
ADEME – Direction régionale Hauts-de-France

Mission d’audit de 19 installations de géothermie en région Hauts-de-France

Analyse croisée des installations géothermiques visitées

 ECOME 10, rue du commandant Rivière 75 008 PARIS Tél. : 09.81.71.06.02	 DIRECTION RÉGIONALE Hauts-de-France ADEME Direction régionale Hauts-de-France 67, avenue d'Italie 80 094 Amiens Tél. : 03.22.45.55.39
---	---

Phase	Date	Version	Révision	Réalisé par	Revu par	Validé par
I	15/09/17	A		QS	ME	JBB

Sommaire

1	INTRODUCTION	4
1.1	OBJET DE L'AUDIT	4
1.2	OBJET DE L'ANALYSE CROISEE	5
2	CONTEXTUALISATION ET PRESENTATION DES SITES	6
2.1	SITES VISITES	6
2.2	TYPE D'INSTALLATION GEOTHERMIQUE	7
2.2.1	GEOTHERMIE SUR SONDAS	7
2.2.2	GEOTHERMIE SUR NAPPE	9
2.3	CONCEPTION DE L'INSTALLATION	9
2.3.1	MODE DE FONCTIONNEMENT DE LA POMPE A CHALEUR	9
2.3.2	DISTRIBUTION DE LA CHALEUR	10
3	MISE EN ŒUVRE ET FONCTIONNEMENT	12
3.1	MISE EN ŒUVRE	12
3.1.1	CALORIFUGE	12
3.1.2	ETIQUETAGE ET SCHEMA HYDRAULIQUE	13
3.2	FONCTIONNEMENT	14
3.2.1	REGULATION	14
3.2.2	ASSERVISSEMENT	15
3.2.3	COMPTEURS THERMIQUES ET ELECTRIQUES	16
3.3	ASPECTS REGLEMENTAIRES	18
4	PERFORMANCES DES INSTALLATIONS GEOTHERMIQUES	20
4.1	PERFORMANCES ENERGETIQUES	20
4.1.1	PRODUCTIONS ENERGETIQUES	20
4.1.2	NOMBRE D'HEURES EQUIVALENTES DE FONCTIONNEMENT A PUISSANCE NOMINALE	21
4.1.3	CALCUL DU COP BRUT	21
4.2	PERFORMANCES ECONOMIQUES	22
4.2.1	RATIO COUT FORAGE PAR PUISSANCE PAC : €HT / kW PAC	22
4.2.2	RATIO COUT INSTALLATIONS DE SURFACE PAR PUISSANCE PAC : €HT / kW PAC	23
4.2.3	RATIO COUT GLOBAL PAR PUISSANCE PAC : €HT / kW PAC	23
4.2.4	RATIO COUT ANNUEL D'EXPLOITATION : €HT / MWH / AN	24
5	SYNTHESE DES QUESTIONNAIRES	25
5.1	POINT DE DEPART DU PROJET	25
5.2	DEROULE DU PROJET	26
5.3	APPRECIATION SPECIFIQUE DE LA GEOTHERMIE	28
5.4	APPRECIATION GLOBALE DE LA GEOTHERMIE	29

6	ANOMALIES CONSTATEES	30
7	ANNEXE	32
7.1	QUESTIONNAIRE AUDIT	32
7.2	EXEMPLE DE FICHE ANOMALIE	38

Table des illustrations

<i>Figure 1 - Implantations des sites de géothermie sur nappe (en bleu) et sur sondes (en orange).....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 2 - Principe de géothermie par PAC eau/eau sur « boucle fermée ».....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 3 - Principe de géothermie par PAC eau/eau sur « circuit ouvert ».....</i>	<i>9</i>
<i>Figure 4 - Mode monovalent</i>	<i>10</i>
<i>Figure 5 - Mode bivalent alternatif.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 6 - Instrumentation préconisée par l'ADEME</i>	<i>16</i>
<i>Figure 7 - Compteur thermique ELSTER Supercal 531</i>	<i>17</i>

1 Introduction

1.1 Objet de l'audit

Depuis plusieurs années, l'ADEME accompagne les porteurs de projets de géothermie tant au niveau des études de faisabilité que des investissements correspondants, notamment à travers le Fonds Chaleur.

Cependant, il n'existe que peu de retours vers les financeurs et/ou les prescripteurs sur les projets, une fois ceux-ci réalisés.

L'ADEME souhaite structurer la filière géothermie. Ainsi, sous l'impulsion de l'ADEME Hauts-de-France, plusieurs actions ont déjà été mises en œuvre afin de dynamiser la filière. Pour poursuivre le développement de la filière, l'ADEME souhaite établir un état des lieux des installations existantes reposant sur l'audit de 19 installations en fonctionnement. La démarche d'audit a notamment pour but :

- D'avoir une connaissance de la situation régionale ;
- D'avoir un retour terrain des installations existantes ;
- D'optimiser les installations ;
- D'identifier les causes d'anomalies, et/ou identifier les installations performantes, pour communiquer auprès des porteurs de projets et des professionnels ;
- D'accroître l'échantillonnage d'audits pour mettre en évidence les bonnes pratiques et les points de vigilance ;
- Communiquer autour des retours d'expériences.

Ceci viendra enrichir l'échantillonnage d'audits déjà réalisés sur d'autres régions.

Au terme des visites, un audit est rédigé par site, accompagné d'une fiche technique de synthèse de l'installation reprenant les informations principales. Des fiches anomalies présentant chacune une irrégularité dans le détail ainsi que les moyens de résolution pour pallier à ce problème sont également formulées. Six sites exemples sont choisis, en fonction de leur bon fonctionnement ainsi que de leur secteur d'activités (industrie, cliniques...), avec pour visée de promouvoir la géothermie au travers de fiches pédagogiques. Et enfin, l'audit est clôturé par une analyse croisée reprenant l'ensemble des installations étudiées, croisant les informations entre elles (telles que puissances, coût spécifique des infrastructures...) afin de dresser un bilan complet.

1.2 Objet de l'analyse croisée

L'objectif de cette étude est d'analyser les résultats de 19 installations auditées afin de dresser un retour d'expérience. Au travers de ce rapport seront alors développés les points suivants :

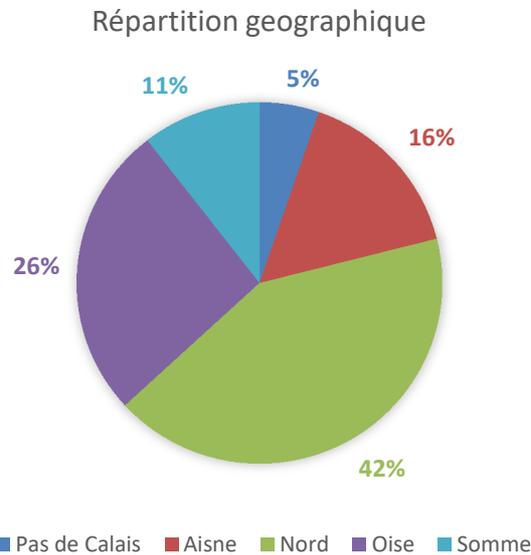
- L'implication des différents acteurs et leur satisfaction/avis vis-à-vis de l'installation et notamment celle du maître d'ouvrage ;
- La qualité de conception, de mise en œuvre, d'entretien, de maintenance (choix du système, méthodologie de dimensionnement ...) ;
- Les performances techniques ;
- La pertinence économique de l'opération.

La mission ici présente n'a pas pour but d'apprécier uniquement les performances énergétiques et économiques des installations géothermiques, mais plutôt également de recenser les bonnes pratiques à entreprendre dès la conception de l'installation et à faire perdurer lors des phases de mises en œuvre, d'exploitation et de maintenance. Les anomalies décelées sont aussi remontées et listées avec pour objectif de communiquer sur ces erreurs, facilitant ainsi la bonne pose et le bon fonctionnement d'une nouvelle unité.

2 Contextualisation et présentation des sites

2.1 Sites visités

Un ensemble de 19 installations géothermiques ont été visitées dans la région Hauts-de-France, réparties comme le montre le graphique suivant :



La majorité des sites audités se situent ainsi dans le Nord (42%) et dans l’Oise (26%).

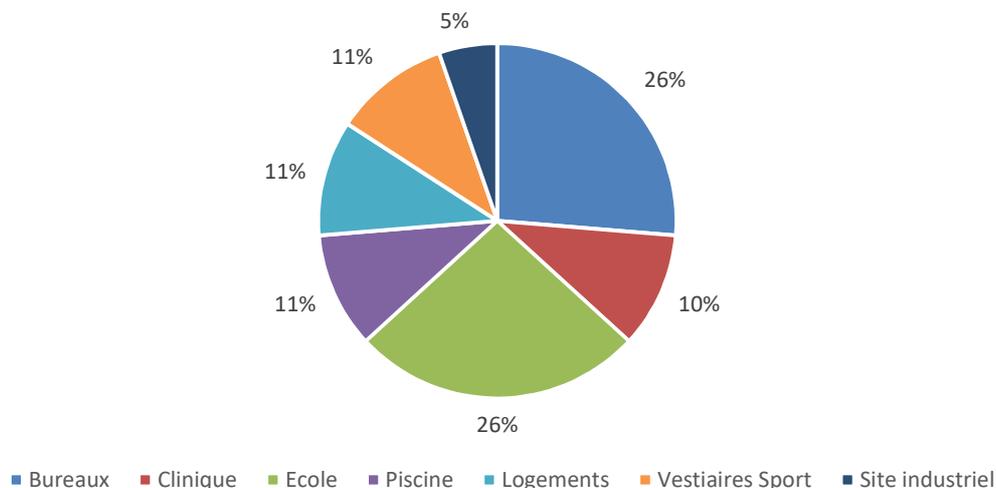
La figure suivante détaille l’implantation géographique des sites visités :



Figure 1 - Implantations des sites de géothermie sur nappe (en bleu) et sur sondes (en orange)

La typologie des bâtiments chauffés par géothermie est variée (logement, tertiaire, industriel, services publics). La majorité des bâtiments sont destinés à des services publics.

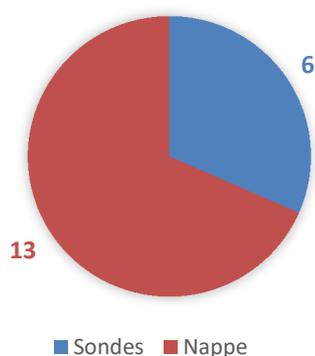
Activités des bâtiments



2.2 Type d'installation géothermique

Sur les 19 sites, 6 installations sont des installations géothermiques sur sondes, les 13 restantes sur nappe, comme le montre le graphique ci-après.

RÉPARTITION DU TYPE DE GEOTHERMIE



2.2.1 Géothermie sur sondes

Le principe de la « boucle fermée » est de faire circuler un fluide caloporteur en circuit fermé dans le sol au travers de sondes afin de la réchauffer en captant les calories du terrain. Cette boucle, généralement constituée de tubes en polyéthylène peut être installée dans une sonde de géothermie, dans les fondations, ou en captage horizontal.

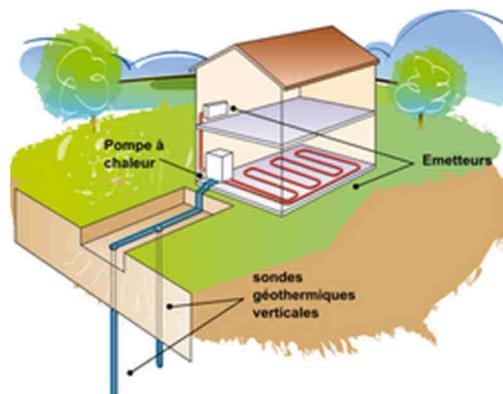
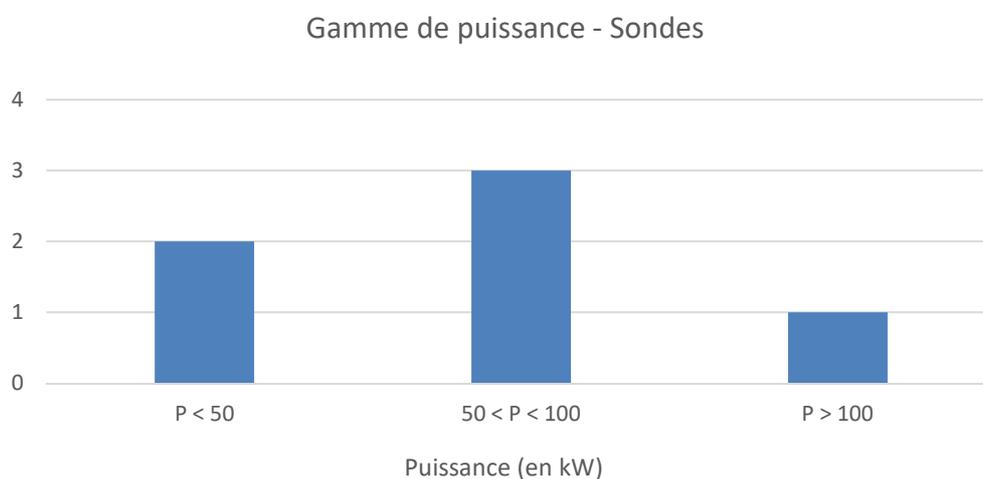


Figure 2 - Principe de géothermie par PAC eau/eau sur « boucle fermée »

Six installations correspondent à cette technologie. Le graphique ci-dessous présente les puissances des installations de géothermie sur sondes :



Les six installations produisent de la chaleur et quatre réalisent également du froid, par géocooling (utilisation directe de la température du sous-sol pour rafraîchir un bâtiment). Sur les sites audités, les puissances sortie PAC sont relativement similaires allant de 35 kW pour la plus faible puissance et jusqu'à 107 kW pour l'installation la plus importante. Toutes les installations sont composées d'une unique pompe à chaleur.

Site	1	2	3	4	5	6
Profondeur des sondes (en m)	99	105	65	100	70	70
Nombre de sondes	8	5	11	15	11	16
P chaud PAC (kW)	45.5	35	55	107	70	76
Sollicitation du sol (W PAC/ml)	57.4	66.7	76.9	71.3	90.9	67.9

Ce tableau permet de comparer les champs de sondes entre eux. Un décret, depuis modifié, disposait qu'une profondeur supérieure à 100 mètres nécessitait une autorisation au titre du code minier, ce qui explique que la majorité des sites ici présentés ne dépassent cette valeur. Depuis le décret du 8 janvier 2015 cette valeur a été portée à 200 mètres. Le nombre de sondes se situe entre 5 et 16 sondes dans notre étude.

Sur les 6 installations, toutes produisent de la chaleur. 2 assurent également le refroidissement des locaux par géocooling. Aucune installation ne joue un rôle dans la production d'Eau Chaude Sanitaire du site.

Enfin, le dernier paramètre renseigne sur la longueur de sondes installée par rapport à la puissance de la PAC. L'ordre de grandeur est d'environ 18 mètres linéaires pour 1 kW de puissance en sortie de PAC. Cette valeur est toutefois fonction de la géologie du site.

2.2.2 Géothermie sur nappe

Le principe de la géothermie sur « circuit ouvert » consiste à pomper de l'eau dans une nappe phréatique ou eaux de ruissellement afin d'en extraire des calories, puis de la rejeter plus froide dans cette même nappe en aval.

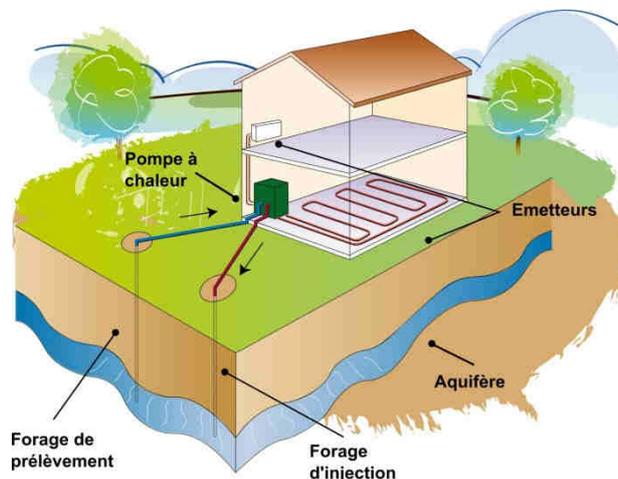
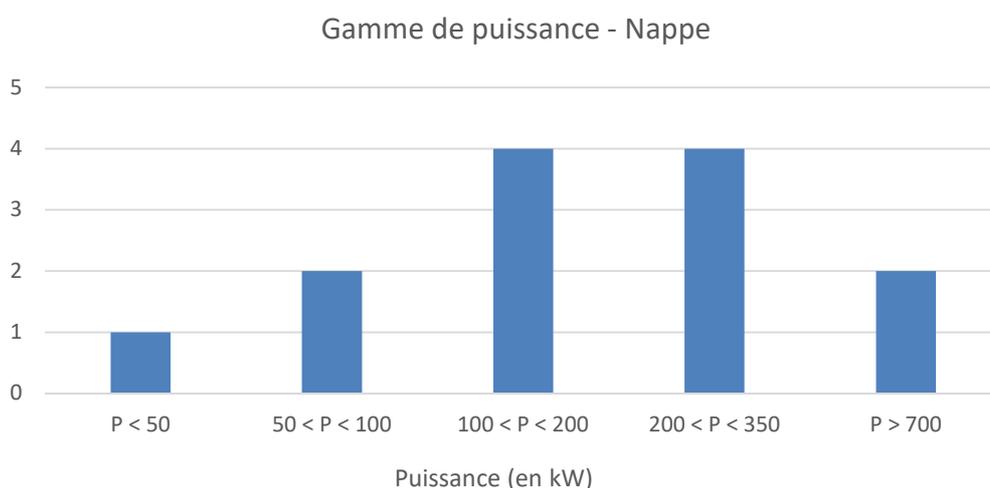


Figure 3 - Principe de géothermie par PAC eau/eau sur « circuit ouvert »

Les profondeurs de forage vont de 27 mètres à 88 mètres pour le plus profond. La majorité des forages ont lieu entre 30 et 45 mètres.



Sur les 13 installations, toutes produisent de la chaleur. 9 assurent également le refroidissement des locaux, dont 6 par géocooling. 3 installations ont de plus un rôle dans la production d'Eau Chaude Sanitaire du site.

2.3 Conception de l'installation

2.3.1 Mode de fonctionnement de la pompe à chaleur

Une pompe à chaleur peut fonctionner selon plusieurs modes : mode monovalent, mono-énergétique ou bivalent (parallèle, alternatif...).

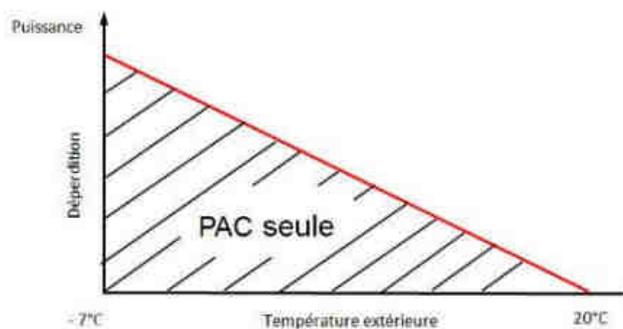


Figure 4 - Mode monovalent

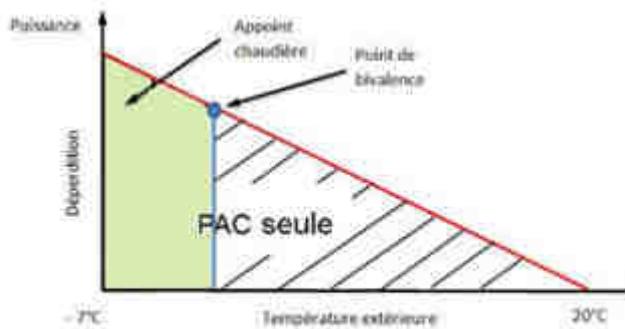


Figure 5 - Mode bivalent alternatif

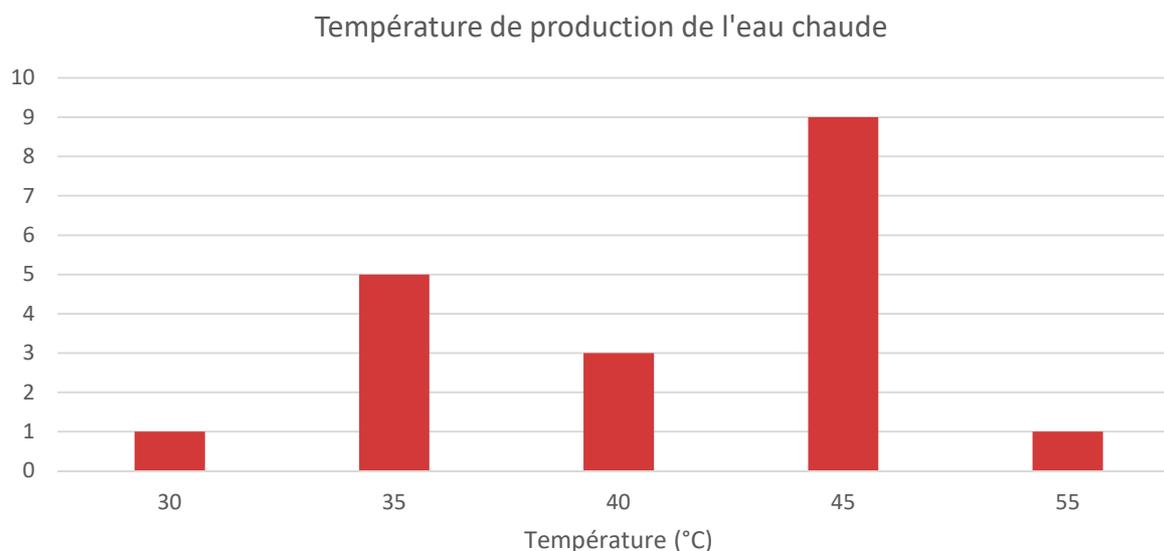
Suivant le choix du maître d’œuvre, la pompe à chaleur couvrira ainsi soit l’ensemble des besoins (et sera dimensionné en conséquence), soit sera accompagné d’un autre système énergétique pour couvrir la totalité des besoins. Sur les 19 sites visités, 18 fonctionnent selon un mode monovalent ou la pompe à chaleur couvre l’ensemble des besoins. Ainsi le dimensionnement de l’installation est réalisé pour une température extérieure minimale et donc suivant une puissance maximale pour la pompe à chaleur. Seul un site fonctionne en mode bivalent alternatif. L’installation géothermique couvre les besoins jusqu’à une température extérieure fixée. En dessous de ce seuil, une chaudière à fioul prend le relais et la pompe à chaleur s’arrête. Le point de bivalence correspond au point de croisement des courbes de puissance de la PAC et celle des besoins calorifiques à fournir.

Toutefois, pour garantir une sécurité de chauffage, certains sites ont recours à une source énergétique d’appoint. Hormis le site fonctionnant en mode bivalent alternatif, 10 sites sont équipés d’un matériel de secours. Il s’agit généralement d’une épingle électrique d’environ 10 à 30 kW contenue dans le ballon d’eau chaude. Cela permet la fourniture d’un pourcentage de la puissance thermique de la PAC dans le cas où cette dernière est en maintenance ou en panne, afin de satisfaire une partie des besoins du site sur une période limitée. Parfois, une pompe à chaleur supplémentaire équipe la chaufferie pour servir de secours. Une installation visitée présente même une redondance totale de la géothermie pour prévenir toute panne (captage, pompe de forage, PAC...).

2.3.2 Distribution de la chaleur

2.3.2.1 Température de fonctionnement

Au vu des profondeurs de captage, la température du sol est comprise au cours de l’année entre environ 10 et 13°C. Du fait des propriétés thermodynamiques, il faut veiller pour obtenir un bon rendement de pompe à chaleur à ce que la différence entre la température de captage et la température de production soit la moins grande possible. Autrement dit, il faut produire de la chaleur à des températures relativement « basses ». Ci-après un graphique représente les températures de départ d’eau chaude des 19 sites.



Tous les sites possèdent donc des températures de production relativement basses, cohérentes avec l'emploi de la technologie géothermique et facilitant un bon rendement de l'installation. De plus, pour un fonctionnement optimal, la différence entre le retour d'eau chaude et le départ d'eau chaude doit être minimisée. Ainsi 14 sites présentent un écart de 5 degrés entre le départ et le retour, tandis que 5 sites présentent un écart de 10 degrés. Une différence de température faible entre le retour et le départ d'eau chaude est alors bien respectée par l'ensemble des installations.

Concernant les installations produisant du froid, la moitié produit une température entre 6 et 8°C (activecooling), tandis que l'autre moitié des sites utilisent une eau froide à environ 13 – 14°C (freecooling). La différence entre l'eau de départ et de retour est de +5°C. Il faut toutefois rappeler que la majorité des sites produisant du froid le font par géocooling, ne nécessitant ainsi donc pas l'emploi de la PAC. La différence de 5°C est donc réalisée directement par un échangeur de chaleur.

2.3.2.2 Emetteurs de chaleur

Les émetteurs de chaleur réalisant la distribution des locaux doivent être adaptés à la faible température de production. Ainsi un radiateur classique dans une installation de type chaudière au gaz reçoit de l'eau chaude (environ 70°C) et possède alors une surface d'échange trop petite qui ne permettrait pas de chauffer une même pièce avec une arrivée d'eau à 45°C. Il s'agit d'un point de vigilance, en particulier dans le cas de projets en rénovation. Le tableau suivant recense les différents émetteurs observés sur site :

	Sondes	Nappe	Total
Plancher Chauffant	5	5	10
Radiateur basse Température	3	3	6
Panneau rayonnant	1	3	4
Ventilo-convecteur	0	7	7
Batterie de CTA	1	6	7
Echangeur	0	2	2

Cette énumération ne permet pas de tirer des conclusions sur les émetteurs les plus utilisés, l'activité de chaque site étant différente. Toutefois des tendances ont été constatées. Ainsi les locaux scolaires et bureaux de petite taille sont en majorité équipés de planchers chauffants et de radiateurs basse température, tandis que les bureaux et logements de grande taille distribuent la chaleur et le froid à l'aide de ventilo-convecteurs. Quant aux piscines, celles-ci sont équipés de CTA pour chauffer de grands volumes et d'échangeurs réalisant le transfert de chaleur vers les bassins.

Remarques :

- On note que pour deux piscines auditées, le transfert de chaleur vers les bassins d'eau se fait au travers d'échangeurs ;
- Un site visité a fait l'objet d'une rénovation de son système énergétique. Toutefois les radiateurs classiques existants n'ont pas été modifiés. Il en résulte une installation peu performante et occasionnant des inconforts pour les usagers en période de grand froid, prouvant la nécessité d'installer des émetteurs adaptés à la production d'eau chaude par géothermie, sauf à réduire sensiblement les déperditions lors de la rénovation par un travail sur l'enveloppe.

Pour les sites réalisant à la fois le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments au travers de la géothermie, l'utilisation de ventilo-convecteurs est particulièrement judicieuse du fait de la réversibilité de cet émetteur. Des planchers chauffants et panneaux rayonnants réversibles peuvent présenter les mêmes caractéristiques et avantages. Dans ce but, plusieurs installations présentent un circuit change-over, circuit alimenté en eau chaude ou en eau froide selon la saison à l'aide d'une vanne 3 voies. L'intérêt est de n'utiliser qu'un seul réseau d'eau et éviter de réaliser un circuit chaud et un circuit froid. Bien entendu ce système ne fonctionne que pour les bâtiments ayant des besoins en froid et en chaud non concomitants.

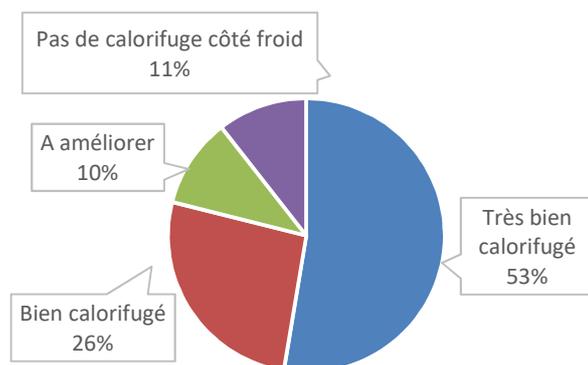
3 Mise en œuvre et fonctionnement

3.1 Mise en œuvre

3.1.1 Calorifuge

Au vu des nombreuses conduites hydrauliques composant une chaufferie géothermique et pour maximiser les performances, l'isolation thermique de toutes les conduites en chaufferie est nécessaire. Pour information, l'absence de calorifuge peut conduire :

- Du côté « froid » de l'installation (évaporateur et sondes) à des phénomènes de condensation et de corrosion dégradant les conduites et la chaufferie ;
- Du côté « chaud » de l'installation (condenseur), à des pertes thermiques et par conséquent à une dégradation du rendement de l'installation.



La majorité des sites sont donc bien calorifugés. La moitié des sites le sont idéalement quand 25% nécessitent quelques ajouts d'isolants (longueurs inférieures à 2 mètres) notamment au niveau des pompes à chaleur et des pompes de circulation. Deux sites en revanche devraient revoir une partie non négligeable de leur isolation thermique pour améliorer leur installation et deux sites n'ont pas isolé les parties froides de leur chaufferie, pouvant risquer des phénomènes de condensation.

L'isolation des éventuels échangeurs au secondaire est également à conseiller. Ceci est pourtant rarement constaté.

3.1.2 Etiquetage et schéma hydraulique

Pour permettre une compréhension rapide et aisée de la chaufferie lors d'opérations d'exploitation ou de maintenance. La photo ci-contre illustre une installation où les sens de circulation des fluides dans les circuits sont repérés de manière claire et visible. L'étiquetage des équipements et des fluides est également bon. De plus, un code couleur permet d'identifier immédiatement les circuits chauds (collerette rouge) des circuits froids (collerette bleue), au primaire comme au secondaire.



50% des installations visitées ne possèdent ni étiquetage ni repérage du circuit, pouvant occasionner des erreurs lors par exemple d'opérations de maintenance effectuées par du personnel extérieur et ne maîtrisant pas la chaufferie.

Un schéma hydraulique à jour est également nécessaire dans ce sens, pour éviter toute mauvaise manipulation. A nouveau 50 % des sites présentaient un défaut sur cet élément. Dans de rares cas le schéma était absent, plus généralement le schéma n'avait pas été remis à jour ou manquait d'une légende clarifiant efficacement les éléments présents.

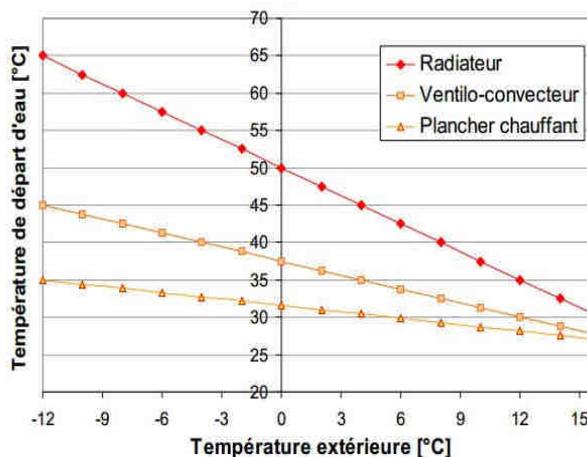
3.2 Fonctionnement

3.2.1 Régulation

Pour environ 70 % des cas, la régulation sur la PAC est assurée par une loi d'eau sur la température extérieure, par l'intermédiaire d'une prise de mesure de température.

Dans le cas général, certaine PAC dispose d'une compression à régime variable mais sont plus cher. Les PAC disposant d'une compression à régime unique utilisent une vanne 3 voies pour réguler la température de l'eau en sortie de PAC.

Comme le montre le graphique ci-contre, à chaque température extérieure correspond une température de production.



Trois sites ont un couplage entre une régulation sur la température extérieure et la température d'ambiance. Cela permet d'adapter la température de production à la température intérieure dans les locaux, évitant par exemple des problèmes de surchauffe pour un bâtiment dont la majorité des ouvrants sont situés au sud et soumis à des apports solaires ou pour un bâtiment où des apports internes sont importants. La régulation sur la température intérieure agit sur la distribution vers les émetteurs (régulation et réparation du débit à l'aide de vannes 3 voies) afin de pallier à de possible problème de surchauffe du bâtiment si la PAC est surdimensionnée ou mal réglée.

Enfin, l'activité du bâtiment peut nécessiter un autre type de régulation. C'est le cas notamment des deux piscines visitées, où la température des bassins représente la consigne à atteindre. La production de chaleur se déclenche dès lors que la température des bassins descend sous un seuil fixé.

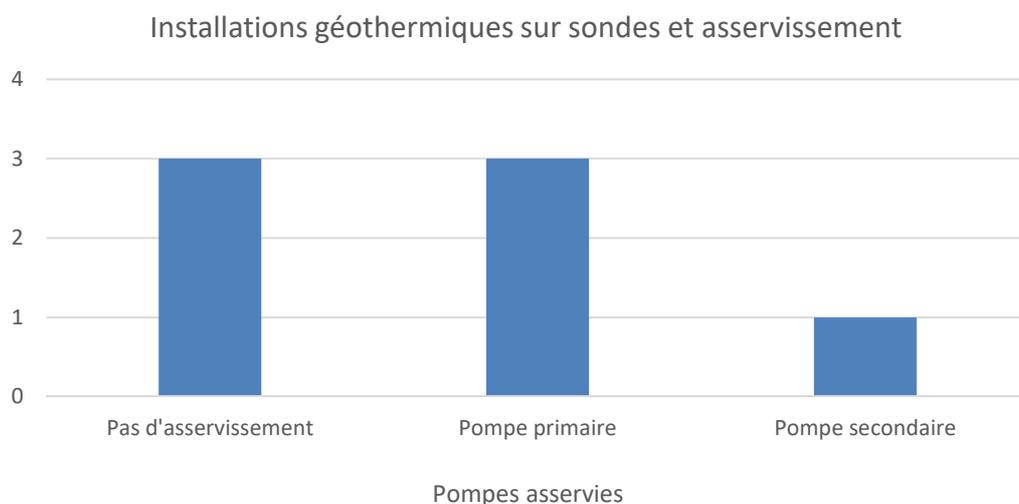
Concernant la programmation, seul un site réalise un réduct de nuit. Il s'agit d'un bâtiment de bureaux, qui dans le but d'éviter toute surconsommation diminue l'activité de la PAC de 19h à 3h toutes les nuits, maintenant les locaux à une température de consigne inférieure à celle fixée lorsque les locaux sont occupés. La programmation réalisant un réduct sur une période donnée pourrait être adoptée par nombre de bâtiments, à réguler selon l'activité (bâtiments scolaires, bureaux, piscines...).

3.2.2 Asservissement

Il est bienvenu que le fonctionnement des pompes soit asservi à celui de la pompe à chaleur. De ce fait, les pompes ne fonctionneraient que lorsque la PAC est en marche. Cela permet de réaliser des économies d'énergie et d'allonger la durée de vie des pompes.

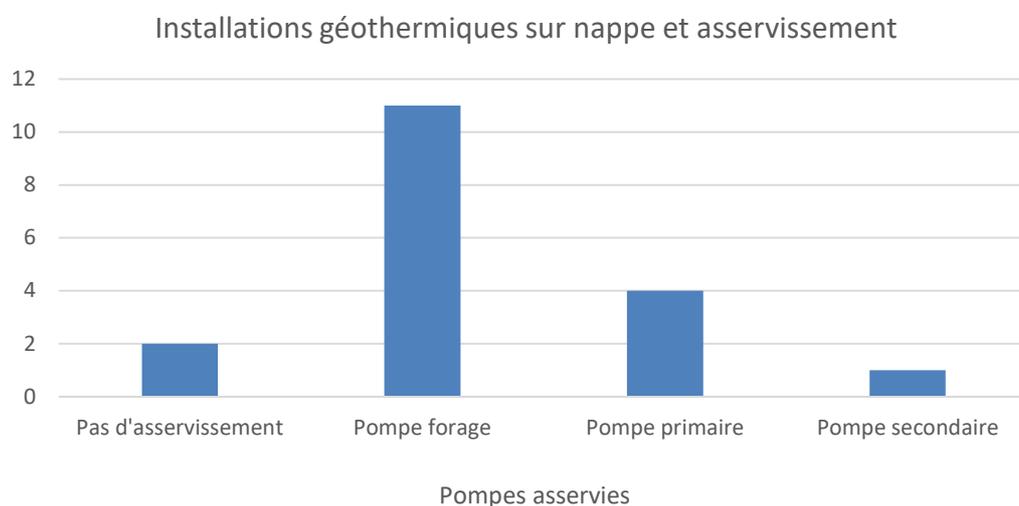
Les installations géothermiques sur sondes sont composées d'une pompe primaire, d'une PAC et d'une pompe secondaire. Les installations géothermiques sur nappe sont composées d'une pompe de forage, d'une pompe primaire, d'une PAC et d'une pompe secondaire. De ce fait les résultats des deux types d'installations sont séparées, la comparaison n'a pas lieu d'être.

Le graphique ci-dessous présente les résultats pour les 6 installations géothermiques sur sondes :



Ainsi sur six sites, trois ne possèdent aucun asservissement des pompes sur les PAC. Les trois autres en revanche sont équipés d'une pompe primaire asservie au fonctionnement de la pompe à chaleur. La pompe primaire réalise la circulation dans les sondes et l'échange de chaleur avec la PAC. Celle-ci ne fonctionne donc que lorsque la PAC est également en marche. Seul une installation voit le fonctionnement de sa pompe secondaire (la pompe réalisant le plus souvent la distribution vers un ballon tampon), être liée à celui de la PAC.

Le graphique ci-dessous présente les résultats pour les 13 installations géothermiques sur nappe.



Ce deuxième graphique présente les résultats pour les installations géothermiques sur nappe. Deux installations ne possèdent aucun asservissement. Onze installations sont équipées d'une pompe de forage liée au fonctionnement de la pompe à chaleur, permettant de réaliser des économies énergétiques et financières. Enfin 4 sites présentent des pompes primaires asservies à la PAC et un seul site la pompe secondaire.

Bien que cette anomalie ne remette pas en cause le bon fonctionnement technique de l'installation, elle peut engendrer les impacts suivants :

- Surconsommation électrique ;
- Usure prématurée des pompes qui implique donc un remplacement plus fréquent de ces éléments de chaufferie ;
- Diminution du rendement global de l'installation causée par les surconsommations en électricité.

3.2.3 Compteurs thermiques et électriques

Ces équipements permettent d'effectuer un suivi en continu de l'installation afin de garantir sa pérennité. Ils permettent notamment de calculer :

- L'énergie soutirée/injectée dans le sol ;
- Le rendement ou COP des équipements ;
- L'énergie consommée/générée de manière à analyser l'installation d'un point de vue économique.

Avec ces données un suivi régulier permet d'identifier les dérives de consommations ainsi que leur cause et d'effectuer des correctifs rapidement. Ils permettent également de juger de la bonne marche de l'installation et de son bon fonctionnement.

La figure suivante présente l'instrumentation préconisée par l'ADEME pour assurer un suivi efficace de l'installation :

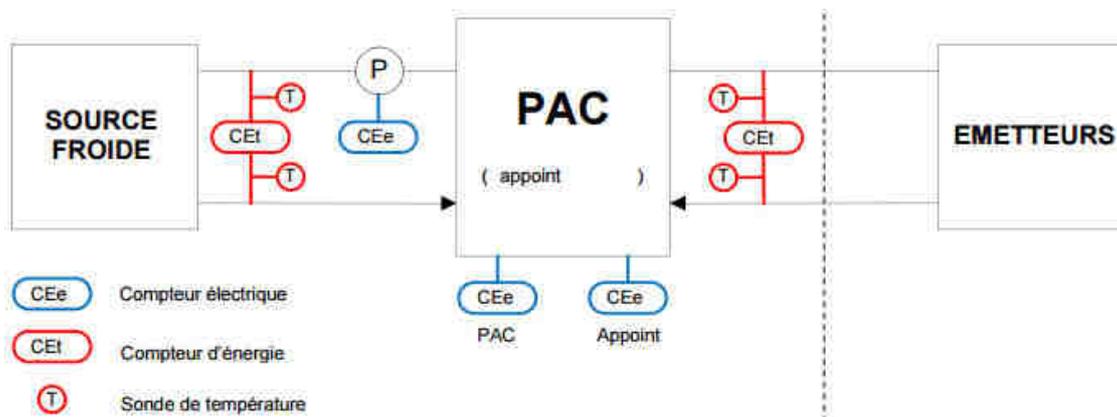
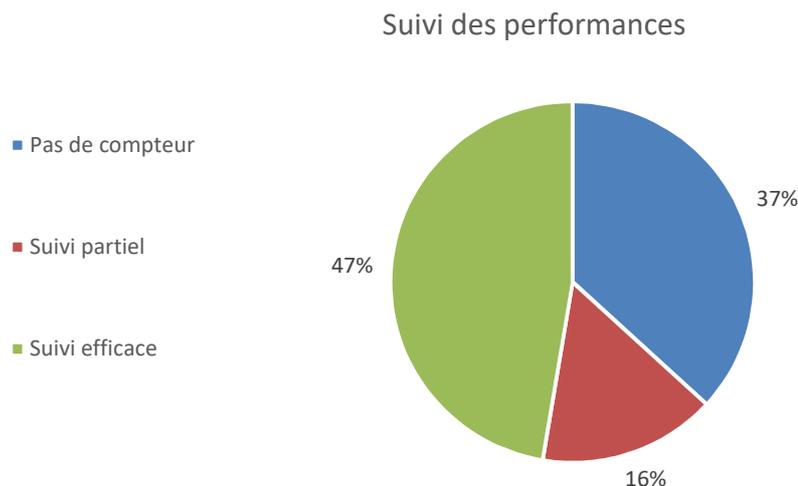


Figure 6 - Instrumentation préconisée par l'ADEME (installation sur nappe)

Le graphique ci-dessous légende la présence de compteurs sur les installations visitées :



Ainsi 37 % des installations ne possèdent aucun compteur, mais sont tout de même le plus souvent équipés de thermomètres, débitmètres et d'indicateurs de pression. Il n'est alors pas possible de connaître la production annuelle sur ces sites, ni les consommations électriques de la PAC et des pompes de circulation.



Figure 7 - Compteur thermique
ELSTER Supercal 531

16 % des sites sont équipés partiellement de compteurs, en plus des équipements de suivis classiques (thermomètres, débitmètres...). Des compteurs thermiques permettent de suivre le fonctionnement de ces sites de puissance moyenne, les compteurs électriques faisant défaut. Le suivi de la quantité de chaleur produite est efficace, mais sans retour sur l'électricité consommée il n'est pas possible d'analyser la performance de l'installation.

Enfin, près de la moitié des sites permettent à l'aide de compteurs thermiques et électriques d'effectuer un suivi efficace tout au long de l'année : calcul des COP brut et réel, nombre d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale... Quelques améliorations pourraient être amenées pour se rapprocher des préconisations de l'ADEME, mais les éléments présents assurent un suivi complet. Il manque généralement un compteur thermique côté prélèvement géothermique pour les installations de géothermie sur nappe et un compteur électrique sur la pompe primaire pour les installations de géothermie sur sondes.

La puissance moyenne des sites ne possédant pas de compteurs est de 72 kW, tandis que celle des sites suivis efficacement est de 300 kW, indiquant une corrélation entre taille de l'installation et présence d'outils de suivi. En effet les compteurs représentent une dépense financière supplémentaire, les petites installations ne pouvant pas forcément assumer ce coût ni le rentabiliser dans des délais raisonnables. Le type d'activités peut également influencer sur l'installation de compteurs dans la chaufferie : les deux piscines auditées possèdent des compteurs et même des GTB (systèmes de supervisions).

3.3 Aspects réglementaires

Les locaux techniques dans lesquels se trouvent les pompes à chaleur réalisent l'échange entre la production et la distribution de chaleur. À ce titre, et conformément à l'arrêté du 23 juin 1978, ce local est assimilable à une sous-station (pas de production d'énergie par combustion). La norme NF EN 378 n'est pas d'application obligatoire, mais représente la règle de l'art en termes d'implantation.

En ce sens, la zone PAC doit passer par une coupure extérieure avant la pénétration dans la chaufferie comme le dispose l'article 14 de l'arrêté du 23 juin 1978 et NF C 15.100 : « *Chaque dispositif de commande doit être constitué par un interrupteur à coupure omnipolaire (coupure de tous les conducteurs actifs, y compris le neutre) ou un dispositif d'arrêt d'urgence.* »

La sous-station doit, selon l'arrêté du 23 juin 1978, comporter un système permanent de ventilation constitué :

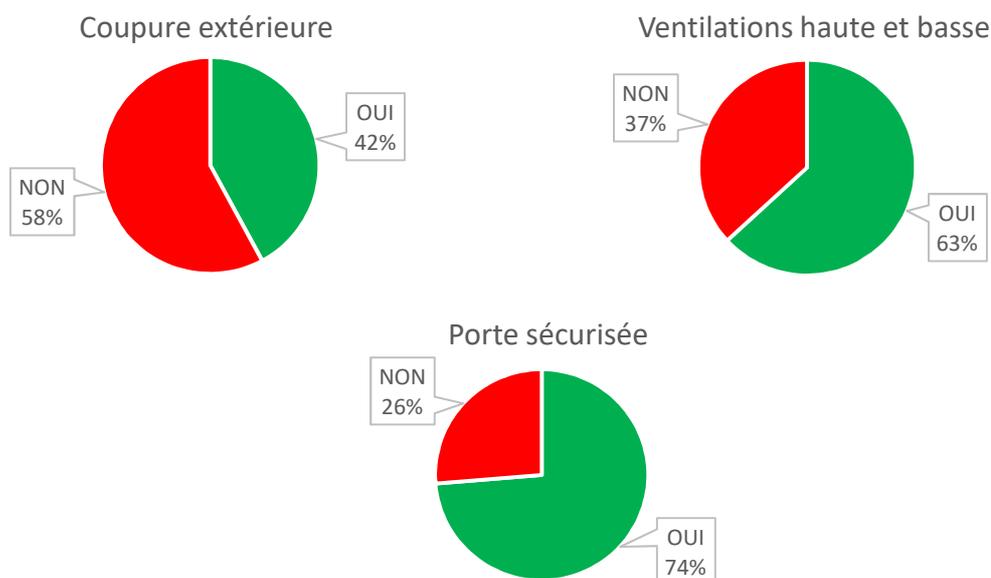
- En partie basse d'un système d'introduction d'air frais ;
- En partie haute d'un système d'évacuation d'air.

De plus, depuis 2012, une spécification supplémentaire est apparue au travers de la NF EN 378 (partie 3) précisant :

- Que cette ventilation doit assurer au minimum 4 renouvellements d'air par heure lorsque la salle des machines est occupée (l'ajout d'un extracteur d'air peut donc être nécessaire) ;
- La mise en place d'une ventilation mécanique d'urgence avec un système automatique de détection de gaz à partir d'une charge de plus de 25kg de fluide frigorigène.

Enfin, selon l'arrêté du 23 juin 1978, les portes de la chaufferie/sous-station doivent « *s'ouvrir de l'intérieur vers l'extérieur et pouvoir être ouvertes de l'intérieur même si le dispositif de verrouillage depuis l'extérieur est fermé* ». La NF EN 378 (partie 3) ajoute que ces portes doivent être coupe-feu 1h minimum.

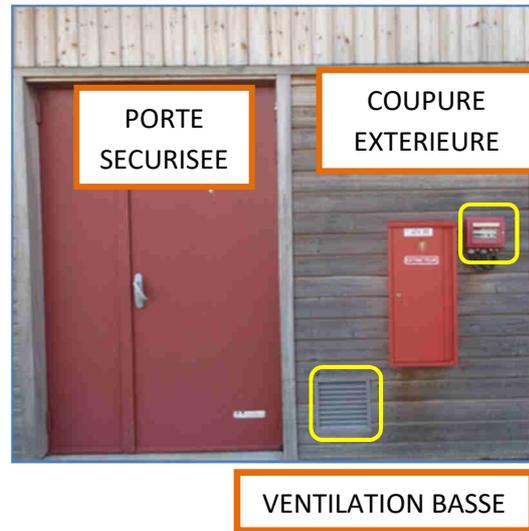
Les graphiques suivants présentent la conformité ou non des sites visités par rapport à cette réglementation :



Concernant la porte sécurisée et la présence de ventilations haute et basse (notamment imposée en cas de fuite de fluide frigorigène), les sites sont dans la majorité conformes à la réglementation. La coupure

extérieure n'est en revanche peu respectée, signalant peut-être une moindre connaissance de la norme. Une action de communication sur ces articles auprès des maîtres d'œuvre pourrait alors être bienvenue.

Les images ci-dessous présentent un local respectant l'ensemble de ces réglementations.



4 Performances des installations géothermiques

11 installations sur 19 ont fourni des retours concernant les performances géothermiques, au travers des énergies produites annuellement. Toutefois cet échantillon est peu pertinent du fait d’un faible nombre de réponses exploitables. Cumulé à la pluralité des puissances installées cet échantillon ne permet pas d’établir de moyennes fiables.

4.1 Performances énergétiques

4.1.1 Productions énergétiques

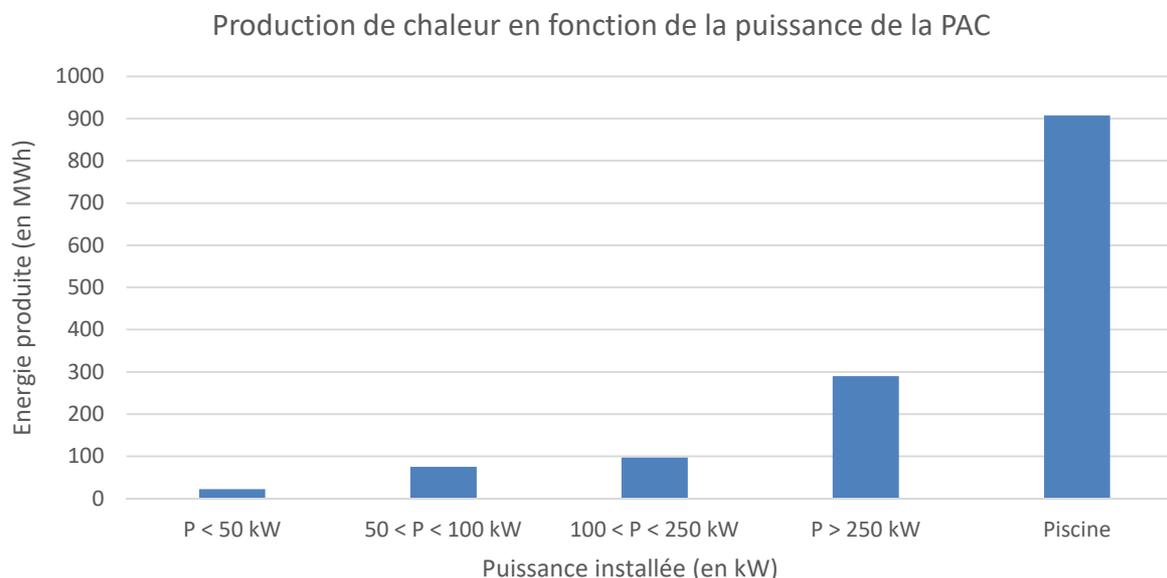
4.1.1.1 Production de froid

Sur les 13 sites produisant du froid, seul un site a été en mesure de fournir l’information concernant la production énergétique. Celle-ci s’élève au total à 58 MWh annuels, dont 32 MWh fournis par la pompe à chaleur entre juin et septembre et 26 MWh par géocooling.

Pour rappel, 10 installations sur 13 réalisent du froid par géocooling. Il est à noter que les échangeurs permettant le géocooling sont plus rarement équipés de compteurs thermiques car leur installation représente un surcoût non négligeable dans ce cas.

4.1.1.2 Production de chaleur

Le graphique ci-dessous présente la répartition des productions d’énergie en fonction des puissances.



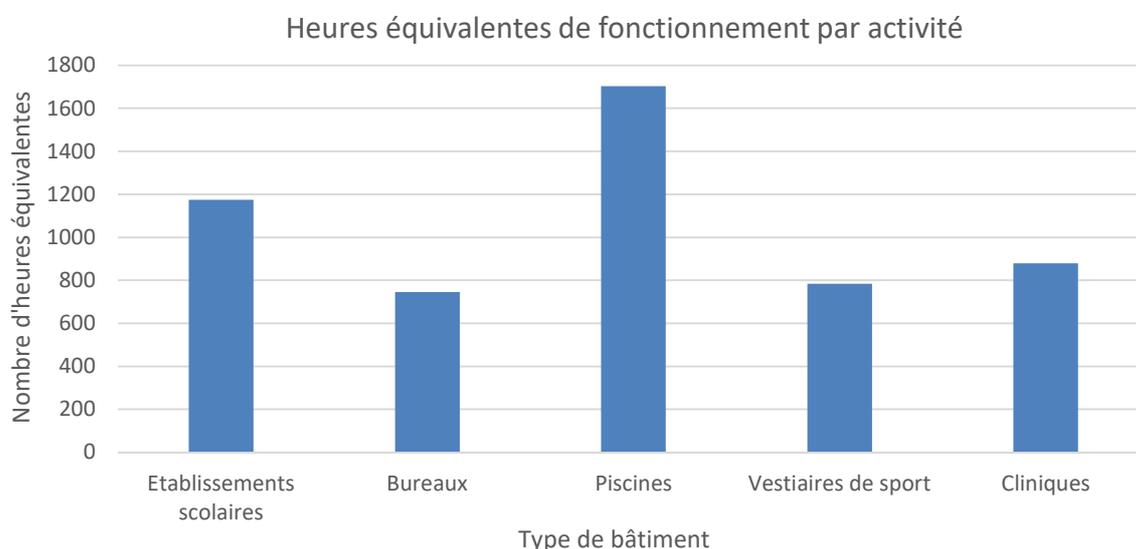
Les heures de fonctionnement étant sensiblement les mêmes quelque soit la puissance installée, plus cette dernière est élevée et plus la production énergétique est importante.

Il a toutefois été dans cette partie différenciée les piscines des autres types de bâtiment, le besoin de chauffe étant bien plus important et bien plus régulier temporellement parlant pour ce type d’activités. Les deux piscines sont équipées d’une PAC de puissance respective 254 et 854kW, pour une énergie annuelle produite de 460 et 1356 kWh. L’avantage pour ce type d’activités est que l’usage de la PAC est important et présente donc des rentabilités sur investissement très intéressantes.

4.1.2 Nombre d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale

Un indicateur ne jugeant pas directement du bon fonctionnement de l'installation a toutefois son importance : il s'agit du nombre d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale de la PAC. Ce chiffre ne permet pas de quantifier le nombre d'heures de fonctionnement total, mais est un rapport entre l'énergie produite si la PAC fonctionnait en permanence à puissance nominale et l'énergie réellement produite. Le but de cette valeur est que lors de la conception de la chaufferie la puissance à fournir mais également les besoins annuels soient étudiés pour dimensionner efficacement la pompe à chaleur.

Sur les sites où le calcul est possible, les valeurs d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale vont de 670 heures à 1810 heures. Un nombre d'heures équivalentes de fonctionnement de 1000 heures sur une installation géothermique révèle une contrainte relativement bien respectée vis-à-vis de l'ADEME et une installation bien dimensionnée. Les bâtiments où les heures équivalentes de fonctionnement sont les plus importantes sont les espaces nautiques, nécessitant une fourniture quasi continue lors des périodes d'ouverture, comme le montre le graphique suivant présentant les heures équivalentes de fonctionnement par typologie de bâtiments :



4.1.3 Calcul du COP brut

Le COP brut permet de définir le rendement d'une pompe à chaleur. Le COP est le rapport entre l'énergie produite par la pompe à chaleur et l'énergie électrique fournie au compresseur permettant le fonctionnement. Ainsi plus le COP est élevé et moins la consommation électrique sera importante à production thermique égale. L'avantage d'avoir un COP élevé est alors de réduire ses dépenses énergétiques et d'abaisser le temps de retour sur investissement au travers des économies financières réalisées. Un COP élevé est favorisé par une différence de température la plus faible possible entre source et production.

Les COP qui ont pu être calculés pour les installations se trouvent dans le tableau récapitulatif suivant :

Valeur du COP brut	COP < 3	3 < COP < 4	4 < COP < 5	5 < COP
Nombre d'installations	2	3	4	3
Signification	COP faible	COP bon	COP très bon	COP excellent

Ces résultats montrent que dans la globalité les installations fonctionnent bien, voire très bien. Cela s’explique par des bons choix de conception, notamment au niveau des températures de régime de fonctionnement.

4.2 Performances économiques

En 2015 Ecome a réalisé une étude pour l’ADEME dans laquelle ont été analysés les coûts d’investissement et d’exploitation de 75 installations géothermiques. Un extrait de l’étude se trouve ci-après et a permis d’établir une comparaison avec les sites audités en 2017. Cet outil est un bon indicatif pour déterminer les coûts d’une installation en phase de conception.

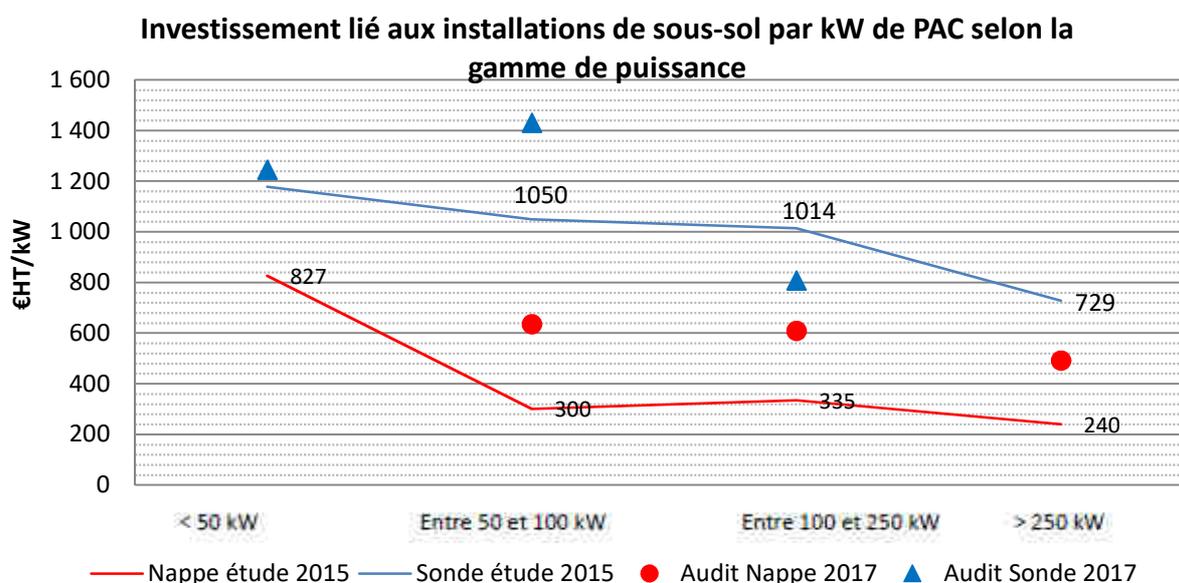
Devant l’échantillon important de sites étudiés en 2015, les valeurs nouvellement obtenues ne constituent pas une véritable moyenne. De plus, il convient de signaler que les informations renseignées sont le plus souvent issues d’estimation de bureaux d’étude et ne sont donc pas des coûts réels. L’information est régulièrement incomplète ou présente une grande dispersion.

Remarques :

- Aucune installation de géothermie sur sondes avec une puissance supérieure à 250 kW n’a été auditée ;
- Les coûts économiques des sites de géothermie sur nappe de puissance inférieure à 50 kW n’ont pas été communiqués.

4.2.1 Ratio coût forage par puissance PAC : €HT / kW PAC

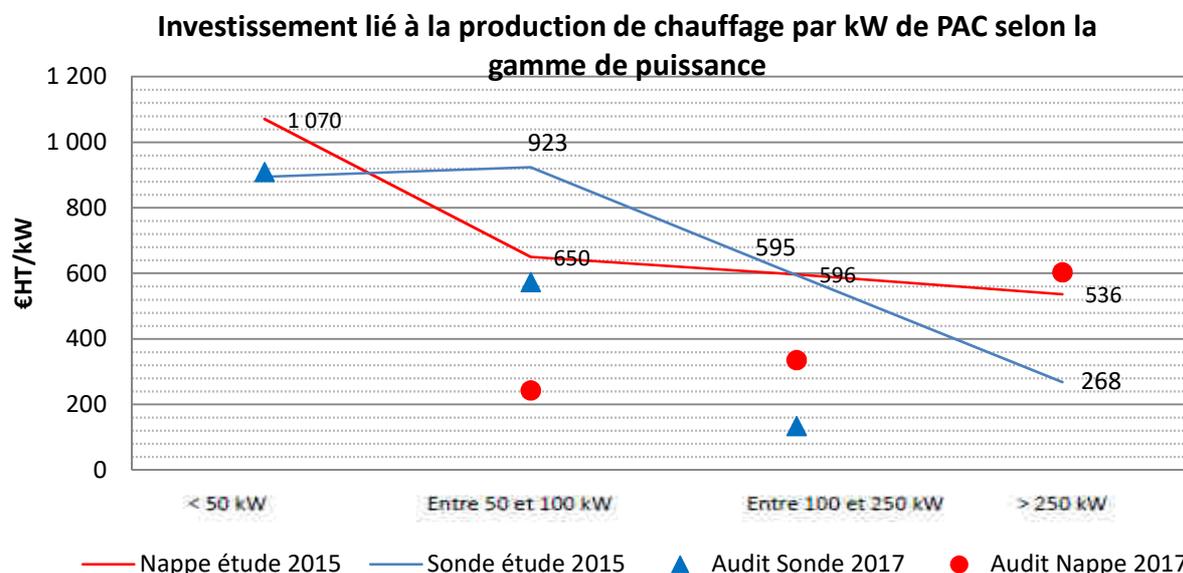
Dans un premier temps, un ratio pour établir l’investissement lié au forage et comprenant les tranchées et réseaux jusqu’au local technique est réalisé. L’investissement est ramené à la puissance de la PAC, facilitant les comparaisons. De plus, les données sont triées par gamme de puissance pour obtenir des tendances les plus justes possibles.



Ce graphique permet de constater que les valeurs du coût de forage lors de l’audit de 2017 sont du même ordre de grandeur que celles de l’audit de 2015 pour la géothermie sur sonde. Un écart plus important est constaté pour les installations géothermiques sur nappe, cependant le ratio est moins pertinent du fait de l’importance des profondeurs de forage dans la détermination du coût. De plus, l’échantillon d’étude de 2017 est trop peu important pour fournir des valeurs moyennes pertinentes.

4.2.2 Ratio coût installations de surface par puissance PAC : €HT / kW PAC

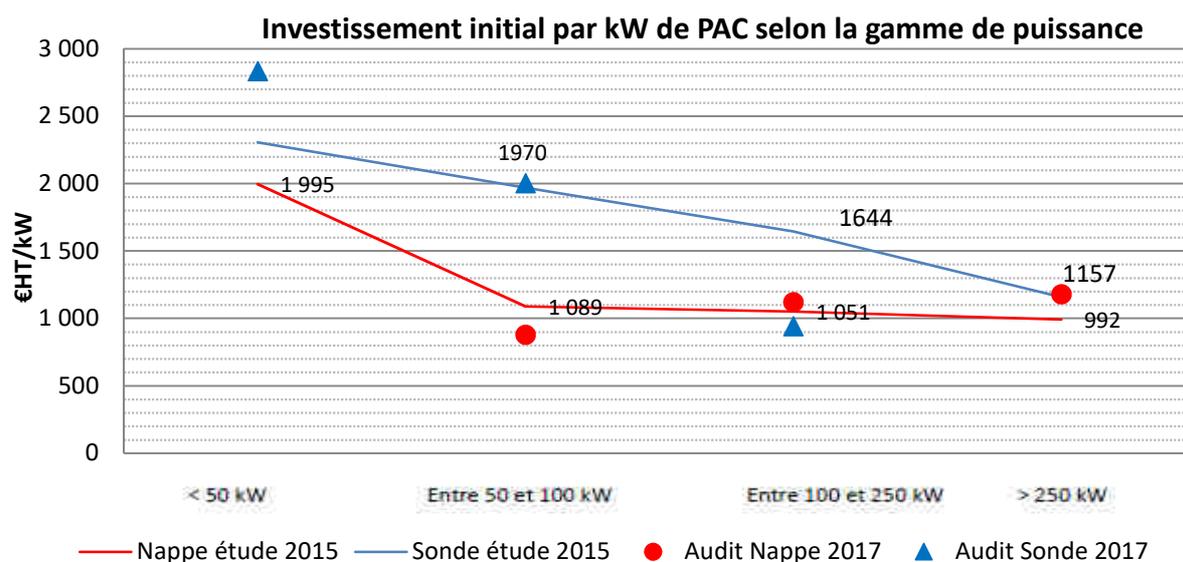
Le même exercice est réalisé pour les dépenses liées à la production de chauffage et aux PAC (appoint compris). Ce coût est à nouveau ramené à la puissance de la PAC, et permet de répartir les installations selon l'investissement lié à la production de chauffage (PAC, chauffage, appoint ...).



Les coûts en surface des installations par puissance de PAC sont plus faibles pour notre étude de 2017 que celle de 2015, mais devant le faible échantillon audité il est peu évident d'en tirer des conclusions pertinentes.

4.2.3 Ratio coût global par puissance PAC : €HT / kW PAC

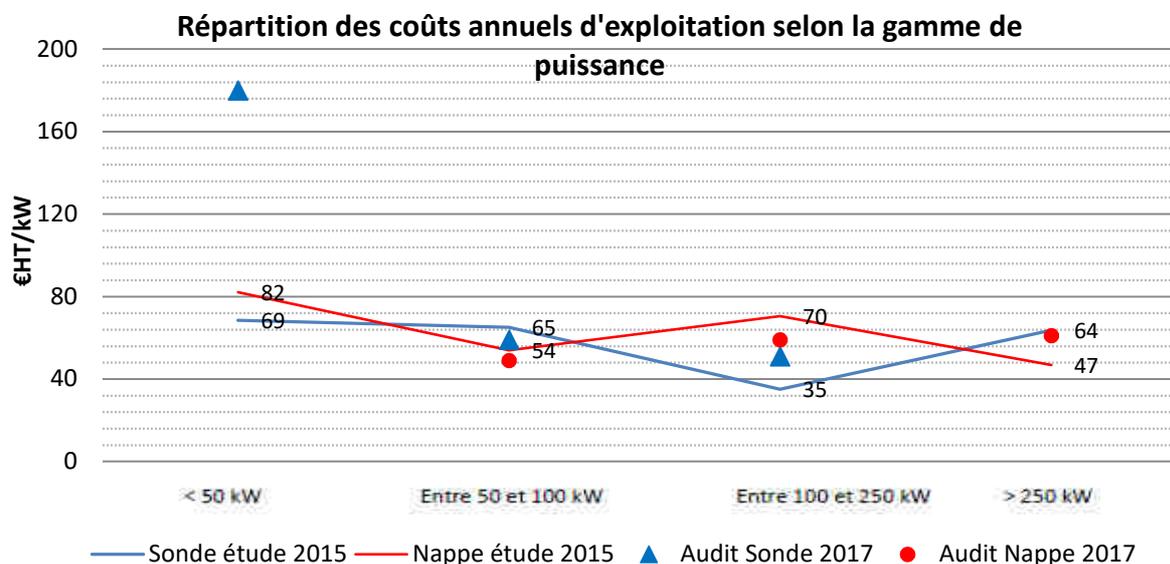
Enfin un dernier coût prend en compte l'investissement initial total (sous-sol + surface) et est ramené à la puissance de la PAC. Il permet de représenter l'enveloppe budgétaire initiale à mobiliser en fonction de la puissance installée.



Les coûts globaux des installations, que ce soit pour les installations géothermiques sur nappe ou sur sondes, sont similaires entre les deux études, l'ordre de grandeur est le même.

4.2.4 Ratio coût annuel d'exploitation : €HT / MWh / an

Le coût annuel lié à l'exploitation est ici caractérisé pour chaque installation. Il est ramené à la puissance de la pompe à chaleur installée. Le coût pris en compte est donc la somme des frais annuels d'exploitation P_1 , P_2 et P_3 .



Les coûts d'exploitation sont ici parfaitement similaires entre les études de 2015 et 2017 (excepté pour un site sonde < 50 kW).

Pour conclure cette partie, les prix constatés sont dans la globalité en ligne avec l'étude de 2015, que ce soit sur l'investissement relatif au forage ou le coût d'exploitation notamment.

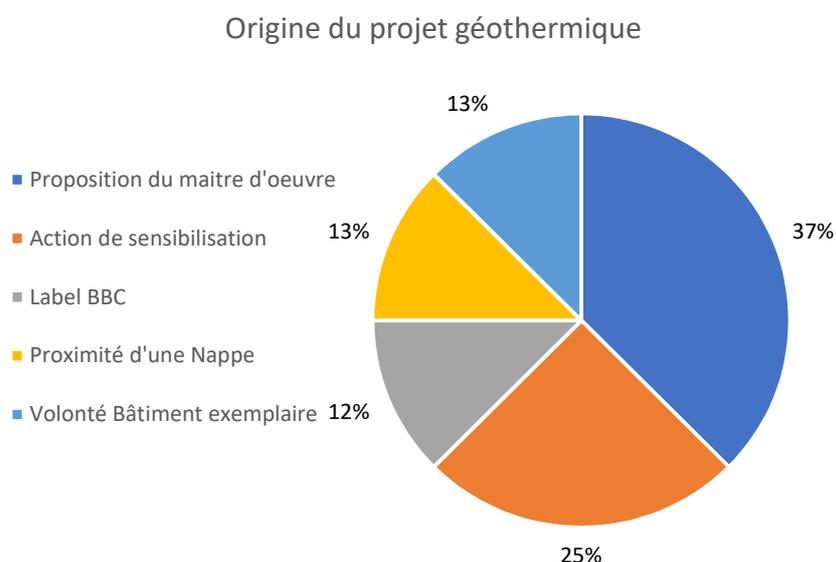
Toutefois plusieurs éléments peuvent influencer de manière importante sur l'aspect financier. Sur les petites installations notamment l'ajout d'une sonde supplémentaire permettant une couverture totale des besoins peut modifier fortement le prix de l'installation à la hausse. Des particularités géologiques ou des contraintes techniques éventuelles sont également parfois sources d'augmentations significatives des tarifs par rapport aux moyennes précédemment établies.

5 Synthèse des questionnaires

Dans cette partie une synthèse est établie à partir du retour des maîtres d'ouvrage des sites audités. Dix-neuf installations géothermiques des Hauts-de-France ont ainsi été visitées, dans le but de s'enquérir des impressions des maîtres d'ouvrages par rapport à leur installation, de leur satisfaction vis-à-vis de la géothermie et même de l'origine de leur projet. 13 questionnaires ont été remis et 8 ont répondu à toutes les questions, facilitant la démarche d'audit. Les échanges lors des visites de sites ont permis de récupérer des réponses supplémentaires à certaines questions du questionnaire.

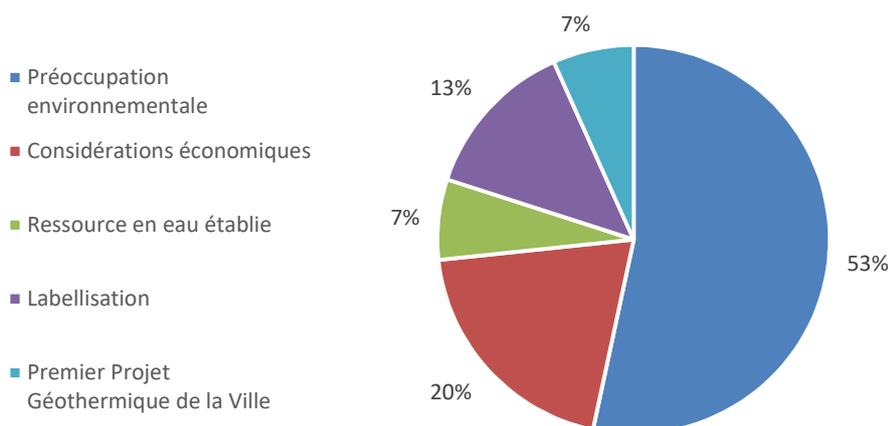
Un questionnaire type comprenant l'ensemble des questions est joint en annexe.

5.1 Point de départ du projet



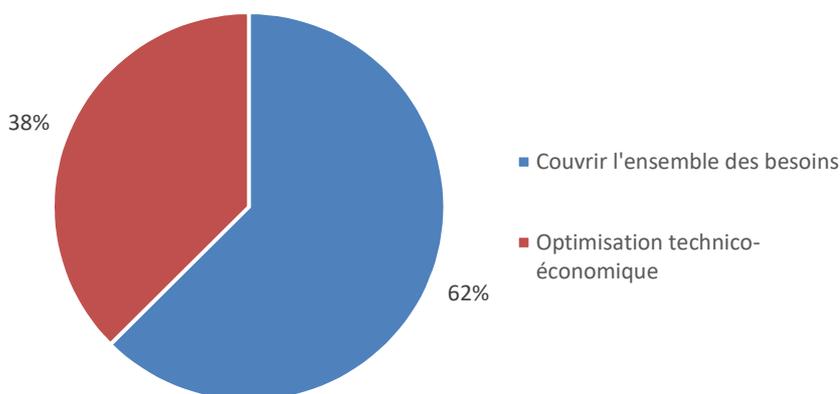
D'après ce graphique (sur 8 réponses) l'idée d'une chaufferie géothermique provient majoritairement d'une proposition du maître d'œuvre. Les actions de sensibilisation provenant de l'ADEME, de la région et de l'ensemble des partenaires sont également à l'origine de tels projets. Enfin, cette intention peut également provenir du besoin d'énergies renouvelables pour obtenir un label ou de l'exploitation bienvenue d'une nappe voisine.

Motivations principales pour la géothermie



Concernant les motivations poussant à concevoir une installation géothermique (sur 15 réponses), la préoccupation environnementale est dans plus de la moitié des cas l'argument principal. Les considérations économiques arrivent en deuxième position, avec comme justification récurrente une visibilité incertaine des prix des hydrocarbures. La conception à titre d'exemple ou nécessaire pour une labellisation d'un site sont également des éléments moteurs dans le choix de la géothermie.

Détermination de la puissance



Une fois le choix de la géothermie décidé, il est intéressant de savoir si celle-ci sera utilisée comme source unique de chaleur/froid ou comme complément. D'après l'enquête, dans environ 60% des cas (sur 8 réponses), l'installation a été dimensionnée pour couvrir l'ensemble des besoins du site. Dans les autres cas, une optimisation technico-économique a arbitrée la décision et fait de la géothermie la source principale, complétée par un autre système.

5.2 Déroulé du projet

Huit questionnaires indiquent le déroulé du projet, précisant les démarches liées à la conception et la mise en œuvre de l'installation. Le tableau suivant récapitule ces données :

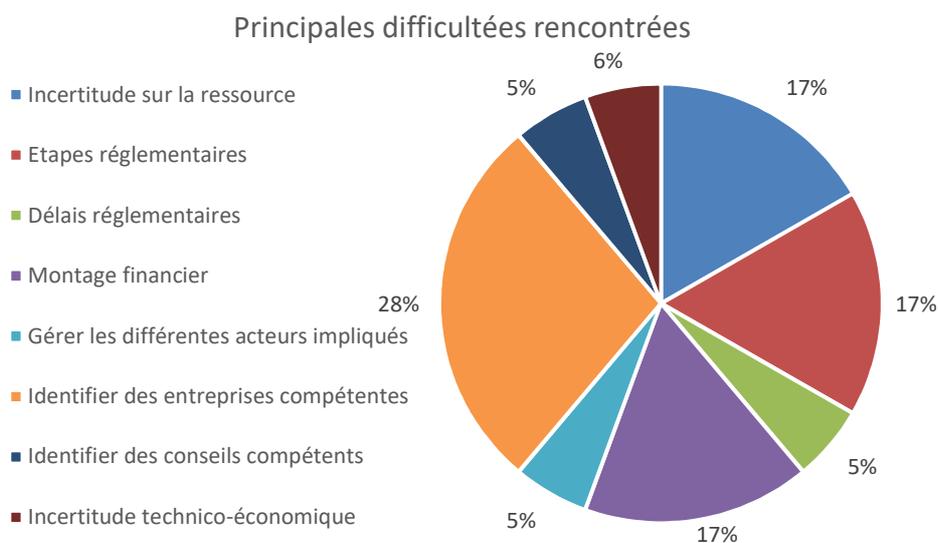
	OUI	NON
Etude de faisabilité Energies Renouvelables	5	3
Etude hydrogéologique préliminaire	7	1

Forage de reconnaissance/sonde test	7	1
Cahier des charges établi par BET sous-sol	5	3
Encadrement des travaux par BET sous-sol	5	3
Mise en place d'un suivi de performance	6	2
Exploitation et interprétation des données du suivi	6	2

Au regard de ce tableau et selon les dires des personnes interrogées, la grande majorité des projets ont été effectués suite à des études hydrogéologiques préliminaires et des forages de reconnaissance, analyses qualifiant avec précision le potentiel géothermique du site. Pour la suite des études toutefois, la nécessité de faire appel à un bureau d'études spécialisé sous-sol n'est pas systématique.

Remarque : sur les huit sites ayant répondu, 6 indiquent avoir mis en place des équipements de suivi de performance. Cette proportion de 75% est particulièrement élevée, sur l'ensemble des visites 50 % des installations en sont équipées. Certains dispositifs mis en place ne permettent qu'une analyse incomplète.

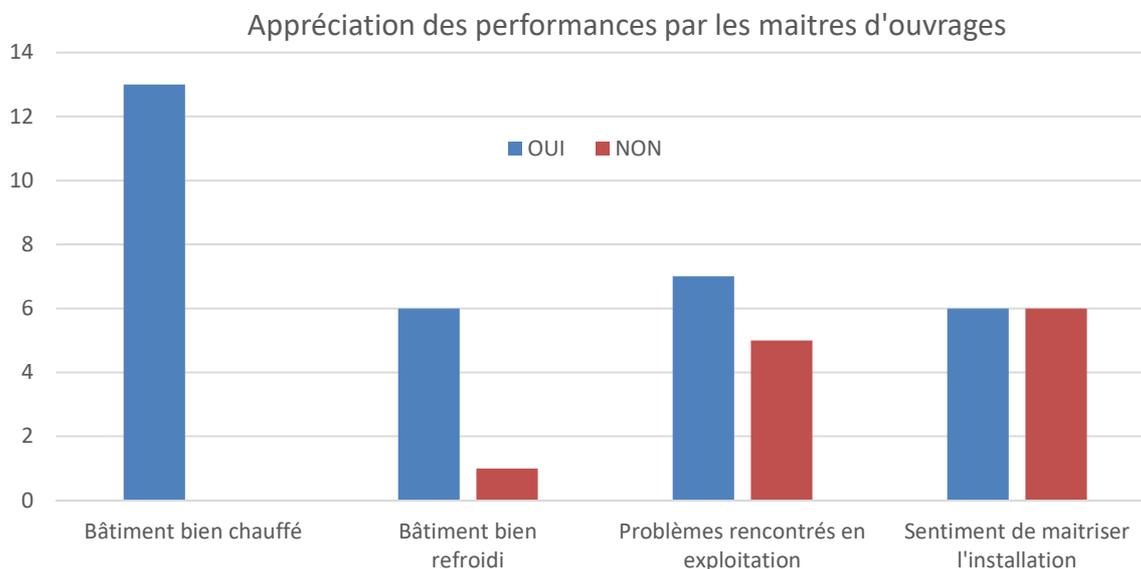
Les phases de conception et de réalisation sont sources de nombreux problèmes, que ce soit d'ordre financier, technique ou même managériale. Le graphique suivant (sur 18 réponses) présente plusieurs complications auxquels ont dû faire face les maîtres d'œuvres lors la réalisation de l'installation géothermique.



La plupart des ennuis sont spécifiques au secteur même de la géothermie, notamment l'incertitude sur la ressource, l'identification des entreprises compétentes dans ce domaine relativement nouveau, mais également lors de l'établissement des dossiers financiers et des demandes d'aides. Enfin, des problèmes communs à tous types de travaux se retrouvent, tels que la gestion des différents acteurs ou le suivi des délais réglementaires.

5.3 Appréciation spécifique de la géothermie

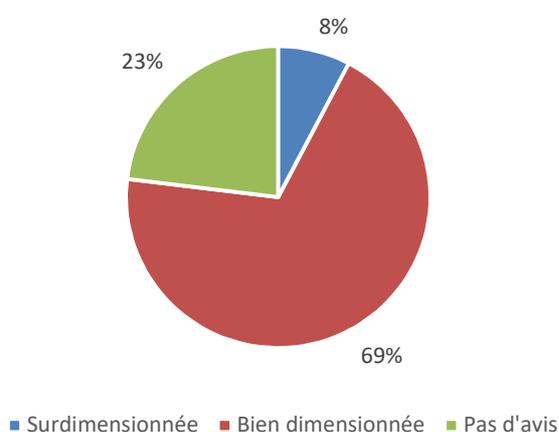
Dans cette partie, les maîtres d’ouvrage ont donné leur ressenti et leur satisfaction par rapport à leur propre installation de géothermie. Sur les treize sites ayant répondu à cette partie, tous réalisent leur production de chaleur par ce biais et sept produisent également du froid.



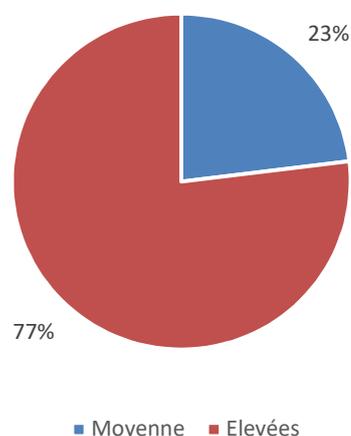
Ainsi tous les maîtres d’ouvrages sont satisfaits du chauffage par géothermie et un seul site (sur sept) ne donne pas satisfaction concernant le rafraîchissement. Paradoxalement, au niveau de la conduite de l’installation et de l’exploitation, les résultats sont plus mitigés. En effet environ 40% des sites ont rencontré des problèmes d’exploitation. Cette observation est à nuancer, la plupart des pannes étant bénignes. Toutefois, les maîtres d’ouvrages se plaignent d’un suivi en deçà de leurs attentes en exploitation et surtout d’un manque de retour sur les actions menées.

Il faut également noter que la moitié des personnes sondées (13 réponses) ne considèrent pas qu’elles maîtrisent l’installation. Au vu de cette observation, des notes explicatives permettant une communication plus marquée auprès des maîtres d’ouvrages pourraient alors s’avérer nécessaire.

Appréciation du dimensionnement de l'installation



Appréciation des performances



Deux solutions semblent intéressantes afin de réduire les problèmes liés à l'exploitation :

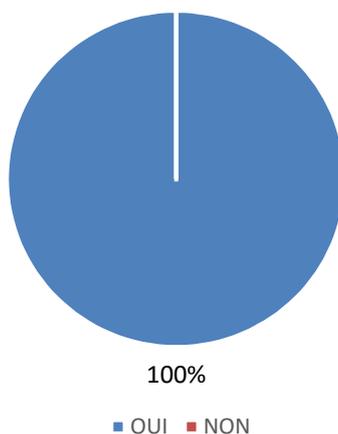
- La mise en œuvre de missions de commissionnement par des experts qualifiés sur les installations de géothermie, permettant de suivre la conception et l'exploitation des installations pendant la première année ;
- La mise en place de missions ou contrats de suivi d'exploitation spécifiques par ce type de professionnels en continu sur les installations.

Ces deux graphiques viennent relativiser le sentiment de non-maîtrise des installations par les personnes sondées. Le dimensionnement est effectivement perçu comme étant bon dans 75% des cas et les performances des installations sont considérées comme élevées dans la même proportion.

5.4 Appréciation globale de la géothermie

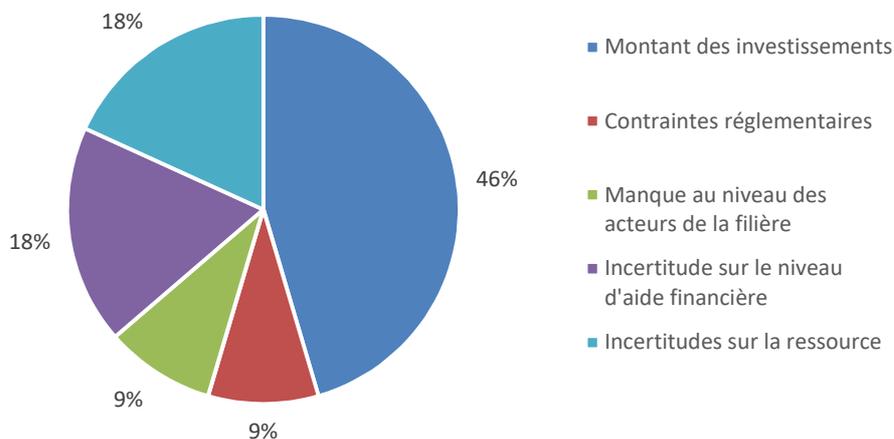
Le questionnaire a aussi pour vocation d'obtenir un ressenti global de la géothermie. Du fait des graphiques ci-dessous, cette technologie est plutôt très bien appréciée et a convaincu ceux qui l'utilisent (10 réponses).

Recommandations à un autre maître d'ouvrage



En effet, 100% des réponses indiquent que la géothermie serait recommandée à d'autres maîtres d'ouvrages. Dans une dernière question, les interviewés ont été questionnés sur les raisons qui d'après eux empêchent un développement plus marqué de la géothermie.

Freins principaux au développement de la filière



Il en ressort que le montant des investissements serait le frein principal au recours à cette source énergétique. Les incertitudes à la fois du point de vue énergétique mais également en termes d'aides financières sont une problématique soulevée par les maîtres d'ouvrages. Enfin, il est noté que les contraintes réglementaires ne sont pas craintes par ces derniers et arrivent en dernière position dans leurs réponses (18 réponses).

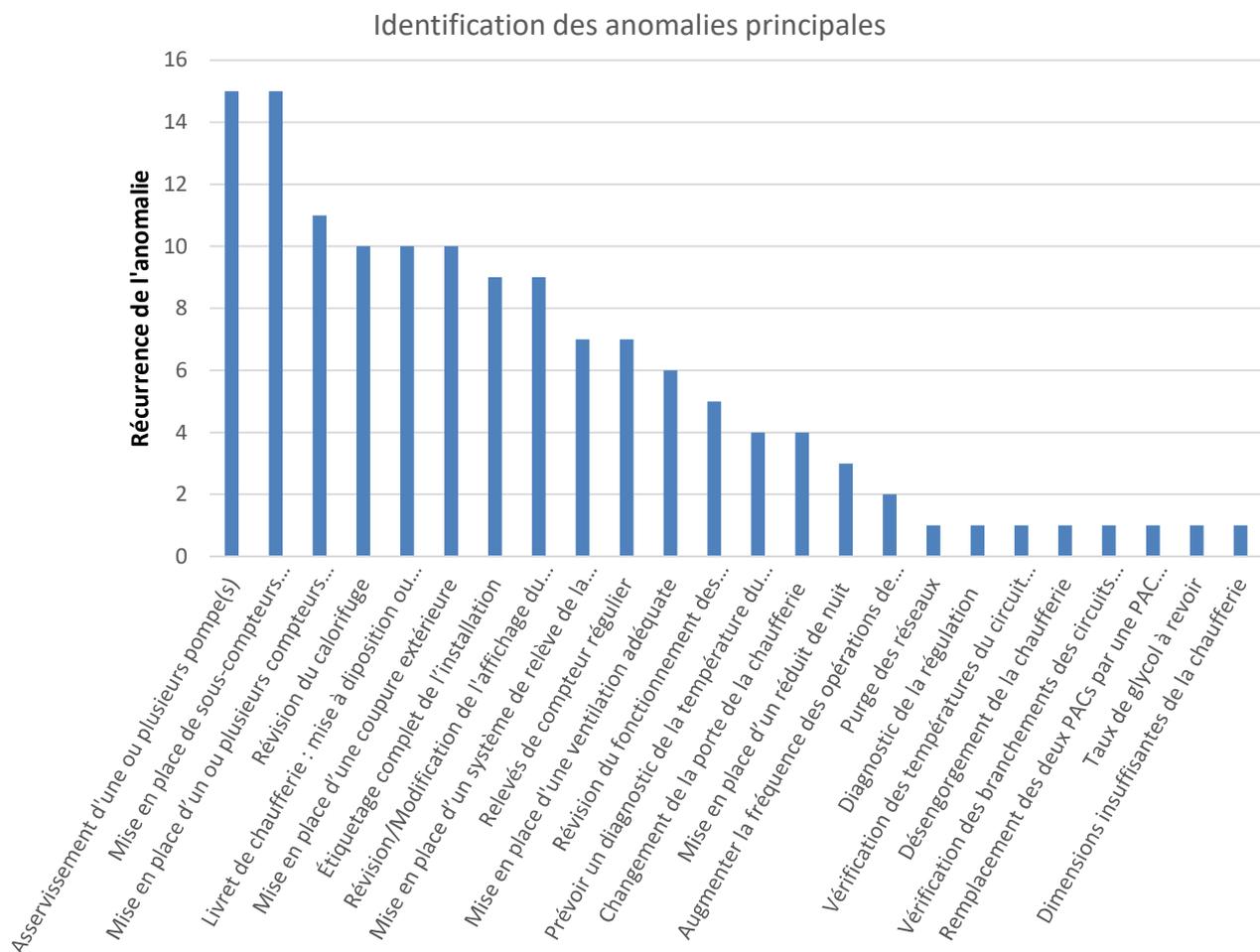
Ce dernier graphique peut notamment servir de levier afin de dégager des pistes d'amélioration pour faciliter le développement de la géothermie. Le nombre de questionnaires complets recueillis ne permet toutefois pas de tirer des conclusions certaines et applicables à toutes les installations géothermiques. La taille de l'échantillon donne tout de même un bon aperçu des principales problématiques rencontrées ainsi que d'un bon niveau de satisfaction de la technologie.

6 Anomalies constatées

Au terme des visites, les anomalies de chaque site ont été remontées dans les rapports d'audit sous forme de liste de recommandations pouvant améliorer l'installation. Trois degrés de gravité ont été définis :

- Suivi de l'installation à améliorer ;
- Remise en cause des performances énergétiques/économiques de l'installation ;
- Mise en péril technique de l'installation.

Suivant la gravité, des modifications de l'installation sont à entreprendre pour résoudre l'anomalie. Toutes ces anomalies sont présentées sous forme d'histogramme dans le graphique suivant, permettant de rendre compte de la fréquence d'une anomalie.



Ce tableau a pour rôle également de récapituler l'analyse croisée. On retrouve en effet les points marquants de l'étude, avec notamment comme problématiques les plus souvent observées un non-asservissement des pompes sur le fonctionnement de la pompe à chaleur et l'absence régulière de compteurs électriques ou thermiques sur les installations géothermiques.

10 anomalies ont fait l'objet d'une analyse plus poussée, avec l'élaboration d'une fiche anomalie décrivant l'anomalie, ses conséquences, les moyens de la corriger et les moyens de l'éviter. La liste ci-après définit les fiches réalisées :

- Asservissement des pompes ;
- Calorifugeage de l'installation ;
- Optimisation de la régulation de production ;
- Variateur de vitesse sur la pompe de forage ;
- Maintenance irrégulière ;
- Suivi des performances énergétiques ;
- Schéma hydraulique inadapté ;
- Cadre juridique du local chaufferie ;
- Surdimensionnement d'une installation géothermique sur sondes ;
- Sous-dimensionnement d'une installation géothermique sur sondes.

Une fiche exemple est présentée en annexe.

7 Annexe

7.1 Questionnaire Audit



Promotion de la géothermie en Champagne-Ardenne

Enquête et audit sur des installations existantes de géothermie

Le présent questionnaire s'articule en trois parties :

- La liste des différents intervenants impliqués sur le projet de géothermie,
- Une enquête sur les origines du projet, son déroulé, et votre appréciation du système,
- Une liste de documents qu'il nous serait utile de pouvoir collecter.

N'hésitez pas à nous contacter si certains libellés n'étaient pas assez explicites. La visite de votre installation que nous espérons pouvoir effectuer sera également l'occasion, le cas échéant, de finir de compléter ensemble ce formulaire.

IMPORTANT

Cette démarche se fait dans un cadre strictement confidentiel. Les données traitées dans le cadre de cet audit seront banalisées. Les conclusions générales seront rendues publiques. Elles vous permettront notamment de bénéficier d'un état des lieux de la géothermie intermédiaire en Champagne-Ardenne. De manière plus ciblée, un retour sur d'éventuelles pistes d'optimisation de votre installation pourra le cas échéant, vous être fait. Nous tenons également à souligner que cet audit poursuit un but de connaissance de la situation régionale de la géothermie et n'a pas vocation à remettre en cause d'éventuels financements obtenus ou à rendre des comptes sur la conformité réglementaire des systèmes.

Nom du projet (commune – entreprise) :
Bâtiments concernés :
Année de réalisation :



Principaux intervenants

Maitre d'Ouvrage

Nom ou raison sociale :

Adresse :

Téléphone :

Courriel :

Architecte

Nom ou raison sociale :

Adresse :

Téléphone :

Courriel :

Bureau d'études thermique

Nom ou raison sociale :

Adresse :

Téléphone :

Courriel :

Bureau d'études sous sol

Nom ou raison sociale :

Adresse :

Téléphone :

Courriel :

Entreprise générale de travaux

Nom ou raison sociale :

Adresse :

Téléphone :

Courriel :

Entreprise de forage

Nom ou raison sociale :

Adresse :

Téléphone :

Courriel :



Enquête qualitative

ORIGINES DU PROJET, MOTIVATIONS	
D'où vient l'idée de la géothermie ?	
<input type="checkbox"/> Proposition du maître d'œuvre <input type="checkbox"/> Action de sensibilisation (Ademe, Agence Locale de l'Energie,...)	<input type="checkbox"/> Connaissance d'installations comparables <input type="checkbox"/> Démarchage d'une entreprise <input type="checkbox"/> Autre :
Motivations principales pour la géothermie ?	
<input type="checkbox"/> Préoccupations environnementales <input type="checkbox"/> Ressource en eau établie <input type="checkbox"/> Performance thermique réglementaire (niveau de performance, labellisation HQE)	<input type="checkbox"/> Considérations économiques <input type="checkbox"/> Besoins de rafraîchissement <input type="checkbox"/> Autre :
ASPECTS FINANCIERS	
Financement :	
<input type="checkbox"/> Fonds propres : € <input type="checkbox"/> Tiers investisseur : €	<input type="checkbox"/> Emprunt bancaire : € <input type="checkbox"/> Autre : €
Subvention :	
<input type="checkbox"/> Ademe : € <input type="checkbox"/> Autre : €	<input type="checkbox"/> Région : €
Portant sur :	
<input type="checkbox"/> Etudes <input type="checkbox"/> Travaux	<input type="checkbox"/> Forage de reconnaissance <input type="checkbox"/> Autre :
Le projet de géothermie aurait-il pu être réalisé sans subvention ?	
<input type="checkbox"/> Oui	<input type="checkbox"/> Non



DEROULE DU PROJET	
Étapes du projet :	
<input type="checkbox"/> Etude de faisabilité Energies Renouvelables	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> Etude hydrogéologique préliminaire	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> Forage de reconnaissance / sonde test	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> Cahier des charges rédigé par un bureau d'étude sous-sol	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> Encadrement des travaux par un bureau d'étude sous-sol	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> Mise en place d'équipement de suivi des performances	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> Exploitation et interprétation des données de suivi	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Comment s'est fait le choix entre nappe et sondes géothermiques ?	
<input type="checkbox"/> Qualité de la ressource en eau	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
<input type="checkbox"/> Optimisation économique	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Comment a été déterminée la puissance équipée en géothermie ?	
<input type="checkbox"/> De manière à couvrir l'ensemble des besoins	<input type="checkbox"/> Par une optimisation technico-économique
<input type="checkbox"/> Par des considérations budgétaires	<input type="checkbox"/> Autre :
Présence d'un dispositif d'appoint / secours ?	<input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non
Au cours de ce projet avez-vous sollicité des informations sur la géothermie ?	
<input type="checkbox"/> site « géothermie perspective »	<input type="checkbox"/> Ademe
<input type="checkbox"/> Autre :	<input type="checkbox"/> Espaces info énergie



APPRECIATION DE VOTRE INSTALLATION DE GEOTHERMIE				
Est-ce que l'installation permet de bien chauffer le bâtiment ? <input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non				
Est-ce que l'installation permet de bien refroidir le bâtiment (le cas échéant) ? <input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non				
Quelle est votre appréciation sur les performances du système ?				
1	2	3	4	5
Faibles	Médiocres	Moyennes	Elevées	Très élevées
Avez-vous un retour chiffré sur ces performances ? <input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non				
Quelle est votre appréciation sur le dimensionnement de la géothermie ?				
<input type="checkbox"/> Installation surdimensionnée		<input type="checkbox"/> Installation bien dimensionnée		
<input type="checkbox"/> Installation sous-dimensionnée		<input type="checkbox"/> Pas d'avis		
Recommanderiez-vous à un autre maître d'ouvrage le recours à la géothermie ? <input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non				
Quelles ont été les principales difficultés rencontrées :				
<input type="checkbox"/> Incertitude sur la ressource		<input type="checkbox"/> Etapes réglementaires		
<input type="checkbox"/> Délais réglementaires		<input type="checkbox"/> Montage financier		
<input type="checkbox"/> Gérer les différents acteurs impliqués		<input type="checkbox"/> Identifier des entreprises compétentes		
<input type="checkbox"/> Identifier des conseils compétents		<input type="checkbox"/> Conflit de voisinage		
<input type="checkbox"/> Autre :				
Précisions :				
Avez-vous rencontré des problèmes en exploitation ? <input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non				
Si oui, nature des problèmes :				
Avez-vous le sentiment de bien maîtriser le fonctionnement de l'installation ? <input type="checkbox"/> Oui / <input type="checkbox"/> Non				



APPRECIATION GENERALE DE LA GEOTHERMIE	
Quels sont selon vous les freins principaux au développement de la filière :	
<input type="checkbox"/> Montant des investissements	<input type="checkbox"/> Etapes réglementaires
<input type="checkbox"/> Contraintes réglementaires	<input type="checkbox"/> Manques au niveau des acteurs de la filière
<input type="checkbox"/> Incertitude sur le niveau d'aide financière possible	<input type="checkbox"/> Incertitude sur la ressource
<input type="checkbox"/> Autre :	
Précisions :	

7.2 Exemple de fiche anomalie



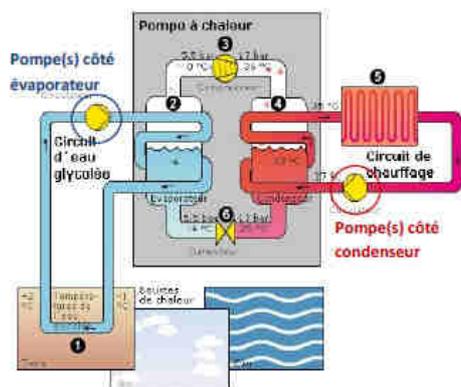
Fiche point de vigilance : Anomalie de conception Asservissement des pompes géothermiques

1 Degré de gravité de l’anomalie et récurrence de l’anomalie

L’asservissement des pompes est considéré comme une anomalie de conception mettant en péril les performances énergétiques et économiques de l’installation, sans pour autant compromettre son fonctionnement technique. Sur l’ensemble des sites audités, cette anomalie a été relevée dans 79% des installations visitées. Il s’agit donc d’une problématique très fréquemment rencontrée.

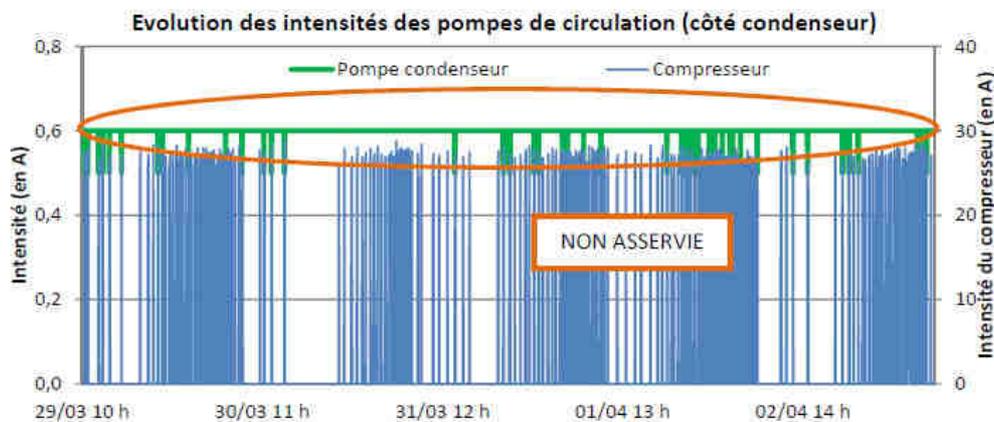
2 Description de l’anomalie

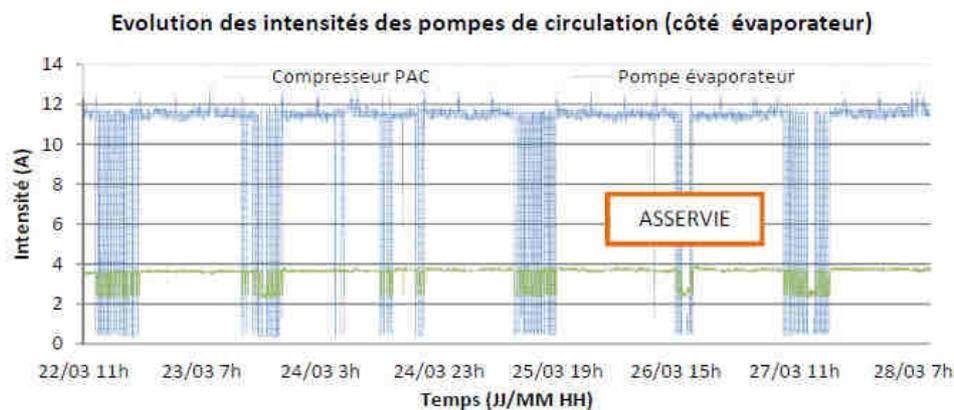
Une installation de géothermie est généralement constituée d’une pompe à chaleur (PAC) et de plusieurs pompes de circulation situées en amont et en aval de la PAC, c’est-à-dire côté évaporateur et côté condenseur (voir schéma ci-dessous). La pompe côté évaporateur est utilisée pour faire circuler le fluide caloporteur l’eau glycolée depuis la source de chaleur jusqu’à la PAC alors que la pompe condenseur permet l’alimentation des circuits secondaires de chauffage ou d’eau chaude sanitaire le cas échéant.



Dans 79% des installations visitées, l’une (au moins) de ces pompes n’est pas asservie à la PAC. Cela signifie que leur fonctionnement est indépendant : au lieu d’avoir une activité identique à celle de la PAC, ces pompes fonctionnent en continu. En résumé, la pompe à chaleur ne transmet pas d’informations aux différentes pompes.

Les deux graphiques suivants représentent la notion d’asservissement : dans le premier cas une pompe non-asservie dont l’activité est continue, puis dans le deuxième cas une pompe de forage asservie.





3 Impacts potentiels

Bien que cette anomalie ne remette pas en cause le bon fonctionnement technique de l'installation, elle peut engendrer les impacts suivants :

- Surconsommation électrique ;
- Usure prématurée des pompes qui implique donc un remplacement plus fréquent de ces éléments de chaufferie ;
- Diminution du rendement global de l'installation causée par les surconsommations en électricité (COP système).

Pour illustrer les coûts énergétiques et financiers du non-asservissement, prenons l'exemple d'une PAC de 120 kW fonctionnant uniquement lors de la saison de chauffe (soit 4320 heures), mais dont les compteurs affichent une activité annuelle réelle du compresseur de 2050 heures.

Hypothèses de calcul :			
Puissance pompe : 1,5 kW	Pompe	Pompe	Gain avec
Fonctionnement : 2053 h/an	Non-asservie	Asservie	l'asservissement
Coût de l'électricité : 100 €/MWh			
Temps de fonctionnement (en h)	4 320	2 050	2 270
Énergie annuelle (en kWh)	6 480	3 080	3 400
Coût annuel (en €)	648 €	308 €	340 €

4 Moyens de résolution

Pour résoudre cette anomalie, il faut établir une communication entre la PAC et les pompes à l'aide d'une connexion électrique entre la carte électronique de la PAC (qui donne l'information) et la pompe (qui reçoit l'information, via un contacteur par exemple).

Les raccordements nécessitent quelques modifications de l'armoire électrique, ainsi le recours à un professionnel est indispensable. Cette intervention est estimée à 500 euros pour intervenir sur une pompe (tarif dégressif s'il y a plusieurs pompes à modifier).

Au regard de l'exemple ci-dessus, le retour sur investissement est court. Si la PAC réalise à la fois le chauffage et la climatisation, l'opération devient très rapidement rentable économiquement. Toutefois, en fonction de la puissance des pompes, du nombre de pompes à asservir et de l'utilisation annuelle de la PAC le temps de retour sur investissement sera plus ou moins long.

L'opération peut être réalisée lors du changement des pompes, afin de réduire les coûts (déplacement, main-d'œuvre...).

5 Moyens d'éviter l'anomalie

Cette démarche est à réaliser lors de la phase conception de l'installation, puis lors de la mise en œuvre. Le maître d'œuvre doit veiller à ce que la conception de la chaufferie intègre l'asservissement des pompes. Le surcoût est extrêmement faible et la réalisation aisée. En effet les travaux de conception prennent déjà en compte l'implantation des réseaux de câblage et les techniciens sont déjà sur place pour la mise en œuvre, il n'y a pas de surcoût de déplacement.