

Rapport final, décembre 2004

# **Pompe à chaleur sur sondes géothermiques pour chauffer et refroidir une PME**

Installation de chauffage et de climatisation  
des bureaux et des ateliers de l'entreprise

Roger Seematter SA à St-Légier

# **Pompe à chaleur sur sondes géothermiques pour chauffer et refroidir une PME**

Installation de chauffage et de  
climatisation des bureaux et des  
ateliers de l'entreprise

Roger Seematter SA

à St-Légier

## **Installation pilote et de démonstration**

### **Mandant:**

Office fédéral de l'énergie  
OFEN, 3003 Berne

### **Mandataire:**

Roger Seematter SA, Ch. De  
la Veyre d'en Haut A11,  
1806 St-Légier/Vevey

### **Auteurs:**

Morris Luthi,  
Roger Seematter

Cette étude a été élaborée dans le cadre du programme d'installations pilotes et de démonstration chaleur ambiante, CCF, froid de l'Office fédéral de l'énergie OFEN. Le mandataire de l'étude est seul responsable de son contenu.

### **Office fédéral de l'énergie OFEN**

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Adresse postale: CH-3003 Berne  
Tél. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.admin.ch/ofen

Diffusion: [www.pompeachaleur.ch](http://www.pompeachaleur.ch)

## Table des matières

<b>0.</b>	<b>Avant propos .....</b>	<b>4</b>
<b>1.</b>	<b>Descriptif du bâtiment et utilisation.....</b>	<b>5</b>
1.1	Structure du bâtiment.....	5
1.2	Besoins en chauffage et en refroidissement.....	6
<b>2.</b>	<b>But du projet.....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>Descriptif de l'installation .....</b>	<b>7</b>
1.3	Modes de fonctionnement.....	8
1.3.1	Refroidissement .....	9
1.3.2	Récupération de chaleur .....	9
1.3.3	Free cooling .....	10
1.3.4	Chauffage.....	10
<b>4.</b>	<b>Analyse de fonctionnement de la PAC .....</b>	<b>11</b>
1.4	Coefficient de Performance de la PAC .....	11
1.5	Déroulement des mesures .....	12
1.6	Résultats des mesures.....	13
<b>5.</b>	<b>Analyse Financière .....</b>	<b>14</b>
<b>6.</b>	<b>Impact écologique.....</b>	<b>15</b>
<b>7.</b>	<b>Remarques et améliorations possibles .....</b>	<b>15</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusions.....</b>	<b>15</b>
<b>9.</b>	<b>Liste des symboles et abréviations .....</b>	<b>16</b>
<b>10.</b>	<b>Remerciements .....</b>	<b>16</b>

## 0. Avant propos

L'entreprise Roger Seematter SA. a été fondée en 1973 à Vevey par Roger Seematter. Elle est active dans les domaines de la laverie industrielle, de la réfrigération commerciale et de la climatisation.

Compte tenu du développement important qu'elle a connu au cours de ces dernières années, les locaux SIS à Vevey sont devenus rapidement trop exigus pour faire face à l'augmentation de travail, tant du côté technique qu'administratif.

Entre le choix de louer de nouveaux locaux et la construction d'un bâtiment adapté aux besoins de l'entreprise, la décision s'est rapidement portée sur la construction, malgré l'investissement important que cela représente.

La planification du chantier et l'étude énergétique du bâtiment ont débuté en juin 2001 et c'est le 1er juin 2002 que l'entreprise s'installait dans ses nouveaux locaux.

Frigoriste de longue date, M. Roger Seematter est convaincu depuis de nombreuses années que la PAC (pompe à chaleur) est une des solutions énergétiques les plus intéressantes de notre époque, l'étude de l'installation de chauffage s'est donc immédiatement portée sur ce système.

L'étude énergétique du bâtiment a rapidement démontré que parallèlement aux besoins de chauffage, il était nécessaire d'assurer un rafraîchissement des locaux administratifs en raison du nombre de poste de travail prévu.

Ainsi, avec un chauffage par PAC nous disposons d'une machine permettant d'assurer tous les besoins en chauffage et rafraîchissement du bâtiment.

Il existe sur le marché des PAC réversibles qui permettent de choisir entre un mode de fonctionnement en chauffage ou en refroidissement.

La PAC réversible ne permettant pas d'assurer ce type de simultanéité, nous avons donc créé une installation adaptée à nos besoins sur la base d'une PAC standard sol/eau, permettant une utilisation combinée en chauffage et en refroidissement.

## 1. Descriptif du bâtiment et utilisation

L'ensemble du nouveau bâtiment représente un volume utilisable de plus de 4000 m<sup>3</sup> réparti entre trois zones administratives et deux zones d'atelier et de dépôt.

La partie ouest des locaux administratifs de l'entreprise R. Seematter SA s'étendent sur une surface totale de 343 m<sup>2</sup> et est situé au 1<sup>er</sup> étage du bâtiment. La zone d'atelier-dépôt située sous les locaux administratifs compte une surface de 255 m<sup>2</sup>.

La partie est quant à elle est occupée par une carrosserie comprenant une zone administrative de 112 m<sup>2</sup> également au 1<sup>er</sup> étage, et une zone d'atelier de 351m<sup>2</sup>.

Le local technique où se trouve la PAC ne compte que 15 m<sup>2</sup>.



Figure 1 : vue du bâtiment de l'entreprise R.Seematter SA

### 1.1 Structure du bâtiment

- Les fenêtres sont en aluminium thermolaqué côté extérieur, et PVC blanc côté intérieur, avec verre isolant 2 x 4mm, avec un coefficient de transfert  $U = 1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Les parois du bâtiment sont constituées de deux tôles d'aluminium et de 100 mm d'isolation. Le coefficient de transfert global des parois  $U = 0.324 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- La toiture plate est constituée d'une isolation thermique en plaques de laine de pierre de 60 mm d'épaisseur. Le coefficient de transfert global de la toiture  $U = 0.339 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

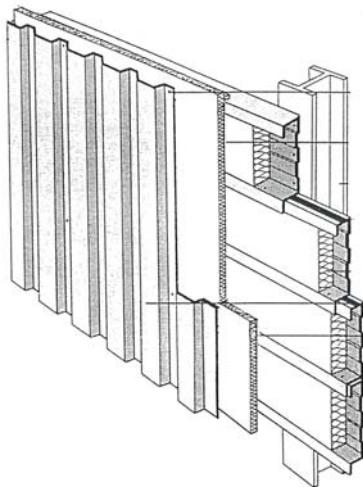


Figure 2 : Détails de la structure des parois

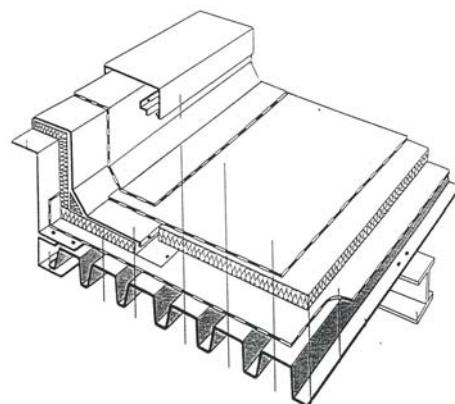


Figure 3 : Détail de la structure de la toiture

## 1.2 Besoins en chauffage et en refroidissement

En hiver, l'ensemble du bâtiment nécessite une puissance de chauffage de 27 à 30 kW. En été pour la zone administrative en comptant les ordinateurs et les personnes, une puissance de refroidissement de 21 kW est nécessaire.

## 2. But du projet

Dans le cas d'un bâtiment artisanal avec un étage comprenant un dépôt-atelier et un étage administratif pourvu d'un parc informatique non négligeable, nous sommes confrontés à des besoins simultanés de chaud et de froid.

Ainsi, ce projet a pour but de démontrer le fonctionnement d'une installation novatrice de pompe à chaleur sur sondes géothermiques pour la production simultanée de chaud et de froid, pour répondre à l'ensemble des besoins de chauffage et de refroidissement du bâtiment d'une PME. L'objectif par rapport aux performances de l'installation est d'atteindre un COP (Coefficient de performances) entre 3 et 3,5.

### 3. Descriptif de l'installation

L'installation est composée d'une PAC sur laquelle ont été ajouté deux échangeurs au niveau du condenseur. Celle-ci est couplée à trois sondes géothermiques implantées dans le terrain à 150m de fond qui permet de faire du sous-tirage l'hiver et du stockage d'énergie en été.

Un stock d'eau chaude et un stock d'eau froide assurent en permanence les besoins en chaud et en froid des différents consommateurs.

De plus, le stock d'eau chaude est muni d'un réservoir secondaire pour l'eau chaude sanitaire pour les besoins courants des occupants.

Le chauffage ou le refroidissement des zones de bureaux est assuré par des ventilo-convection plafonniers munis de deux batteries (chaude et froide), et le chauffage des ateliers par des aérothermes. Les locaux annexes (vestiaires, WC, douches et cage d'escaliers) sont chauffés par des radiateurs traditionnels.

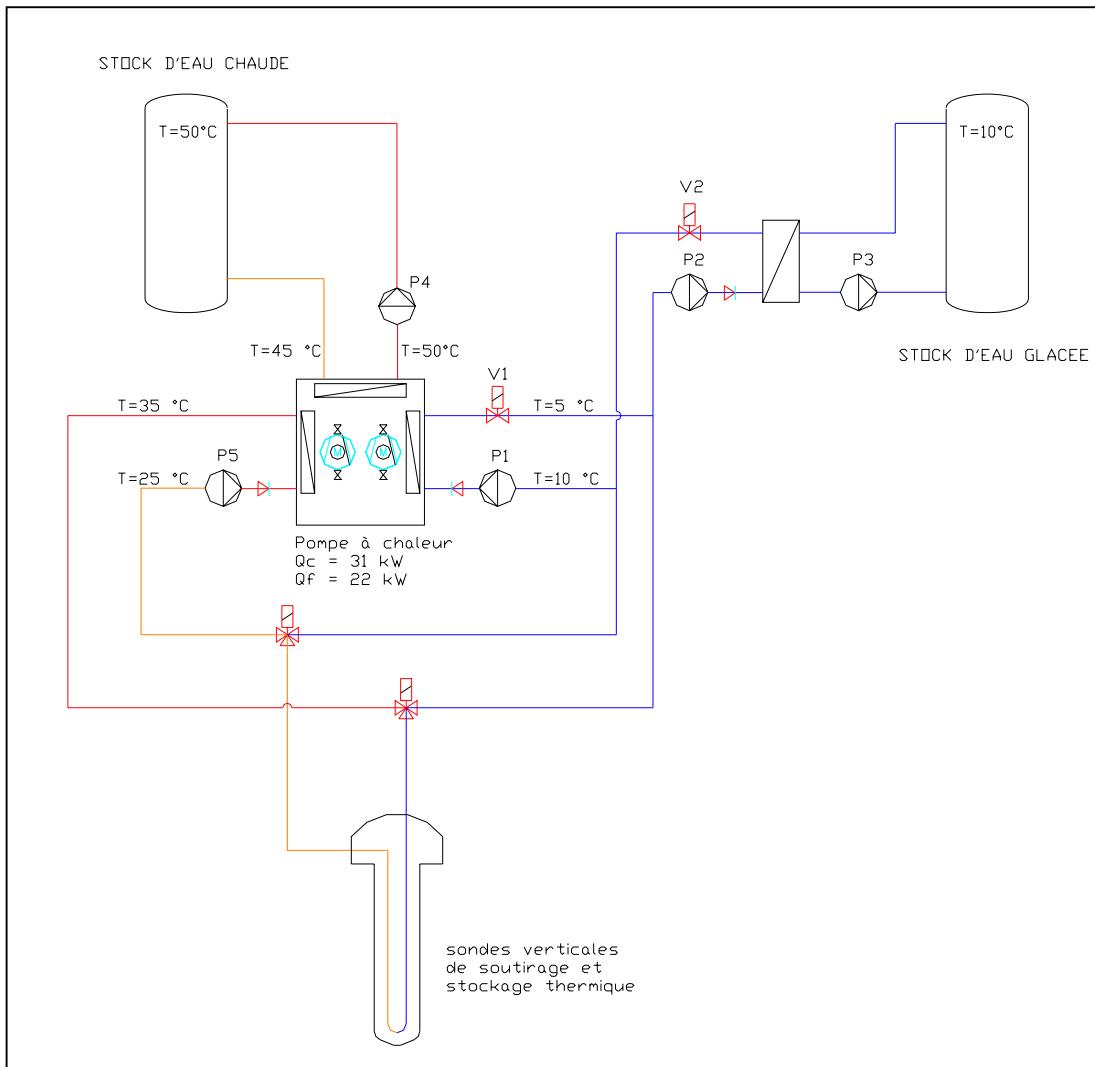


Figure 4 : Schéma de l'installation PAC avec sondes géothermiques et stock d'eau chaude et froide

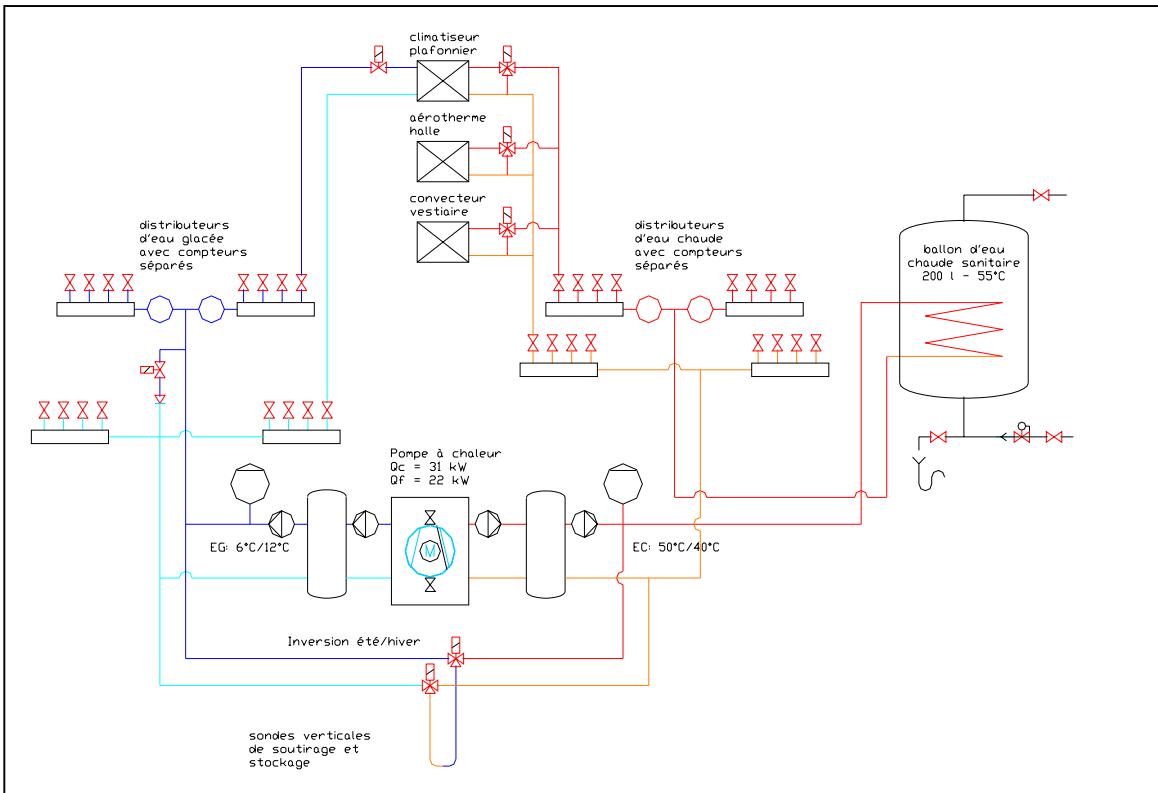


Figure 5 : Schéma de principe de l'ensemble de l'installation de chauffage et de refroidissement

Sur la figure 5, le ballon d'eau chaude sanitaire est représenté à l'extérieur du stock d'eau chaude ; en réalité celui-ci se trouve à l'intérieur du stock d'eau chaude.

### 1.3 Modes de fonctionnement

Tout au long de l'année, chaque consommateur peut puiser dans chacun de ses stocks en fonction de ses besoins.

L'installation PAC va assurer le maintien en température de ses stocks selon les modes de fonctionnement représentés sur les figures 6, 7, 8 et 9 des pages 9 et 10.

L'inertie de la masse du terrain permet de réaliser un stockage thermique au début de l'hiver (figure 6), de récupérer une part de l'énergie thermique générée par la climatisation en été et au printemps (figure 9), et de profiter du refroidissement du terrain durant la période hivernale pour assurer le refroidissement par free-cooling (figure 8).

Finalement, le mode récupération de chaleur permet de chauffer le stock d'eau chaude, donc l'eau chaude sanitaire par by-pass des sondes, et de refroidir le stock d'eau glacée (figure 7).

Les sondes terrestres verticales permettent de travailler avec une masse de terrain dont la température varie relativement peu en fonction des saisons et se maintient entre 8 et 12 °C. Cela permet donc de travailler aussi bien en hiver (sans crainte de perte de performance de la PAC) qu'en été, où l'évacuation de l'énergie peut être réalisée à une faible température de condensation soit à un COP élevé. Nous y reviendrons au chapitre suivant.

### 1.3.1 Refroidissement

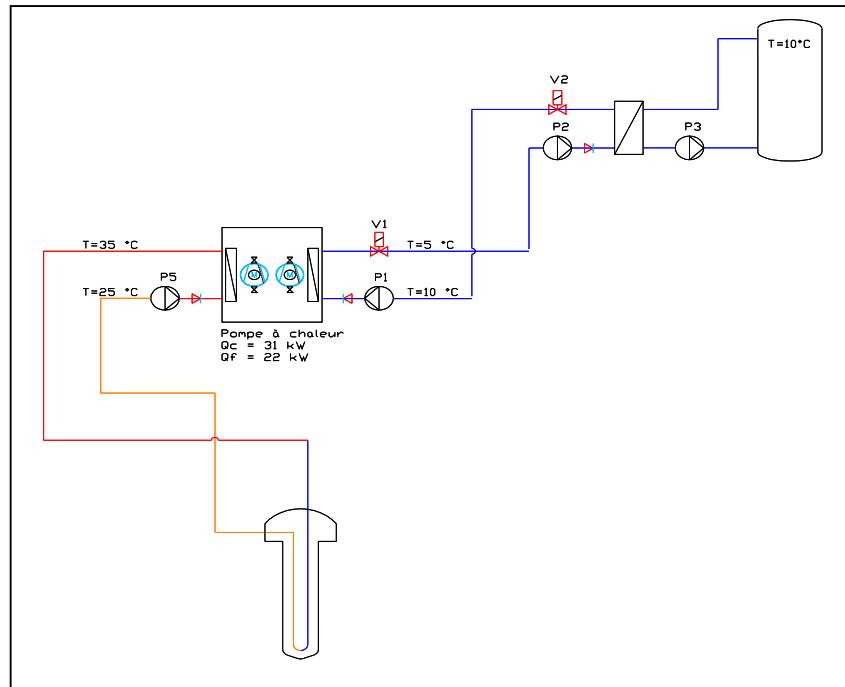


Figure 6 : Principe de fonctionnement en mode refroidissement

### 1.3.2 Récupération de chaleur

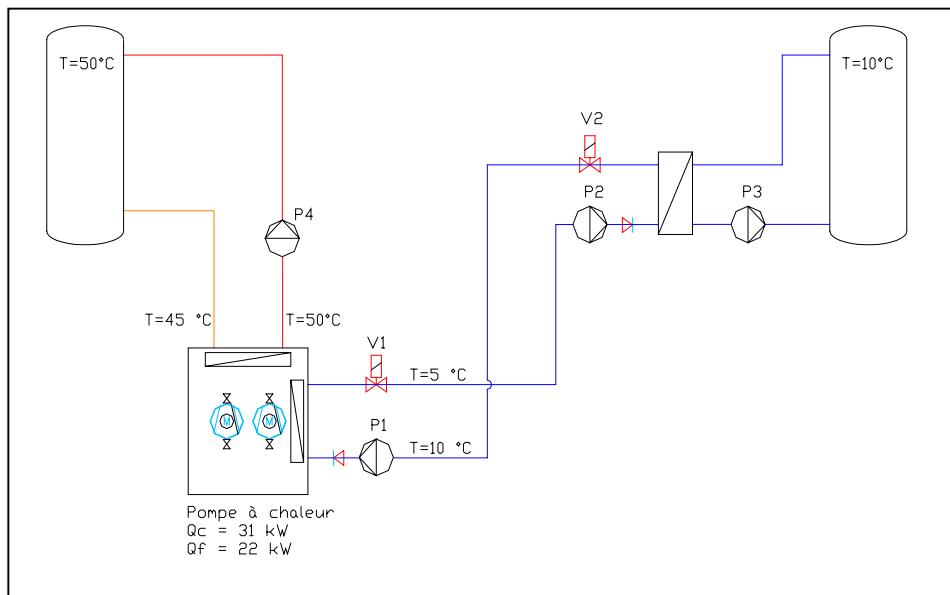


Figure 7 : Principe de fonctionnement en mode récupération de chaleur

### 1.3.3 Free cooling

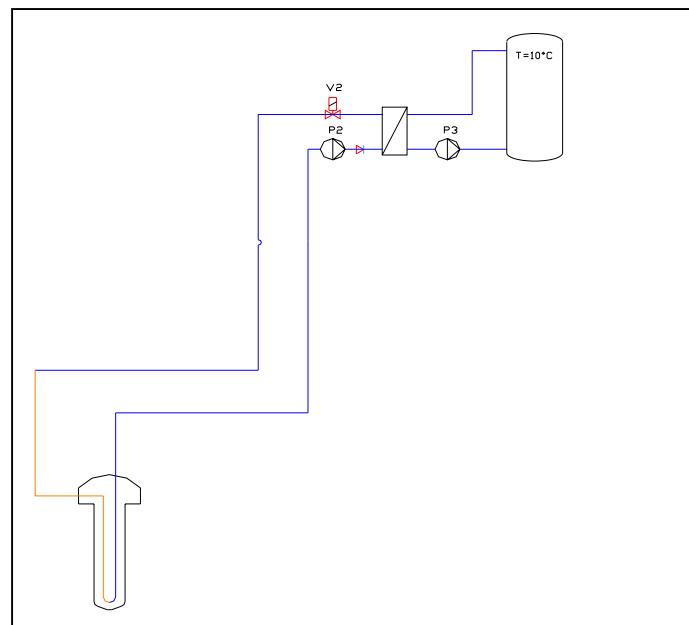


Figure 8 : Principe de fonctionnement en mode free cooling

### 1.3.4 Chauffage

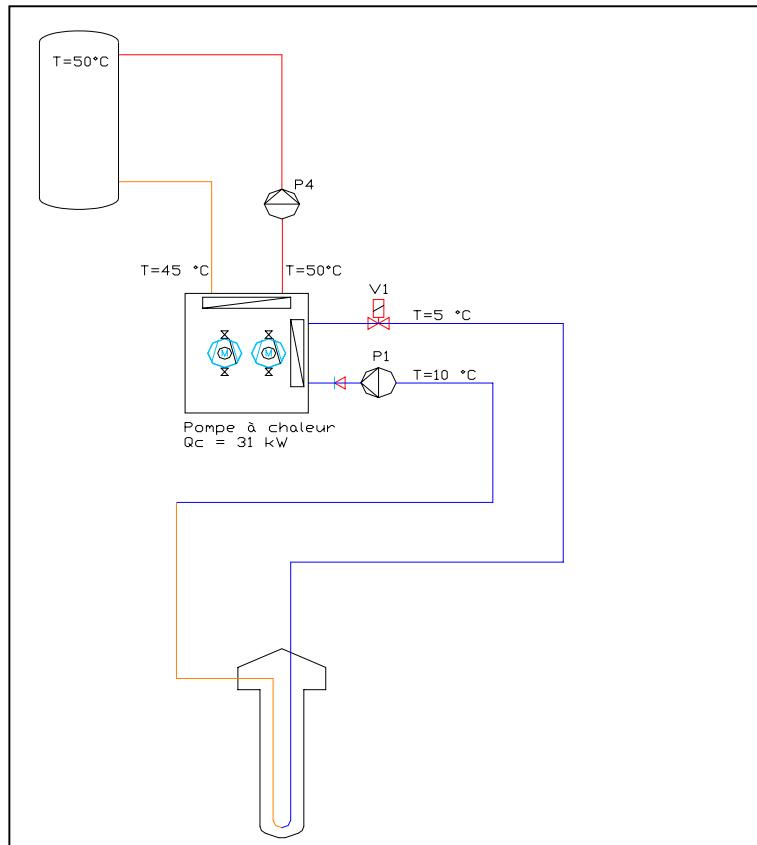


Figure 9 : Principe de fonctionnement en mode chauffage

#### 4. Analyse de fonctionnement de la PAC

Selon les mesures réalisées pendant les premiers mois de fonctionnement, les performances de la PAC ne correspondaient pas à nos attentes.

Suite à une analyse plus approfondie, il s'est avéré que la régulation de la PAC n'était pas conforme au cahier des charges transmis au fournisseur. Celui-ci est intervenu pour remédier à ce problème.

Suite au remplacement de la régulation, les performances de la PAC ont sensiblement augmenté, et correspondaient cette fois à nos attentes.

##### 1.4 Coefficient de Performance de la PAC

Le coefficient de performance de la PAC correspond au rapport entre l'énergie fournie à l'installation, et l'énergie utile consommée. Ceci est illustré par la figure suivante.

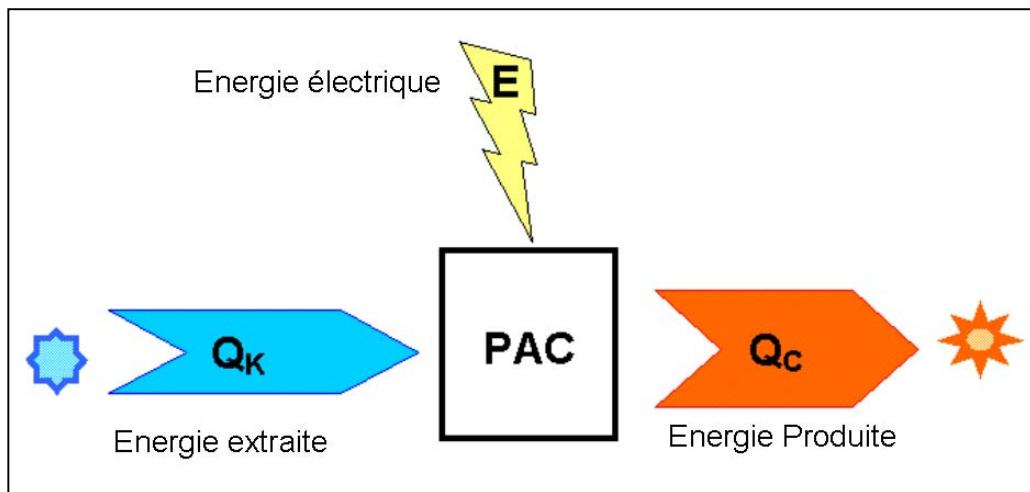


Figure 10 : Flux d'énergie au sein d'une PAC

Dans notre cas, l'énergie utile correspond à l'énergie consommée pour le chauffage ou pour le refroidissement, en fonction des besoins ponctuel des locaux.

Nous avons  $Q_c = Q_k + E$  donc  $Q_c / E = 1 + Q_k / E$

Ainsi, le Coefficient de Performance **COP** en mode chauffage

→  $\text{COP}_c = Q_c / E = 3 \text{ à } 4$

Et en mode refroidissement

→  $\text{COP}_k = Q_k / E = 2 \text{ à } 3$

Cependant, le COP qui nous intéresse ici est le COP moyen de l'ensemble de l'installation. C'est pourquoi il est nécessaire d'effectuer des mesures sur une longue période pour pouvoir évaluer correctement les performances de la PAC.

## 1.5 Déroulement des mesures

L'acquisition des données qui ont servi à calculer les performances de la PAC ont été faites manuellement, en relevant périodiquement les valeurs des compteurs d'énergie électrique consommée, et des compteurs d'énergie des consommateurs.

Le compteur d'énergie électrique nous donne la consommation électrique en kWh de l'ensemble du système de la PAC (moteurs des pompes, régulation, vannes...).

Des compteurs d'énergie des consommateurs affichent directement l'énergie consommée en kWh, en fonction du débit, et de la différence de température du fluide entre les conduites aller et retour des consommateurs.

La campagne de mesures s'étend sur une période de 21 mois. Soit du 17 octobre 2002 au 17 juin 2004, à raison d'un relevé au minimum par jour de travail.

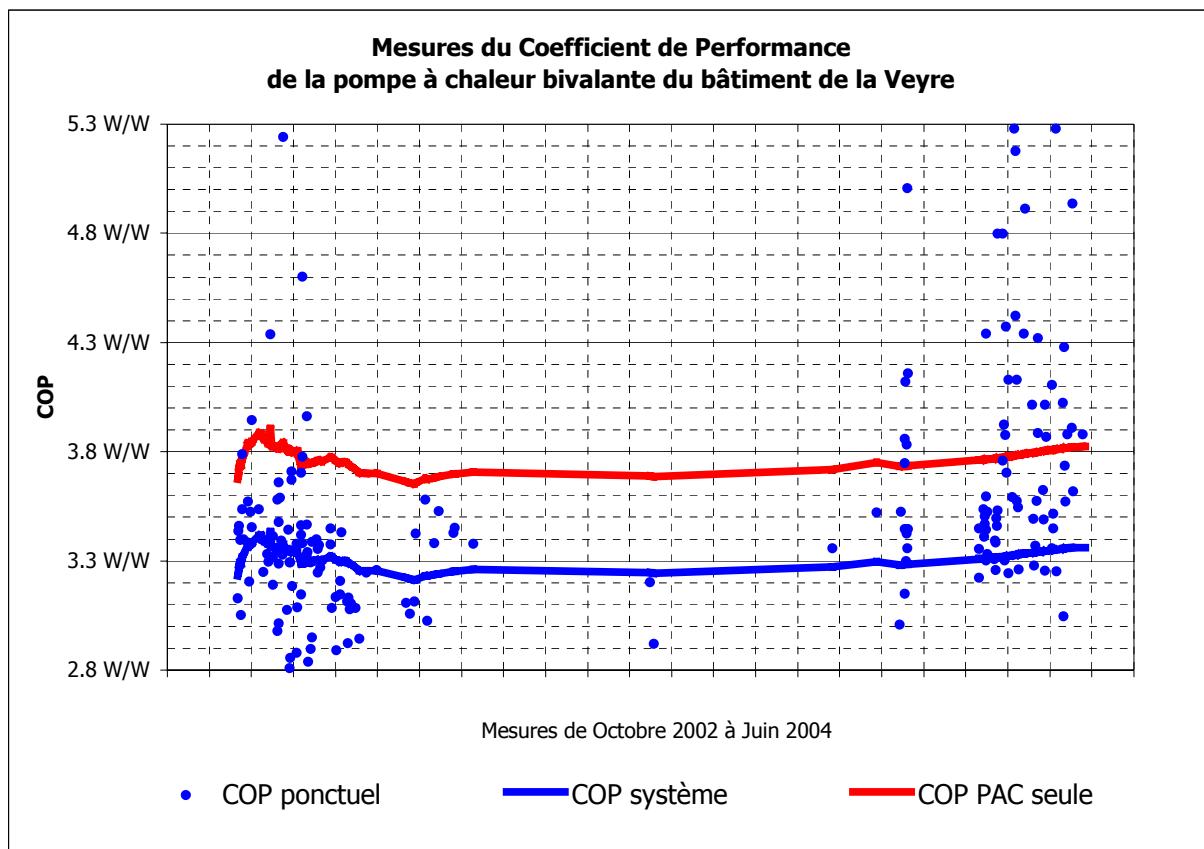


Figure 11 : Vue de la PAC dans le local technique du bâtiment de la Veyre

## 1.6 Résultats des mesures

Sur le graphique ci-dessous sont présentés trois COP différents.

- Le COP ponctuel du système représenté par des points, qui on le voit n'est pas représentatif des performances réelles du système, car il tient compte uniquement d'un état du système à un moment précis dans le temps.
- Le COP global du système représenté par le trait foncé. Celui-ci permet d'évaluer réellement les performances de l'ensemble du système sur la durée, et comparer ses avantages et inconvénients par rapport à d'autres systèmes qui fourniraient les mêmes prestations.
- Le COP global de la PAC seule représenté par le trait clair. Cependant, ces valeurs ne sont pas tout à fait exactes par rapport à la réalité, car nous n'avons pas de mesures de consommations des moteurs de pompes, des vannes, de la régulation... Celle-ci a été estimée et déduite au COP de l'ensemble du système.



Graphique 2 : Présentation graphique du COP de la PAC en fonction du temps

On constate que le COP global du système se situe entre 3.2 et 3.4.

## 5. Analyse Financière

L'investissement réalisé pour l'ensemble de l'installation de chauffage (eau chaude sanitaire comprise) et de refroidissement se monte à environ SFr. 193'000. —

Le prix d'une installation de chauffage conventionnelle au mazout se monte à environ SFr. 105'000. —

Cependant, il est important de signaler que la pompe à chaleur assure également la climatisation des bureaux. Il faut donc prendre en considération un investissement supplémentaire de près de SFr. 80'000. — pour une prestation égale.

Bien que le coût total d'investissement est supérieur à une chaudière conventionnelle, la PAC se justifie pleinement lorsque des installations de climatisations sont nécessaires.

D'autre part, la centralisation de la production frigorifique entraîne de meilleurs rendements énergétiques en fonctionnement refroidissement.

La consommation annuelle d'électricité se monte à environ 28'000 kWh, ce qui représente moins de SFr. 5'000. — d'électricité par année (en moyenne environ 400. — par mois).

2004	Consommation électrique tarif jour ( 0,213.- le kWh ) [kWh]	Consommation électrique tarif nuit ( 0,132.- le kWh ) [kWh]	Total SFr.
<b>Janvier</b>	2'122	2'572	791.-
<b>Février</b>	1'427	1'779	539.-
<b>Mars</b>	1'608	1'877	590.-
<b>Avril</b>	1'202	1'408	442.-
<b>Mai</b>	843	1'001	312.-
<b>Juin</b>	755	810	268.-
<b>Juillet</b>	600	555	201.-
<b>Août</b>	764	734	260.-
<b>Septembre</b>	823	853	288.-
<b>Octobre</b>	792	865	283.-
<b>Novembre</b>	1'299	1'480	472.-
<b>Décembre</b>	984	1'195	367.-
<b>TOTAL</b>	<b>13'219</b>	<b>15'129</b>	<b>4813.-</b>

Tableau 1 : Consommation d'énergie électrique de l'installation pour l'année 2004

L'utilisation combinée de la PAC sur sondes géothermiques permet d'économiser l'équivalent de 25'000 litre de mazout chaque année, soit l'équivalent d'un peu moins de 17'000. — par année.

Comparé à une chaudière traditionnelle, elle a l'avantage de réduire considérablement la surface nécessaire pour les installations techniques (pas de citerne), ainsi que les frais d'entretien (révision de citerne, ramonage).

## 6. Impact écologique

Le système choisi permet de limiter au maximum les répercussions des installations thermiques sur l'effet de serre.

En effet, d'une part nous limitons les rejets thermiques dans l'atmosphère en réalisant un sous-tirage / stockage de chaleur dans le terrain, d'autre part les émissions de CO<sub>2</sub> générées par l'entraînement de la PAC ne représentent que le 1.7 % des émissions d'une chaudière conventionnelle.

De plus, le sol est utilisé comme réservoir tampon, et la consommation d'énergie électrique est diminuée, au même titre que les rejets thermiques dans l'atmosphère, ce qui permet de lutter efficacement contre l'effet de serre.

## 7. Remarques et améliorations possibles

Au niveau de l'installation et du choix des appareils, aucune amélioration n'est nécessaire.

Par contre, un des points qui peut encore être amélioré concerne la régulation.

En effet, celle-ci représente le cœur de l'installation car sans elle rien ne fonctionnerait.

La régulation d'un tel système est relativement complexe. C'est pourquoi nous prévoyons prochainement d'ajouter à la régulation actuelle une gestion par ordinateur qui nous permettra d'analyser plus précisément le fonctionnement de l'installation entre les différents modes et de l'optimiser au maximum, de manière à réduire la consommation d'énergie électrique.

## 8. Conclusions

Le fonctionnement de l'installation a été démontré, et les résultats sont tout à fait satisfaisants. L'installation répond parfaitement aux besoins du bâtiment, tant au niveau du confort des occupants que au niveau des performances du système. L'objectif par rapport aux performances de l'installation a été atteint.

L'utilisation d'une PAC sur sondes géothermiques présente l'avantage d'utiliser une seule installation pour deux usages, ce qui représente un gain de place non négligeable dans le bâtiment, et réduit considérablement les frais d'entretien, comparé à une installation conventionnelle.

Grâce au système de PAC sur sondes géothermiques, nous assurons tous les besoins énergétiques d'une PME avec une seule machine tout en limitant au maximum les dégagements thermiques dans l'atmosphère.

Il apparaît donc assez clairement que ce type d'installation est une partie de la solution que l'homme peut apporter au grave problème que représente le réchauffement planétaire.

## 9. Liste des symboles et abréviations

<u>Abréviations / Unités</u>	<u>Désignations</u>
PME	Petite à Moyenne Entreprise
PAC	Pompe A Chaleur
COP (sans unités)	Coefficient de Performances global
COP <sub>C</sub>	Coefficient de Performances mode chauffage
COP <sub>K</sub>	Coefficient de Performances mode refroidissement
CO <sub>2</sub>	Gaz carbonique
T en [°C]	Température
Q <sub>C</sub> en [kW]	Puissance de chauffage
Q <sub>f</sub> en [kWh]	Puissance de refroidissement
Q <sub>C</sub> en [kWh]	Energie pour le chauffage
Q <sub>K</sub> en [kWh]	Energie pour le refroidissement
E en [kWh]	Energie électrique

## 10. Remerciements

Nos remerciements vont à

M. Rognon de l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN)

pour les conseils apportés.

A toutes les entreprise et personnes ayant participés de près ou de loin à la mise sur pied de l'installation du bâtiment de la Veyre.