

RÉUSSIR UN PROJET DE QUALITÉ EN GÉOTHERMIE DE SURFACE

— POUR PRODUIRE
DU CHAUD ET DU FROID



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique : Astrid Cardona Maestro
et Philippe Laplaige, service réseaux et énergies renouvelables,
ADEME.

Rédacteurs : L'agence Mars et G2H Conseils.

Crédits photo : Couverture / Liner à Montpellier ©ADEME.

Création graphique et illustrations pages intérieures :
L'agence Mars, www.agencemars.com.

Brochure réf. 010767

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, juin 2019

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayant cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

SOMMAIRE

Introduction	4
1 Les retours d'expériences des maîtres d'ouvrage	6
2 Les recommandations pour réussir son projet de géothermie de surface	17
Conception	
• Débits d'irrigation des PAC	18
• Choix d'une PAC avec les meilleures performances	20
• Dimensionnement des PAC	22
• Asservissement des auxiliaires à la PAC	24
• Usage de la ressource géothermique : quelques points de vigilance	28
• Pilotage des pompes de forage par variation de fréquence	32
• Dimensionnement du champ de sondes géothermiques	36
• Cadre réglementaire des installations géothermiques	40
• Risque de légionellose sur la production d'ECS "géothermique"	44
Réalisation	
• Schéma hydraulique des installations	48
• Rapport sur les ouvrages sous-sol	50
• Calorifugeage des installations	52
Suivi	
• Systèmes de pompage sur nappe	54
• Maintien de l'injectivité du forage pour une installation géothermique sur nappe	58
• Régulation de la PAC	62
• Suivi des performances des installations géothermiques	66
• Maintenance des ouvrages souterrains	68
• Maintenance des installations de surface	72
• Rentabilité économique des installations géothermiques	76
Glossaire	79
Conclusion	80



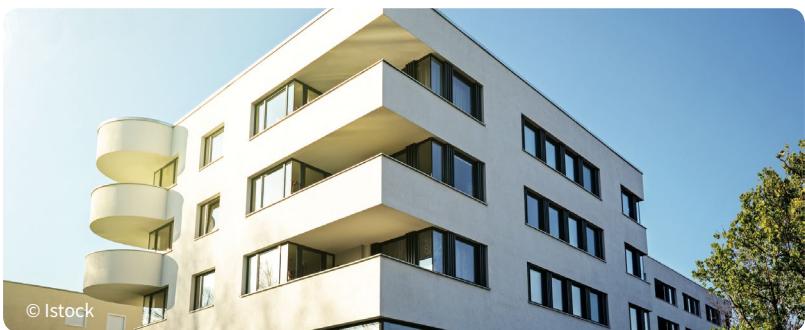
INTRODUCTION

La maîtrise de l'énergie est depuis de très nombreuses années au centre des politiques publiques. La loi sur la transition énergétique et la croissance verte de 2015 a fixé des objectifs à moyen et long termes pour préparer l'après-pétrole et construire un modèle énergétique robuste et durable. Parmi ces objectifs figure la volonté de placer la part des énergies renouvelables dans la consommation nationale d'énergie finale à au moins 23 % en 2020 et 32 % à partir de 2030.

Un défi pour lequel la géothermie de surface peut et doit prendre toute sa place. En effet, cette filière également appelée géothermie très basse énergie ou géothermie assistée par pompe à chaleur, a beaucoup d'atouts pour répondre aux enjeux nationaux.

Le saviez-vous ? La géothermie est une ressource énergétique locale, exploitable quasiment partout sur le territoire, disponible 24h/24, indépendante des variations climatiques, discrète et avec très peu d'émissions polluantes. Elle permet de couvrir des besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire mais aussi de froid ou de rafraîchissement ; le tout pour des coûts d'exploitation et de maintenance limités.

Si la géothermie de surface reste encore assez méconnue, elle s'est progressivement structurée et monte en puissance sur le territoire. Lors de la présentation de la Programmation pluriannuelle de l'énergie 2018 (PPE), il a été précisé que la production de chaleur par géothermie aussi bien la géothermie de surface que la géothermie profonde sera soutenue car "elle présente un gros potentiel". Cette feuille de route régulièrement revue et prévue par la loi sur la transition énergétique et la croissance verte, fixe les priorités de la politique énergétique à court terme pour permettre à la France d'atteindre la neutralité carbone en 2050 et de répondre aux objectifs qu'elle s'est assignée pour faire face au défi climatique.



Pour la production de chaleur, la PPE 2018 se donne comme objectif de porter la part d'origine renouvelable à 38 % en 2023. Pour y parvenir, un effort financier a été annoncé, le Fonds Chaleur géré par l'ADEME devant passer de 245 millions d'euros en 2018 à 307 millions d'euros en 2019 pour atteindre ensuite 350 millions d'euros en 2020 et 2021 puis 339 millions d'euros en 2022.

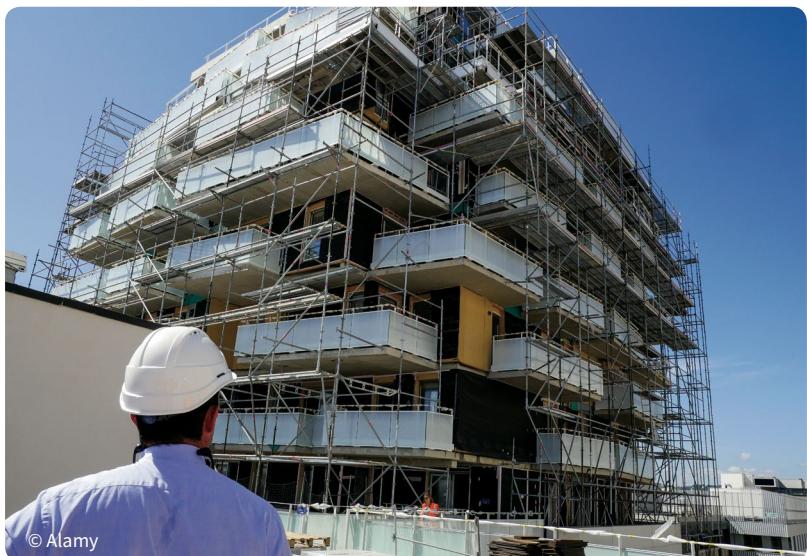
Concernant la géothermie de surface, les actions que mènent l'ADEME et ses partenaires sont multiples : communication, information, animation et structuration de la filière, formation, mise en place d'outils financiers mais aussi d'outils techniques et d'aide à la décision... Un travail de fond issu d'audits réalisés sur des installations de géothermie dans les régions Grand Est, Occitanie et Hauts-de-France a donné une bonne approche de la filière géothermique. Les résultats ont été communiqués localement. Il convient désormais de les partager à grande échelle pour entretenir la dynamique et l'amélioration continue des projets ainsi que leur multiplication.*

Le saviez-vous ? Le Fonds chaleur a été mis en place par l'État pour soutenir le développement de la production renouvelable de chaleur telles que les installations bois énergie, solaire thermique, géothermie... Il est destiné à l'habitat collectif, aux collectivités et aux entreprises. De 2009 à 2018, sur 2 milliards d'euros engagés pour aider plus de 4 800 installations et produire 27,7 TWh d'EnR&R par an, le dispositif a permis de financer la réalisation de 572 installations de géothermie de surface et profonde pour un montant d'aide de 163 millions d'euros.

* Audits Grand Est et Occitanie menés par les bureaux d'études ANTEA et INDDIGO, audits Hauts-de-France menés par le bureau d'études ECOME. Fiches "points de vigilance" en Hauts-de-France réalisées par le bureau d'études ECOME.



LES RETOURS D'EXPÉRIENCES DES MAÎTRES D'OUVRAGE



Qui a eu l'idée de recourir à la géothermie dans un projet ? Quelles ont été les motivations ? Tous les secteurs d'activité sont-ils concernés ? Y a-t-il eu des obstacles, des difficultés particulières ? Trouver un conseil a-t-il été facile, dénicher une entreprise, est-il aisé ? La mise en service s'est-elle déroulée sans encombre ? Autant de questions auxquelles les audits réalisés apportent des réponses concrètes, avec des maîtres d'ouvrage qui se disent volontiers... prêts à recommencer !

RÉSULTATS DES AUDITS SUR PRÈS DE 200 PROJETS ÉTUDIÉS

Cave Champagnes Lacroix-Triaulaire

100 % de satisfaction pour les opérations produisant de la chaleur et 90 % pour les installations assurant du chaud et du froid : le retour d'expérience de maîtres d'ouvrage ayant choisi la géothermie est extrêmement positif.

Ces chiffres résultent de la compilation d'audits régionaux et d'études nationales portant sur les projets aidés par le Fonds Chaleur de l'ADEME. Au total, ce sont ainsi près de 200 projets qui ont été étudiés. Des questionnaires ont été envoyés à chaque maître d'ouvrage d'installation de géothermie assistée par pompe à chaleur sur nappe ou sur champ de sondes dans le cadre des audits détaillés réalisés par les régions Grand Est (en 2014), Occitanie (en 2016) et Hauts-de-France (en 2017). Une étude nationale a été menée en 2015 ciblée sur les coûts d'investissement et d'exploitation de 75 autres installations géothermiques. Enfin, les analyses effectuées dans le cadre de l'étude Galliléo concernant 60 installations supplémentaires ont été intégrées. Ces études sont riches d'enseignement sur les origines d'un projet, ses motivations, ses aspects financiers et son déroulé et enfin le retour à l'usage. Autant d'informations qui se révèleront précieuses pour tout maître d'ouvrage ou maître d'œuvre tenté par l'aventure de la géothermie.

L'ORIGINE DU PROJET : UNE DÉCISION DU CLIENT

Dans la majorité des cas, le recours à la géothermie se fait sur la volonté du maître d'ouvrage. Il en est même à l'initiative directe dans plus de la moitié des cas, soit parce qu'il avait connaissance d'opérations similaires, soit parce qu'il y avait été sensibilisé par la filière ou parce qu'il était engagé dans un processus de labélisation de son projet.



© Champagnes Lacroix-Triaulaire

“Quand le président a compris qu'il pouvait avoir accès à des financements européens pour la qualité environnementale du bâtiment et au dispositif Fonds Chaleur de l'ADEME, il a souhaité engager fortement sa société dans cette démarche de géothermie à l'occasion d'une extension ambitieuse de plus d'un tiers de la surface hospitalière” rapporte ainsi Xavier Delannoy, directeur général délégué de la clinique Saint-Roch de Cambrai dont l'extension a ouvert fin 2012.

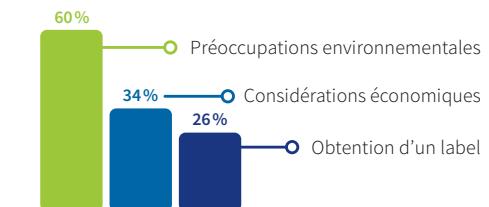
“J'étais d'abord parti sur des puits canadiens pour me rendre compte que c'était trop compliqué, alors j'ai décidé de bifurquer sur la géothermie. J'en avais entendu parler et l'option s'est confirmée en discutant avec le bureau d'étude thermique” rapporte également Théodore Lacroix, jeune vigneron à la tête, avec sa sœur, des champagnes Lacroix-Triaulaire à Merrey-sur-Arcé dont la nouvelle cuverie a été mise en service à l'automne 2012.

Bâtiment Écocert

Quant à Frédéric Denisart, il peut se prévaloir de la double casquette : architecte à la tête de Atelier Matière Architecture, il a en effet été le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage de ses nouveaux locaux réalisés en 2012 sur le parvis de la gare de Charleville Mézières. Mais c'est effectivement la connaissance d'une opération similaire qui l'a conduit à se tourner vers la géothermie :

“La configuration interdisait tout panneau solaire. Il fallait inventer quelque chose. J’ai pensé à la géothermie suite à une expérience sur un chantier précédent où j’avais proposé de travailler ce système.”

L'option peut apporter “un plus dans la démarche de management d'établissement sur la certification HAS V2014 des établissements de santé, sur la certification EMAS, un système européen de management environnemental évalué chaque année, sur la démarche de RSE qui est un axe stratégique de l'établissement”, ajoute Xavier Delannoy qui met également volontiers en avant d'avoir “été retenu parmi les cinq projets présentés au salon Environnord Construire exemplaire” ou “été le coup de cœur du jury au Prix Entreprises Environnement catégorie Management et initiatives pour le développement durable en 2015”.

DES MOTIVATIONS D'ABORD ENVIRONNEMENTALES

Les préoccupations environnementales arrivent largement en tête pour expliquer les motivations conduisant à réaliser une installation géothermique. *“La motivation était avant tout environnementale”*, affirme catégoriquement Philippe Devers, directeur de la construction de la Ville de Nîmes, gérant aussi bien les constructions que les réhabilitations, la maintenance et tout ce qui concerne l'énergie, au sujet de l'école Jean Carrière, inaugurée en décembre 2011. Et d'insister :

“L’objectif était d’avoir une solution renouvelable afin de quitter les solutions classiques de gaz”.

C'est également la motivation première de Matthieu Hauvuy, directeur technique d'Écocert, leader de la certification des produits biologiques, pour la construction du siège social de la société à l'Isle-Jourdain. *“Notre priorité était clairement environnementale et nous avons donné comme orientations principales à l'architecte et à l'ensemble des intervenants de rechercher les solutions écologiques”*, souligne-t-il. Résultat : un bâtiment à énergie positive, consacré par la certification internationale LEED Platinium qui distingue les bâtiments les plus performants en matière de respect de l'environnement.

“La Géothermie : une option environnementale et innovante” tient à ajouter l’architecte Frédéric Denisart :

“Faire de la géothermie sur un patrimoine ancien en centre ville était un défi. Je voulais trouver des solutions novatrices pour la protection de l’environnement”.

S’y ajoute également une motivation professionnelle : *“je voulais un élément fort et significatif en ville, montrer ce que pouvait faire l’agence. Comment proposer de la géothermie si on ne l’a pas choisie soi-même ?”*

En revanche, Xavier Delannoy met en avant une motivation “stratégique” : *“mon président voulait anticiper les effets de la taxe carbone qui sera lourde de conséquence pour ceux qui n’ont rien entrepris, convaincu qu’après l’industrie elle s’imposera au tertiaire”.*

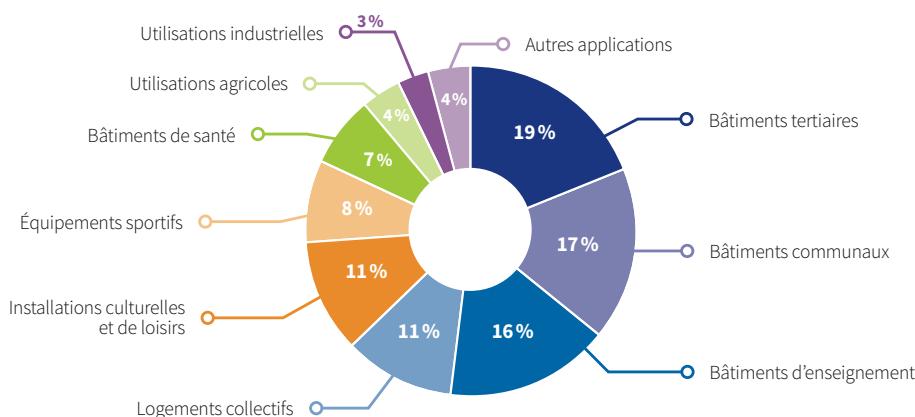
TOUS LES SECTEURS D'ACTIVITÉ CONCERNÉS

Si le recours à une installation géothermique prédomine dans certains secteurs d’activité, tous sont concernés. 50 % des maîtres d’ouvrage sont des collectivités.

Directeur de la construction à la Ville de Nîmes, Philippe Devers confirme cet intérêt.

“C'est une solution intéressante notamment chez nous car nous sommes dans un secteur géographique où la nappe est peu profonde alors que l'option du bois est un peu éloignée et pose donc des problématiques de transport et de pollution. La géothermie est donc une solution à laquelle on pense quand on a un projet. Ainsi, quand on a construit un musée, le Musée de la Romanité, projet phare du maire, nous avons utilisé la géothermie.”

Alors que les bâtiments de santé ne représentent que 7 %, des pionniers existent et font la preuve que la géothermie est particulièrement efficace pour répondre aux besoins de chauffage et d’eau chaude sanitaire, pour le confort des patients, comme pour la balnéothérapie dans le cas particulier de la clinique Saint-Roch. Xavier Delannoy, son directeur, porte même un message très fort : *“Dans le domaine de la santé, nous sommes tenus à être exemplaires et c'est donc à nous de conduire ce type de projet”.*



Même philosophie dans le secteur agricole. Les témoignages, comme ceux de Théodore Lacroix, soulignent :

“L'efficacité de la géothermie dans le process de vinification” mais aussi que “c'est en conformité avec les attentes des clients qui demandent de plus en plus de bio. Ce qui est d'autant plus important que la cave est une vitrine, visitée par les clients” ne manqueront pas de convaincre des nombreux atouts directs et indirects de la géothermie.

LES ASPECTS FINANCIERS : PENSER GLOBAL

Le montant moyen des investissements est très différent selon les régions, les techniques utilisées, les puissances requises...

Sur nappe ou sur sondes : différence de puissance, différence de coût

Sur 250 projets accompagnés par l'ADEME, dont 58 % avec sondes et 42 % sur nappe, le montant des investissements va de 102 k€ à 1 839 k€ pour des puissances comprises entre 50 kW et 2 MW.

Sur les 60 installations auditées dans le détail, la puissance moyenne est de 50 kW pour les opérations sur sondes et de 270 kW pour celles sur nappe.

Le coût des installations sur nappe est assez disparate en raison de l'hétérogénéité de la ressource. Géologie et hydrogéologie locales impactent en effet la profondeur des forages du doublet et le débit nécessaire pour exploiter la ressource. Le coût d'investissement est donc

Pompes à chaleur



© Champagnes Lacroix-Triaulaire

compris entre 800 et 1 500 € le kW de puissance installée, soit un rapport de 1 à 2.

Ce rapport est plus resserré pour les opérations sur sondes de 1 à 1,4, avec des coûts compris entre 1 600 et 2 200 € le kW de puissance installée. Ces coûts moins variables résultent d'un coût linéaire du mètre de sondes géothermiques équipées jusqu'en entrée de chaufferie plus resserré et compris entre 60 et 90 € le mètre linéaire tandis que les coûts de forages sur nappe sont très variables en fonction de la nature du réservoir à capter, de sa profondeur et de sa localisation. Au final, le coût global du MWh géothermique prenant en compte le coût de l'énergie, la maintenance annuelle, le remplacement des équipements et le financement des investissements s'échelonne de 76 à 121 € le MWh pour une opération sur nappe et de 108 à 140 € le MWh pour une opération sur sondes.

À noter : sur ce coût global, les subventions du Fonds Chaleur représentent entre 20 et 40 % selon les opérations.

Cette manière de “penser global” est justement celle mise en avant par Philippe Devers de la mairie de Nîmes.

“Il ne faut pas isoler les coûts mais raisonner globalement et si possible en investissement et en fonctionnement. C'est un projet complet qu'il faut juger”, développe-t-il avant de conclure : **“de plus, c'est une conviction : il faut développer les énergies renouvelables. Dès lors, si l'on propose une solution qui apporte le confort dans le coût prévu, les élus n'y voient aucun problème”.**

Raisonner de manière complète est aussi le credo de William Vidal, PDG d’Ecocert qui s'enorgueillit :

“Nous avons fait ici la démonstration qu'il est possible, dès maintenant, de construire local, écologique et économique !”

Son bâtiment neuf en bois et paille à énergie positive affiche en effet un coût “de 1 700 € le m², panneaux photovoltaïques et géothermie inclus”. “Un coût de construction hors honoraire et hors espaces extérieurs”, précise le directeur technique Matthieu Hauvuy qui détaille ensuite la manière dont ce tarif défiant toute concurrence a été obtenu. “Nous avons fait le choix d'utiliser beaucoup de matériaux faiblement transformés type bois scié, terre crue, paille... Ce qui signifie peu coûteux. L'architecte a aussi apporté un soin particulier à la position des équipements techniques de manière à ne pas avoir à rajouter d'éléments superflus. Tout ceci nous a permis ensuite de mettre l'accent sur des équipements très performants et donc plus chers. Soit une pompe à chaleur de haut rendement et des équipements techniques performants pour la ventilation et le chauffage”.



© Istock

La question financière est passée “au second plan” pour Xavier Delannoy de la clinique Saint-Roch, après les motivations stratégiques détaillées plus haut. Ainsi, le budget initial a été largement dépassé car “nous avons voulu jouer la sécurité en mettant trois puits de réinjection là où, peut-être, deux auraient suffit”, souligne le directeur. Un surdimensionnement volontaire que le maître d’œuvre voulait initialement utiliser pour chauffer les bâtiments existants. “Mais les équiper pour arriver s'est révélé trop coûteux et nous avons abandonné l'idée”, explique le directeur délégué de la clinique.

Résultat, le coût a été de 446 k€ contre 64 k€ pour une installation en chauffage classique au gaz. Mais, tient à préciser Xavier Delannoy, “nous étions incapables, au moment de la prise de décision, de mesurer la rentabilité des différents choix, tant en termes d'isolation que de chauffage”, explique-t-il. “C'est même précisément ce que je reproche au système : personne n'est vraiment capable de vous dire à un instant t : si vous faites ça, ça va vous coûter tant et vous faire économiser tant”, renchérit le vigneron Théodore Lacroix, “même au niveau du retour sur investissement, je ne sais pas précisément ce qu'il en est.” Xavier Delannoy de la clinique Saint-Roch lui, en revanche, le sait très bien : “13 ans, malgré les subventions, et dans l'hypothèse de taxe carbone égale à 100 € la tonne.” Car il le martèle : “notre objectif n'était pas d'obtenir un retour sur investissement acceptable dans l'état actuel de la fiscalité sur les énergies mais de se positionner dès à présent vis-à-vis de la future taxe carbone”.

LE DÉROULÉ DU PROJET : DES DIFFICULTÉS SURMONTABLES

TROUVER UN CONSEIL ET UNE ENTREPRISE : UNE FILIÈRE DE PLUS EN PLUS STRUCTURÉE

Les audits et études ont fait remonter les points de difficulté rencontrés par les maîtres d'ouvrage candidats à la géothermie dans le déroulé de leur projet. Le paramètre le plus important – dans 30 % des dossiers audités – a été la difficulté de trouver les conseils et les entreprises compétentes et de gérer l'ensemble des acteurs impliqués.

La clinique Saint-Roch a pour politique de “mettre en avant un réseau d’entreprises locales ou régionales avec lesquelles nous travaillons pour l’entretien tout au long de l’année et auquel nous recourons systématiquement pour tous nos projets de construction ou d’extension”, campe Xavier Delannoy. Sans surprise, il a “bien senti que le maître d’œuvre n’était pas un spécialiste de la géothermie, non plus que la société de chauffage”. Un obstacle facilement surmonté grâce au recours d’une assistance à maîtrise d’œuvre pour les aspects techniques et faisant appel à “ANTEA, parmi les spécialistes nationaux sur le sujet. Ils ont conduit la maîtrise d’œuvre concernant le premier puits de forage qui a servi de puits d’essai, sachant qu’au final nous en avons quatre : un de pompage et trois de réinjection”. Et de souligner également le travail de “l’ingénieur conseil de l’ADEME qui s’est vraiment impliqué et a été un facilitateur”.

Si le vigneron Théodore Lacroix n'a pas eu de difficulté à trouver des entreprises locales – “à ma grande surprise puisqu'il n'y avait pas 36 opérateurs possibles mais j'ai pu trouver le mien à 8 km de chez moi !” - il estime que la difficulté réside “dans la confiance”. “C'était un professionnel qui travaillait depuis des années donc j'imagine qu'il était compétent. Son discours n'était cependant pas rassurant. Or, comme c'est un investissement lourd, on s'inquiète de savoir comment cela peut se passer en cas de



© Ville de Nîmes

École maternelle Jean Carrière, Nîmes

problème : changer une pompe à chaleur ça se fait, mais changer des sondes, ce n'est plus pareil. J'ai eu du mal à être rassuré”.

C'est également au niveau du bureau d'études thermiques que Philippe Devers de la Ville de Nîmes dit avoir rencontré des difficultés pour l'installation de l'école Jean Carrière : “la pompe à chaleur a été sous-dimensionnée, un problème qui s'est joué à la conception, au niveau du bureau d'études thermiques qui ne s'était peut-être pas suffisamment renseigné sur ce type d'équipement”. Mais globalement, trouver des entreprises compétentes ou des conseils ne constitue, selon lui, “pas un problème”.

En revanche, il pointe un élément concernant les exploitants du chauffage : “les interlocuteurs classiques ont l'habitude du chauffage au fioul et au gaz et moins des pompes à chaleur. Il y avait une crainte, voire une résistance, à prendre en main l'installation”. Mais d'ajouter dans la foulée : “c'est un point à mettre à l'imparfait car on a désormais plusieurs sites avec des pompes à chaleur”.

GÉRER DIFFÉRENTS ACTEURS ? COMME SUR TOUS LES CHANTIERS

Un autre souci pointé par les audits est la difficulté à gérer les différents acteurs impliqués. “Il y a toujours beaucoup d’acteurs impliqués dans une opération de construction et cette opération avec de la géothermie n’est pas celle qui nous a confrontés au plus grand nombre d’interlocuteurs. Je ne vois pas trop où est le problème”, relativise Philippe Devers de la direction de la construction à Nîmes. Le point de vue d’un professionnel ? Pas forcément, comme en témoigne Théodore Lacroix : “Comme dans tous chantiers, chaque acteur pris à part, ça va, mais dès qu’on arrive à l’étape où on rejoint un autre artisan, c’est plus difficile”, commente le vigneron qui ajoute cependant : “Mais concrètement, entre les deux corps de métiers du forage et de la climatisation cela n’a pas posé trop de soucis”.

Une difficulté dont l’architecte Frédéric Denisart avait bien conscience et pour cause. “J’avais entendu un exemple malheureux où le maître d’ouvrage avait fait appel à différentes entreprises, et il y a effectivement eu des problèmes d’interactions entre le terrassier et l’entreprise ayant installé les sondes. Ils se sont vite rendus compte que le rendement était nul. Mais celui qui s’occupait de la géothermie a dit que c’était la faute du terrassier et vice et versa”. Aussi a-t-il trouvé une parade : tout confier à une seule et même entreprise.

“La géothermie est intimement liée au système de chauffage, il n’y a donc pas de raison d’avoir deux intervenants différents”, campe l’architecte, “il me semble plus naturel et logique de confier le système de captage de l’énergie à celui qui va ensuite la gérer. Ça évite aussi des déboires ultérieurs”.

DES INCERTITUDES ? MINORITAIRES ET LE LOT DE TOUS TRAVAUX AU-DELÀ DE LA GÉOTHERMIE

Certes, tous les aléas ne sont pas d’emblée maîtrisables et notamment ceux liés à l’incertitude d’exploiter la ressource sous-sol. Le sujet n’est cependant mentionné comme problème que dans 5 % des cas dans les audits réalisés et est généralement limité aux opérations ayant recours au doublet sur nappe souterraine. Ayant utilisé un système sur sondes, Frédéric Denisart estime que “l’incertitude principale est sur le rendement des sondes. Nous avons ainsi pu passer de huit à sept sondes”. Un problème facilement résolu par une étude du sol et en particulier la réalisation d’un test de réponse thermique du terrain. “C’est un élément à intégrer et je ne trouve pas cela particulièrement gênant”, conclut l’architecte.

Les incertitudes liées au montage du projet sont également mentionnées dans les audits mais dans un nombre de cas limités (environ 10 % des projets réalisés). Des aléas qui peuvent survenir indépendamment du choix de la géothermie comme le souligne Philippe Devers, directeur de la construction à Nîmes. Sur son projet d’école Jean Carrière, il a été confronté à “une défaillance d’entreprise qu’il a fallu remplacer et cela a donc légèrement renchéri le coût de l’opération. Mais ce n’était pas lié à la géothermie”.

Un autre point plus saillant dans les enquêtes concerne les contraintes réglementaires et les délais évoqués dans 16 % des cas. Cependant, les audits ont été réalisés sur des opérations antérieures à 2015, date à laquelle est paru un décret réglementant la géothermie de surface dite “de minime importance” qui, dans 90 % des cas, permet désormais de se contenter d’une déclaration en ligne du projet sans délai administratif pénalisant.



LES RÉGLAGES INITIAUX ? FAIRE SIMPLE

Enfin, quasiment la moitié des maîtres d'ouvrage mentionnent une insuffisance dans les réglages initiaux lors de la mise en exploitation de l'installation, pourtant importants pour une bonne efficacité. Une difficulté qui peut avoir plusieurs raisons. Ainsi Philippe Devers de la Ville de Nîmes cible la trop haute complexité : “*on a voulu trop bien faire au niveau de la régulation et du pilotage automatisé. C'était compliqué à régler avec notamment des problèmes de logiciels et c'était compliqué pour l'exploitant. Cela nous a servi de leçon et, depuis, on fait moins high tech.*”



© Pascal Stritt

Bureaux d'architecte à Charleville-Mézières

Ayant tout confié à une seule et même entreprise, la question des réglages initiaux n'a “*pas été un problème pour moi*”, souligne l'architecte Frédéric Denisart. “*En revanche, ce qui a été compliqué est le réglage des planchers chauffants. J'ai 1 200 m² chauffés pour une surface au sol de 800 m².*

Il a fallu réguler pour avoir une température homogène et la première campagne de chauffage a impliqué des réglages permanents”, ajoute-t-il, “*Mais c'est ainsi pour tous les planchers chauffants et ce n'est pas lié à la géothermie.*”

Si Matthieu Hauvuy d'Écocert ne garde “*aucun souvenir d'une quelconque difficulté à trouver des conseils ou de discussion concernant la ressource en eau*”, il se fait en revanche “*plus nuancé*” concernant les réglages initiaux. “*On a eu un manque d'accompagnement de la part des sociétés qui ne se sont pas assurées que ce qui avait été réalisé correspondait à ce qui avait été demandé*”, campe-t-il tout d'abord avant de détailler : “*la montée en chaleur a été sous évaluée et notamment l'apport des ordinateurs et des personnes occupant l'espace. La température n'étant pas adéquate, c'est nous, en tant qu'exploitant, qui avons dû faire varier pas mal les consignes mises en place initialement pour répondre à nos besoins de confort.*”

À L'USAGE ? UN HAUT NIVEAU DE SATISFACTION

Le saviez-vous ? 100 % des maîtres d'ouvrage sont satisfaits de la capacité de chauffage de leur installation, un taux qui passe à 90 % pour les installations produisant du chaud et du froid.

Le niveau de satisfaction est donc très élevé.

“Une bonne température, pas de bruit, pas de pollution, une utilisation économique... Le résultat est extrêmement positif pour le confort comme pour la santé”, s'enthousiasme Frédéric Denisart qui doit, de plus, chauffer un espace avec une nef de 8,50 mètres sous plafond avec une mezzanine.

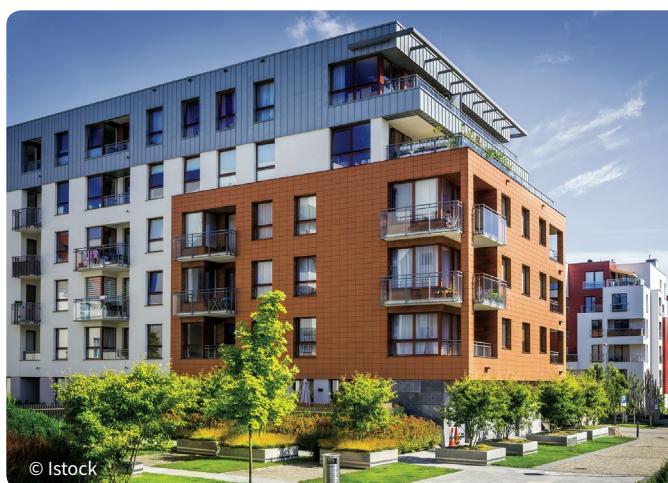
“Le confort d'hiver est extrêmement bien assuré et nous avons des retours positifs des utilisateurs”, confirme Philippe Devers en référence à l'école Jean Carrière. “On a pu avoir des problèmes de confort d'été qui ont nécessité des moyens complémentaires au rafraîchissement par la pompe à chaleur, avec une ventilation nocturne et des volets d'entrée plus efficaces. Des problèmes désormais réglés et qui n'avaient rien à voir avec la géothermie”. “La qualité de chauffage me convient très bien et fonctionne parfaitement pour l'usage que j'en ai : professionnel pour assurer la fermentation de mes vins”, renchérit Théodore Lacroix, “l'utilisation est de plus extrêmement simple : je n'ai qu'à changer ma consigne sur ma pompe à chaleur et c'est parti”.

“L'utilisation est efficace d'autant que nous avons de gros besoins de chauffage que ce soit pour les chambres, la balnéothérapie, le gymnase...”, affirme également Xavier Delannoy de la clinique Saint-Roch avant d'ajouter :

“L'autre avantage de cette installation est qu'on l'utilise l'été en géocooling. On fait passer l'eau dans le même circuit qui, cette fois-ci, joue un rôle de rafraîchissement. Ce qui nous permet de nous passer d'un conditionneur d'air avec tous les inconvénients phoniques que cela peut comporter”.

Ce n'est donc pas un hasard si 94 % des maîtres d'ouvrage se disent prêts à recommander la géothermie. *“On conseillerait sans problème le recours à la géothermie... À condition de remplir les conditions nécessaires”, affirme Xavier Delannoy, “son bon fonctionnement est lié à la qualité d'isolation du bâtiment. Nous avons ainsi deux autres établissements secondaires où nous n'avons pas renouvelé l'opération de géothermie*

bien que nous en soyons de farouches partisans. On ne l'a pas fait parce que les conditions favorables n'étaient pas réunies : on n'avait pas de balnéothérapie, pas de bâtiments neufs, pas de terrain suffisamment grand car la norme recommande une distance minimale entre deux puits¹” afin d'éviter tout recyclage thermique entre le forage de production et celui de réinjection. Le vigneron Théodore Lacroix conseillerait également la géothermie sans problème à ses confrères. Une recommandation assortie de quelques conseils et notamment “la nécessité de bien penser le projet en amont et à long terme pour anticiper les capacités d'évolution qui seront nécessaires au développement de l'activité”.



© Istock

¹ Il n'existe pas de norme fixant l'écartement entre les forages pour les systèmes dits ouverts. L'écartement minimal entre le puits de production et le puits de réinjection est fonction de la nature de l'aquifère capté, du débit pompé. Le risque de recyclage peut être approché par le calcul du temps de percée avec la formule suivante : T_p (Temps de percée) = $0,628 \cdot D^2 \cdot H / \text{Volume annuel}$. Avec T_p : Temps de percée en an, D : écartement en mètres entre le forage de production et le forage d'injection, H : épaisseur en mètres de l'aquifère, Volume annuel : volume d'eau pompé annuellement pour couvrir les besoins. Ce premier calcul permet d'apprécier le risque de recyclage thermique. Il n'intègre pas l'effet éventuel de l'écoulement de la nappe.

LES ATTENTES

Les audits montrent en effet qu'un consommateur de géothermie de surface est prêt à recommencer. Un enthousiasme qui n'empêche pas de voir les points qu'il convient d'améliorer pour favoriser le montage et la concrétisation de projet. "Oui, je referai l'opération et sur la même base", confirme également Matthieu Hauvuy d'Écocert. S'il regrette de "ne pas pouvoir utiliser le mode passif permis par la géothermie car le bâtiment n'a pas assez d'inertie", il affirme : "ce qui est particulièrement intéressant dans nos régions, c'est d'avoir le même type d'équipement qui puisse servir à la production et la diffusion de chaud et de froid. La géothermie est très bien pour ça : on part d'une base constante à 16 degrés, aussi intéressante pour produire de l'eau chaude en période hivernale que produire de l'eau froide en période estivale".

"Si c'était à refaire, je le referais",
commente explicitement Théodore Lacroix.

Comme le souligne l'architecte Frédéric Denisart "je propose la géothermie dès que je peux à mes clients mais, pour l'instant, je n'ai pas pu les convaincre". Et de repérer comme obstacle principal "le surcoût, d'autant que le plancher



© Pascal Stritt

Bureaux d'architecte à Charleville-Mézières

chauffant est déjà un investissement important". D'où le plébiscite par 50 % des audités des aides à l'investissement via le Fonds Chaleur. C'est d'ailleurs le premier conseil que donne Xavier Delannoy de la clinique Saint-Roch à tout postulant à la géothermie : "*bien regarder les aides à disposition et les utiliser*".

"Sans les aides de l'ADEME, une aide importante sachant que j'ai onze puits de sonde, je ne suis pas sûr que je l'aurais fait", confirme le vigneron Théodore Lacroix, ***"j'aurais regardé d'autres solutions. Ou alors il m'aurait fallu de sérieux arguments économiques pour me lancer. Or, ces arguments, on ne les a pas précisément"***

La demande pour davantage d'information – références d'installations sur plusieurs années, données d'exploitation chiffrées plus nombreuses pour permettre les comparaisons, meilleur accès aux acteurs et aux professionnels de la filière – est d'ailleurs mise en avant par 70 % des audités. Une exigence que Matthieu Hauvuy d'Écocert tient à relativiser : "Certes, on manque encore d'informations sur les bonnes pratiques mais ce ne sont pas des informations difficiles à collecter, exploiter, vulgariser et diffuser... Les comparaisons se font généralement avec un autre système qui ne peut qu'être imaginé puisque chaque bâtiment est différent. Concrètement, on ne peut pas savoir combien coûterait mon bâtiment avec un autre système alors que c'est précisément ce qu'il faudrait pouvoir dire". Et le directeur technique de se prendre à imaginer "*l'analyse d'un bâtiment rénové avec les mêmes matériaux, la même orientation, les mêmes personnes qui l'utilisent... mais rénové avec un système de chauffage différent. Là, les économies d'énergie seraient particulièrement visibles et probantes*".



LES RECOMMANDATIONS POUR RÉUSSIR SON PROJET DE GÉOTHERMIE DE SURFACE

Près d'une vingtaine de fiches techniques détaillent les points clés de succès et de vigilance dans la mise en œuvre d'une installation de géothermie de surface à chaque étape du projet, depuis la conception jusqu'à l'exploitation et la maintenance de l'installation.



Conception

• Débits d'irrigation des PAC	18
• Choix d'une PAC avec les meilleures performances	20
• Dimensionnement des PAC	22
• Asservissement des auxiliaires à la PAC	24
• Usage de la ressource géothermique : quelques points de vigilance	28
• Pilotage des pompes de forage par variation de fréquence	32
• Dimensionnement du champ de sondes géothermiques	36
• Cadre réglementaire des installations géothermiques	40
• Risque de légionellose sur la production d'ECS "géothermique"	44

Réalisation

• Schéma hydraulique des installations	48
• Rapport sur les ouvrages sous-sol	50
• Calorifugeage des installations	52

Suivi

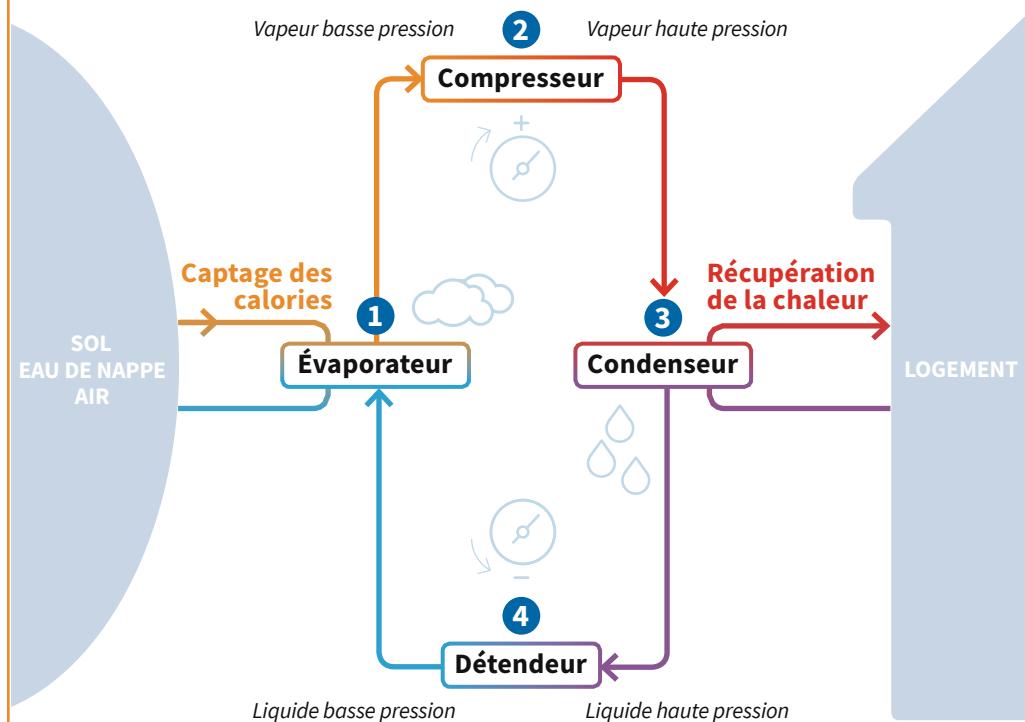
• Systèmes de pompage sur nappe	54
• Maintien de l'injectivité du forage pour une installation géothermique sur nappe	58
• Régulation de la PAC	62
• Suivi des performances des installations géothermiques	66
• Maintenance des ouvrages souterrains	68
• Maintenance des installations de surface	72
• Rentabilité économique des installations géothermiques	76



DÉBITS D'IRRIGATION DES PAC

La pompe à chaleur (ou PAC) est constituée d'un circuit fermé et étanche dans lequel circule un fluide frigorigène à l'état liquide ou gazeux selon les organes qu'il traverse. Ces organes sont au nombre de quatre : l'évaporateur, le compresseur, le condenseur et le détendeur.

SCHÉMA SIMPLIFIÉ D'UNE POMPE À CHALEUR



- ① La chaleur prélevée dans le sol ou l'eau de la nappe est transférée au fluide frigorigène qui se vaporise.
- ② Le compresseur électrique aspire le fluide frigorigène vaporisé.
La compression élève la température du fluide frigorigène.
- ③ Le fluide frigorigène cède sa chaleur à l'eau du circuit de chauffage, à l'eau sanitaire ou directement à l'air du lieu à chauffer. Le fluide frigorigène se condense et revient à l'état liquide.
- ④ Le détendeur abaisse la pression du liquide frigorigène qui amorce ainsi sa vaporisation.

Des débits d'irrigation côté évaporateur et condenseur trop faibles et inférieurs à ceux préconisés par les constructeurs de PAC peuvent causer des dysfonctionnements de la PAC.

Ceci peut être en particulier lié à des circulateurs inadaptés ou à des filtres trop encrassés.

Une sous irrigation d'un des échangeurs (évaporateur ou condenseur) va entraîner une baisse sensible des performances de la pompe à chaleur par l'augmentation de la température de sortie de l'échangeur (côté condenseur) ou la baisse de la température de sortie (côté évaporateur).

En plus de cela, une sous irrigation du condenseur peut affecter la pérennité de la PAC en entraînant notamment un fonctionnement de son compresseur en courts cycles : la PAC s'arrête prématurément car sa température maximale en sortie de condenseur est rapidement atteinte.

INTÉRÊTS

- **Conserver les performances prévisionnelles de la PAC**
- **Assurer un fonctionnement harmonieux de la PAC en évitant des usures prématuées de certaines pièces**

À QUEL MOMENT ?

En conception et lors de la mise en service, ce point doit être contrôlé afin d'avoir des écarts de températures optimaux (entre 4 et 5°C côté évaporateur et entre 5 et 7°C côté condenseur) et surtout, les équipements hydrauliques doivent être bien dimensionnés pour limiter les pertes de charges.

En exploitation, il convient a minima de nettoyer régulièrement les filtres des circuits évaporateur et condenseur pour éviter ce phénomène.



CHOIX D'UNE PAC AVEC LES MEILLEURES PERFORMANCES

Dans le cadre des opérations de géothermie soutenues notamment par l'ADEME et le Fonds Chaleur, des conditions minimales de performances de la PAC sont demandées. Ces exigences s'expriment notamment par le coefficient de performance (COP)² machine mesuré en atelier.

C'est ainsi qu'un COP machine égal ou supérieur à 4,5 pour les PAC "électriques" en mode chaud (mesuré dans les conditions d'essais de la norme européenne EN 14511-2 en régimes de températures 10/7°C et 30/35°C) est demandé pour les opérations de géothermie sur nappe et un COP machine égal ou supérieur à 4 pour les PAC "électriques" en mode chaud pour les opérations de géothermie sur champ de sondes.

Lors du dimensionnement d'un projet, il est donc primordial de rechercher la PAC la mieux adaptée aux besoins du site de façon à obtenir les meilleures performances.

Le choix de la PAC doit se faire en consultant différents constructeurs qui selon leurs gammes de fabrication peuvent disposer de la PAC la mieux adaptée au projet. Les PAC qui présentent des performances plus élevées ne sont généralement pas beaucoup plus coûteuses.

Si la recherche du meilleur COP machine est indispensable, il convient également de rechercher le meilleur COP global de l'installation dans les conditions réelles d'exploitation (un COP global minimal de 3 en mode chaud est demandé par l'ADEME).

Si l'installation géothermique assure également une production de froid, une réflexion similaire doit être menée sur les performances de la PAC en mode froid sur la base de l'EER³ machine et de l'EER global de l'installation dans les conditions réelles d'exploitation.

La recherche des meilleures performances énergétiques de l'installation passe donc également par une optimisation du :

- dimensionnement de la PAC ;
- delta T entre condenseur et évaporateur de la PAC ;
- débit d'irrigation de la PAC ;
- mode de gestion des pompes de circulation et pompe de forage immergée dans le cas d'une opération sur nappe.

² Cf. Glossaire page 79.

³ Cf. Glossaire page 79.

INTÉRÊTS

- Rechercher les performances optimales de l'installation
- Produire de la chaleur et/ou du froid aux meilleures conditions économiques

À QUEL MOMENT ?

Dès la phase conception le bureau d'études thermiques doit procéder à la recherche de la meilleure PAC correspondant au mieux aux caractéristiques du projet (besoins en chaud et en froid à satisfaire, températures de la ressource sous-sol, températures des émetteurs côté bâtiment, etc.). Outre cette recherche, le bureau d'études thermiques doit veiller à optimiser l'ensemble des postes consommateurs d'énergie (auxiliaires) pour aboutir à une installation optimisée et répondant aux besoins et confort des usagers dans le bâtiment.

En phase examen des propositions des entreprises, le maître d'œuvre doit vérifier les caractéristiques du matériel proposé et son adéquation avec les termes de références de la consultation.

Le document technique uniifié NF DTU 65.16 propose des clauses types de spécifications de conception et de mise en œuvre de système de chauffage et/ou de production d'eau chaude sanitaire dans le bâtiment utilisant tout type de PAC y compris les PAC géothermiques.



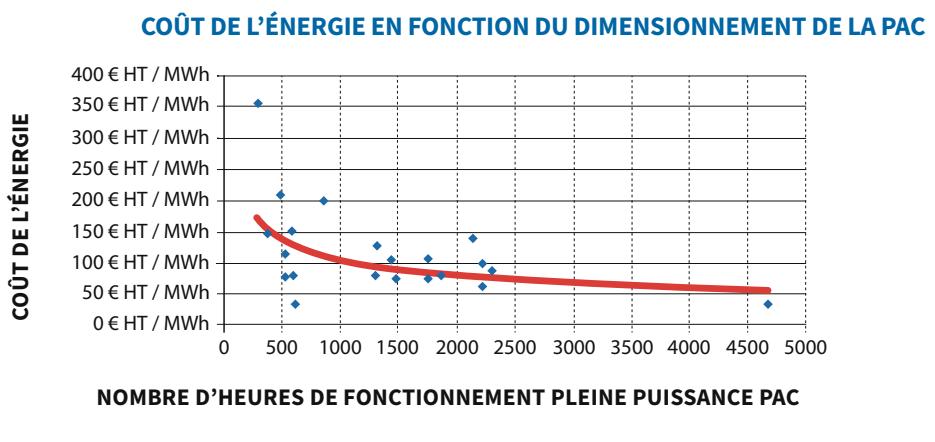
DIMENSIONNEMENT DES PAC

Le bon dimensionnement de la pompe à chaleur est primordial pour couvrir les besoins thermiques et éventuellement les besoins en froid. Si un sous-dimensionnement est perceptible rapidement sur le fonctionnement de l'installation, un surdimensionnement peut ne pas être mis en évidence.

Une telle situation est très pénalisante :

- elle implique un surinvestissement inutile dans la pompe à chaleur, ses auxiliaires et éventuellement dans le dispositif de captage de l'énergie souterraine avec en parallèle des tarifs d'énergie plus élevés ;
- les cycles de fonctionnement de la PAC s'en trouvent généralement raccourcis ce qui peut nuire à ses performances et à sa longévité ;
- les auxiliaires (pompe immergée, évaporateur et condenseur) sont alors également surdimensionnés et ont des consommations électriques qui pèsent lourdement sur le bilan global.

Le graphique ci-dessous illustre pour une région auditee le coût de l'énergie en fonction du dimensionnement de la PAC (cas d'une installation géothermique sur champ de sondes).



Il apparaît très clairement que le coût du MWh diminue lorsque le temps de fonctionnement augmente.

La sollicitation optimale minimale se situe à environ 2 000 heures / an de fonctionnement équivalent pleine puissance (rapport entre puissance disponible et énergie annuelle transmissible par le champ de sondes).

À ce titre, le Fonds Chaleur fixe le nombre d'heures équivalentes de fonctionnement à puissance nominale de la PAC supérieur à 1000 heures/an en mode chaud pour les systèmes géothermiques sur nappe ou sur champ de sondes.

INTÉRÊT

Satisfaire les besoins thermiques couverts par la géothermie en évitant un surdimensionnement générant des investissements plus importants

À QUEL MOMENT ?

À la conception, le bureau d'études thermiques devra chercher à optimiser le choix de la pompe à chaleur pour coller au mieux aux besoins exprimés. Il apparaît donc tout à fait primordial que les besoins thermiques (chaud, froid, ECS) soient approchés avec un maximum de précision.

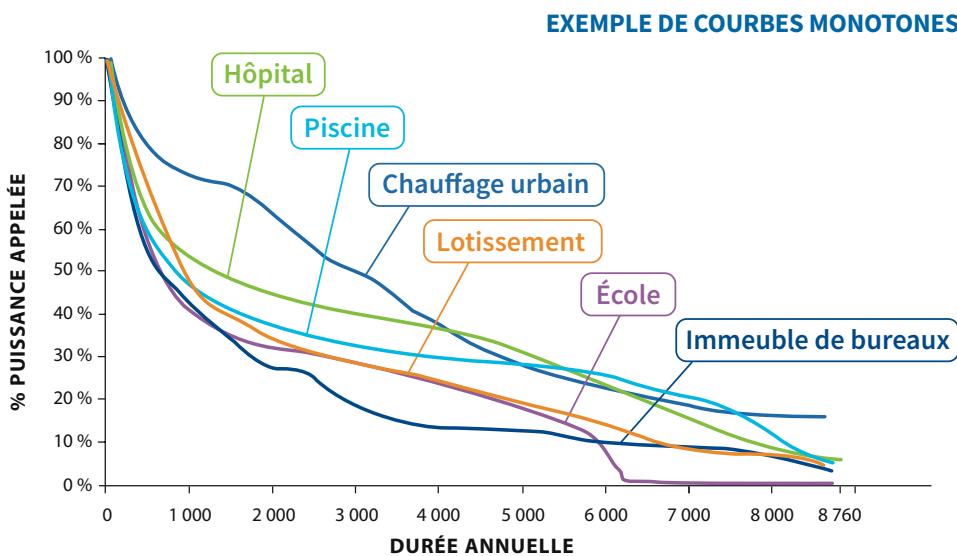
En exploitation, en suivant les performances de l'installation avec notamment l'énergie produite, l'énergie électrique consommée et les temps de fonctionnement de la PAC.



ASSERVISSEMENT DES AUXILIAIRES À LA PAC

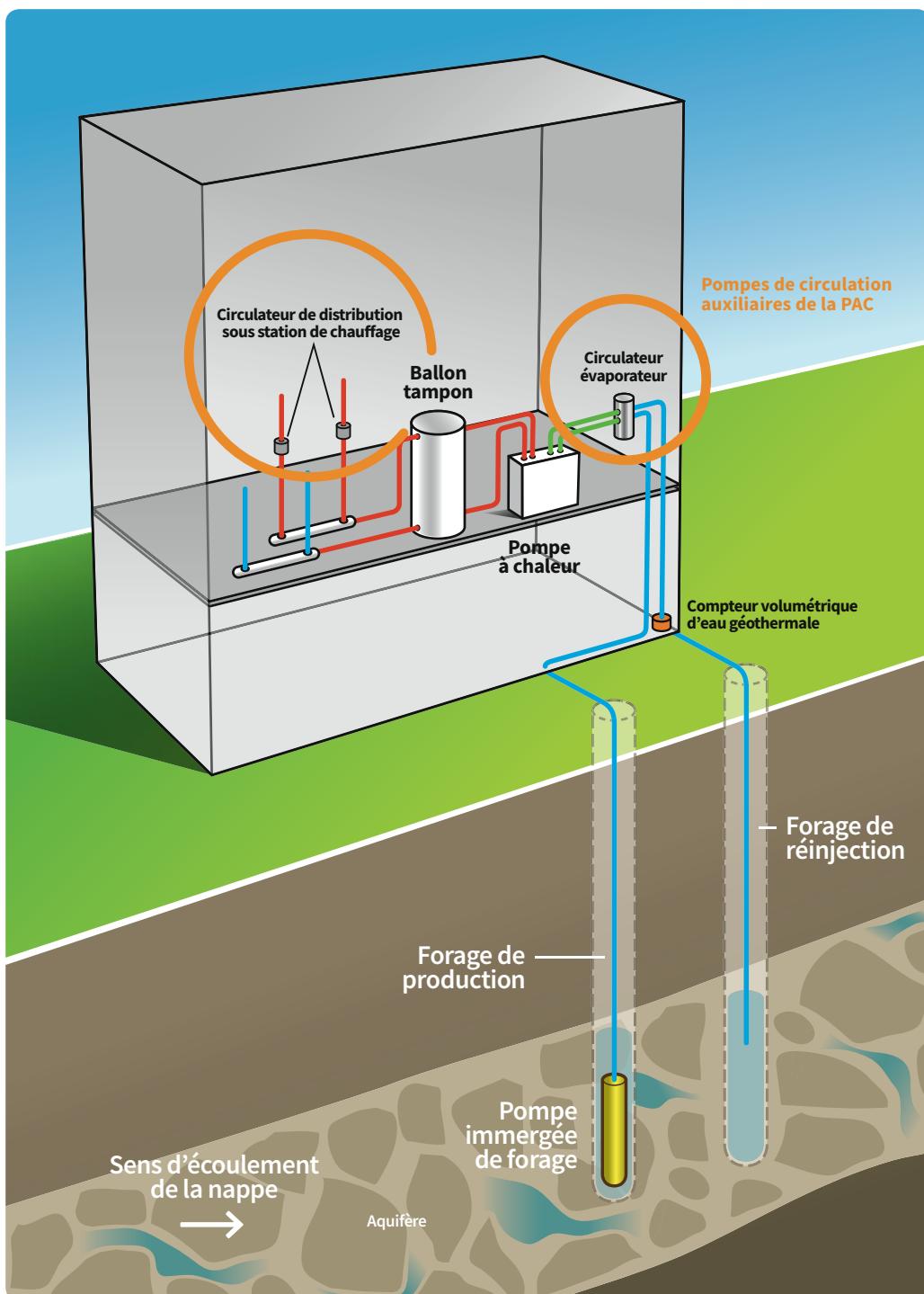
Les besoins en chaud et en froid d'un bâtiment ne sont pas constants sur l'année et en conséquence la pompe à chaleur utilisée ne fonctionne pas 8 000 heures par an même dans le cas d'une opération géothermique produisant de la chaleur et du froid.

À titre d'exemple, le graphique ci-dessous représente les courbes monotones des puissances appelées sur l'année en fonction de diverses typologies de bâtiment :



Une installation de géothermie est généralement constituée d'une pompe à chaleur et de pompes de circulation situées en amont et en aval. La pompe côté évaporateur est utilisée pour faire circuler le fluide caloporteur depuis la sonde géothermique jusqu'à la PAC (cette fonction est assurée par la pompe de production immergée dans le forage de production dans le cas d'un doublet sur nappe) alors que la pompe condenseur permet l'alimentation des circuits secondaires de chauffage ou d'ECS le cas échéant.

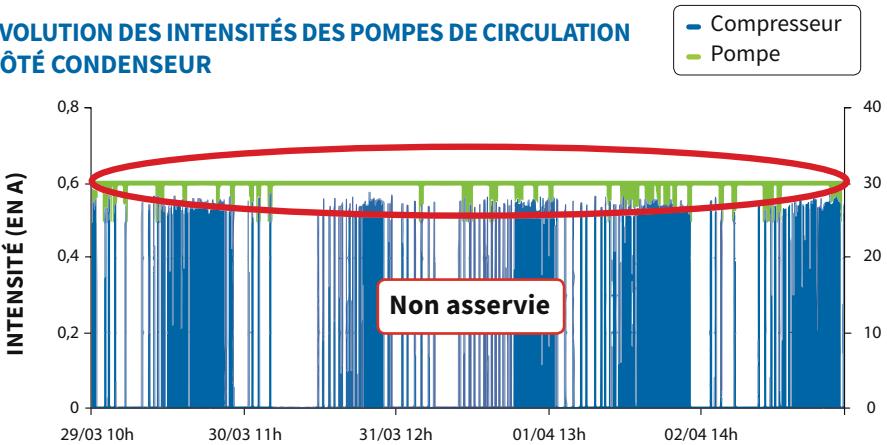
SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION DE GÉOTHERMIE SUR NAPPE



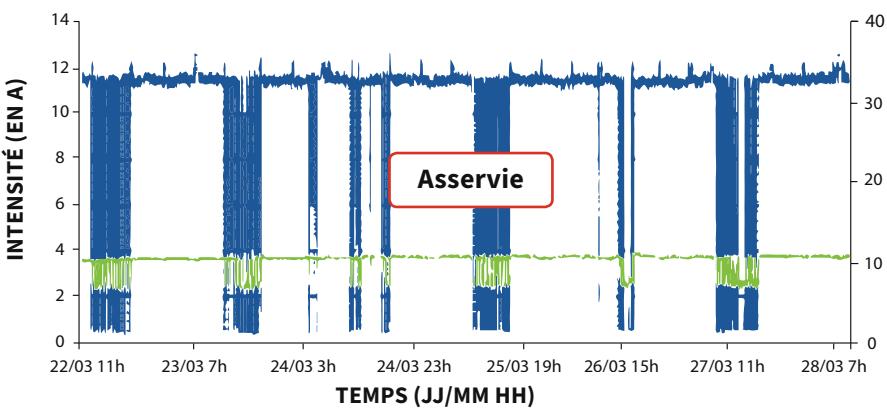
ASSERVISSEMENT DES AUXILIAIRES À LA PAC (SUITE)

Les deux graphiques suivants représentent la notion d'asservissement ; dans le premier cas une pompe de circulation non asservie à la PAC dont le fonctionnement est continu puis dans le deuxième cas la pompe immergée dans le forage arrêtée lorsque la PAC est elle aussi à l'arrêt.

**ÉVOLUTION DES INTENSITÉS DES POMPES DE CIRCULATION
CÔTÉ CONDENSEUR**



CÔTÉ ÉVAPORATEUR



Les mesures sur des installations géothermiques existantes montrent une augmentation de plus de 1 point de COP⁴ moyen annuel lorsque toutes les pompes sont correctement asservies au fonctionnement de la pompe à chaleur.

⁴ Cf. Glossaire page 79.

INTÉRÊTS

- Baisse de la consommation d'électricité**
- Augmentation de la durée de vie des équipements de pompage**
- Augmentation du rendement moyen annuel de l'installation (COP système)**
- Diminution des coûts d'exploitation et de maintenance et de remplacement de matériel**

Le tableau ci-dessous illustre les coûts énergétiques et financiers liés au non asservissement pour sa partie énergétique.

Hypothèses de calcul :

Puissance de pompe : 1,5 kW

Fonctionnement : 2050 h/an

Coût de l'électricité : 100 €/MWh

	POMPE NON ASSERVIE	POMPE ASSERVIE	GAIN AVEC L'ASSERVISSEMENT
Temps de fonctionnement en heures	4 320 heures	2 050 heures	2 270 heures
Énergie annuelle électrique consommée en kWh	6 480 kWh	3 080 kWh	3 400 kWh
Coût annuel en €	648 €	308 €	340 €

Exemple pour une installation de PAC géothermique d'une puissance thermique de 120 kW fonctionnant sur une durée de saison de chauffage de 4 320 heures alors que la PAC est en marche seulement 2 050 heures.

À QUEL MOMENT ?

Lors de la phase de conception, puis lors de la mise en œuvre où il faut veiller à ce que la conception de la chufferie intègre cet asservissement. Il suffit simplement d'établir une communication entre la pompe à chaleur et les pompes à l'aide d'une connexion électrique entre la carte électronique de la pompe à chaleur (qui donne l'information) et la pompe (qui reçoit l'information, via un contacteur par exemple). Ces raccordements nécessitent quelques modifications de l'armoire électrique via le recours à un professionnel habilité.

À noter : les pompes à chaleur les plus récentes sont maintenant équipées de régulation évoluée capable de gérer directement tous les systèmes auxiliaires grâce à des automatismes pensés et mis en œuvre en usine.



● USAGE DE LA RESSOURCE GÉOTHERMIQUE : QUELQUES POINTS DE VIGILANCE

Pour une **opération de géothermie sur nappe aquifère**, un paramètre important est l'espacement entre les deux forages du doublet.

En mode production de chaleur, le fonctionnement de l'installation implique la création d'une bulle froide dans le réservoir géothermique (nappe) au niveau du forage de réinjection. Si cette bulle atteint le forage de production, la température de l'eau diminuera graduellement ce qui entraînera la mise en défaut de la pompe à chaleur et parfois conduira à l'arrêt complet de l'installation.

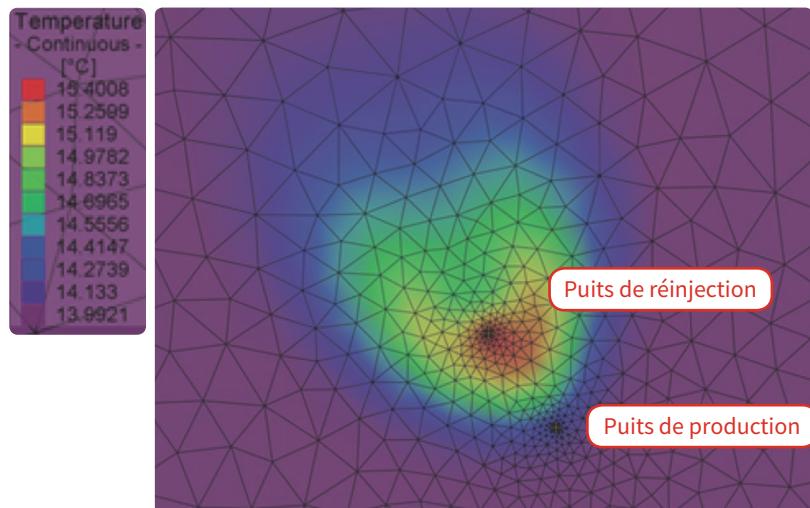
En mode de production de froid, le même risque est possible par création d'une bulle chaude pouvant réchauffer la nappe et induire des problèmes d'exploitation sur des installations proches.

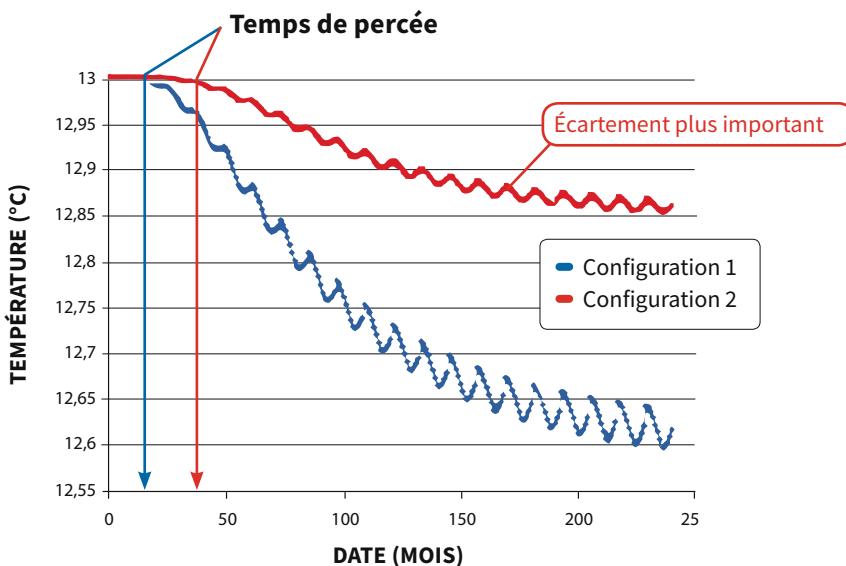
Ce phénomène est dénommé le **recyclage thermique**.

Une modélisation tenant compte du sens d'écoulement de la nappe est donc souhaitable avant de lancer la réalisation des forages.

La maîtrise du foncier est nécessaire pour implanter les ouvrages souterrains et l'espacement maximum obtenu sur le terrain disponible n'est pas systématiquement le critère d'espacement pour une bonne exploitation du doublet de forages.

EXEMPLE DE MODÉLISATION D'UN DOUBLET DE FORAGES



ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE AUX PUITS DE PRODUCTION SELON DEUX CONFIGURATIONS D'ÉCARTEMENT PUITS DE PRODUCTION – PUITS D'INJECTION

Le temps de percée correspond au temps nécessaire pour constater une diminution de la température au forage de pompage par l'arrivée d'eau refroidie en provenance du forage de réinjection (en mode chauffage) ou bien d'eau réchauffée (en mode climatisation). Il est fonction du régime d'exploitation, des caractéristiques de l'aquifère utilisé et de l'écartement entre les forages.

La figure ci-dessus indique pour la courbe en bleu une diminution de la température de 0,4°C pour un écartement faible entre les forages alors que la baisse n'est que de 0,15°C pour un écartement plus important.

Pour une **opération de géothermie sur sondes**, cette notion d'espacement est également importante, et lorsque l'on veut installer des sondes à moins de 10 mètres de distance les unes des autres comme cela est préconisé dans la norme NF X 10 970⁵, il faudra réaliser également une modélisation.

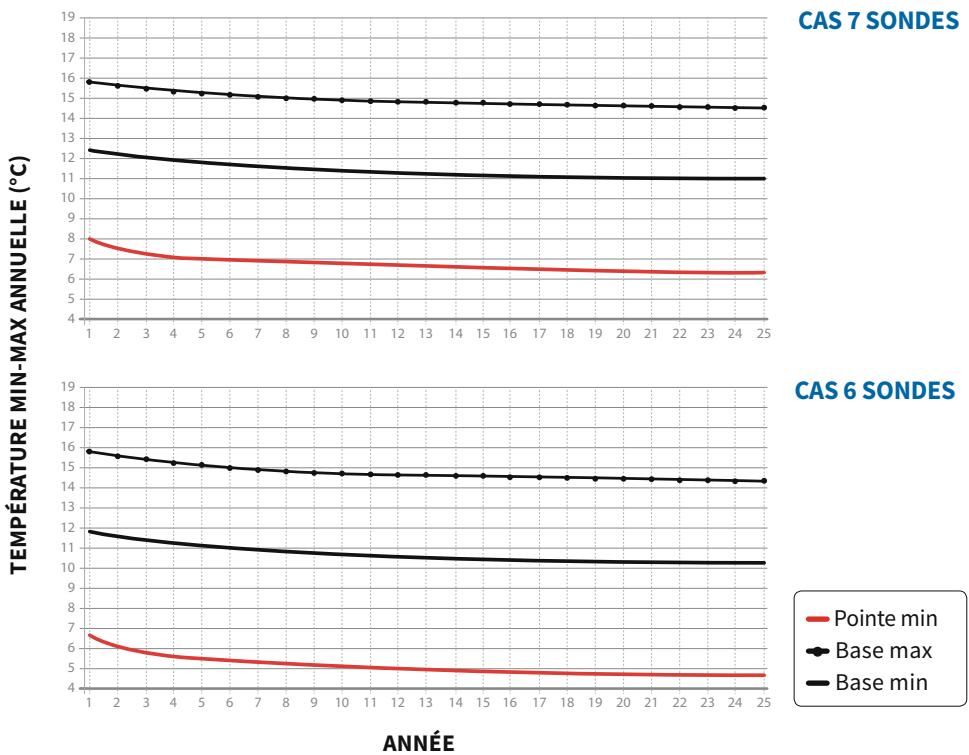
⁵ Norme NF X 10970 : norme relative aux forages pour les sondes géothermiques verticales.



● USAGE DE LA RESSOURCE GÉOTHERMIQUE : QUELQUES POINTS DE VIGILANCE (SUITE)

Après avoir réalisé la première sonde, un test de réponse thermique doit être effectué sur la première sonde forée pour vérifier que les hypothèses retenues en phase étude sont correctes. Concernant les hypothèses de dimensionnement, il s'agit de la conductibilité thermique des terrains traversés, de la température initiale du sous-sol et des temps de fonctionnement du champ de sondes en prélèvement de calories lors de production de chaud et en injection de calories lors de production de froid. Dans le cas contraire, il peut être nécessaire de mettre à jour le nombre de sondes sur la base de l'ajustement de la modélisation à partir des valeurs obtenues lors du test de réponse thermique.

Un point spécial de vigilance est lié à la possibilité qu'une des sondes doive être isolée pour défaut d'étanchéité. Pour une installation de petite taille, l'impact est majeur.



Les deux graphiques précédents montrent l'évolution sur 25 ans de la température de fonctionnement du même champ de sondes avec 7 sondes et 6 sondes. L'impact se traduit par une baisse de température de 2°C à l'arrivée à la pompe à chaleur au bout d'une année et impliquera une augmentation de consommation électrique de la PAC de 5 % et une diminution de son Coefficient de Performance (COP)⁶ de 4 à 3,8.

INTÉRÊTS

- **Exploitation à performances constantes pendant la durée de vie des installations**
- **Maintien de l'exploitation énergétique de la ressource géothermique sur le long terme**

À QUEL MOMENT ?

Pour une opération sur nappe : cela consiste en la mise en œuvre de calculs théoriques fonction des données hydrogéologiques et des consommations prévisionnelles ou réalisation d'une modélisation à la conception de l'opération et éventuellement adaptation de l'espacement des deux forages suite aux résultats des essais de pompage sur le premier ouvrage du doublet. Ces calculs sont réalisés par un bureau d'études hydrogéologiques qualifié.

Pour une opération sur champ de sondes : cela inclut la réalisation d'une modélisation en phase conception et validation après le forage de la première sonde utilisée pour la mise en œuvre d'un TRT (Test de Réponse Thermique⁷). Cette modélisation est réalisée par un bureau d'études sous-sol ou spécialisé en thermique et qualifié. Cette modélisation est fortement recommandée pour des champs de sondes totalisant 1 000 mètres ou plus de forages.

⁶ Cf. Glossaire page 79.

⁷ Cf. cahier des charges type "Réalisation d'un test de réponse thermique de terrain" sur le site DIAGADEME.



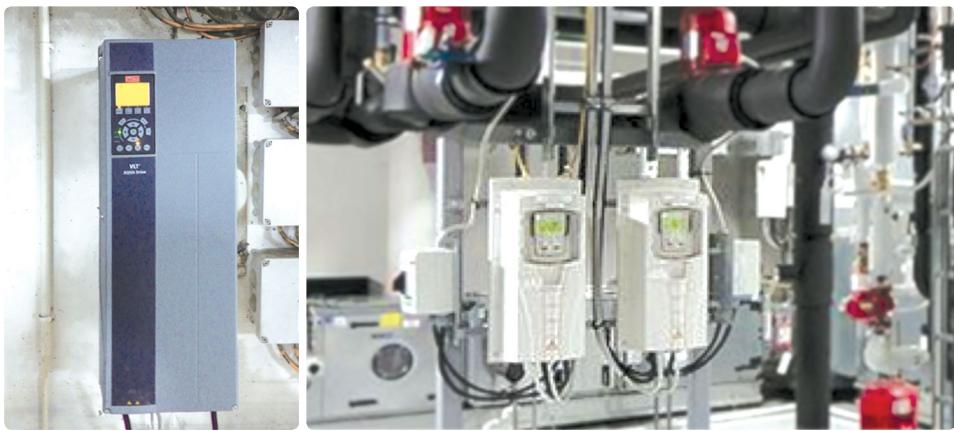
PILOTAGE DES POMPES DE FORAGE PAR VARIATION DE FRÉQUENCE

Une opération sur sondes géothermiques est basée sur une circulation d'eau additionnée ou non de glycol dans un circuit fermé asservi à la demande de la pompe à chaleur. Dans le cas d'une opération de géothermie sur nappe, un équipement supplémentaire est nécessaire : la pompe électrique immergée qui alimente en eau l'échangeur primaire (encore appelé échangeur de barrage) et qui permet également de transporter l'eau ensuite au forage d'injection.

Pour éviter les à-coups de pression dans le circuit hydraulique, le démarrage de la pompe immergée à son débit nominal est déconseillé. L'appel de puissance de la pompe à chaleur est également variable selon les besoins instantanés du bâtiment, il est donc utile de pouvoir moduler le débit d'exploitation de l'eau de la nappe en provenance du forage.

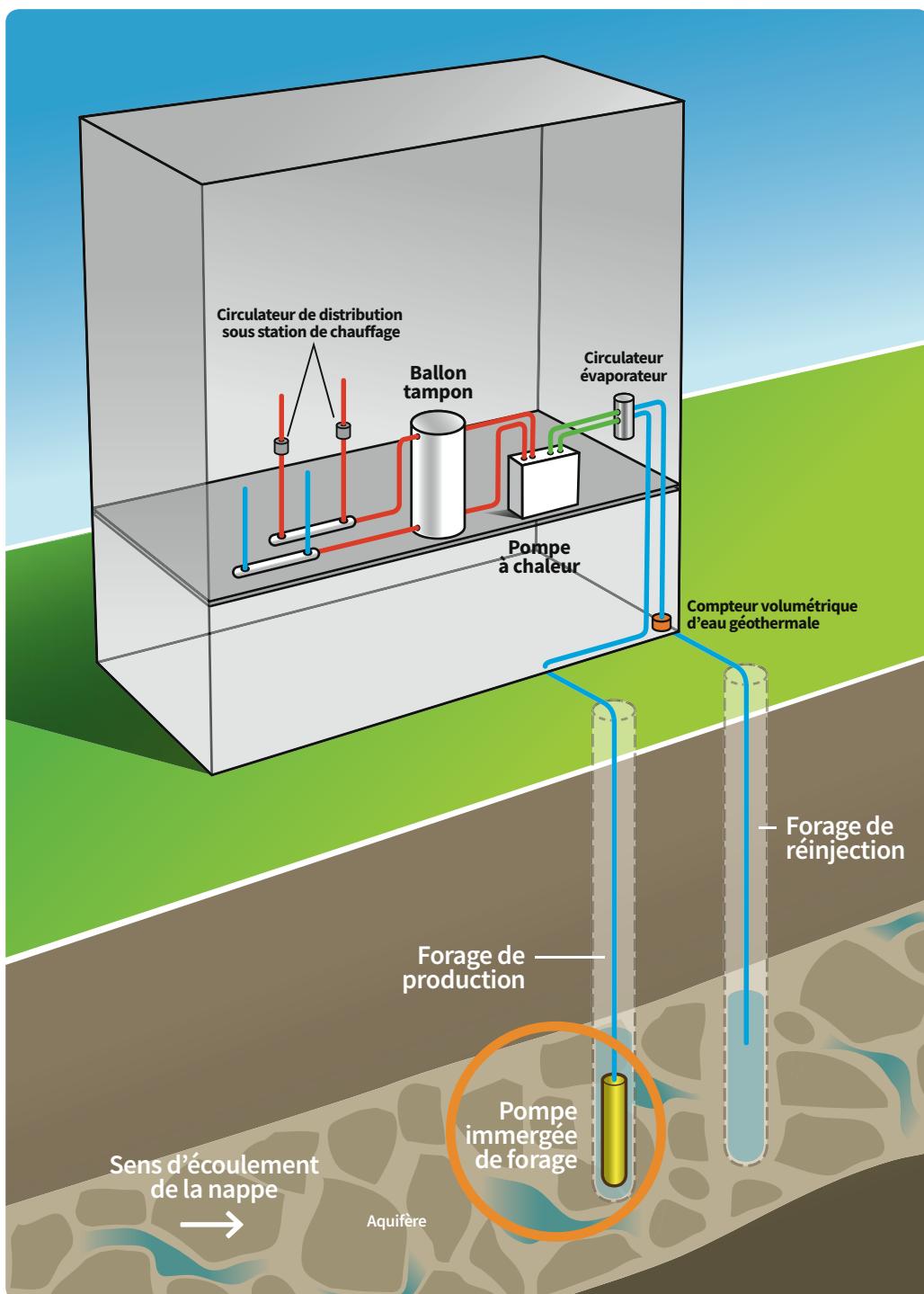
La pompe immergée doit donc être pilotée sans exception par un variateur de fréquence (ou variateur de vitesse).

EXEMPLE DE VARIATEUR DE FRÉQUENCE EN CHAUFFERIE



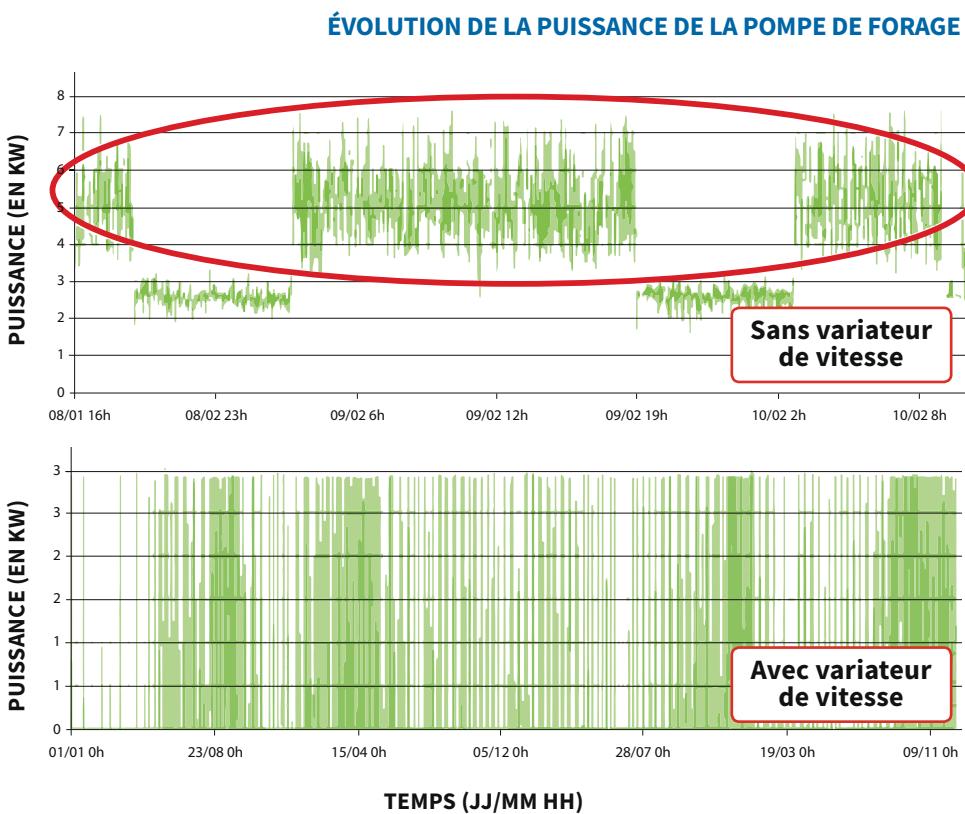
Le variateur de vitesse est installé en général dans la chaufferie à proximité de l'armoire électrique de l'installation.

SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION DE GÉOTHERMIE SUR NAPPE



PILOTAGE DES POMPES DE FORAGE PAR VARIATION DE FRÉQUENCE (SUITE)

Les deux graphiques ci-dessous permettent d'apprécier les différences de puissance de la pompe immergée dans le forage de production avec et sans variateur de vitesse.



Pour illustrer les coûts énergétiques et financiers du non asservissement, prenons l'exemple d'une pompe à chaleur 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 (cf. tableau de la fiche "Asservissement des auxiliaires de la PAC").

Ce gain représente un peu plus de 50 % de la facture énergétique pour la pompe asservie.

INTÉRÊTS

- **Prolongation de la durée de vie de la pompe électrique immergée**
- **Économie d'énergie liée à la modulation du débit d'eau souterraine pompée**
- **Amélioration de la régulation et diminution du nombre de démarrages de la pompe**
- **Prolongation de la durée de vie du réseau hydraulique avec disparition des coups de bâlier**

À QUEL MOMENT ?

En phase conception et lors de la mise en œuvre de l'installation.

Le maître d'œuvre doit veiller à ce que la conception de la chaufferie intègre une pompe de forage équipée d'un variateur de vitesse et la manière de le moduler (prise de température, mesure de débits ...).

Sur une installation déjà existante, il est toujours possible de rajouter ce variateur de fréquence dans la boucle sous réserve que le moteur de la pompe immergée soit compatible. Cette opération doit donc avoir lieu sur une phase d'arrêt de l'installation et est conseillée en fin de vie de la pompe initiale (après 8 ou 15 ans selon l'utilisation).

Même si la mise en place d'un variateur de fréquence sur la pompe entraîne un surcoût de l'ordre de 30 à 50 % par rapport à une pompe classique, celui-ci permet rapidement de faire des économies d'énergie et donc financières.

Bon à savoir : le retour sur investissement est considéré comme relativement court avec la mise en place d'un variateur de vitesse. En effet d'après les propriétés mécaniques des fluides, une vitesse divisée par 2 correspond à une puissance utile à fournir divisée par 8.

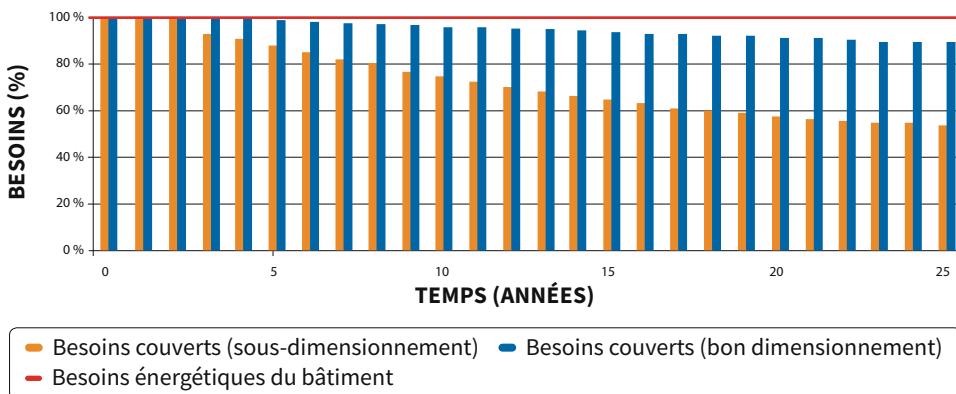


DIMENSIONNEMENT DU CHAMP DE SONDES GÉOTHERMIQUES

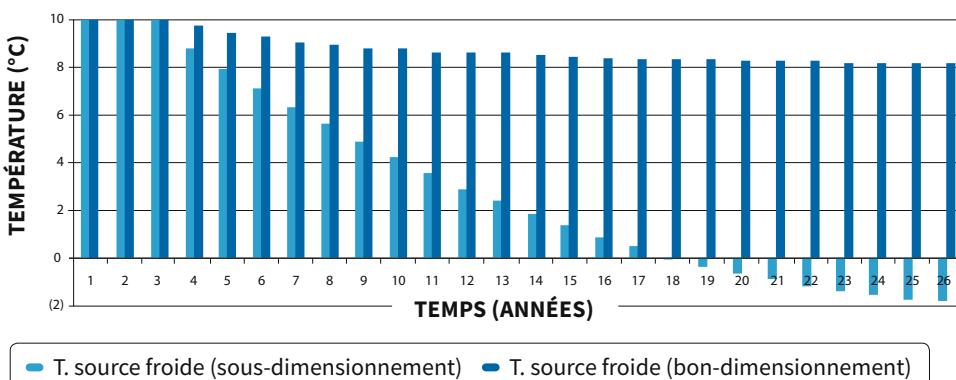
Un champ de sondes géothermiques doit être dimensionné pour fournir sur une longue période les besoins énergétiques du (ou des) bâtiment(s) raccordé(s).

Les graphiques suivants illustrent les différences de couverture des besoins selon le dimensionnement retenu et les besoins réels.

ÉVOLUTION DE LA COUVERTURE DES BESOINS DANS LE CAS DU SOUS-DIMENSIONNEMENT



ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DANS LE SOUS-SOL DANS LE CAS D'UN SOUS-DIMENSIONNEMENT ET D'UN BON DIMENSIONNEMENT DU CHAMP DE SONDES



INTÉRÊTS

Un champ de sondes surdimensionné génère un surinvestissement qui ne se justifie pas économiquement. Le surcoût dépend de chaque installation et inclut :

- **une augmentation des coûts de forage liés à la réalisation d'un nombre inutile de sondes ;**
- **une augmentation des coûts de raccordements horizontaux ;**
- **une augmentation des coûts d'investissement liés à la pompe à chaleur qui sera aussi surdimensionnée.**

Néanmoins, il n'y a pas d'impact sur la pérennité du système sur le long terme.

Il n'y a pas de mesures correctives au surdimensionnement.

En revanche l'installation permettra une extension du bâtiment existant ou le raccordement d'un autre consommateur à proximité.

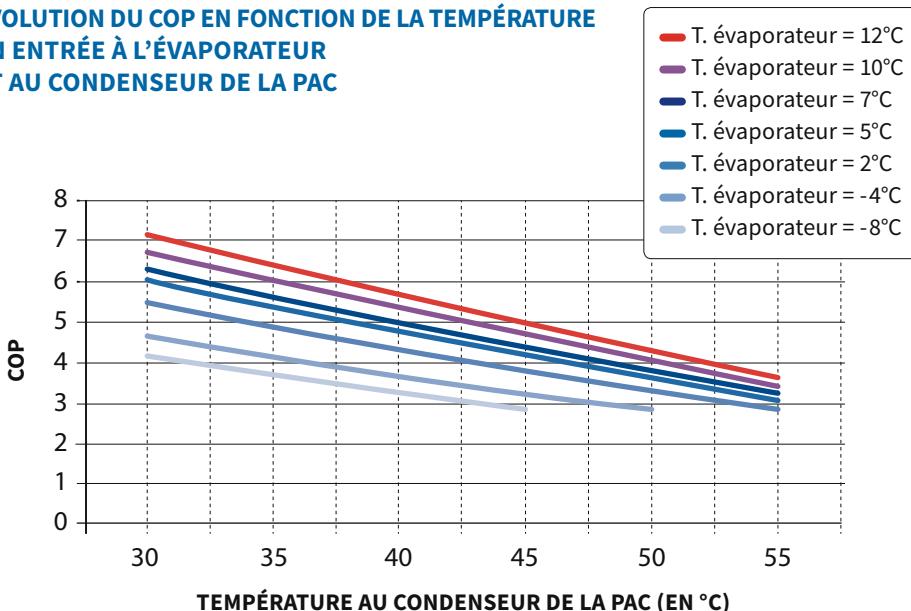
La surexploitation des capacités du champ de sondes entraîne une diminution de la température du gisement avec en conséquence :

- la dégradation des performances des pompes à chaleur ;
- une augmentation des consommations électriques (compresseur des pompes à chaleur et pompes de circulation, ...) ;
- une rupture de chauffage avec la mise en sécurité des PAC ;
- à terme une installation non seulement inefficace mais caduque ;
- le gel du sous-sol autour de la sonde pouvant induire des fissures dans le sol.



DIMENSIONNEMENT DU CHAMP DE SONDES GÉOTHERMIQUES (SUITE)

ÉVOLUTION DU COP EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE EN ENTRÉE À L'ÉVAPORATEUR ET AU CONDENSEUR DE LA PAC



Les mesures correctives au sous-dimensionnement consisteront à la mise en place de sondes géothermiques complémentaires ou au recours à un système de relève de la pompe à chaleur géothermique en appoint ou secours.

Des mesures de régulation de la PAC peuvent également être envisagées avec une diminution des températures de consignes et la mise en place de régime réduit nocturne par exemple.

À QUEL MOMENT ?

Dès la phase conception de l'installation, puis lors de la mise en œuvre il faut vérifier que le dimensionnement du champ de sondes a été modélisé par un bureau d'études compétent utilisant les logiciels adaptés (TRNSYS, EED,...).

Pour garantir une modélisation précise, il est nécessaire pour une opération de plus de 1 000 mètres linéaire de longueur cumulée de sondes de réaliser un Test de Réponse Thermique (TRT) recommandé par la Norme NF X10-970. Ce test est réalisé sur une sonde test qui pourra être par la suite utilisée dans le champ de sondes exploité.



CADRE RÉGLEMENTAIRE DES INSTALLATIONS GÉOTHERMIQUES

Dans le cadre d'une opération géothermique, différentes réglementations s'appliquent selon qu'il s'agit :

- des installations sous-sol : doublet sur nappe (échangeur ouvert) ou champ de sondes (échangeur fermé) ;
- des installations de surface : en particulier la pompe à chaleur et le local technique ou chaufferie.

Les installations sous-sol

Elles sont régies par les articles relatifs à la géothermie du Code Minier et pour certaines relèvent du cadre de la **Géothermie de Minime Importance (GMI)**⁸. Il s'agit du **Décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015 modifiant le décret n° 78-498 du 28 mars 1978 modifié relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie, le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié relatif aux travaux miniers, aux travaux de stockage souterrain et à la police des mines et des stockages souterrains, l'annexe de l'article R. 122-2 et l'article R. 414-27 du code de l'environnement.**

Pour les activités recourant au moins à un échangeur géothermique ouvert ou fermé, celles qui remplissent les conditions suivantes :

- a) La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25°C ;
- b) La profondeur du forage est supérieure à 10 mètres et inférieure à 200 mètres ;
- c) La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;
- d) Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle ;
- e) Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation fixé à la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement (< 80 m³/h).

De plus, un zonage des risques à l'environnement a été élaboré avec trois couleurs à l'échelle nationale et régionale pour certaines régions :

- Verte : GMI applicable sans avis d'expert ;

⁸ Cf. Glossaire page 79.

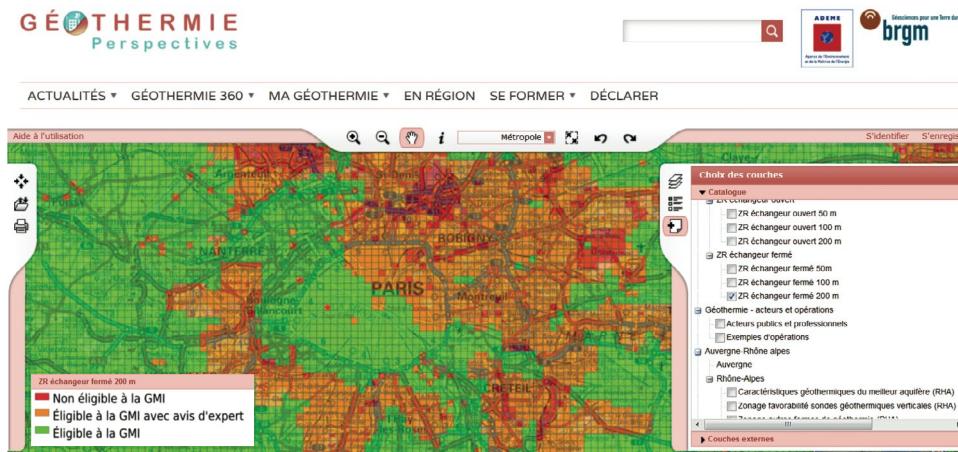
- Orange : GMI applicable soumise à l'avis d'un expert agréé pour la GMI et dont la liste est consultable sur le site LégiFrance ;
- Rouge : GMI inapplicable⁹.

À noter : plus de 85 % du territoire métropolitain est en zone verte ou orange.

Dans le cas de la GMI, la déclaration du projet est simplifiée et se fait sur le site dédié : www.geothermie-perspectives.fr/article/demarchesGMI.

Cette télé déclaration est faite par le demandeur qui peut déléguer cette mission au foreur ou bureau d'étude en rédigeant un pouvoir à joindre à la télé déclaration.

EXEMPLE DE ZONAGE GMI SUR LA RÉGION PARISIENNE CARTE DISPONIBLE SUR LE SITE GÉOTHERMIE PERSPECTIVES



De plus, le projet doit respecter l'ensemble des prescriptions issues du SDAGE¹⁰, du SAGE¹¹ et des éventuels arrêtés préfectoraux spécifiques à certains secteurs notamment les périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable. Dans les autres cas, il est nécessaire d'obtenir un permis de recherche, une autorisation de travaux puis une autorisation d'exploitation. Ces demandes sont instruites par la Préfecture dont dépend le projet, par les services de la DREAL et de la DRIEE pour l'Île-de-France.

⁹ Les opérations géothermiques ne sont pas interdites en zone rouge mais nécessitent de suivre une procédure d'autorisation.

¹⁰ Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux.

¹¹ Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau.

CADRE RÉGLEMENTAIRE DES INSTALLATIONS GÉOTHERMIQUES (SUITE)

D'autre part, le cadre de la GMI prévoit que les travaux de forage doivent être réalisés par des entreprises prestataires de forage disposant des qualifications requises. **À noter : la qualification Qualiforage modules “Nappe” ou “Sonde” répond notamment à cette exigence.**

Les pompes à chaleur

Les machines thermodynamiques (Pompe à Chaleur, Groupe Froid, Thermo Frigo Pompe) sont visées par la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), rubrique 4802 “Gaz à effet de serre fluorés [...] ou substances qui appauvissent la couche d'ozone”. Le texte complet (ICPE 4802) a été publié dans l'arrêté du 04 mai 2014. Les quotas touchent les fluides frigorigènes inflammables et dangereux pour l'environnement :

- en dessous de 150 kg de fluide frigorigène dans les machines, aucune procédure ICPE n'est à engager ;
- entre 150 et 300 kg, une déclaration est nécessaire ;
- supérieur à 300 kg, une autorisation est nécessaire.

À titre indicatif, les opérations relevant de la GMI nécessitent moins de 150 kg de fluide frigorigène et par conséquent ne relèvent pas des ICPE.

L'arrêté du 7 mai 2007 relatif au contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement des fluides frigorigènes utilisés dans les équipements frigorifiques et climatiques définit la nature et la fréquence des contrôles :

- PAC de plus de 12 kW : contrôle annuel de l'étanchéité par un organisme agréé ;
- PAC de 180 kW : contrôle semestriel de l'étanchéité par un organisme agréé ;
- PAC de plus 1800 kW : contrôle trimestriel de l'étanchéité par un organisme agréé.

La chaufferie

La conception et l'usage du local sont régis par un ensemble de lois et plus particulièrement par l'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public (ERP).

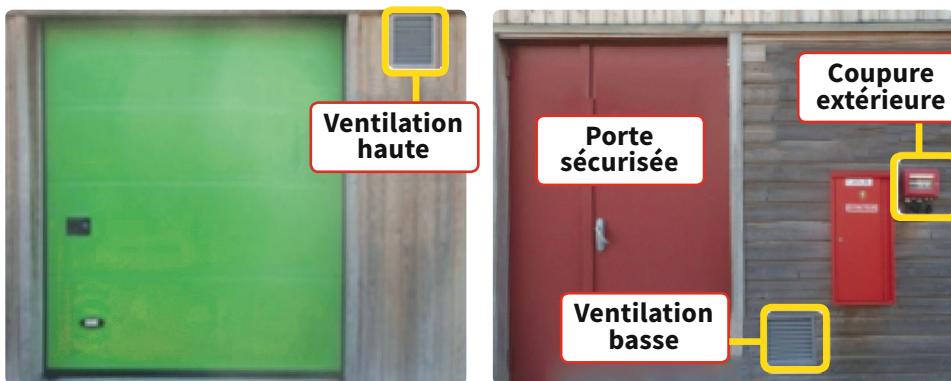
“Chaque dispositif de commande doit être constitué par un interrupteur à coupure omnipolaire ou un dispositif d'arrêt d'urgence.”

“La sous-station doit comporter un système permanent de ventilation, constitué

- en partie basse, par un dispositif d'introduction d'air frais ;
- en partie haute, par un dispositif d'évacuation d'air.”

“Les portes doivent s'ouvrir de l'intérieur vers l'extérieur et elles doivent pouvoir être ouvertes de l'intérieur même lorsqu'elles comportent un dispositif permettant le verrouillage depuis l'extérieur”.

“Il doit, en outre, être ménagé un espace suffisant pour permettre une exploitation normale”.



INTÉRÊTS

- Être conforme aux réglementations en vigueur relatives au sous-sol et aux équipements de surface
- Protéger les équipements et le personnel intervenant sur site

À QUEL MOMENT ?

Lors de la phase conception de l'installation géothermique, le bureau d'études thermiques doit veiller à ce que la conception de la chaufferie soit conforme à l'arrêté du 23 juin 1978 et aux arrêtés successifs le complétant. Le bureau d'études sous-sol doit respecter la réglementation applicable aux ouvrages souterrains.

Lors de la réception des travaux, la maîtrise d'œuvre doit vérifier la conformité de l'enveloppe du local, des organes de sécurité, des caractéristiques hydrauliques, des moyens de lutte contre l'incendie, des conduits de fumée...

RISQUE DE LÉGIONELLOSE SUR LA PRODUCTION D'ECS "GÉOTHERMIQUE"

Pour les installations géothermiques produisant de l'eau chaude sanitaire, le risque de légionellose doit être pris en considération comme pour toute autre installation produisant de l'eau chaude sanitaire. Les risques ne sont pas augmentés par l'utilisation de la géothermie. La présente fiche a donc pour vocation de sensibiliser les maîtres d'ouvrages, bureaux d'études thermiques et installateurs à veiller au respect des bonnes pratiques mises en œuvre sur toutes les installations.

Les légionnelles sont susceptibles de proliférer dans les installations d'eau lorsque la température est comprise entre 25 et 43°C, lorsque l'eau stagne et en présence de dépôts de tartre, de résidus métalliques comme le fer et le zinc, de certains matériaux tels que le caoutchouc, le chlorure de polyvinyle ou le silicone et d'autres micro-organismes des milieux aquatiques, comme les cyanobactéries ou les amibes libres.

La voie la plus courante de transmission de *Legionella* passe par l'inhalation d'aérosols contaminés (douches, jacuzzi, etc.). Les sources d'aérosols que l'on a associées à cette transmission sont les tours de refroidissement des systèmes d'air conditionné, les systèmes d'eau chaude et froide, les humidificateurs d'air et les bains à remous.

L'infection peut également se produire par aspiration d'eau contaminée et de glace, notamment chez les malades hospitalisés sensibles et par exposition des nouveaux nés lors des accouchements dans l'eau. Il n'y a pas de transmission interhumaine directe.

Les légionnelles ne se reproduisent plus à 55 °C et sont détruites à partir de 60 à 70°C (à 60 °C il faut 32 minutes, à 66 °C 2 minutes et à 70 °C 1 minute).

Il convient de distinguer les installations géothermiques délivrant directement de l'eau chaude sanitaire des installations utilisées en préchauffage de l'eau chaude sanitaire. Si pour le second cas, il est possible d'élever la température à plus de 55°C, pour les premières le risque ne peut être écarté.

Pour limiter le développement des légionnelles, il est nécessaire d'agir à trois niveaux :

- éviter la stagnation et assurer une bonne circulation de l'eau,
- lutter contre l'entartrage et la corrosion par une conception et un entretien adaptés à la qualité de l'eau et aux caractéristiques de l'installation ;
- maîtriser la température de l'eau dans les installations, depuis la production et tout au long des circuits de distribution.

Ce troisième point est en lien direct avec la production et donc, dans notre cas, la géothermie. Si le volume entre le point de mise en distribution et le point de puisage à risque le plus éloigné est supérieur à 3 litres, la température doit être supérieure ou égale à 50°C en tout point des systèmes de distribution, à l'exception des tubes finaux d'alimentation dont le volume est inférieur ou égal à 3 litres.

L'eau des équipements de stockage, à l'exclusion des ballons de préchauffage, doit être en tout point et en permanence à une température supérieure ou égale à 55°C, ou être portée à une température suffisante dans sa totalité au moins une fois par 24 heures.

Le législateur a défini les conditions de suivi des installations notamment par l'Arrêté du 1^{er} février 2010 relatif à la surveillance des légionnelles dans les installations de production, de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire.

Cet arrêté ne concerne que les établissements recevant du public et distingue les établissements de santé des autres établissements, concernant la fréquence des mesures.

FRÉQUENCES MINIMALES DES ANALYSES DE LÉGIONELLES ET DES MESURES DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU CHAUE SANITAIRE DANS LES ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ

POINTS DE SURVEILLANCE

MESURES OBLIGATOIRES POUR CHACUN DES RÉSEAUX D'EAU CHAUE SANITAIRE

Sortie de la / des production(s) d'eau chaude sanitaire (mise en distribution).

Température de l'eau : *1 fois par jour (ou en continu)*.

Fond de ballon(s) de production et de stockage d'eau chaude sanitaire, le cas échéant.

Analyses de légionnelles : *1 fois par an*
- dans le dernier ballon si les ballons sont installés en série;
- dans l'un d'entre eux si les ballons sont installés en parallèle.

Point(s) d'usage à risque le(s) plus représentatif(s) du réseau et point(s) d'usage le(s) plus éloigné(s) de la production d'eau chaude sanitaire.

Analyses de légionnelles : *1 fois par an*
Température de l'eau : *1 fois par semaine (ou en continu)*.

Point(s) d'usage représentatifs situés dans des services accueillant des patients identifiés par le comité de lutte contre les infections nosocomiales (ou toute organisation chargée des mêmes attributions) comme particulièrement vulnérables au risque de légionellose.

Analyses de légionnelles : *1 fois par an*
Température de l'eau : *1 fois par semaine (ou en continu)*.

Retour de boucle (retour général), le cas échéant.

Analyses de légionnelles : *1 fois par an*
Température de l'eau : *1 fois par jour (ou en continu) au niveau de chaque boucle*.



RISQUE DE LÉGIONELLOSE SUR LA PRODUCTION D'ECS "GÉOTHERMIQUE" (SUITE)

FRÉQUENCES MINIMALES DES ANALYSES DE LÉGIONELLES ET DES MESURES DE LA TEMPÉRATURE DE L'EAU CHAude SANITAIRE DANS LES ÉTABLISSEMENTS SOCIAUX ET MÉDICO-SOCIAUX, LES ÉTABLISSEMENTS PÉNITENTIAIRES, LES HÔTELS ET RÉSIDENCES DE TOURISME, LES CAMPINGS ET LES AUTRES ÉTABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC

POINTS DE SURVEILLANCE	MESURES OBLIGATOIRES POUR CHACUN DES RÉSEAUX D'EAU CHAude SANITAIRE
Sortie de la / des production(s) d'eau chaude sanitaire (mise en distribution).	Température de l'eau : <i>1 fois par mois</i>
Fond de ballon(s) de production et de stockage d'eau chaude sanitaire, le cas échéant.	Analyses de légionnelles : <i>1 fois par an</i> - dans le dernier ballon si les ballons sont installés en série; - dans l'un d'entre eux si les ballons sont installés en parallèle.
Point(s) d'usage à risque le(s) plus représentatif(s) du réseau ou à défaut le(s) point(s) d'usage le(s) plus éloigné(s) de la production d'eau chaude sanitaire.	Analyses de légionnelles : <i>1 fois par an</i> Température de l'eau : <i>1 fois par mois</i>
Retour de boucle (retour général), le cas échéant.	Analyses de légionnelles : <i>1 fois par an</i> Température de l'eau : <i>1 fois par mois au niveau de chaque boucle.</i>

LÉGIONELLE



(SOURCES : WIKIPÉDIA, AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE DE L'ALIMENTATION, DE L'ENVIRONNEMENT ET DU TRAVAIL)

INTÉRÊT

Éviter les risques sanitaires pour les usagers

À QUEL MOMENT ?

À la conception, le bureau d'études thermiques devra chercher à optimiser les réseaux et à pouvoir maintenir une température suffisante en tout point du réseau.

En exploitation, le suivi de l'installation passe par un relevé des températures de l'eau en différents points du réseau et par des analyses dont la fréquence est adaptée au type d'établissement (uniquement pour les Etablissements recevant du public).



SCHÉMA HYDRAULIQUE DES INSTALLATIONS

Le schéma hydraulique de l'installation est nécessaire pour bien comprendre son fonctionnement technique et permet de faciliter l'exploitation ainsi que la maintenance de l'installation.

Ce schéma complet doit être affiché dans la chaufferie à l'attention de tout visiteur qu'il soit le maître d'ouvrage, l'exploitant ou un auditeur. Il doit être exposé dans un endroit visible (de préférence la porte ou un mur accessible) et dans un format lisible y compris pour sa légende.

Ce document doit être le plus complet possible avec notamment :

- les caractéristiques techniques de tous les différents éléments composant la chaufferie (modèle, puissance, débit, températures de fonctionnement, ...);
- la direction de circulation des fluides avec un code couleur permettant de distinguer les circuits chaud et froid, primaires et secondaires.

Ce schéma doit être conçu dès la phase "Projet" par le bureau d'études puis mis à jour lors de sa mise en œuvre par l'entreprise et lors de toute modification de l'installation.

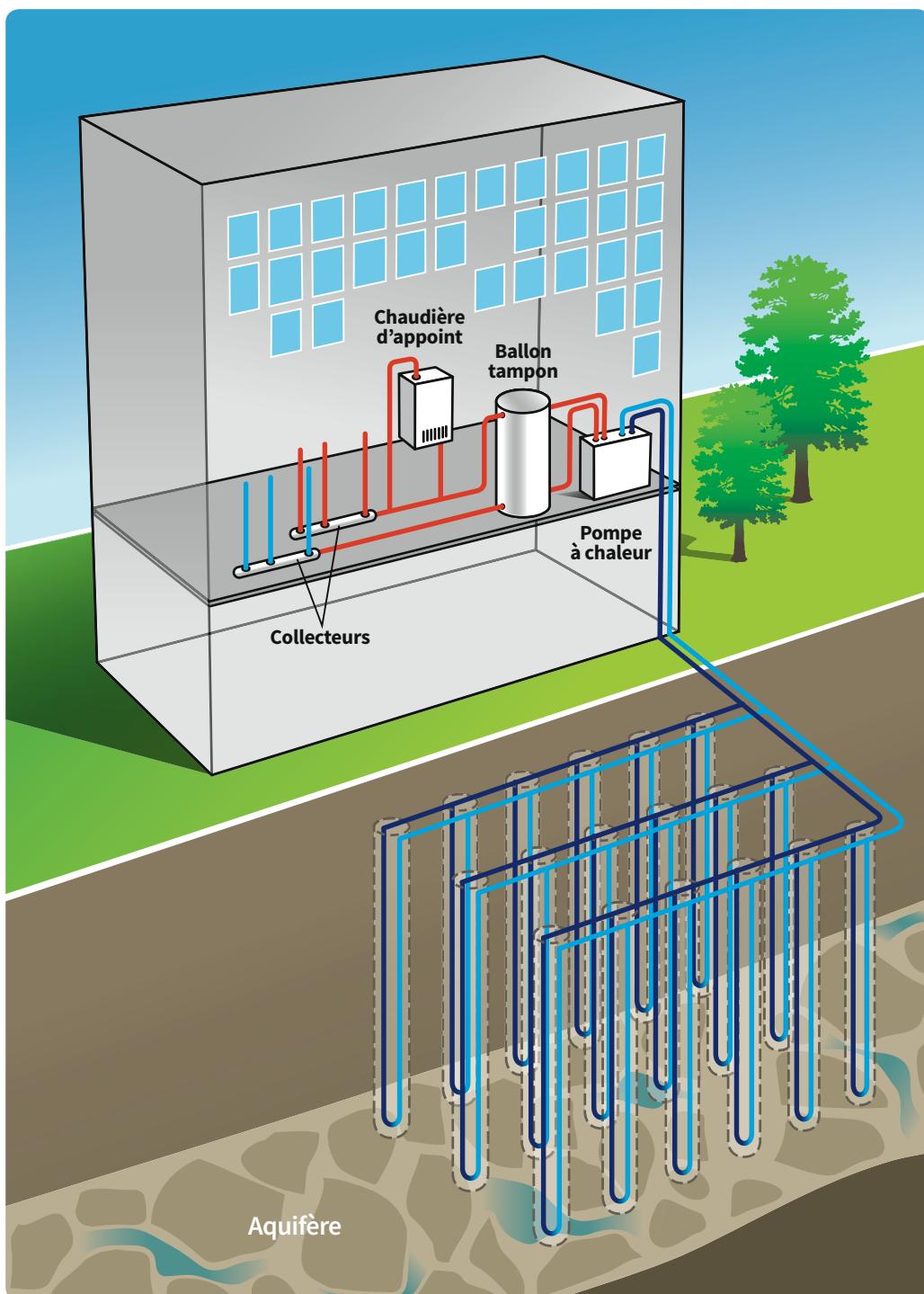
INTÉRÊTS

- **Éviter des erreurs lors de la maintenance de l'installation**
- **Faciliter le diagnostic en cas de dysfonctionnement de l'installation (panne ou défaut)**

À QUEL MOMENT ?

Dès la phase conception puis en phase exécution, à vérifier lors de la mise en service.

SCHÉMA HYDRAULIQUE D'UNE INSTALLATION EN GÉOTHERMIE

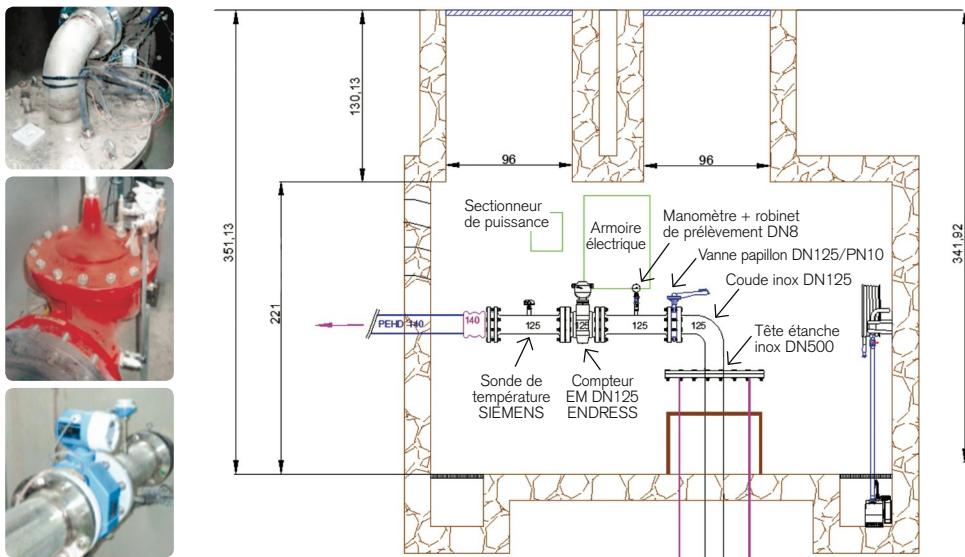


RAPPORT SUR LES OUVRAGES SOUS-SOL

Les forages sur eau de nappe et les sondes géothermiques sont déclarés en ligne conformément au décret sur la géothermie de minime importance¹² lorsque les ouvrages dans le sous-sol ont une profondeur inférieure à 200 mètres et supérieure à 10 mètres et que la puissance prélevée dans l'environnement souterrain est inférieure à 500 kW. Les coupes géologiques et techniques des ouvrages doivent être déclarées auprès de la Banque des Données du Sous-Sol ; BSS qui est gérée par le BRGM¹³.

Les ouvrages ont été réalisés en respectant les normes¹⁴ qui s'imposent à tous les foreurs **qualifiés**¹⁵ en géothermie. Dans ces conditions, un forage d'eau ou une sonde géothermique peut avoir une durée de vie évaluée à un minimum de 50 ans voire 100 ans. Il est donc indispensable que toutes les données acquises au moment de la réalisation soient compilées dans un rapport sous-sol exhaustif agrémenté de prises de vue, de vidéos le cas échéant et de plans d'implantations précis.

SCHÉMA REGARD DE TÊTE DE FORAGE ET ÉLÉMENTS TECHNIQUES PRÉSENTS



¹² Décret de la géothermie de minime importance du 1^{er} juillet 2015 et arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance disponibles sur le site Légitrance.

¹³ BRGM : Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières est l'établissement public de référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol.

¹⁴ Norme NFX 10-999 pour la géothermie sur nappes et norme NFX 10 960 et 970 pour la géothermie sur sondes verticales.

¹⁵ Le décret GMI prévoit que les travaux doivent être réalisés par des entreprises prestataires de forage disposant des qualifications requises (NB : la qualification "Qualiforage" répond notamment à cette exigence).

VUE INTÉRIEURE DE L'INSTALLATION ET CONNEXIONS HYDRAULIQUES



PLAN PRÉCIS D'IMPLANTATION DES OUVRAGES (ICI IMPLANTATION DES SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES)



INTÉRÊTS

- Respect des obligations réglementaires
- Permettre une optimisation de l'exploitation de la ressource géothermique et la possibilité de réaliser d'autres opérations dans un voisinage immédiat
- Respect de l'environnement : en effet, dans 50 ans, les tracés des canalisations et l'emplacement précis des ouvrages permettront en cas d'abandon des ouvrages de les neutraliser d'une manière sûre

À QUEL MOMENT ?

À la mise en service de l'installation, le DOE¹⁶ doit être remis au maître d'ouvrage. Une fiche plus sommaire doit être à disposition de l'exploitant de l'opération.

¹⁶ Dossiers des Ouvrages Exécutés.



CALORIFUGEAGE DES INSTALLATIONS

Sans pour autant compromettre son fonctionnement technique, la mise en place d'un calorifugeage adapté est nécessaire afin d'optimiser les performances énergétiques et économiques de l'installation.

En effet, des pertes thermiques peuvent se produire sur l'ensemble du réseau hydraulique de la tête du forage de production (doublet) ou des sondes jusqu'à la chaufferie y compris et jusqu'à la distribution de l'eau dans les émetteurs ; ce qui peut représenter une distance souvent conséquente.

En ce qui concerne les pertes thermiques depuis le champ de sondes ou du forage de production, celles-ci sont faibles dès lors que les canalisations sont installées à une profondeur suffisante (profondeur adaptée en fonction du contexte climatique local).

Pour la partie chaufferie, les canalisations doivent être isolées.

EXEMPLE DE CANALISATION NON ISOLÉE



EXEMPLE DE CANALISATION ISOLÉE



INTÉRÊTS

Du côté froid :

- le calorifugeage permet d'éviter les phénomènes de condensation et de corrosion ralentissant ainsi la dégradation des tuyauteries en métal mais également l'aspect général de la chaufferie. Selon la norme NF EN ISO 12944-2, la perte d'épaisseur de l'acier peut atteindre 200 microns/an dans des conditions extrêmes et provoquer la rupture de l'acier en une dizaine d'années

Du côté chaud :

- le calorifugeage limite les pertes thermiques et permet d'augmenter en conséquence les performances de l'installation
- à partir d'un certain niveau de température, la présence de calorifuge permet également de diminuer les risques de brûlure

La nature et l'épaisseur du calorifuge doivent être déterminées sur la base des textes en vigueur et notamment les DTU. À titre d'exemple, les thermiciens considèrent que pour un écart de température de 50 °C et pour une conduite de 50 mm, une épaisseur de calorifuge de 25 mm permet de diviser les pertes thermiques par 5 et une épaisseur de calorifuge de 50 mm les divisent par 8. À titre indicatif, les épaisseurs d'isolant en fonction du diamètre et de la conductivité thermique de l'isolant sont rassemblées dans le tableau suivant :

Diamètre du tuyau à isoler	Épaisseur de l'isolant si λ vaut 0,03 W/mK ou moins	Épaisseur de l'isolant si λ se situe entre 0,03 et 0,05 W/mK
10-15 mm	3 cm	4 cm
20-32 mm	4 cm	5 cm
40-50 mm	5 cm	6 cm
65-80 mm	6 cm	8 cm
100-150 mm	8 cm	10 cm
175-200 mm	8 cm	12 cm

Ceci est d'autant plus important que la canalisation avant distribution est longue. Le prix au mètre linéaire est lié au diamètre de la canalisation, à l'épaisseur d'isolant et à sa résistance thermique (fourchette de coût de 20 à 60 €/ml pour un DN50).

À QUEL MOMENT ?

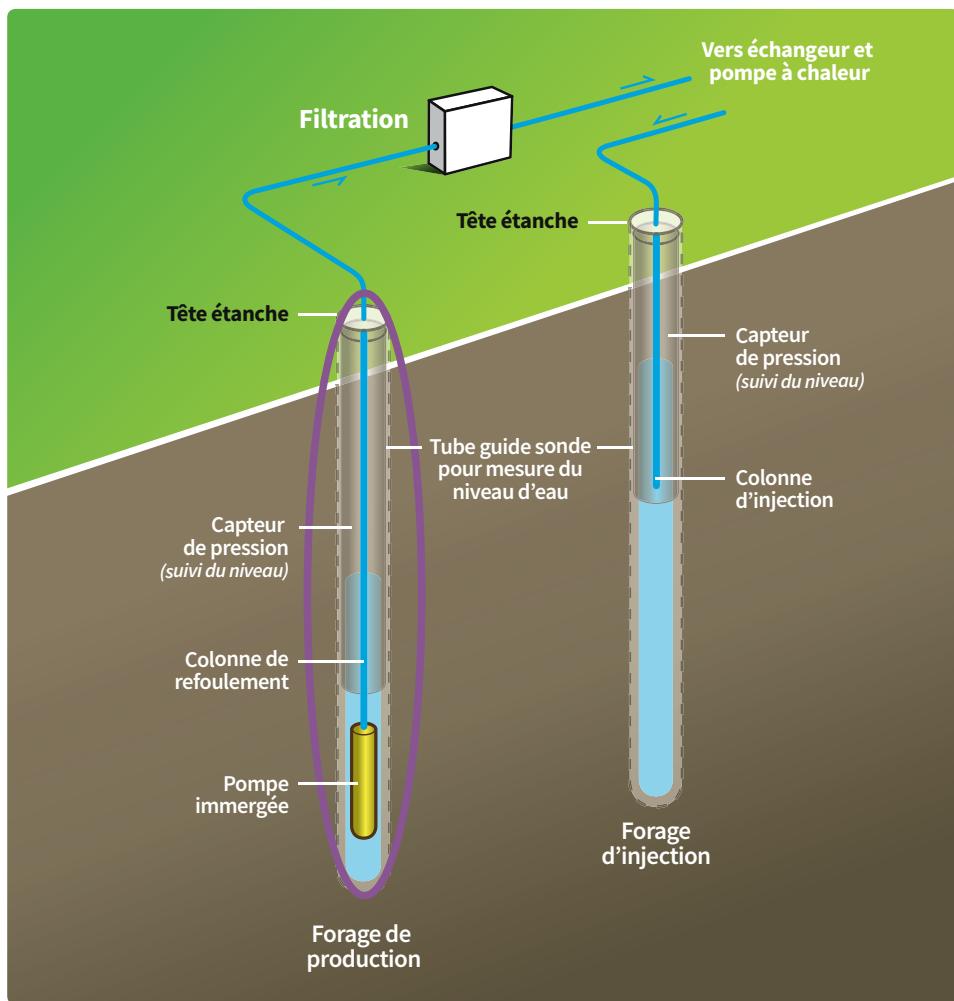
Dès la phase conception, et à tout moment car le calorifugeage ne nécessite pas d'interrompre le fonctionnement de la chaufferie. À vérifier lors de la mise en service.



SYSTÈMES DE POMPAGE SUR NAPPE

Pour les installations géothermiques fonctionnant selon le principe du doublet sur nappe, le forage de production doit être équipé d'une pompe. Dans la majorité des installations, il s'agit d'une pompe immergée descendue dans le forage de production.

SCHÉMA DE PRINCIPE SIMPLIFIÉ D'UN DOUBLET DE FORAGE SUR NAPPE



Le dimensionnement de cette pompe doit être déterminé en fonction du débit à pomper en intégrant l'ensemble des pertes de charge, à savoir :

- la hauteur de relevage de l'eau dans le forage de production pour le débit maximal de l'installation (valeur déterminée par le bureau d'études sous-sol suite au pompage d'essai) ;
- les pertes de charges dans la conduite de refoulement ;
- les pertes de charges dans la canalisation depuis le forage de production jusqu'au forage d'injection ;
- les pertes de charges liées à la filtration ;
- Les pertes de charges liées à l'échangeur.

La somme de ces valeurs correspond à la Hauteur Manométrique Totale.

Par exemple pour une installation fonctionnant au débit maximal $42 \text{ m}^3/\text{h}$ avec 28 mètres de Hauteur Manométrique Totale, la pompe immergée pouvant être installée pourrait correspondre à la pompe dont les caractéristiques hydrauliques sont indiquées dans le graphique (cf. page 56).

Dans l'exemple donné, la pompe immergée est légèrement surdimensionnée puisqu'elle peut fournir $44,4 \text{ m}^3/\text{h}$ alors que le débit maximal nécessaire est de $42 \text{ m}^3/\text{h}$. La consultation d'autres fabricants peut être nécessaire pour rechercher la pompe immergée la plus appropriée en vue de réduire les dépenses énergétiques.

En fonctionnement, le suivi des caractéristiques de la pompe immergée doit permettre de déceler toute dégradation ou vieillissement de celle-ci.

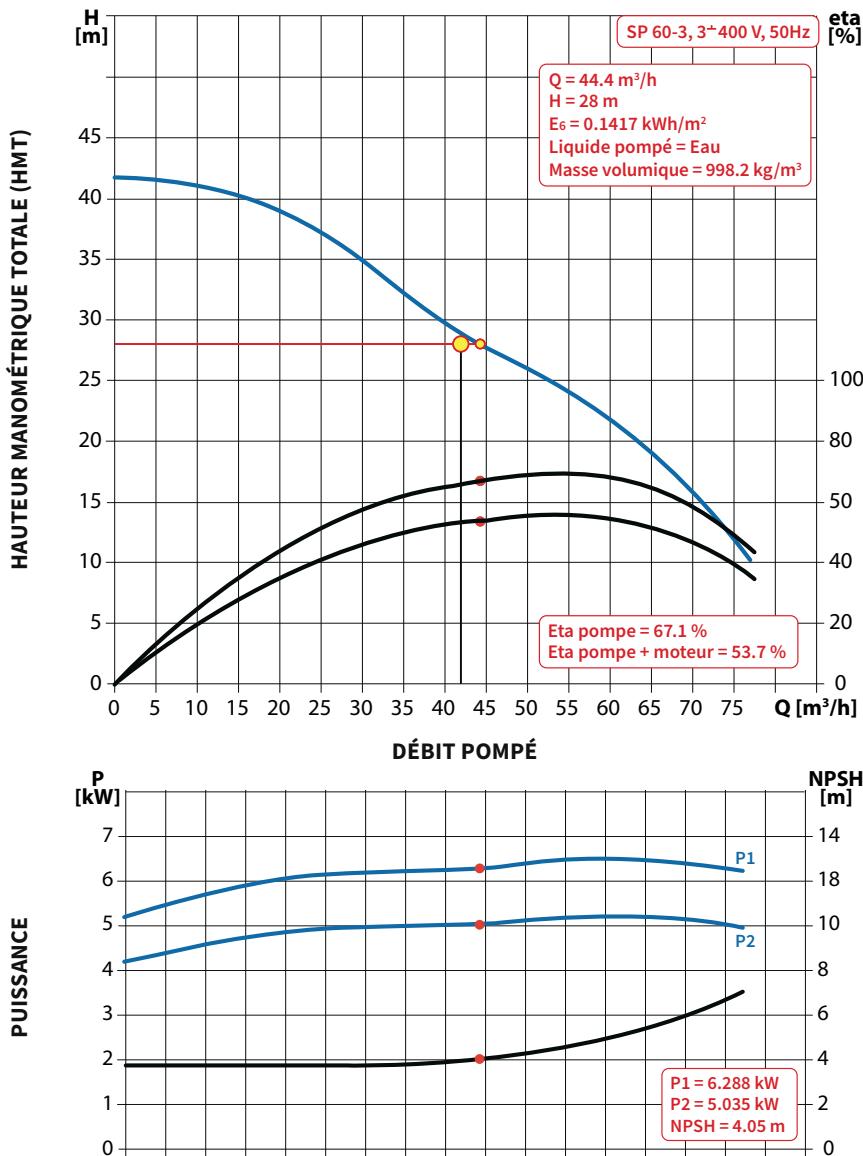
Pour cela, la productivité doit être vérifiée annuellement en repositionnant le débit et la hauteur manométrique sur la courbe d'origine de la pompe.

Une perte de production en l'absence de baisse du niveau de la nappe captée est le signe d'un vieillissement de la pompe immergée. Ce suivi peut être réalisé par le personnel en charge de l'exploitation de l'installation.



SYSTÈMES DE POMPAGE SUR NAPPE (SUITE)

EXEMPLE DE POMPE IMMERGÉE POUVANT CONVENIR AUX BESOINS



Lors de ce contrôle, il convient de vérifier également :

- l'intensité ;
- la tension de fonctionnement ;
- l'isolation ;
- la température moteur (en cas d'installation d'appareils de mesure de la température moteur Pt 100).

Ces contrôles ne peuvent être effectués que par du personnel habilité à intervenir sur des installations électriques.

INTÉRÊTS

- **Le choix de la pompe immergée permet d'optimiser sa puissance et donc de limiter les dépenses énergétiques**
- **L'utilisation de la variation de fréquence pour moduler le débit de pompage en fonction des besoins permet une optimisation des consommations électriques**
- **Le suivi du fonctionnement de la pompe immergée permet d'anticiper son renouvellement**

À QUEL MOMENT ?

En phase conception par le bureau d'études en charge du dimensionnement des installations.

Lors de la réalisation de l'installation notamment pour vérifier les hypothèses utilisées en phase étude et sur la base des pompages d'essai des forages.

L'utilisation d'une pompe immergée asservie à de la variation de fréquence doit être spécifiée **lors de la commande** de façon à disposer d'un moteur acceptant la variation de fréquence.

En phase exploitation pour le suivi des caractéristiques de la pompe immergée.



MAINTIEN DE L'INJECTIVITÉ DU FORAGE POUR UNE INSTALLATION DE GÉOTHERMIE SUR NAPPE

Pour les opérations de géothermie sur nappe, la réglementation (selon la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement) impose la réinjection de l'eau souterraine pompée dans le forage de production dans le même aquifère par le biais d'un forage d'injection.

Le législateur a prévu que l'intégralité de l'eau pompée pour des usages géothermiques soit réinjectées dans le même aquifère. Cette disposition permet de maintenir le niveau de la nappe. En effet, des installations sans réinjection conduiraient à un abaissement généralisé des niveaux de la nappe pompée.

Il s'agit donc d'une mesure conservatoire pour préserver la ressource qui peut être aussi utilisée pour d'autres usages.

L'expérience montre que l'index d'injectivité¹⁷ dans un forage est la plupart du temps inférieur à l'index de productivité¹⁸. Cette différence est encore plus nette pour les forages réalisés dans des aquifères formés de roches détritiques : sables, grès.

Il est possible de constater une diminution de l'injectivité avec le temps, l'index d'injectivité passant de 7 m³/h/m à moins de 2 m³/h/m.

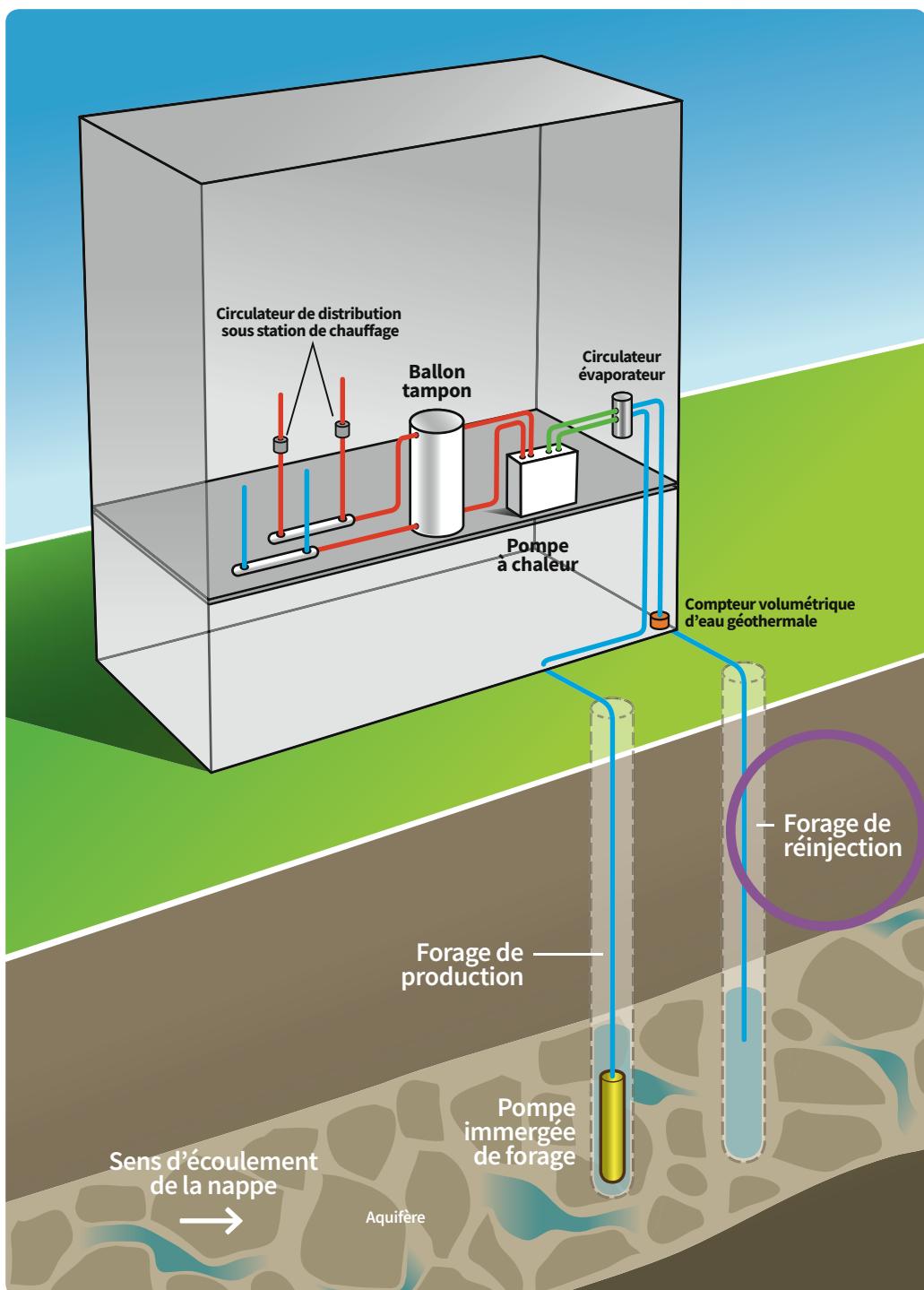
L'injectivité peut être aussi limitée par la présence d'éléments tels que le fer, le manganèse mais aussi par l'activité des bactéries présentes dans le milieu naturel.

Les eaux souterraines contiennent des bactéries de différentes natures. En phase exploitation des forages, ces bactéries peuvent se multiplier si elles rencontrent des conditions favorables (conditions différentes selon le type de bactérie). Par exemple, l'oxygénation peut favoriser le développement des bactéries du fer qui se déposeront soit au niveau des crépines, au changement de diamètre des tubages.

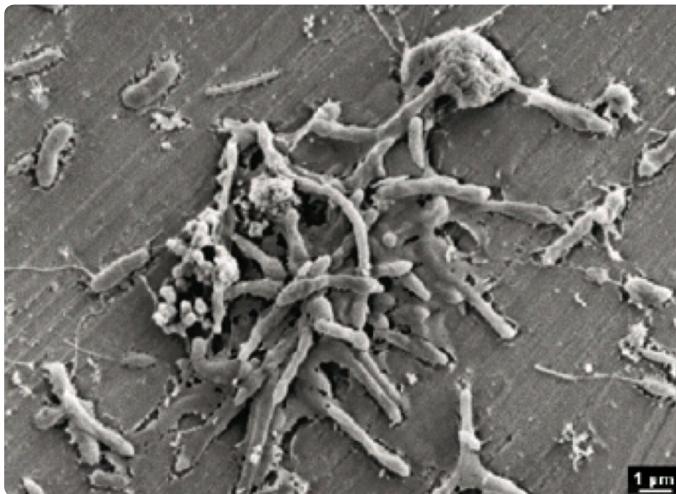
¹⁷ L'index d'injectivité caractérise la capacité d'absorption de l'eau du forage, il s'exprime en m³/h/m de charge.

¹⁸ L'index de productivité (dénommé également débit spécifique) correspond au débit extractible d'un forage par l'abaissement du niveau de la nappe de 1 mètre.

SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION DE GÉOTHERMIE SUR NAPPE



● MAINTIEN DE L'INJECTIVITÉ DU FORAGE POUR UNE INSTALLATION DE GÉOTHERMIE SUR NAPPE (SUITE)



**EXEMPLE DE
DÉVELOPPEMENT
BACTÉRIEN
SUR LE TUBAGE
DU FORAGE**

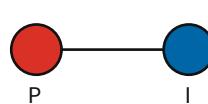
Source : Johnson

La filtration de l'eau de la nappe avec un dispositif adapté est donc indispensable, mais il peut être également envisagé des dispositifs où deux forages d'injection sont forés pour un forage de production ce qui permet de répartir le débit produit sur deux forages d'injection.

Une autre solution consistant à mettre en œuvre un rétro lavage dans le forage d'injection peut également permettre le ralentissement de la baisse d'injectivité.

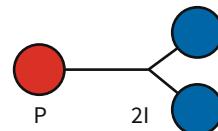
DOUBLET DE FORAGES

CAS LE PLUS FRÉQUENT



TRIPLET DE FORAGES

MAUVAISE INJECTIVITÉ



INTÉRÊTS

- Exploitation possible sans recours à une pompe d'injection et donc économie d'énergie**
- Pérennité de l'installation de géothermie (et en particulier des forages)**
- Économie sur la maintenance des forages en évitant des interventions pour nettoyage, stimulation, rétro lavage, etc.**

À QUEL MOMENT ?

Au moment de la conception de l'ouvrage, le bureau d'études sous-sol doit tenir compte des spécificités de la nappe exploitée (aquifère carbonaté ou détritique - sables - ainsi que ses caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques) et prévoir la mise en œuvre d'un rétro lavage avec la mise en place des fourreaux pour alimenter la pompe de rétro lavage.

Lors de la réalisation des forages et du développement des ouvrages sous-sol¹⁹, il faut produire à un débit sensiblement supérieur au débit d'exploitation sur le forage injecteur afin de permettre une réinjection plus aisée.

¹⁹ Développer un forage consiste à améliorer la perméabilité du milieu aquifère à proximité de la paroi du forage et à nettoyer le forage (fluides de forage, fines dans le massif de gravier). Cela conduit à améliorer et stabiliser le rendement de l'ouvrage. Différentes techniques sont utilisées : air lift (injection d'une émulsion eau/air), pompages par paliers, pompage alterné, agents chimiques (acidification).



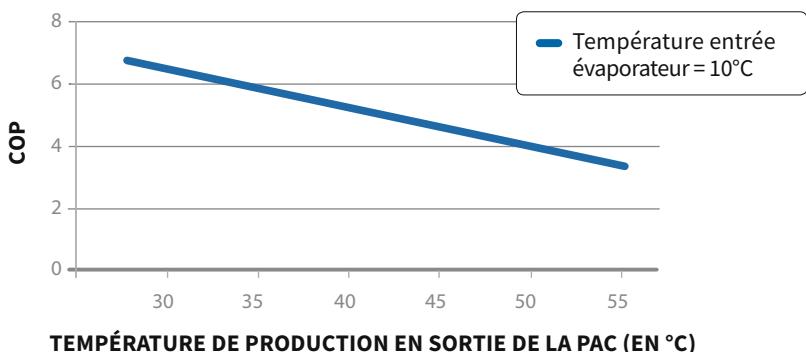
RÉGULATION DE LA PAC

La pompe à chaleur est l'organe le plus important d'une installation géothermique, optimiser sa régulation et par extension son rendement énergétique permet de rentabiliser plus facilement l'installation géothermique en baissant les coûts d'exploitation.

En effet, le COP²⁰ de la pompe à chaleur est fonction de la température de départ du réseau secondaire (côté production).

Comme le montre le graphique, choisir une température de production basse avec des émetteurs adaptés augmente le rendement de la pompe à chaleur.

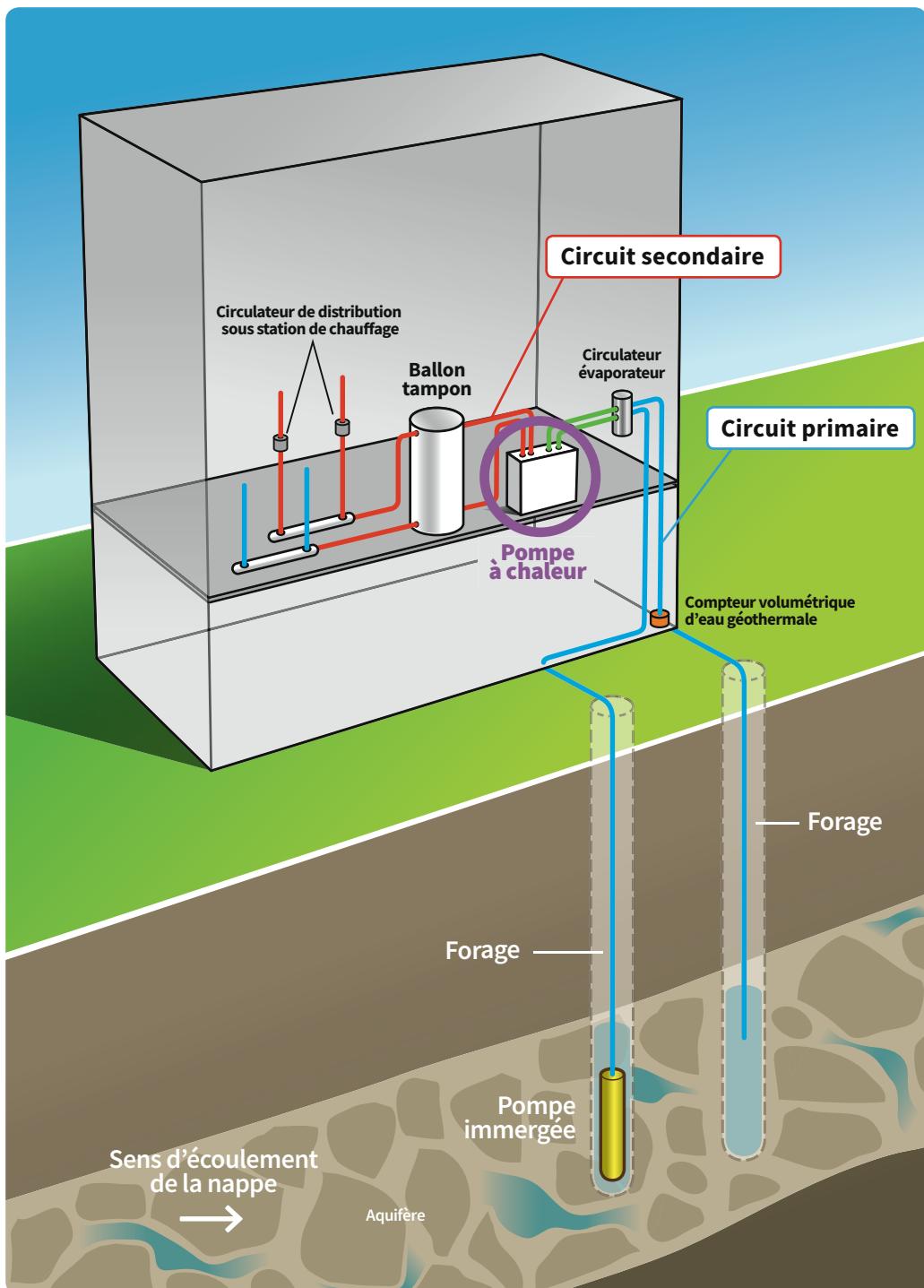
ÉVOLUTION DU COP DE LA PAC EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE DE PRODUCTION



L'utilisation en chauffage d'un régime d'eau basse température a une incidence sur l'investissement, du fait de la sélection d'appareils terminaux de taille supérieure ou en plus grand nombre, et sur l'intégration des systèmes dans les locaux à traiter. En effet à puissance égale, un émetteur dimensionné en régime basse température aura un encombrement nettement supérieur à un émetteur dimensionné en haute température.

²⁰ Cf. Glossaire page 79.

SCHÉMA SIMPLIFIÉ DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION DE GÉOTHERMIE SUR NAPPE

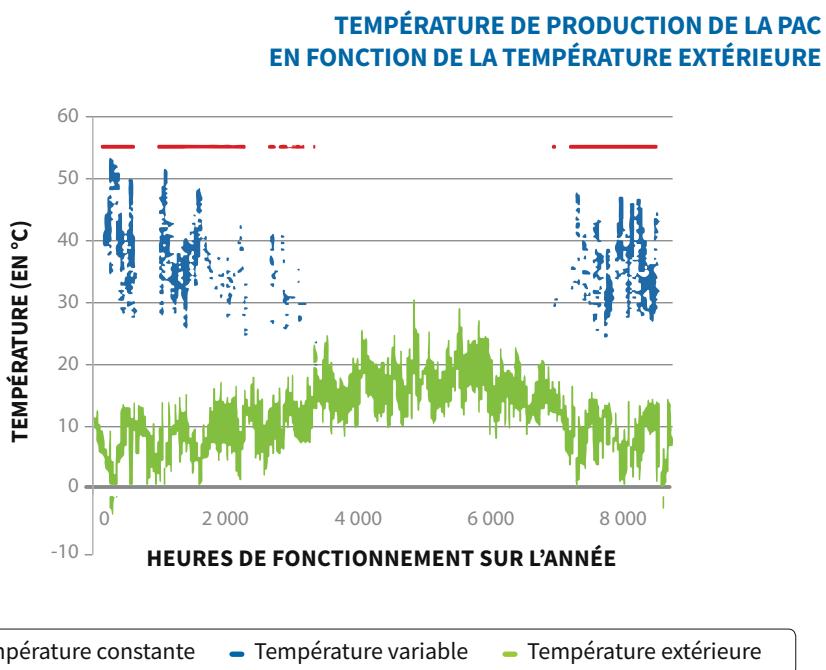


RÉGULATION DE LA PAC (SUITE)

De plus, les pompes à chaleur sont dimensionnées de telle sorte qu'elles contrent les déperditions thermiques pour une température extérieure de base qui correspond à leur puissance maximale.

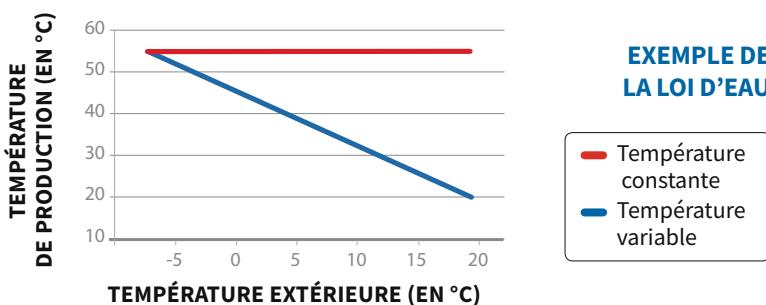
Ce graphique montre la température de production d'eau de la pompe à chaleur en fonction de la température extérieure selon deux configurations de réglage :

- fonctionnement de la pompe à chaleur à température constante de production d'eau (ligne rouge) ;
- fonctionnement de la pompe à chaleur à température variable de production d'eau (ligne bleue).



À noter : pour les installations alimentant des émetteurs de type Centrale de Traitement d'Air, la température de production d'eau est généralement fixe.

La régulation par Loi d'eau établit une correspondance entre les besoins en chaleur du bâtiment et la température de l'eau du circuit du chauffage. Elle ajuste la température d'eau vers les différents émetteurs en fonction des fluctuations de la température extérieure et de la température intérieure du bâtiment.



EXEMPLE DE LA LOI D'EAU

INTÉRÊTS

- Le fonctionnement de la pompe à chaleur, en ajustant la température de sortie, permet par conséquent des économies substantielles par diminution des consommations électriques améliorant ainsi le COP moyen annuel de l'installation
- La mise en œuvre d'une régulation par une Loi d'eau permet de pérenniser la ressource

À QUEL MOMENT ?

En phase de conception de l'installation, le maître d'œuvre doit vérifier que la température de production de l'eau chaude est adaptée aux émetteurs qui seront mis en place pour réaliser la distribution et choisir des émetteurs nécessitant une température d'eau la plus basse possible.

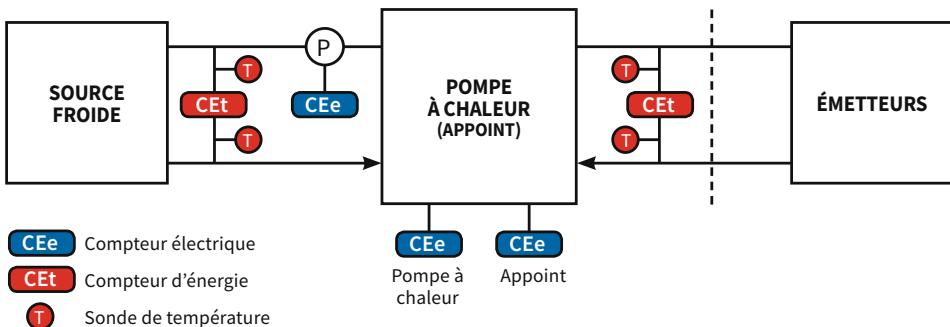
Lors de la réalisation de l'installation, le fonctionnement de la pompe à chaleur doit être paramétré avec une loi d'eau adaptée au site ; ce qui implique a minima la mise en place d'une sonde de température extérieure.



SUIVI DES PERFORMANCES DES INSTALLATIONS GÉOTHERMIQUES

Une installation de géothermie est constituée de nombreux éléments qui produisent et consomment de l'énergie. Un suivi de ses consommations est essentiel pour réaliser un bilan annuel et permettre l'optimisation du fonctionnement de l'opération en continu pendant la durée de vie de l'installation. Il est donc indispensable d'installer des éléments de comptage et de monitoring selon les prescriptions de l'ADEME.

EXEMPLE DE SCHÉMA D'INSTRUMENTATION ÉDITÉ SOUS DIAGADEME POMPE À CHALEUR EN MODE CHAUFFAGE



Ces dispositifs de métrologie doivent systématiquement être installés et adaptés à la taille et aux usages de l'installation (production de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de climatisation ou de rafraîchissement). Leur fonctionnement doit être également régulièrement vérifié.



INTÉRÊTS

La métrologie permet un accès aux informations suivantes :

- énergie produite par la ressource géothermique et par la pompe à chaleur ;
- consommation électrique des équipements, avec la puissance développée et la période de fonctionnement ;
- rendement des équipements et en particulier celui de la PAC pour évaluer le rendement (COP) de la PAC et le rendement annuel du système complet ;
- mesures avec historique des températures, pressions et débit de fonctionnement des circuits primaire (énergie du sous-sol) et secondaire (locaux raccordés).

À partir de ces mesures et de leur analyse, il est possible d'augmenter encore la production énergétique et le confort des usagers en générant des économies et en améliorant la rentabilité globale de l'opération.

EXEMPLE D'UN BILAN ÉNERGÉTIQUE RÉALISÉ SUR UNE INSTALLATION



À QUEL MOMENT ?

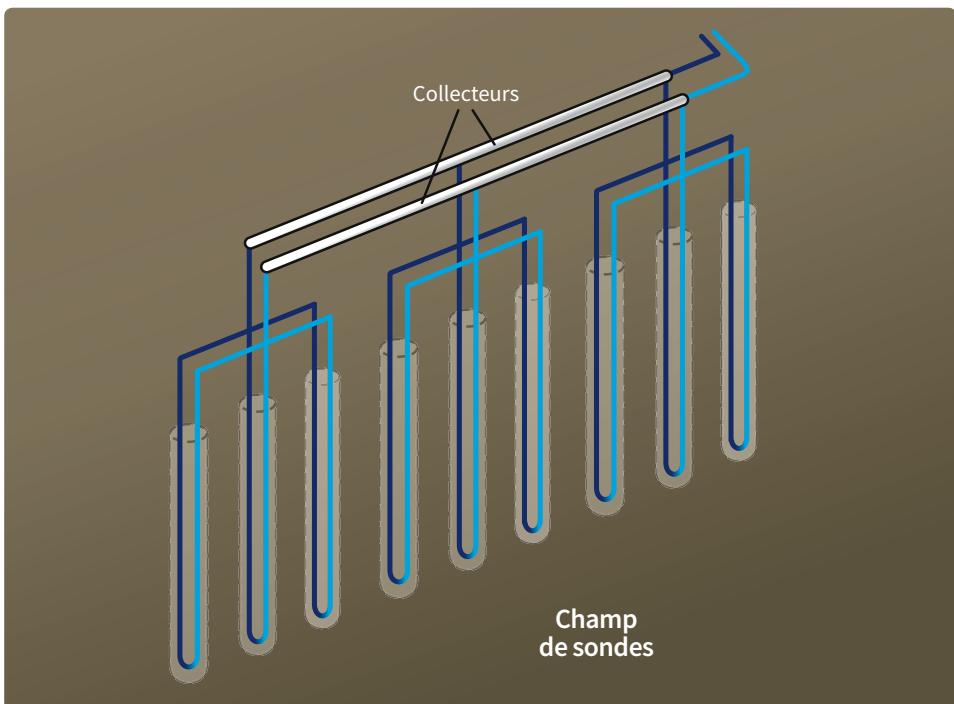
En phase conception et lors de la mise en œuvre, le maître d'œuvre doit veiller à ce que la conception de la chaufferie intègre à son programme le monitoring de la performance des différents moyens de production (pompe à chaleur géothermique, chaudière éventuelle d'appoint/secours, ...). La production de chaleur et de froid n'est pas toujours assurée à 100 % par la géothermie.



MAINTENANCE DES OUVRAGES SOUTERRAINS

La maintenance des installations sous-sol est primordiale pour optimiser la durée de vie de l'installation géothermique.

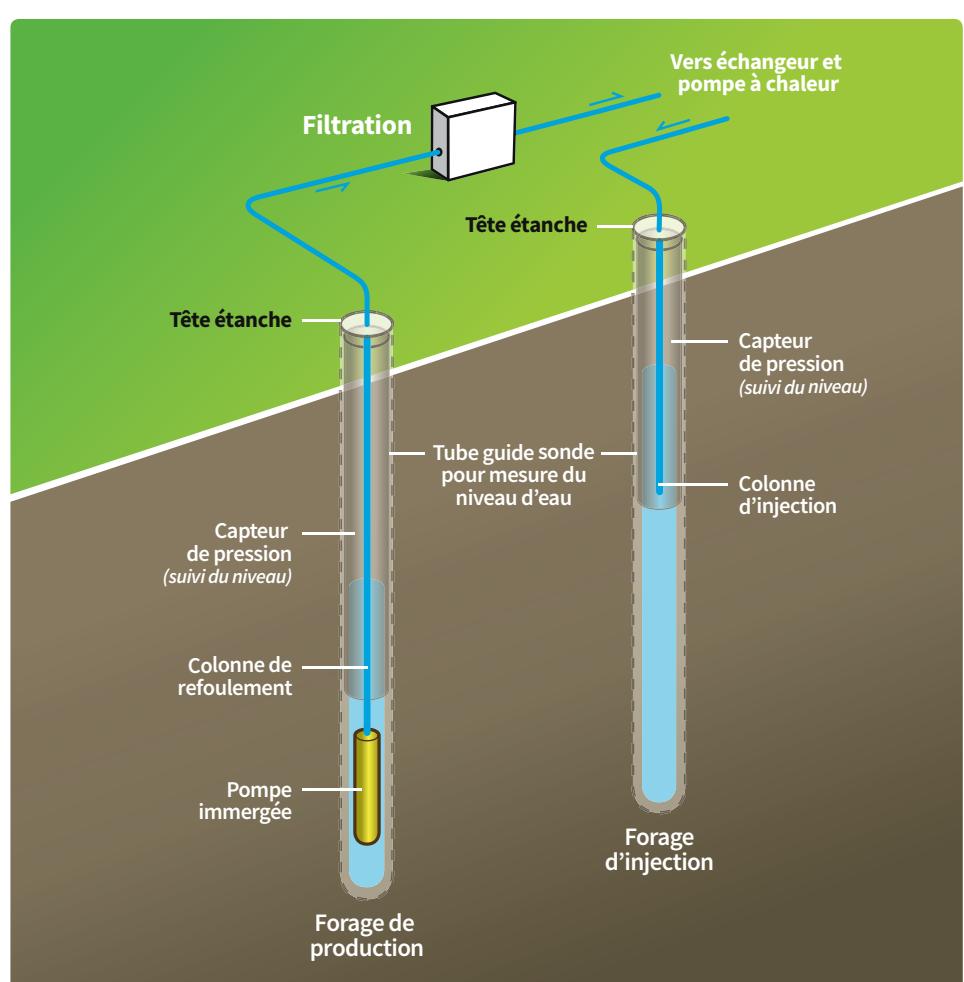
Pour les installations fonctionnant à l'aide d'un champ de sondes géothermiques, la maintenance se limite à un contrôle annuel a minima de l'état des collecteurs, de l'étanchéité des sondes ainsi que la concentration en glycol (pour les sondes remplies en eau glycolée).



Pour les installations fonctionnant selon le principe du doublet de forages sur nappe, la maintenance porte sur 3 thèmes :

- les ouvrages eux-mêmes (les forages) ;
- les équipements installés dans les forages (pompe immergée, ...) ;
- la ressource en eau souterraine.

Ces contrôles sont à réaliser au moins **une fois par an**.

**Les ouvrages (forages) :**

- contrôle du fond du forage ;
- contrôle du sommet du massif de graviers ;
- auscultation de l'état intérieur du forage a minima tous les 10 ans par caméra immergée.

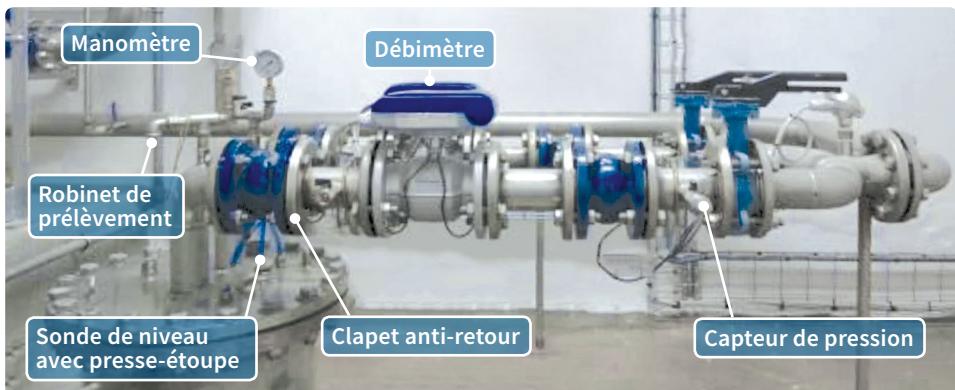


MAINTENANCE DES OUVRAGES SOUTERRAINS (SUITE)

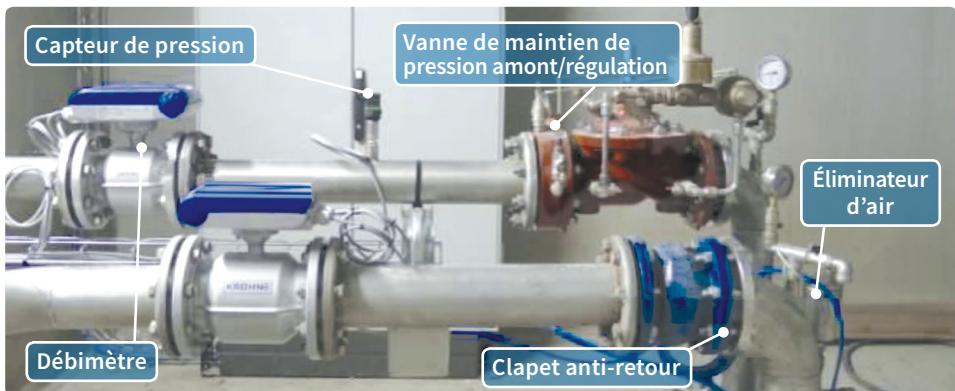
Les équipements installés dans les forages :

- vérification visuelle de l'état de la tête de puits et du regard ;
- vérification du bon fonctionnement de la pompe vide cave ;
- vérification de l'état de la pompe immergée (ampérage, isolement, pression) ;
- vérification du bon fonctionnement des électrodes hautes et basses ;
- vérification de la métrologie (compteur débit/volume, capteur de niveau contrôle avec sonde manuelle, sonde de température).

EXEMPLE D'ÉQUIPEMENT D'UN FORAGE DE PRODUCTION



EXEMPLE D'ÉQUIPEMENT D'UN FORAGE D'INJECTION



La ressource en eau :**• pour le forage de production**

- réalisation une fois par an d'un test par paliers²¹ de débits et comparaison avec celui réalisé au moment des travaux ;
- analyse d'eau.

• pour le forage d'injection

- réalisation une fois par an d'un test par paliers en injection réalisé de manière concomitante lors du test par paliers sur le forage de production et comparaison avec celui réalisé au moment des travaux.

INTÉRÊTS

- Prolongation de la durée de vie des installations**
- Anticipation et planification des interventions de maintenance corrective évitant des arrêts intempestifs en saison de chauffe et/ou de climatisation**
- Suivi des performances de l'installation et donc de son rendement**

À QUEL MOMENT ?

Durant toute la durée d'exploitation de l'installation, ces contrôles doivent faire l'objet d'un rapport circonstancié agrémenté le cas échéant de clichés photographiques et noté sur le livret de chaufferie (nature, date du contrôle et intervenant).

L'entretien doit être effectué par un professionnel qualifié : RGE Qualiforage nappe ou sondes ou qualification équivalente.

²¹ Test par paliers : Il s'agit de pomper dans le forage à différents débits, chaque phase de pompage ayant la même durée pour mesurer le rabattement de la nappe.



MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE SURFACE

Les installations géothermiques de surface comprennent :

- une filtration pour les doublets de forage sur nappe ① ;
- un ou plusieurs échangeurs ;
- une ou plusieurs pompe(s) à chaleur ② ;
- des pompes de circulation ③ ;
- des vannes ;
- un ballon de surpression ;
- des capteurs ;
- la vanne de maintien de pression du réseau primaire (circuit d'eau géothermale).

En amont de la pompe à chaleur, la maintenance concerne la :

- vérification et nettoyage mensuels de la filtration ;
- vérification mensuelle des pressions et des températures entrée-sortie de l'échangeur.

EXEMPLE DE FILTRATION

1



Pour la pompe à chaleur, une visite périodique est à prévoir a minima deux fois par an.

Elle permet une vérification :

- de l'état d'encrassement des filtres, de l'évaporateur et du condenseur ;
- du fonctionnement des voyants et des dispositifs de contrôle et d'alarme ;
- du niveau d'huile, de la pression de fonctionnement, des intensités de démarrage et nominale.

Elle permet aussi un entretien préventif par :

- la vérification de la charge en fluide frigorigène et de l'étanchéité du circuit dans le but de prévenir des fuites de fluide frigorigène ;
- le réglage du détendeur ;
- la vérification et le réglage des sécurités (HP, BP, vanne d'inversion de cycle de la pompe à chaleur) ;
- l'état des connexions électriques.

Pour ces raisons, il est recommandé de souscrire un contrat de maintenance.

Les interventions sur les pompes à chaleur ne peuvent être effectuées que par une entreprise qualifiée. Suite à son passage, le professionnel doit remettre un certificat attestant de cette vérification.



MAINTENANCE DES INSTALLATIONS DE SURFACE (SUITE)

EXEMPLE DE POMPE À CHALEUR 2



Pour les autres composants (pompes, ballon, instrumentation, ...):

- contrôles visuels, remplacement des pièces d'étanchéité si besoin ;
- la vanne de maintien de pression sur le réseau primaire, contrôles du bon fonctionnement du système tous les trimestres ;
- de plus, l'exploitant se conformera aux prescriptions d'entretien spécifique à chaque fournisseur de matériel.

EXEMPLE DE POMPE DE CIRCULATION

3



INTÉRÊTS

- **Prolongation de la durée de vie des installations**
- **Anticipation et planification des interventions de maintenance corrective, évitant des arrêts intempestifs en saison de chauffe et/ou de climatisation**
- **Suivi des performances de l'installation et donc de son rendement**

À QUEL MOMENT ?

Durant toute la durée d'exploitation de l'installation, ces contrôles doivent faire l'objet d'un rapport circonstancié agrémenté le cas échéant de clichés photographiques et être notés sur le livret de chaufferie (nature, date du contrôle et intervenant).



RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DES INSTALLATIONS GÉOTHERMIQUES

La rentabilité des installations géothermiques doit intégrer les coûts d'investissement mais aussi ceux de fonctionnement. En ce qui concerne les coûts d'investissement, il faut être vigilant dans le dimensionnement des installations pour ne pas surinvestir (Cf. fiche “Dimensionnement du champ de sondes géothermiques”). Au niveau des coûts de fonctionnement, leur optimisation est surtout liée à une conception appropriée (loi d'eau, variation de fréquence par exemple).

En effet, les deux systèmes géothermiques les plus couramment utilisés - “en boucle ouverte” pour les opérations sur nappes et “en boucle fermée” pour les opérations sur sondes - ont des spécificités particulières en termes de coûts. Dans les deux cas, l'investissement et la maintenance de la partie liée aux installations de surface (pompe à chaleur et équipements annexes...) sont identiques, ce qui n'est pas le cas pour la partie sous-sol.

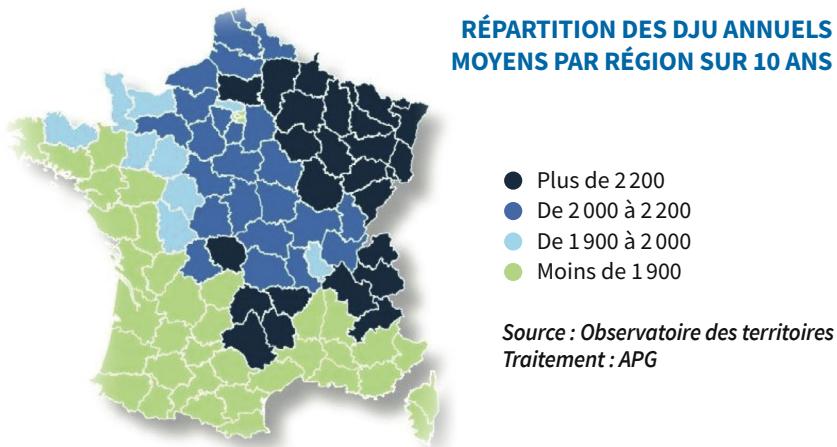
Les dépenses d'investissement ramenées au kW installé de la pompe à chaleur sont moins importantes, pour les doublets sur nappe avec une maintenance plus importante, tandis qu'elles sont plus élevées pour les sondes géothermiques pour une puissance équivalente mais avec une maintenance peu onéreuse.

Puissance installée de la PAC/système géothermique	30-50 kW	50-100 kW	100-250 kW	250-500 kW
Débit d'eau de la nappe (m³/h)	4-7	7-14	14-35	35-70
Coûts d'investissements doublet sur nappe⁽¹⁾ (€/kW)	830	450	420	280
Coûts de maintenance⁽²⁾ doublet y compris pompe (€/kW)	100	80	60	40
Nombre de sondes	6-10	10-20	20-50	50-100
Coûts d'investissements sondes⁽¹⁾ (€/kW)	1 200	1 100	900	730
Coûts de maintenance⁽²⁾ sondes (€ /kW)	10	10	10	10

⁽¹⁾ Coûts d'investissement moyens volet sous-sol par kW_{thermique} installé de la PAC
(moyenne sur 70 installations auditées entre 2015 et 2017)

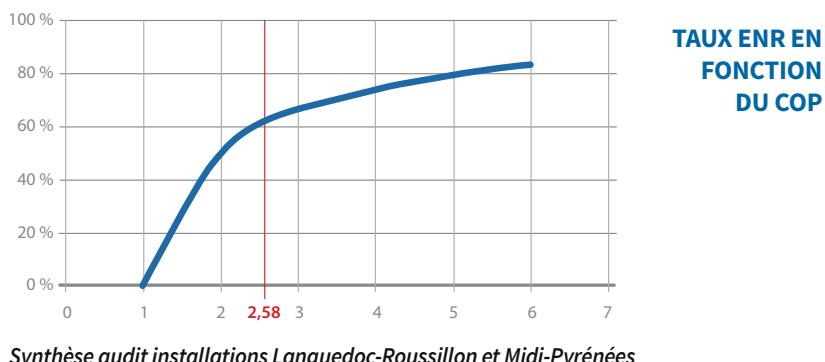
⁽²⁾ Coûts de maintenance issus des diagnostics régionaux

Une autre approche en coût global²² du MWh géothermique sera fonction du nombre d'heures annuelles d'utilisation en production de chaud et de froid et donc liée aux DJU (Degrés Jours Unifiés) applicables à la localisation géographique de l'installation.



À titre indicatif, une opération exploitée en Haute Savoie à 800 mètres d'altitude fonctionnera pendant un nombre d'heures supérieur d'environ 20 à 25 % par rapport à une opération située dans les Landes.

Les performances énergétiques et donc économiques des installations analysées à travers des COP²³ constatés est donc un paramètre fondamental proportionnel aux durées de fonctionnement.



²² L'approche en coût global permet de prendre en compte les coûts d'une installation au-delà du simple investissement, en s'intéressant à son exploitation (charges liées aux consommations énergétiques....), à la maintenance et au remplacement de ses équipements.

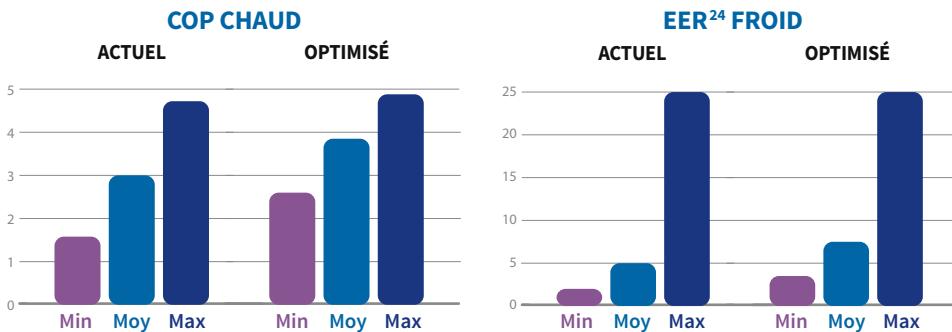
²³ Cf. Glossaire page 79.

RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DES INSTALLATIONS GÉOTHERMIQUES (SUITE)

Le taux d'énergie renouvelable d'une installation de géothermie est directement lié au COefficient de Performance (COP) atteint : un taux d'EnR à 50 % correspond à un COP de 2. Ce taux monte à 75 % pour un COP de 4.

Un autre critère d'appréciation est le coefficient “officiel” de conversion énergie finale/énergie primaire pour l'électricité en France. Ce coefficient étant de 2,58 aujourd’hui, il peut être considéré qu'une installation de géothermie qui présente un COP inférieur à ce seuil ne sera pas pertinente en termes de consommation en énergie primaire.

L'OPTIMISATION DU COP GLOBAL DE L'INSTALLATION EST UN FACTEUR PRIMORDIAL



À QUEL MOMENT ?

Lors de la conception, le bureau d'études doit rechercher une optimisation des performances énergétiques des installations.

À la mise en service et pendant la durée de vie de l'installation, le système doit être réglé en fonction des ressources en énergie primaire captées dans le sous-sol et de leur utilisation dans le circuit secondaire grâce à la PAC.

Un suivi régulier du fonctionnement global de l'installation est indispensable pour vérifier ses performances et ses éventuelles dérives.

²⁴ Cf. Glossaire page 79.

GLOSSAIRE

COP : Le COefficient de Performance (COP) est un indicateur qui permet de mesurer le rendement et la performance d'une PAC fonctionnant en mode chauffage. Il existe différents COP : COP machine et COP installation intégrant le fonctionnement des moteurs auxiliaires.

DJU : Le degré jour unifié (DJU) est la différence entre la température extérieure et une température de référence qui permet de réaliser des estimations de consommations d'énergie thermique pour maintenir un bâtiment confortable en fonction de la rigueur de l'hiver ou de la chaleur de l'été.

EER : L'Energy Efficiency Ratio est l'indicateur qui permet de mesurer l'efficacité énergétique d'une installation de production de froid. Ce coefficient peut atteindre des valeurs élevées (20 à 25) en cas de géocooling (fonctionnement uniquement via l'échangeur géothermique) et en bypassant la pompe à chaleur.

GMI : Les opérations de géothermie sont régies par le Code Minier. Pour les petites installations, le législateur a créé la Géothermie de Minime Importance (GMI) qui simplifie les démarches administratives notamment en supprimant le permis de recherche, la demande d'autorisation de travaux et enfin le permis d'exploitation.

Sous réserve du respect des conditions relatives à la GMI, une simple déclaration sur un site dédié permet de déclarer le projet avec le cas échéant l'avis d'un expert.

<http://www.geothermie-perspectives.fr/article/demarchesGMI>

La GMI concerne les opérations de moins de 500 kW extraits du sous-sol, une température de moins de 25°C, des ouvrages compris entre 10 et 200 mètres de profondeur.

POUR ALLER PLUS LOIN



www.geothermie-perspectives.fr : le site institutionnel exclusivement dédié à la géothermie, réalisé conjointement par le BRGM et l'ADEME. En ligne, des infos et des articles sur les différentes formes de géothermie, les technologies, les usages et les applications, la réglementation, les aides possibles, les cartes régionales des ressources géothermiques et des zonages réglementaires.



www.ademe.fr : le site de l'ADEME conseille et oriente les porteurs de projets dans leurs choix grâce à son expertise technique, sa connaissance des réseaux de professionnels compétents ainsi qu'à ses outils sous forme de fiches, de guides et de cahiers des charges.



www.afpg.asso.fr : le site de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie avec des informations sur la filière, le marché, les acteurs, des fiches exemples, la boîte à outils "géothermie très basse énergie" et un espace "particuliers" pour bien gérer son projet de géothermie de surface.



CONCLUSION

Une solution énergétique avec de sérieux atouts

La géothermie de surface ou géothermie très basse énergie constitue une alternative pertinente au recours aux énergies fossiles ; elle permet la production de chaud (chauffage et eau chaude sanitaire) et de froid (climatisation ou rafraîchissement par géocooling). C'est une énergie renouvelable qui a la particularité d'être exploitable sur une grande partie du territoire, indépendamment des conditions météorologiques. En effet, le sous-sol peut être utilisé à tout instant comme source énergétique soit par des systèmes dits fermés (champ de sondes) soit par des systèmes dits ouverts (doublet de forages nécessitant la présence d'un aquifère). Le choix entre les deux technologies est conditionné par les capacités locales liées au contexte géologique et hydrogéologique. Pour les opérations relevant du cadre réglementaire de la Géothermie de Minime Importance²⁵, plus de 85 % du territoire métropolitain présente des conditions favorables.

Des technologies éprouvées et performantes

La géothermie assistée par pompe à chaleur sur nappe ou sur champ de sondes est une solution énergétique à l'efficacité reconnue qui suscite un regain d'intérêt ces dernières années dans les secteurs du logement collectif et tertiaire. Elle bénéficie d'améliorations technologiques, notamment les rendements des pompes à chaleur, avec une augmentation de leur coefficient de performance.

Des professionnels qualifiés

Contrairement aux solutions énergétiques basées sur des énergies fossiles, la décision de recourir à la géothermie nécessite d'engager des réflexions techniques et économiques préalables. Elle fait donc appel à différentes compétences (bureau d'études sous-sol, bureau d'études thermiques, entreprises de forages, installateurs) qui doivent se coordonner.

²⁵ Cf. Glossaire page 79.

La professionnalisation de ces différents acteurs est engagée via les qualifications “RGE Travaux et Études” et est encadrée par des normes et règles de bonnes pratiques.

Un guide pour faciliter les projets du tertiaire et du collectif

La multiplication des opérations recourant à la géothermie de surface témoigne de la maturité de la filière et de la satisfaction des maîtres d’ouvrage à opter pour cette solution !

Les témoignages issus des différents audits présentés en ce début d’ouvrage sont le reflet de la perception de cette filière, qui représente un fort potentiel de développement pour ces prochaines années afin de respecter les engagements issus de la loi sur la transition énergétique et la croissance verte et ainsi faire face au changement climatique et à la raréfaction des énergies fossiles.

Ce guide pratique avec près d'une vingtaine de fiches techniques synthétise les recommandations préconisées lors des différentes phases d'un projet. Ces fiches constituent des points de vigilance qui – s'ils sont respectés - doivent permettre de réussir la mise en place d'une géothermie de surface et de disposer d'une installation fiable et optimisée.

Les aides des collectivités territoriales et les subventions Fonds Chaleur de l'ADEME peuvent également soutenir vos futurs projets...

Alors... Prêts à commencer ?



L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale.

L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

www.ademe.fr ou suivez-nous sur @ademe.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élaboré des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

RÉUSSIR UN PROJET DE QUALITÉ EN GÉOTHERMIE DE SURFACE

Ce guide est destiné aux maîtres d'ouvrage des secteurs privés et publics, aux prescripteurs, aux aménageurs, promoteurs, architectes et bureaux d'études.

L'objectif est de faciliter le parcours des porteurs de projet en phases amont et aval : anticipation des difficultés, sensibilisation des maîtres d'ouvrage aux bons réflexes, efficacité des pré études, prise en compte dès la conception des enjeux de suivi et de maintenance...

Dans un premier temps, ce guide met en avant les principaux enseignements tirés des échanges avec les maîtres d'ouvrage et les différents acteurs impliqués dans la mise en œuvre des installations de géothermie de surface.

En deuxième partie, il présente en détails les points clés de succès et de vigilance de mise en œuvre d'une installation de géothermie de surface à chaque étape du projet - depuis la conception jusqu'à l'exploitation et maintenance de l'installation.

Ce guide s'appuie sur les audits d'installations de géothermie en régions Grand Est et Occitanie menés par les bureaux d'études ANTEA et INDDIGO ainsi que sur les audits en région Hauts-de-France et fiches points de vigilance réalisés par le bureau d'études ECOME.

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr

