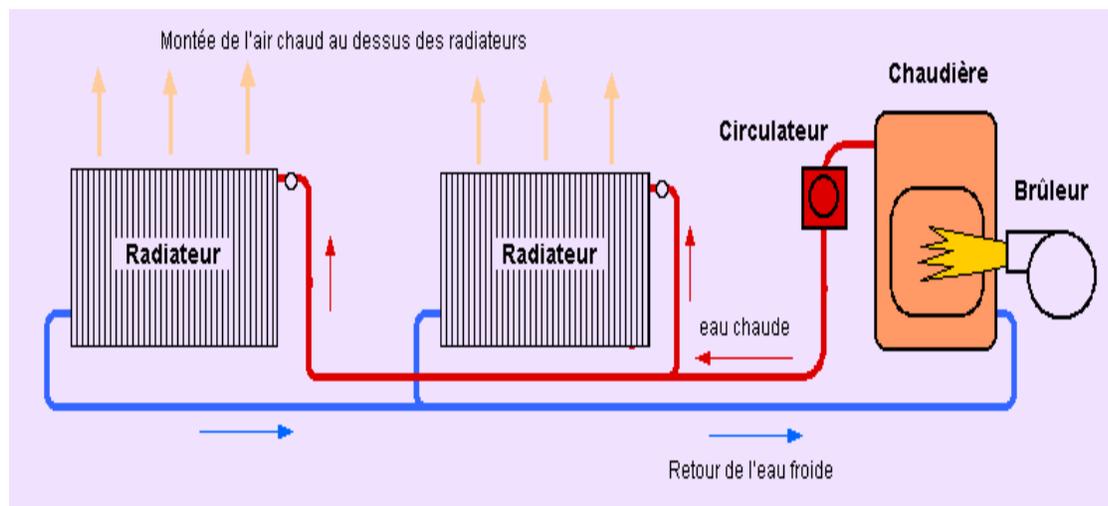
Numéro 25

Octobre 2013

- 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 gratuite 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.



4.

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

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

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

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
<b>Total année</b>	<b>26794968</b>	<b>31186</b>	-	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:  
Consommation = besoins mensuels /  $r$
- Besoins en litres du mazout = consommation de la chaudière / PCI
- Le prix de litre du mazout = 1 \$/litre.

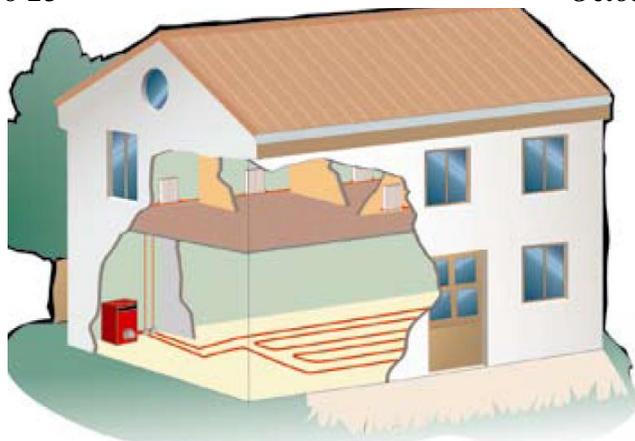
## c) Option 1 : système avec chaudière au mazout et plancher chauffant

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 25

Octobre 2013



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 pompe à chaleur et l'énergie électrique consommée par celle-ci. L'énergie supplémentaire fournie par la

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

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 ( $T_{\text{chaud}} = 24 \text{ °C}$ ). 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 \$
Novembre	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
<b>Total année</b>	<b>26794968</b>	<b>31186</b>			7268	2543.8

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

Ce tableau est développé en considérant un coût 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 coût total de consommation de cette option s'élève à **2925.37 \$/an.**

## 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-

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

ci. L'énergie supplémentaire fournie par la pompe à chaleur représente l'énergie gratuite soutirée de l'eau souterraine.

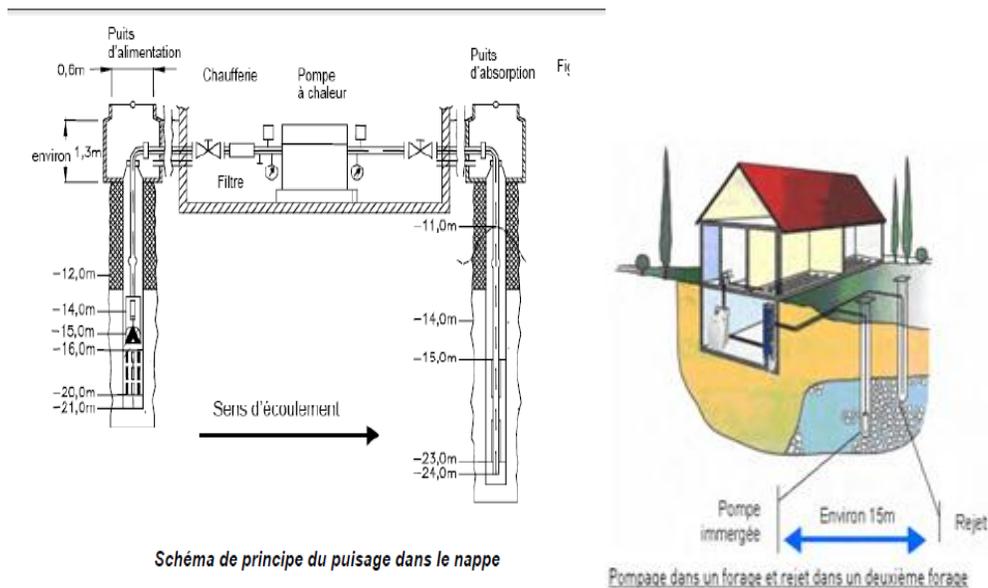


Figure 3 : Système de chauffage avec pompe à chaleur eau-eau.

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 \$
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

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

Avril	2388960	2780	556	194.6
<b>Total année</b>	<b>26794968</b>	<b>31186</b>	<b>6237</b>	<b>2182.95</b>

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.

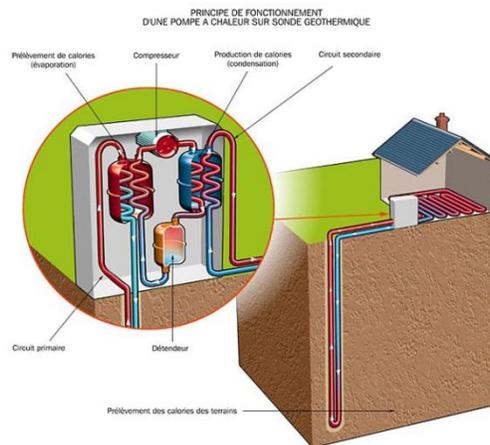


Figure 4 : Système de chauffage avec pompe à chaleur sol-eau.

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 LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

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
<b>Total année</b>	<b>26794968</b>	<b>31186</b>	6930	2425.5

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

A cette consommation s'ajoute la consommation nécessaire à la force motrice additionnelle pour entrainer 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.**

## 6. 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 maitre 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.

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

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
<b>Total</b>	<b>7000</b>	2000	9000

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

## 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 serpentin à eau chaude disposés en dessous du plancher (partie basse de la figure 2). Le calcul du cout approximatif (achat et installation) est montré à la table 10.

Élément	Cout achat \$	Cout installation \$	Cout total \$
Chaudière et bruleur	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
<b>Total</b>	<b>9000</b>	3000	12000

Table 10 : Cout 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 cout approximatif (achat et installation) est montré à la table 11.

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

Élément	Cout achat \$	Cout installation \$	Cout 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
<b>Total</b>	<b>13500</b>	<b>3500</b>	<b>17000</b>

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
<b>Total</b>	<b>16000</b>	<b>6000</b>	<b>22000</b>

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

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

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

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

## 7. 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

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

Option 4	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.

8.

9.

Option	10. Besoins d'énergie KWh	11. gCO <sub>2</sub>	12. MgCO <sub>2</sub>
<u>Base</u>	13. 36689 (mazout)	14. 9979408	15. ~10
<u>Option 1</u>	16. 36689 (mazout)	17. 9979408	18. ~10
<u>Option 2</u>	19. 7268	20. 6544834	21. ~6.5
<u>Option 3</u>	22. 6237	23. 5616418.5	24. ~5.6
<u>Option 4</u>	25. 6930	26. 6240465	27. ~6.2

Table 15 : Evaluation de l'émission de CO<sub>2</sub> pour les options.

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

- mazout produit 272 gCO<sub>2</sub>/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 gCO<sub>2</sub>/KWh en tenant compte les paramètres précédents :

$$282 * 0.95 / (0.85 * 0.35) = 900.5 \text{ gCO}_2/\text{KWh.}$$

## 28.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

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

système de base, procure un confort additionnel et évite le problème d'espace dans les chambres (pour rideaux ou autres), pour cela il coute 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 considéré dans la présente étude.

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) :

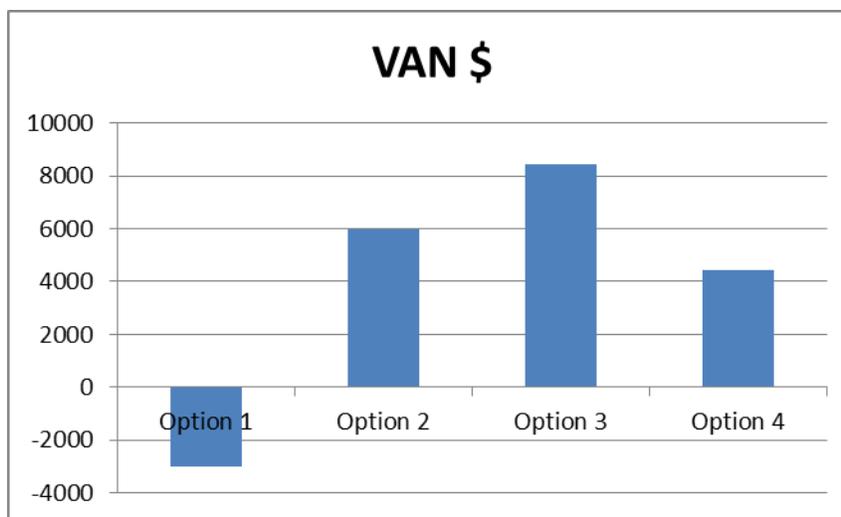


Figure 5 : Représentation de VAN de systèmes par rapport à celle de base.

- 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

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

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 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 thermi-

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

quement, les économies seront moins élevées et la période de retour de l'argent sera plus longue. L'option no 3 reste une meilleure solution.

D'après ce qui a été discuté, il apparait 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 CO<sub>2</sub> (figure 6) et de plus la plus rentable économiquement (figure 5).

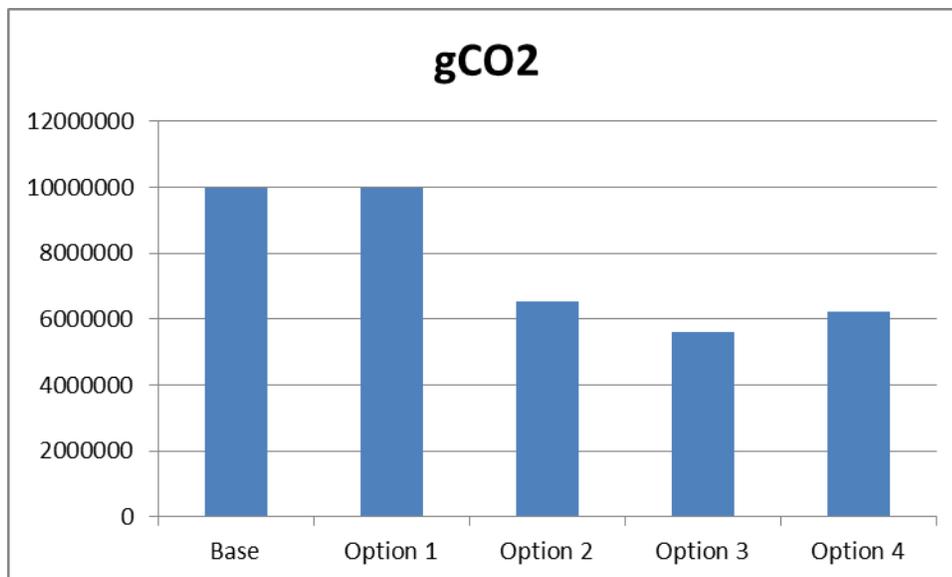


Figure 6 : Représentation de l'émission de CO<sub>2</sub> de chaque système

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013

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

**Re**

## **ference:**

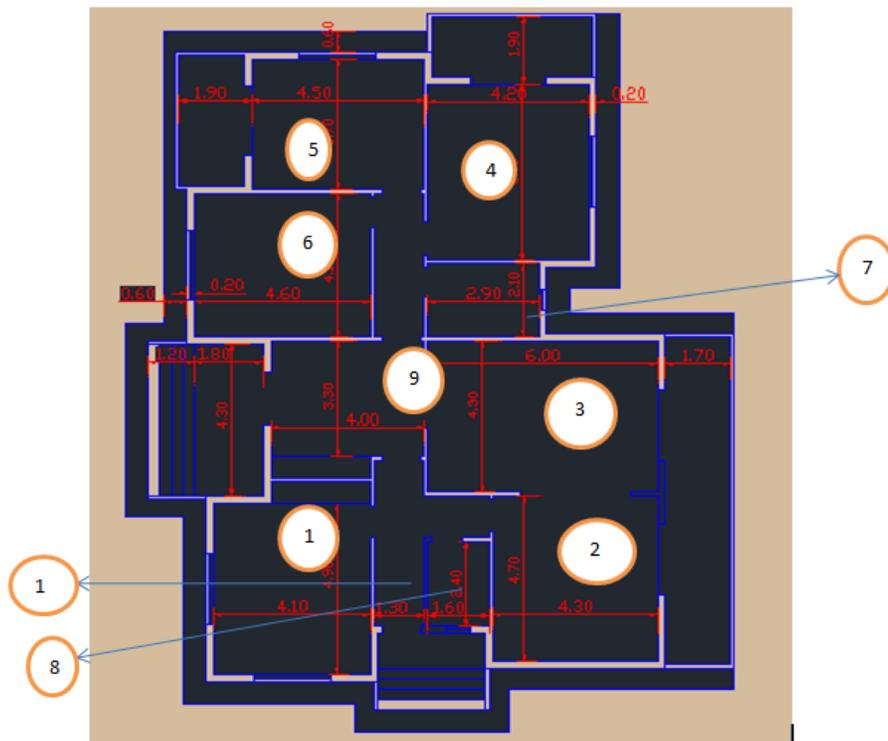
- ✓ 1ere Partie-bilan thermique (cour confort thermique et conditionnement de l'air).
- ✓ Indice de consommation d'énergie, Association Neuchâteloise d'information en Matière d'Energie (ANIME).
- ✓ Cour Evaluation à projets pour énergie renouvelable.
- ✓ [http://www.anah.fr/fileadmin/anahmedias/eqtor/pdf/pompes\\_a\\_chaleur.pdf](http://www.anah.fr/fileadmin/anahmedias/eqtor/pdf/pompes_a_chaleur.pdf)
- ✓ <http://www.idealoo.fr/cat/18406F1562017-1562052/chaudieres.html>
- ✓ <http://www.ef4.be/fr/pompes-a-chaleur/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](http://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 25

Octobre 2013

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

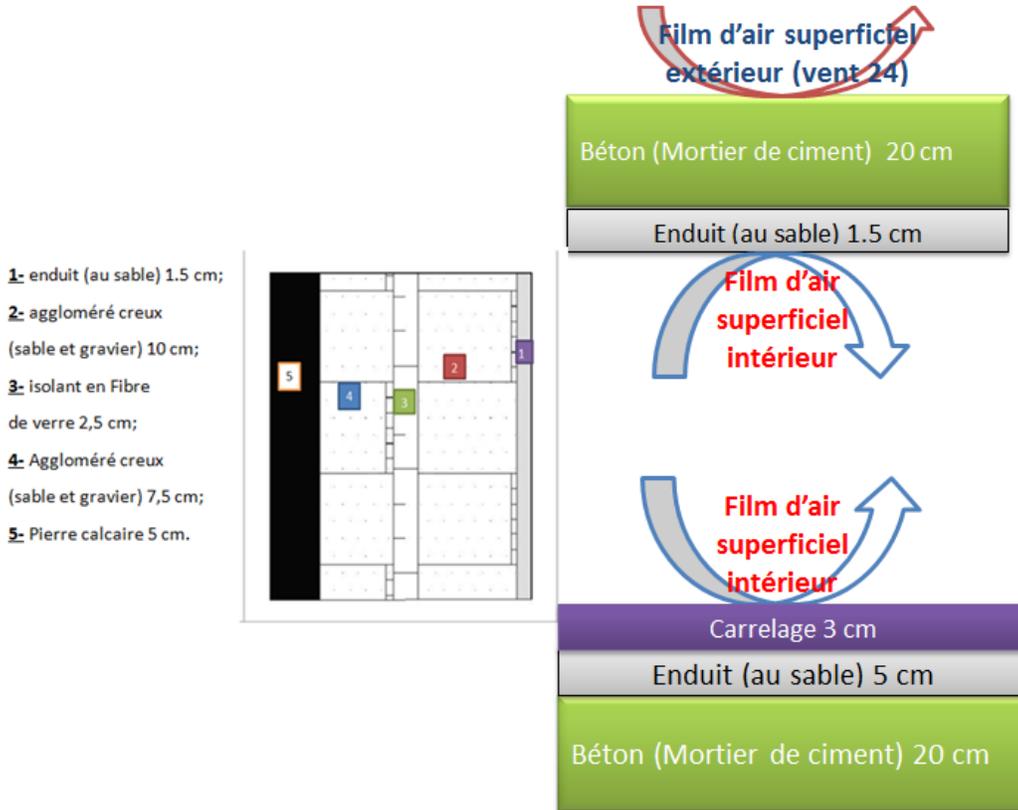


Cette lettre a été réalisée grâce au support de l'ADEME ([www.ademe.fr](http://www.ademe.fr))  
Directeur de publication: Hassane Jaber, Rédacteur en chef: Tony Matar  
Email: [alme@inco.com.lb](mailto:alme@inco.com.lb) web: [www.almee.org](http://www.almee.org).

# La LETTRE

Numéro 25

Octobre 2013



## 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)
  - Nette : (i=10% et n=20)
- Transfert de cha-  
 Par conduction : Q  
 Par infiltration : Q  
 Valeur Actuelle

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

# La LETTRE

*Numéro 25*

*Octobre 2013*

- Le “pay-back time :

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

1-