

Synthèse des résultats d'une campagne de suivi d'un site équipé de trois pompes à chaleur à absorption gaz naturel

Site de Rumilly (74)

Conclusions :

Le site instrumenté de Rumilly a permis d'évaluer la technologie de pompe à chaleur géothermique à absorption gaz naturel en fonctionnement basse température (50°C) avec géo-cooling pour assurer un refroidissement des locaux durant l'été. Les résultats de ces mesures permettent de conclure au fonctionnement tout à fait satisfaisant du système :

- Les performances en chauffage mesurées in situ sont en moyenne de **140% sur énergie primaire** pour une température de production d'environ 50°C, soit une performance équivalente à celle mesurée en puissance nominale par le constructeur (150% à B0/W50).
- Le taux de disponibilité de l'installation a été de 100% avec un niveau de confort en température très satisfaisant, indépendamment des conditions de température extérieure.
- Le dimensionnement de l'installation est tout à fait correct, les trois pompes à chaleur étant sollicitées en même temps durant les jours les plus froids et permettant d'assurer l'ensemble des besoins de chauffage.

1. Présentation du site

Le site instrumenté est un centre scolaire (maternel et primaire) situé à Rumilly (74). L'établissement accueille 4 classes de maternelle (120 enfants) et 5 classes élémentaires (130 enfants) dans une surface chauffée de 2600m².

Le bâtiment est chauffé par une installation composée de trois **pompes à chaleur (PAC) à absorption au gaz naturel**, sans chaudière d'appoint. Chaque PAC géothermique a une puissance nominale de 37,7kW de chauffage. L'installation a été instrumentée et suivie sur une saison de chauffe, d'octobre 2012 à mars 2013.

Le suivi météorologique de l'installation permet de mesurer les consommations énergétiques de gaz naturel et d'électricité ainsi que les productions de chauffage et d'eau chaude sanitaire associées.

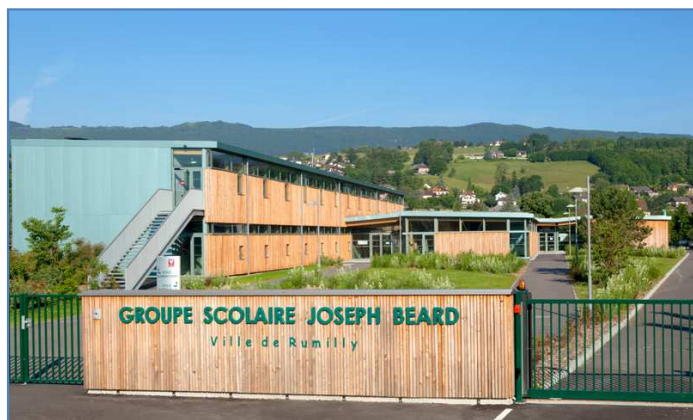
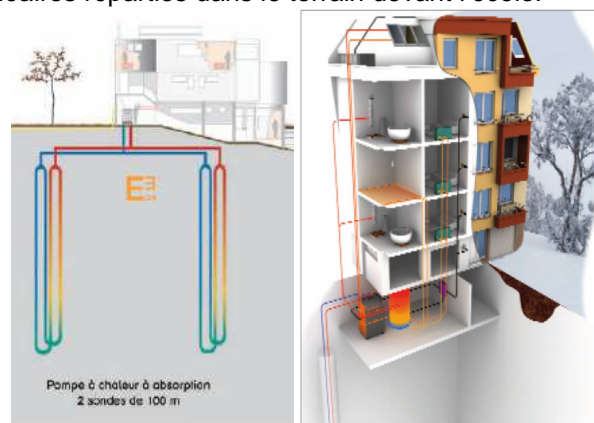


Figure 1 : Les trois PAC assurent le chauffage de l'établissement

2. Présentation du système de chauffage et de rafraîchissement

L'installation de trois pompes à chaleur à absorption en salle des machines permet d'assurer le chauffage, une partie de la production d'eau chaude sanitaire et le rafraîchissement du bâtiment par géothermie¹. Les PAC sont connectées à 11 sondes verticales de 100 mètres linéaires réparties dans le terrain devant l'école.



Les 3 pompes à chaleur de 37,7 kW unitaire réchauffent un ballon tampon de 1500L alimentant lui-même, via un collecteur, les départs chauffage et la production d'eau chaude sanitaire de la cuisine.

En été les pompes à chaleur sont arrêtées. Un échangeur installé en parallèle permet d'utiliser la fraîcheur collectées sur les sondes géothermiques dans les centrales de traitement d'air du bâtiment.

¹ Un descriptif technique du fonctionnement des pompes à chaleur à absorption au gaz naturel est disponible en Annexe 1.

La température confort est de 19°C avec un ralenti possible (et minimum en hors gel à 7°C). Les pompes à chaleur fonctionnent en cascade avec une bascule automatique en cas de défaut et une inversion périodique des machines permettant de répartir leur fonctionnement de manière équilibrée.

La période de chauffage d'octobre 2012 à mars 2013 a été étudiée lors de l'instrumentation.



Figure 2: Température extérieure durant la saison de chauffe

3. Taux de disponibilité et confort des occupants

Le suivi de site a permis de quantifier les performances de l'installation en terme de confort des occupants par la mesure en hiver des températures intérieures de deux salles du bâtiment.

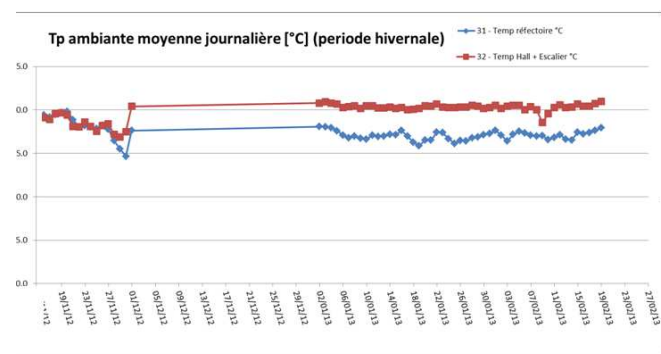


Figure 3: Des températures de confort assez stables

La température moyenne du hall est de 20°C et celle du réfectoire de 18°C avec de faibles variations. On n'observe par contre pas de ralenti baissant la température moyenne durant les week-ends.

Les trois pompes à chaleur ont assuré le chauffage sur l'ensemble de la période et le taux de disponibilité de l'installation a été de 100%.

4. Performances saisonnières en mode chauffage

Pour pouvoir quantifier l'efficacité d'une pompe à chaleur, on utilise le Coefficient de Performance, ou COP.

Le COP (sur énergie primaire) est calculé en faisant le rapport entre l'énergie consommée et l'énergie thermique produite.

$$COP = \frac{\text{Énergie fournie (chauffage + ECS)}}{\text{Énergie gaz consommée} + 2,58 \times \text{Énergie élec consommée}}$$

Le COP a été de 1,4 sur PCI en moyenne, en tenant compte d'une incertitude de 10% sur les valeurs mesurées², soit un **rendement de production de 140% PCI** pour une température d'émission variant entre 50°C et 53°C. Ce résultat est proche de la valeur nominale mesurée par les constructeurs (1,5), ce qui traduit le bon fonctionnement de l'installation. de calcul sur les valeurs mesurées.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution du COP sur la saison de chauffe en fonction de la température extérieure.

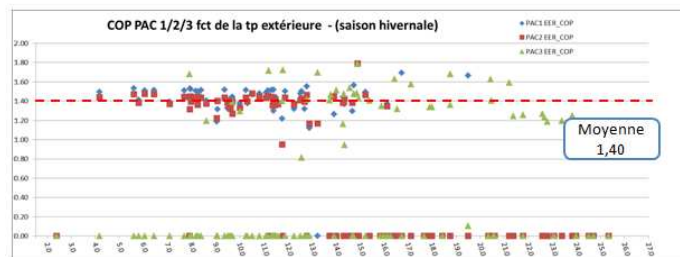


Figure 4: COP de l'installation de 1,4 en moyenne

5. Illustration des performances sur 2 jours types

Journée la plus froide : le 12 décembre 2012.

Au cours de cette journée la température extérieure a atteint un minimum de -2°C et les trois pompes à chaleur à absorption ont été sollicitées simultanément à leur puissance maximale entre 8h et 10h.

² Toutes les valeurs présentées dans ce document sont issues du rapport sur le suivi métrologique réalisé par le bureau Véritas (ref 0034072458131001003)



Figure 5: Les 3 PAC sollicitées à Pmax la journée la plus froide

Lorsque la température extérieure a augmenté pour atteindre 7°C, les PAC n°2 et 3 se sont arrêtées et seule la n°1 a continué de fonctionner, sa puissance suffisant à couvrir l'ensemble des besoins.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution du COP et du taux de charge de cette pompe à chaleur qui a fonctionné en continu et permet de visualiser la forte corrélation existant entre ces deux grandeurs : Plus le taux de charge est proche de 100%, meilleure est la performance de la pompe à chaleur.



Figure 6: Evolution du COP en fonction du taux de charge

Journée de mi-saison : Exemple du 22 octobre 2012

Durant cette journée de mi-saison dont la température extérieure a varié entre 20 et 28°C, seule la PAC n°3 a été en service. Elle a modulé entre 50% et 100% de charge durant la matinée et est passée à un mode de régulation en tout ou rien l'après-midi, lorsque la température a augmenté. Ce mode de régulation est conforme avec les spécifications du constructeur.



Figure 7: Modulation de puissance de la pompe à chaleur

journée complète ou partielle: ^{r compensation free cooling}

	J la plus froide [CH-J1] 12/12/2012	J mi-saison typique [CH-J3] 22/10/2012
COP	1.33	1.06
GUE	1.42	1.13
tp ext [°C]	3.2	23.8
tx charge [%]	52	17

Figure 8: Performances moyennes sur ces 2 jours

Le COP de la journée de mi-saison est un peu dégradé en raison du cyclage de la pompe à chaleur l'après-midi.

6. Très peu d'influence des températures extérieures froides

Le COP de l'installation n'est pas sensiblement influencé par la température extérieure et conserve des valeurs satisfaisantes même pour la journée la plus froide de l'hiver.

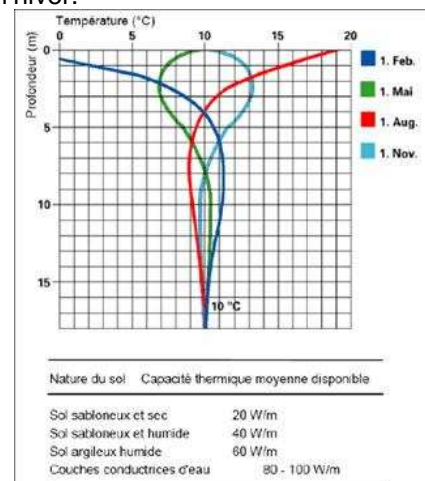


Figure 9: La température du sol est peu soumise au climat.

Les pompes à chaleur installées sont de type géothermiques et puisent donc leur énergie dans le sol. La variation constatée de la température de l'eau en provenance des sondes géothermiques se limite à la plage 8°C/12°C.

Le figure 9 présente le fait qu'au-delà de 15m de profondeur, la température ne dépend plus des saisons (10°C à 15m). L'installation de Rumilly comporte 11 sondes géothermiques d'une profondeur de 100m. La température de l'eau en provenance des sondes géothermiques est donc peu influencée par la saison ou la température extérieure.

C'est dans ce cadre que le rafraîchissement par géo-cooling est adapté car l'eau est refroidie dans le sol durant l'été et échange avec le réseau du bâtiment sans passer par la pompe à chaleur.

De plus l'énergie fournie par les pompes à chaleur gaz à absorption en mode chauffage provient du cycle thermodynamique classique, mais également de deux autres sources complémentaires (réaction exothermique d'absorption et condensation des produits de combustion du brûleur) qui ne sont pas soumises aux variations de température extérieure.

7. Fonctionnement des pompes à chaleur en cascade

La cascade des pompes à chaleur fonctionne de manière attendue lorsque une et trois PAC sont engagées, avec une variation de puissance possible entre 50% et 100%.



Figure 10: Modulation de la PAC 1 seule puis des trois PAC ensemble avec la PAC 3 à 60% de charge

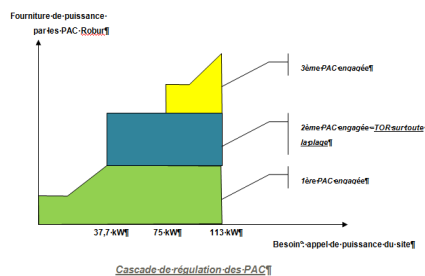


Figure 11: Fonctionnement de la cascade de régulation

Lorsque seules deux des pompes à chaleur sont en marche, la seconde ne module pas et fonctionne en tout ou rien. Un réglage de l'exploitant ou du constructeur pourrait optimiser cette régulation.

8. Consommation des auxiliaires

Comme une chaudière, les pompes à chaleur sont équipées d'auxiliaires électriques pour leur fonctionnement : pompe de circulation, ventilateur du brûleur et contrôle commande. Pour cette installation, ceux-ci ont une puissance moyenne de 1kW sur l'ensemble des pompes à chaleur.

9. Consommation des PAC gaz



Figure 12: Taux de charge des pompes à chaleur

La consommation gaz moyenne sur la journée la plus froide est d'environ 27kWh/h, soit sur une journée 650kWh, ce qui représente 47€ pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire issue des pompes à chaleur. Sur la saison de chauffe³, les consommations réelles fournies par la Mairie de Rumilly représentent 113MWh.

Indicateur	Nombre	Ratio
Surface	2600 m ² (⁴)	43 kWh/m ² .an
Nombre élèves	250 élèves(⁵)	452 kWh/élève.an
Degrés Jour Unifiés	2400(⁶)	47 kWh/DJU.an

10. Points d'amélioration de l'installation

Arrêter le géo-cooling lors du démarrage de la saison de chauffe

Durant la première partie de l'hiver (jusqu'au 5 décembre 2012), l'installation de géo-cooling est restée active, rafraichissant le ballon tampon de 1500L, soit une énergie anormalement produite en froid de 10 MWh. Ce rafraichissement du ballon a généré une surconsommation des PAC par rapport aux seuls besoins climatiques, de manière à compenser ce rafraichissement inadapté.

Modulation de puissance perturbée entre 80 et 100% de la puissance nominale.

On observe un phénomène de « pompage » lorsque les pompes à chaleur modulent entre 80% et 100% de leur puissance en ne parvenant pas à se stabiliser sur la consigne. Il est conseillé de se rapprocher du constructeur pour optimiser cet aspect de la régulation.

³ La saison considérée ici court du 01/11/2012 au 30/04/2013

⁴ Source Mairie de Rumilly

⁵ Source Mairie de Rumilly

⁶ Station météo de Meythet

Réglage constructeur à revoir concernant la permutation des PAC

Dans certaines configurations la permutation circulaire des pompes à chaleur ne permet pas d'optimiser les durées de fonctionnement des trois appareils. Il est conseillé de se rapprocher du constructeur pour optimiser cet aspect de la régulation.

11. Points forts de l'installation

Performances au rendez-vous

Le coefficient de performance de l'installation est de 1,4, ce qui est quasiment équivalent à la performance nominale affichée par le constructeur et qui illustre le bon fonctionnement de l'installation.

Installation bien dimensionnée

Le fonctionnement des pompes à chaleur est conforme à l'annonce constructeur (en terme de performances, régulation et modulation (avec une optimisation possible)).

Les trois pompes à chaleur fonctionnent simultanément durant les jours froids et suffisent à couvrir l'ensemble des besoins.

Des performances stables en géothermie :

Grâce à la température constante dans les sondes géothermiques, et ce indépendamment de la température extérieure.