climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

La Région Grand Est



Boîte à outils

GÉOTHERMIE ASSISTÉE PAR POMPE À CHALEUR

2026

SOMMAIRE

Principes de base ..... p. 3

Quels acteurs à quelle étape ? ..... p. 6

Réglementation ..... p. 9

Phases préalables ..... p. 14

Phases APD et DCE ..... p. 21

Suivi des travaux et réception ..... p. 27

Suivi d'exploitation ..... p. 33

Aides et subventions ..... p. 38

Les données économiques ..... p. 43

PRINCIPES DE BASE

Le mot « géothermie », du grec Géo (la terre) et Thermos (la chaleur), désigne à la fois les phénomènes thermiques terrestres et leur utilisation pour la production de chaleur, de froid ou d'électricité.

Le principe consiste à prélever les calories ou frigories du sous-sol en les valorisant soit directement, soit en utilisant une pompe à chaleur pour remonter ou abaisser la température prélevée. On parle de géothermie de surface (appelée également géothermie très basse énergie) lorsque la chaleur et/ou le froid sont extraits entre 0 et 200 m de profondeur (température généralement comprise entre 10 et 15 °C), au-delà, on parle de géothermie profonde (appelée également géothermie basse ou haute température).

C'est le rayonnement solaire, la désintégration des éléments radioactifs naturels ainsi que le noyau terrestre qui réapprovisionnent en permanence le sol en calories. Il s'agit donc bien d'une énergie renouvelable disponible 24h/24 tout au long de l'année, locale, invisible, indépendante des conditions climatiques et gratuite.

UTILISATION

La géothermie de surface (très basse énergie) permet de chauffer et/ou rafraîchir et/ou produire de l'eau chaude sanitaire.

USAGES

La géothermie de surface peut être envisagée dans des projets publics ou privés, des bâtiments d'habitat collectif ou à usage tertiaire, lors de constructions neuves ou de réhabilitation.

AVANTAGES

Utiliser la géothermie permet de :

- réaliser des économies financières car le système sera performant d'un point de vue énergétique
- réduire ses émissions de gaz à effet de serre donc d'être environnementalement performant en optant pour une solution écologique et pertinente
- avoir la possibilité de production de chaleur, de froid et d'eau chaude sanitaire avec un même équipement.

LE PRINCIPE

Pour exploiter le potentiel géothermique du terrain, il faut utiliser un **système géothermique.** Ce dernier permet le transfert de chaleur (ou de froid) depuis le sous-sol vers des locaux à chauffer (ou à refroidir).

Le système géothermique se compose de :

1. un échangeur souterrain
2. une pompe à chaleur (PAC)
3. un système de distribution dans les locaux (les émetteurs).

L'ensemble est relié par un système de connexion.

Concrètement, les calories contenues dans le fluide prélevé du sous-sol sont transférées à la pompe à chaleur via un échangeur de chaleur. La température du fluide est rehaussée grâce à la pompe à chaleur afin d'alimenter les émetteurs à la bonne température.

Et même si une pompe à chaleur fonctionne à l'électricité, le rapport est très favorable puisque pour 1 kWh consommé, les pompes à chaleur les plus performantes permettent de produire jusqu'à 6 kWh de chaleur. Ce même type d'équipement peut également être réversible, et ainsi produire du rafraîchissement en été.

ZOOM

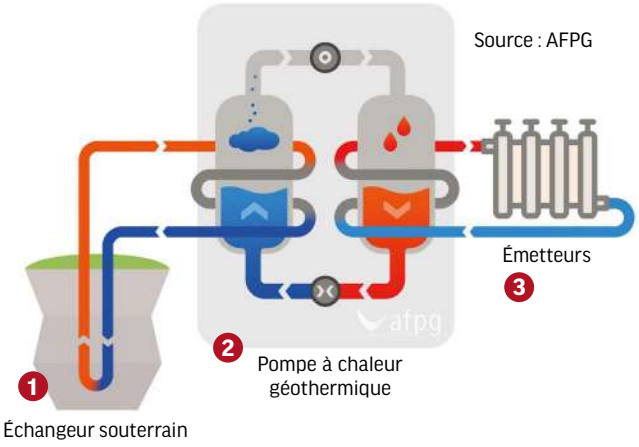
La géothermie assistée par pompe à chaleur en Grand Est

Le territoire du Grand Est se prête fortement au développement des installations de géothermie assistée par pompes à chaleur aussi bien sur nappe que sur sondes. En effet, le territoire présente de nombreux aquifères (formation géologique contenant de l'eau mobilisable) favorables au développement de projets de géothermie. Quant aux sondes géothermiques verticales, elles peuvent être déployées sur la quasi-totalité du territoire régional, y compris lorsqu'un aquifère existe.

L'Atlas régional du potentiel géothermique (réalisé par le BRGM et l'ADEME) est un outil interactif gratuit en ligne qui permet d'évaluer le potentiel géothermique du terrain et l'intérêt de se lancer dans un projet de géothermie très basse énergie avec pompe à chaleur sur nappe.

www.geothermies.fr

LE SYSTÈME GÉOTHERMIQUE



LES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME GÉOTHERMIQUE

L'ÉCHANGEUR SOUTERRAIN

Il existe différents types d'échangeurs souterrains :



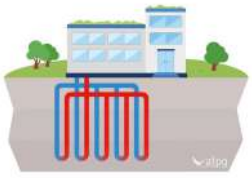
• Les installations sur nappe (boucle ouverte) :

Les calories sont prélevées dans l'eau de la nappe souterraine. L'eau est pompée via un forage de production, passe par un échangeur, puis elle est restituée dans la nappe souterraine via un forage de réinjection. **Il n'y a donc aucun prélèvement d'eau.** Selon les besoins en énergie, le système peut utiliser un ou plusieurs doublets de forage.

Le débit d'eau prélevé est calculé afin d'adapter la puissance de l'installation au besoin, permettant de prélever une juste quantité de calories sur une durée déterminée. La différence de température entre le prélèvement dans la nappe et la réinjection est généralement de 4 à 5 °C.

Par exemple : **un débit de 10 m³/h** au niveau de la pompe etune **différence de température de 5°C** entre l'eau pompée et l'eau restituée permettent d'obtenir **60 kW géothermiques**

Points forts	Points faibles
> Puissance extractible importante possible selon la localisation du projet.	> Accessibilité de la ressource selon la localisation du projet (selon sa nature et sa profondeur).
> Rafraîchissement possible (free cooling ou geocooling).	> Espacement nécessaire entre les forages de production et d'injection (afin de ne pas perturber la température de l'eau prélevée).



• Les installations sur sondes géothermiques verticales (boucle fermée) :

La chaleur est prélevée dans le sol en utilisant des sondes géothermiques verticales comme échangeur. À quelques mètres de profondeur, le sous-sol ne subit plus les influences du climat : il constitue ainsi un réservoir énergétique presque stable. Les sondes géothermiques sont installées par forage. Un liquide caloporteur (généralement de l'eau additionnée de glycol alimentaire) circule dans une boucle étanche : ces systèmes sont donc en cycle fermé. La chaleur du sous-sol est transmise au liquide caloporteur par conduction.

En fonction de la puissance thermique nécessaire, le nombre de sondes varie. Leur organisation dépendra de la place disponible sur le terrain : on parle de « champ de sondes ».

Dans le cas des constructions neuves, il est possible d'utiliser les fondations des bâtiments comme sondes verticales (fondations thermoactives) ou d'implanter les capteurs sous le bâtiment. À l'issue des forages, il est possible de réutiliser le terrain (jardin, parking, ...) .

Par exemple : **1 sonde de 100 m** permet d'obtenir **5 kW géothermiques** (selon la géologie du sous-sol, en France en moyenne 50 Watts par mètre linéaire de sonde)

Points forts	Points faibles
> Faible entretien.	> Nombre de forages.
> Free cooling possible.	> Écartement minimum nécessaire entre les sondes (environ 10 m).

• Les autres installations en boucle fermée :

De la même manière que pour la géothermie sur sonde, la chaleur peut être prélevée du sous-sol grâce à un liquide caloporteur qui circule dans un circuit fermé. Seulement, à la différence des sondes, les systèmes géothermiques ci-contre ne nécessitent pas de forage. En effet, ils sont enterrés entre 0.8 et 4 m de profondeur à l'aide de machines de terrassement.

La chaleur du sous-sol à cette profondeur est principalement due au rayonnement solaire et à la pénétration des eaux de pluie.

Ces systèmes sont : les capteurs horizontaux, les échangeurs compacts (corbeilles et murs géothermiques).

CAPTEURS HORIZONTAUX **CORBEILLES GÉOTHERMIQUES**



MURS GÉOTHERMIQUES

Source : AFPG

Par exemple : **1 corbeille géothermique** permet d'obtenir entre **0.7 et 1.2 kW géothermiques** en fonction du sous-sol.

Points forts	Points faibles
> Ne nécessite pas de forage.	> Pas d'imperméabilisation possible par-dessus les installations (pour favoriser la pénétration des eaux de pluie).
> Rafraîchissement possible.	> Nécessite une disponibilité foncière pour respecter l'espacement nécessaire entre les échangeurs.

Dans la majorité des cas, une étude est indispensable pour dimensionner au plus juste les échangeurs souterrains et assurer la pérennité de l'installation.

LA POMPE À CHALEUR

La pompe à chaleur (PAC) prélève de la chaleur d'une « source froide » (sol ou eau d'une nappe), augmente son niveau de température et délivre une chaleur (source chaude) à une température plus élevée dans le bâtiment. La PAC est une machine thermodynamique 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. Il est nécessaire de fournir de l'énergie (électricité ou gaz) au compresseur : en moyenne, sur la totalité de la chaleur produite, pour un coefficient de performance (COP) de 4, 25% provient d'énergie électrique et 75% d'énergie géothermique (provenant du sol). L'efficacité énergétique de la PAC est exprimée par le COP.

La pompe à chaleur réversible : point fort

> Si le projet a un besoin de froid, l'installation d'une PAC réversible est un atout. En effet elle diminue de 20% à 50%, voire plus, le coût de fonctionnement en assurant la production de chaud et de froid.

LE SYSTÈME DE DISTRIBUTION DANS LE BÂTIMENT

Le système de distribution va diffuser l'énergie produite par la pompe à chaleur (PAC) dans le bâtiment. Le fonctionnement de la PAC est d'autant plus efficace que la différence entre la température du milieu où est puisée la chaleur et celle des émetteurs de chaleur du bâtiment est réduite.

Il faut donc privilégier l'utilisation d'émetteurs fonctionnant à basse température :

- planchers chauffants
- radiateurs basse température
- ventilo-convecteurs…

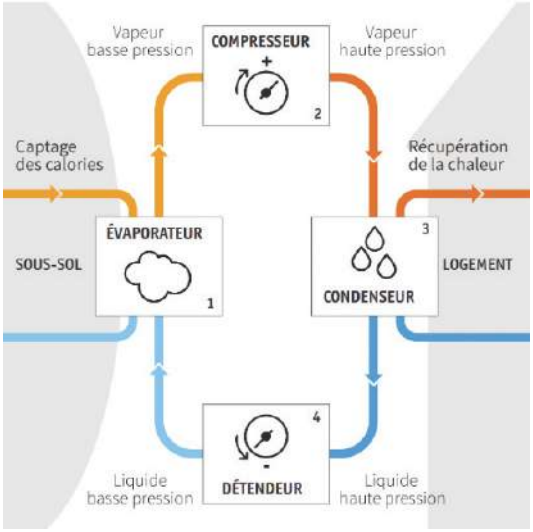
Les PAC actuelles sont optimales pour des températures de fonctionnement d'émetteurs les plus faibles possibles (comprises entre 25 et 45°C.).

ZOOM

Le coefficient de performance (COP) de la pompe à chaleur (PAC)

$$COP = \frac{\text{Énergie thermique délivrée } \textit{par la PAC}}{\text{Énergie électrique consommée } \textit{par la PAC}}$$

Aujourd'hui les pompes à chaleur du marché garantissent un COP supérieur à 4 et peuvent aller jusqu'à 7.



Source : AFPG

Principe de base d'une PAC géothermique

QUELS ACTEURS À QUELLE ÉTAPE ?

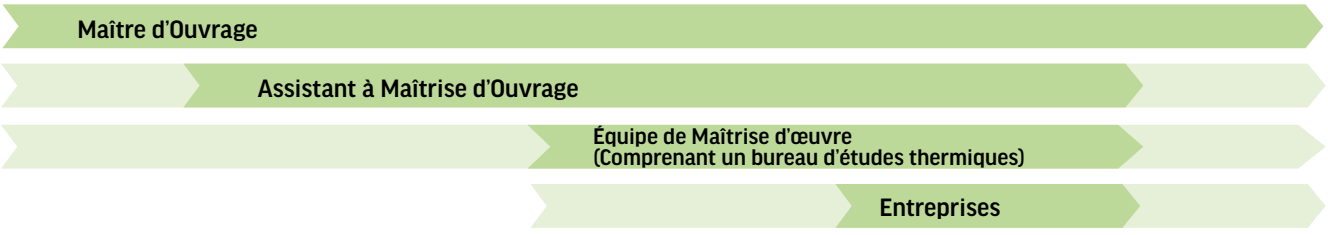
CONSTRUCTION OU RÉNOVATION AVEC DE LA GÉOTHERMIE : QUELS ACTEURS À QUELLE ÉTAPE ?

Un projet de construction ou de rénovation utilisant la géothermie suit une logique similaire à tout autre projet de système énergétique. Toutefois, cette solution énergétique nécessite des études complémentaires et l'intervention de professionnels disposant d'une expertise spécifique.

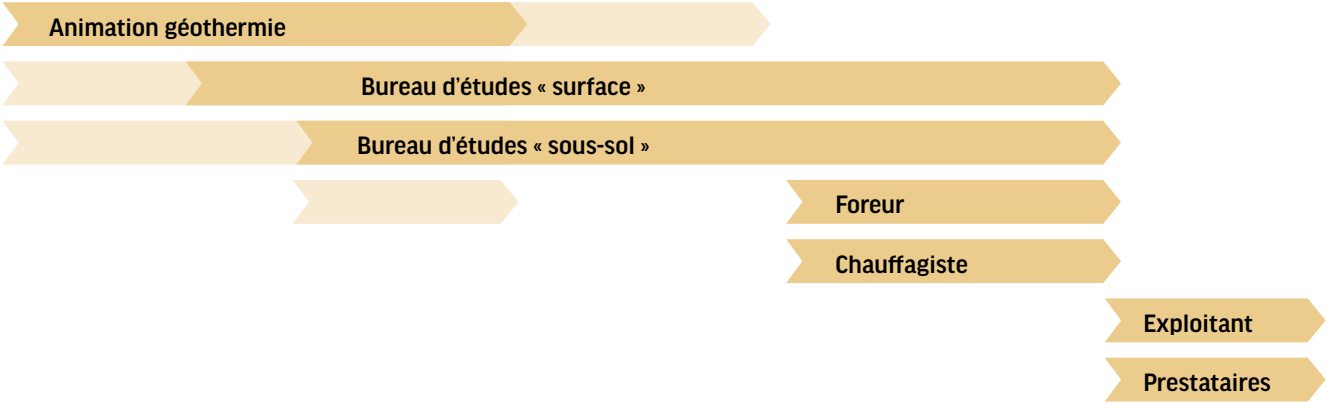
PHASES PRÉALABLES		CONCEPTION	CHANTIER	EXPLOITATION/ MAINTENANCE
Opportunité	Étude de faisabilité APS	Études APD	Réalisation installation PRO	Vie de l'installation
Durée : 1 mois	**Durée : 2 mois**	**Durée : 3 mois**	**Durée : 3 - 6 mois**	**Durée : années**
Cf. fiche 3		*Cf. fiche 4*	*Cf. fiche 5*	*Cf. fiche 6*
• Identification de la ressource • Analyse des contraintes • Comparaison des différents systèmes énergétiques • Adéquation besoin/ ressources	• Définition de la solution de référence • Prédimensionnement des installations sous-sol et PAC • Analyse comparative technico-économique • Étude de faisabilité d'un ouvrage d'essai • Dossiers réglementaires	• Finalisation du dimensionnement si réalisation d'essai • Études détaillées techniques et financières • Consultation des entreprises	• Analyse des offres et passation des marchés de travaux • Suivi des travaux • Réalisation des ouvrages souterrains • Installations PAC • Jonctions des installations • Essais et contrôles • Réception de l'ouvrage	• Suivi d'exploitation • Maintenance • Contrôle des performances
• Étude de préfaisabilité géothermique • Note d'opportunité par l'animation géothermie	• Étude de faisabilité PAC géothermique réalisé par des bureaux d'études qualifiés • Forage test/analyse du sous-sol	• Finalisation de l'étude de faisabilité / du lot « forages » • Rédaction du Cahier Clauses Techniques Particulières (CCTP)		

Dépôt du permis de construire du projet de bâtiment

INTERVENANTS PROJET DE CONSTRUCTION « CLASSIQUE »



INTERVENANTS SUPPLEMENTAIRES VOLET « GEOTHERMIE »



Les trois premières étapes sont les étapes primordiales durant lesquelles vont être appréhendés le contexte, la technique et l'économie du projet. Durant ces étapes le dialogue institué entre les bureaux d'études (BE) et le porteur de projet, permet d'adapter le projet ou de l'abandonner.

LE PORTEUR DE PROJET

Le porteur ou porteuse de projet peut être un·e maître d'ouvrage **(MOA)** public ou privé, une entreprise de promotion immobilière, un·e architecte, une entreprise d'exploitation de chauffage, entre autres.

Le MOA peut être accompagné - ou non - par un·e assistant·e maître d'ouvrage **(AMO).** Forte de sa compréhension globale du déroulement des projets, l'AMO intervient pour évaluer les situations, identifier les enjeux et apporter une analyse transversale des problématiques, qu'elles soient techniques, juridiques, administratives ou financières. Sa maîtrise des méthodes et des langages propres aux différents intervenants des projets immobiliers, urbains ou territoriaux lui permet d'assurer une représentation efficace des intérêts du maître d'ouvrage et de faciliter la coordination entre l'ensemble des acteurs concernés. Par son expertise, l'AMO accompagne le maître d'ouvrage dans la préparation de ses arbitrages et sécurise ses prises de décision. Son intervention contribue ainsi à la qualité et la cohérence des choix retenus, le respect des enveloppes financières, et la tenue des délais.

Un Maître d'Œuvre **(MOE)** est généralement choisi pour suivre de manière opérationnelle la réalisation des études et le déroulement des travaux jusqu'à livraison des ouvrages.

Réaliser des études de faisabilité géothermiques exige des connaissances et une expertise pointue.

Très rares sont les entreprises qui possèdent l'ensemble des compétences nécessaires. Il est donc souvent pertinent de s'adjoindre les compétences d'un bureau d'études thermiques généraliste et celles d'un autre bureau d'études spécialisé dans la géothermie et l'hydrogéologie, et ce, le plus en amont possible du projet.

L'ANIMATION GÉOTHERMIE RÉGIONALE

L'animation géothermie intervient principalement en phase amont et lors de l'étude de pertinence. Elle apporte ses conseils et son retour d'expérience au porteur de projet. Selon ses fonctions, l'animateur ou l'animatrice peut être amené·e à réaliser une note d'opportunité, ou accompagne le MOA ou l'AMO dans ses démarches (études, travaux, ...).

Animateurs et animatrices par région : https://www.geothermies.fr/espace-regional

LES ACTEURS SPÉCIFIQUES DE LA GÉOTHERMIE

Le Bureau d'études « surface »

Il s'agit le plus souvent d'un Bureau d'études thermiques. Conformément aux obligations réglementaires, il détermine et optimise les besoins en chaleur et/ou en froid et/ou en eau chaude sanitaire (ECS) du ou des bâtiments. Pour ce faire, il peut être amené à calculer les besoins énergétiques au pas de temps horaire et modéliser les besoins grâce une simulation thermique dynamique (STD). Il propose une solution exploitant l'énergie géothermique par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur. La prestation comprend l'interprétation des capacités offertes par la source en s'appuyant sur des compétences internes ou externes spécialisées dans ce domaine, ainsi que la maîtrise d'œuvre de l'ensemble des installations de captage de la ressource et de production d'énergie, y compris les installations de contrôle commande, de gestion de l'énergie produite ainsi que l'ensemble des utilités nécessaires.

Il travaille en collaboration avec le Bureau d'études sous-sol.

Le Bureau d'études « sous-sol »

Spécialiste en géologie et en hydrogéologie, ce dernier est l'acteur majeur et étudie la ressource et les ouvrages géothermiques : caractéristiques, potentiels, gestion de la ressource et des ouvrages (exploitation, durée d'exploitation, pérennité, moyens mis en œuvre pour protéger la ressource, métrologie et monitoring). Il propose l'échangeur souterrain le plus adapté au projet.

L'entreprise de forage

Spécialisée dans les forages de géothermie (sur sondes et/ou sur nappe), l'entreprise réalise le forage d'essai s'il est nécessaire et intervient notamment lors de la réalisation des autres forages.

L'installateur de pompe à chaleur

Il intervient généralement pendant ou après la réalisation des forages. L'installateur s'organise avec le foreur pour le raccordement des forages au local technique. Il doit disposer des compétences de frigoriste, chauffagiste et électricien.

La maintenance

Des contrats de maintenance sont passés entre le maître d'ouvrage et une entreprise de forage / un installateur de pompe à chaleur pour faire la maintenance de l'installation.

QUALIFICATION RGE ET CERTIFICATION

Les acteurs, qu'ils soient bureaux d'études ou entreprises de travaux doivent être qualifiés RGE (Reconnu Garant de l'Environnement – cf. fiche 7). Les bureaux d'études surface et sous-sol, capacités au dimensionnement, faisabilité et suivi du projet sont listés dans l'annuaire de l'OPQIBI **(https://www.opqibi.com/recherche-plus)** qui est l'organisme de qualification de l'ingénierie.

La qualification « 1007 » est celle des bureaux spécialisés dans le sous-sol / hydrogéologie, et la « 2013 » celle des bureaux spécialisés dans la thermique, CVC. Pour l'obtention des subventions se référer aux critères d'éligibilité en lien avec la certification des professionnels. Veuillez noter que le succès d'un projet en géothermie commence par l'identification précise des besoins thermiques.

Côté technique, les entreprises en charge des travaux de forage ou de l'installation de la pompe à chaleur, et qui disposent de la mention RGE, se trouvent dans l'annuaire de Qualit'EnR **(https://www.qualit-enr.org/annuaire/)**. Il est possible de reconnaitre ces entreprises d'après leur label « Certiforage » et « QualiPAC », respectivement.

RÉGLEMENTATION

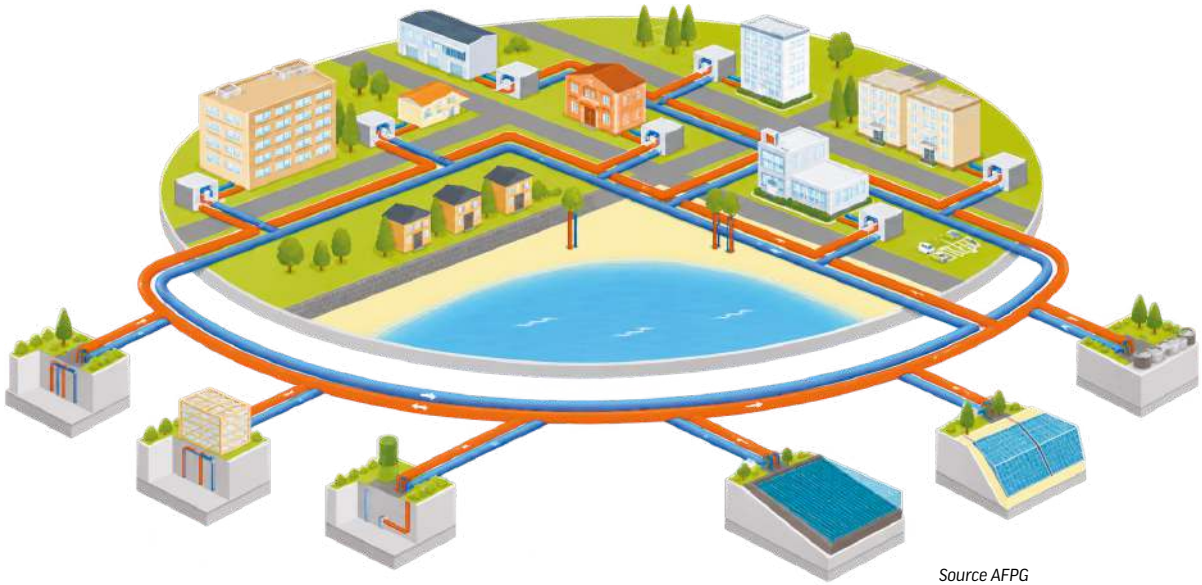
Pour le maître d'ouvrage, respecter la réglementation lors d'une installation de géothermie de surface est obligatoire et essentiel afin de garantir la sécurité des biens et des personnes et la protection de l'environnement. Le cadre légal impose des démarches administratives, des études préalables et des contrôles techniques qui assurent la conformité et la durabilité du projet. En respectant les réglementations, l'installation répond aux règles de l'art et le maître d'ouvrage se voit garantir la performance et la qualité de son installation et de fait sa réussite.

Le maître d'ouvrage est responsable du respect des réglementations. Le porteur du projet (ou son maître d'œuvre) doit se renseigner auprès de tous les services compétents, dès les premières réflexions (note d'opportunité), afin de s'assurer qu'aucune réglementation n'interdit la mise en œuvre de l'installation. Il serait effectivement dommage d'investir du temps et de l'argent sur un projet qui ne pourrait, finalement, ne pas voir le jour pour des questions réglementaires.

Il est également **nécessaire d'anticiper les démarches administratives** pour que les travaux de forage puissent être réalisés dans les délais du projet.

Le respect des réglementations et des règles de l'art de mise en œuvre permet de :

- Construire des installations avec une durée de vie très longue tout en garantissant une performance énergétique constante dans le temps,
- Éviter la perturbation entre des opérations trop proches les unes des autres avec possibilité d'influence réciproque,
- Protéger la qualité et la pérennité des gisements d'eaux souterraines largement sollicités pour l'alimentation en eau potable,
- Prévenir tout risque de pollution par migration de polluants ou par mélange entre aquifères,
- Éviter la perturbation des niveaux d'eau piézométriques sur des forages voisins,
- Empêcher des désordres sur le bâti.



Source AFPG

LES DIFFÉRENTES RÉGLEMENTATIONS

Plusieurs réglementations s'appliquent et se complètent : aucune réglementation ne prévaut sur une autre.

Elles interviennent à des niveaux différents (liste non exhaustive) :

Niveau national

- Code Minier,
- Code de l'Environnement (loi sur l'eau) pour les opérations sur nappes,
- Code de la Santé Publique.

Niveau régional

- Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE),
- Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE).

Niveau local

- Déclaration d'utilité publique (DUP) de captages d'Eau Potable,
- Arrêtés préfectoraux spécifiques.

LE CODE MINIER ET LA GÉOTHERMIE DE MINIME IMPORTANCE

Le Code Minier

La géothermie est régie par le Code Minier à l'article L.112-1 : « Relèvent du régime légal des mines les gîtes renfermés dans le sein de la terre dont on peut extraire ou avec lesquels on peut échanger de l'énergie sous forme thermique, notamment par conduction ou par l'intermédiaire des eaux chaudes et des vapeurs souterraines qu'ils contiennent, dits « gîtes géothermiques ».

Au titre du Code Minier, il est nécessaire de demander :

- Un titre : - soit un titre d'exploration : autorisation de recherche ou permis exclusif de recherche
  - soit un titre d'exploitation : permis d'exploitation ou concession

(décret 2025-852 du 25/08/2025 relatif aux activités de recherche et d'exploitation de géothermie et arrêté du 27 août 2025 fixant les modalités selon lesquelles sont établies les demandes portant sur les titres de géothermie)

- Une autorisation environnementale : autorisation d'ouverture de travaux miniers

Cas particulier : les systèmes mis en place entre 0 et 10 m de profondeur

Les systèmes géothermiques avec **échangeurs fermés (sur sondes)** dont la profondeur ne dépasse pas 10 mètres (échangeurs compacts, échangeurs horizontaux) ne demandent aucune démarche de déclaration ou d'autorisation au titre du code minier. Les puits canadiens sont aussi exemptés, tout comme les installations sur géostructures énergétiques (pieux de fondation équipés de capteurs), même pour des profondeurs supérieures à 10 mètres.

Les systèmes géothermiques avec **échangeurs ouverts** (sur nappe) ne demandent aucune démarche de déclaration ou d'autorisation au titre du code minier s'ils vérifient tous les critères suivants :

- Aucun des ouvrages de prélèvement ou de réinjection ne dépasse la profondeur de 10 mètres,
- Au moins un échangeur fonctionne en circuit ouvert et répond aux critères de la **géothermie de minime importance (GMI)**.

La Géothermie de Minime Importance (GMI) pour les profondeurs de 10 à 200 m

Un régime spécifique, la **Géothermie de Minime Importance est applicable aux installations de géothermie de faible profondeur et de puissance limitée,** présentant peu de risques pour l'environnement. Ce régime simplifié permet d'alléger les démarches administratives : *une simple déclaration en ligne suffit,* à condition de respecter des critères techniques précis (profondeur, puissance, zone géographique). L'objectif est de favoriser le développement des énergies renouvelables tout en garantissant la protection des nappes phréatiques et la sécurité des ouvrages.

Les critères de la GMI

La GMI est définie par les critères suivants (Article 5 du décret 2025-852 du 27 août 2025)

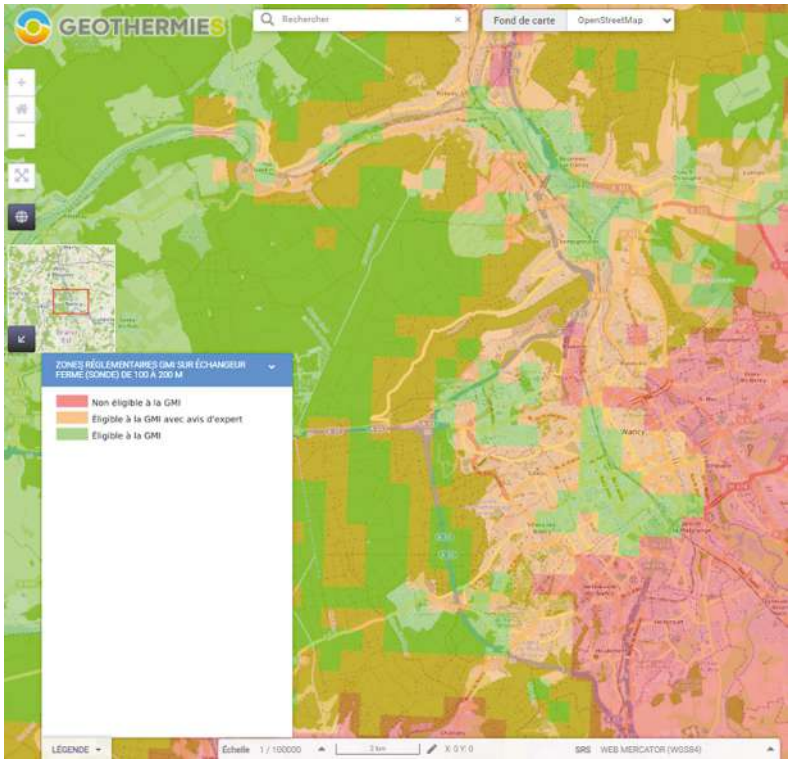
- La profondeur du forage est comprise entre 10 m et 200 m,
- La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour les installations sur nappe est inférieure à 500 kW, et 2 MW pour les installations en sondes géothermiques verticales.

Critères supplémentaires pour les projets sur sondes :

- La température du fluide caloporteur injecté dans la sonde doit être comprise entre -3°C et +40°C.

Critères supplémentaires pour les projets sur nappe :

- La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25°C,
- Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs à 80 m^3/h,
- Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle,
- La température maximale de réinjection ne doit pas dépasser 32°C,
- La variation de la température induite dans la nappe dans un rayon de 200 mètres doit être inférieure à 4°C.



Source geothermies.fr

Les zones réglementaires GMI (Article 22-6 du décret du 2 juin 2006) :

Les projets répondant aux critères ci-dessus relèvent de la GMI exclusivement lorsqu'elles sont situées dans des zones où les activités géothermiques ne présentent pas de danger ou inconvénients graves.

Les zones réglementaires ont été définies par un zonage en 3 classes, consultables sur le site géothermies.fr :

- **Zone verte :** absence de risque identifié, le projet est effectué sur simple télédéclaration par le maître d'ouvrage, La déclaration est instantanée, il n'y a pas de délai d'instruction.
- **Zone orange :** simple télédéclaration mais avec nécessité d'une attestation d'un expert agréé constatant la compatibilité du projet au regard du contexte de la zone d'implantation

  Les experts agréés sont listés dans l'arrêté du 4 septembre 2015.

  Le délai d'obtention de l'étude de l'expert est d'environ 2 mois.
- **Zone rouge :** le projet ne peut relever de la GMI. Une demande d'autorisation au titre du Code minier est nécessaire (voir paragraphe 1).

  Le délai d'instruction au titre du Code minier est d'environ 12 mois lorsque le dossier de demande est jugé complet.

Bon à savoir : clause filet : les travaux pourront débuter 15 jours après la délivrance de la preuve de dépôt de la déclaration.

Les obligations de la GMI :

La GMI oblige également :

- Au respect de l'arrêté de prescriptions générales du 25 juin 2015 pour la réalisation des ouvrages,
- A la certification des entreprises de forage depuis le 01/07/2025 à liste des entreprises sur le site de Qualit'EnR,
- A la déclaration dématérialisée des installations : www.geothermie.developpement-durable.gouv.fr

Les normes

Pour mettre en œuvre un système géothermique de surface de qualité, les normes suivantes doivent être appliquées lors de la conception et de la réalisation de l'installation :

Installation sur nappe

- NF X10-999, Août 2014
  Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages.

Installation sur sonde géothermique verticale

- NF X10-970, Janvier 2011
  Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé) - Réalisation, mise en œuvre, entretien, abandon
- NF X10-960-1, Mars 2013
  Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale - Partie 1 : généralités
- NF X10-960-2, Mars 2013
  Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale - Partie 2 : boucle de sonde en polyéthylène 100 (PE 100)
- NF X10-960-3, Mars 2013
  Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale - Partie 3 : boucle de sonde en polyéthylène réticulé (PE-X)
- NF X10-960-4, Mars 2013
  Forage d'eau et de géothermie - Sonde géothermique verticale - Partie 4 : boucle de sonde en polyéthylène de meilleure résistance à la température (PE-RT)
- XP X10-950, Février 2018
  Forage de géothermie - Coulis des échangeurs géothermiques fermés verticaux (sondes géothermiques)
- ISO 17628:2015, Juillet 2015
  Reconnaissance et essais géotechniques - Essais géothermiques - Détermination de la conductivité thermique des sols et des roches dans les sondes géothermiques
- NF EN ISO 17628, Mai 2018
  Reconnaissance et essais géotechniques - Essais géothermiques - Détermination de la conductivité thermique de sol et roche dans les sondes géothermiques
- NF EN 17522, Avril 2023
  Conception et construction de sondes géothermiques verticales comblées et remplies de coulis

Pompe à chaleur

- NF DTU 65.16, Juin 2017
  Installations de pompes à chaleur
- NF EN 14825, Juillet 2022
  Calcul de la performance saisonnière des PAC

Les autres réglementations

D'autres réglementations existent au niveau régional et local, elles imposent que la mise en œuvre d'une installation géothermie n'ait pas d'impact sur les milieux naturels :

- Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE),
- Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE),
- Déclaration d'utilité publique (DUP) de captages d'Eau Potable,
- Arrêtés préfectoraux spécifiques,
- ...

Il convient de prendre toutes les dispositions afin de respecter ces réglementations.

Les contacts en région Grand Est

DREAL Grand Est
Polygone - Bâtiment GH - 5 rue Charles Le Payen
57000 METZ
contact.prm.dreal-grand-est@developpement-durable.gouv.fr
Tél. 03 87 62 81 00

Les qualifications / certifications

La mise en œuvre d'un système géothermique de surface de qualité demande de faire appel à des professionnels spécialisés en géothermie et qualifiés qui installeront, selon les règles de l'art, des équipements de qualité certifiés.

Les professionnels :

- Pour les études : Bureaux d'études « surface » RGE OPQIBI 2013 et « sous-sol » RGE OPQIBI 1007,
- Pour les forages : Foreurs certifiés Certiforage, module nappe ou module sondes,
- Pour l'installation de surface : RGE QualiPac, RGE Qualibat ...

Pour plus de précisions, consultez la fiche 2 « Quels acteurs à quelle étape »

Le matériel :

- La marque NF PAC : label de qualité, la marque NF PAC a été mise en place par l'AFAQ-AFNOR CERTIFICATION dans le cadre de la démarche Qualité PAC.

  Elle est gérée par le CERTITA et permet de vérifier la conformité des Pompes à Chaleur aux différentes normes et réglementations en vigueur. Elle garantit également le respect des performances minimales fixées par la profession au travers du référentiel de l'application NF PAC.
- Le programme de certification EUROVENT : l'objectif de ce programme de certification est de créer des bases de données communes de comparaison des caractéristiques techniques par une vérification indépendante. La sélection des produits certifiés facilite la tâche des ingénieurs et des techniciens puisqu'il n'est plus nécessaire de se livrer à des comparaisons fastidieuses, ni à des essais de qualification en usine. Les ingénieurs conseils, prescripteurs et installateurs peuvent sélectionner ces produits avec l'assurance que les caractéristiques annoncées sont fiables.

PHASES PRÉALABLES

QUESTIONS À SE POSER, ÉLÉMENTS À DEMANDER

Avant de lancer des travaux pour une installation de géothermie de surface pour son ou ses bâtiment(s), le Maître d'Ouvrage (MO) doit disposer de **données pour évaluer l'opportunité de mener un tel projet et valider sa pertinence technique, économique, environnementale.** L'accompagnement par les missions d'animation locale ainsi que les études réalisées par les bureaux d'études (BE) lui apporteront ces réponses.

Cette fiche présente au maître d'ouvrage les **outils disponibles** et les **éléments à demander** pour une prestation de bureau d'études (cahier des charges à préparer au niveau des **phases préalables** du projet). Par la suite, le maître d'ouvrage est capable d'analyser les choix énergétiques qui s'offrent à lui, en disposant de toutes les informations nécessaires.

Il est important que les besoins énergétiques du projet soient connus et représentatifs de la réalité au même titre que les caractéristiques du sous-sol. Pour un projet de qualité, c'est l'adéquation entre les consommations énergétiques et les apports de la ressource géothermique qui est recherchée.

LES ÉTUDES POUR CONCEVOIR UN PROJET DE GÉOTHERMIE

Le maître d'ouvrage peut disposer de 2 types d'études pour son projet géothermique. Celles-ci sont réalisées au fur et à mesure que celui-ci avance. Dans un premier temps, il peut être accompagné par les relais de l'ADEME chargés de l'animation sur la chaleur renouvelable et ce, avant que le projet ne soit étudié par les bureaux d'études compétents. Au-delà des études, ces mêmes professionnels pourront assurer des missions de maîtrise d'œuvre de conception et de réalisation.

C'est bien en amont (phases préalables du projet de bâtiment) que le Maître d'Ouvrage doit se questionner sur ses réels besoins et préparer son cahier des charges pour la mission complète qu'il va commander aux bureaux d'études.

1 - La note d'opportunité

La note d'opportunité valide la pertinence d'une installation de géothermie. Elle est réalisée par les animateurs/trices régionaux[1] ou les chargés de mission chaleur renouvelable qui correspondent aux relais de l'ADEME sur les différents territoires. Elle permet au maître d'ouvrage de déterminer très en amont si son projet de géothermie est opportun.

Il est attendu dans la note d'opportunité :

- Une estimation des besoins énergétiques du projet en puissance et en énergie (sur la base de factures de consommation, d'hypothèses sur la performance du bâtiment, ...),
- Une revue bibliographique rapide sur la disponibilité de la ressource souterraine (géothermie en circuit ouvert, géothermie en circuit fermé),
- Une description succincte du contexte réglementaire local *(cf. fiche n°7)*,
- Une confrontation de ces résultats et éventuellement une estimation sommaire du coût des travaux.

La note d'opportunité peut ainsi orienter vers un type d'échangeur souterrain (nappe, sondes, échangeurs compacts, etc.). Les avantages et les inconvénients des solutions géothermiques envisageables pour ce projet par rapport à d'autres solutions énergétiques sont identifiées.

[1] https://www.geothermies.fr/espace-regional

2 - L'étude de faisabilité

L'étude de faisabilité est réalisée par un ou plusieurs bureaux d'études. Il est en effet recommandé d'avoir la double compétence avec :

- Bureau d'études « surface » : thermicien avec compétences en thermique du bâtiment, CVC - chauffage, ventilation, climatisation (aussi appelé « fluide »), qualifié OPQIBI RGE 2013,
- Bureau d'études « sous-sol » : hydrogéologue avec compétences « sous-sol », géologie et hydrogéologie, qualifié OPQIBI RGE 1007.

L'étude de faisabilité peut regrouper :

- Les pré-études, correspondant à la phase APS (Avant-Projet Sommaire) qui peut intégrer plusieurs scénarii énergétiques (géothermie versus autres énergies).
- L'étude à proprement parler (type APD Avant-Projet Définitif) dont les résultats doivent permettre de rédiger le Dossier de Consultation des Entreprises (DCE). Le maître d'ouvrage dispose alors **de l'ensemble des éléments pour réaliser son projet géothermique.**

a - Étude des besoins thermiques du bâtiment

Le bureau d'études « surface » réalisera une étude détaillée des installations de surface et des liaisons avec le capteur géothermique :

- Caractérisation précise des besoins énergétiques du projet au cours d'une année :
  - En chaud : chauffage, eau chaude sanitaire, process, ...
  - En froid : climatisation, rafraîchissement, process, ...
- Définition des appels de puissance horaire et des consommations énergétiques associées *(cf. figure 1A),*
- Détermination de la puissance des générateurs (pompe à chaleur géothermique (PAC), appoint éventuel, ...),
- Optimisation des régimes de température en jeu pour une bonne émission de la chaleur / du froid dans le bâtiment (réduction au maximum pour favoriser une bonne performance de la pompe à chaleur.
- Contrôle des conditions réelles de performance.

Le rendu de son travail sera présenté sous la forme d'une courbe monotone, issue d'une simulation thermique dynamique du projet *(cf. figure 1B)* et préconisera le recours ou non à un appoint.

Il faut **proscrire tout surdimensionnement ou sous-dimensionnement** de la PAC pour les raisons suivantes :

- Assurer un fonctionnement optimal : performance énergétique élevée (éviter les surconsommations d'électricité), durée de vie allongée du matériel,
- Éviter les surcoûts lors de la mise en œuvre.

En effet une PAC peut être en capacité de fournir 100 % de la puissance maximale demandée. Cependant, en dimensionnant à 50 % de la puissance, elle peut souvent couvrir au moins 85 % des besoins énergétiques annuels, le complément étant assuré par une énergie d'appoint (électricité, PAC aérothermique, solaire thermique, gaz, ...). A noter que la plupart des pompes à chaleur permettent aujourd'hui de fonctionner avec différents étages de puissance.

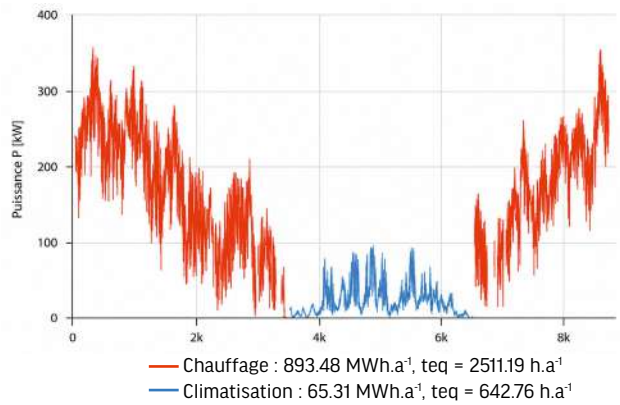


Figure 1A : appels de puissance (chauffage et climatisation) pour un bâtiment hôtelier (BRGM – Cartodim)

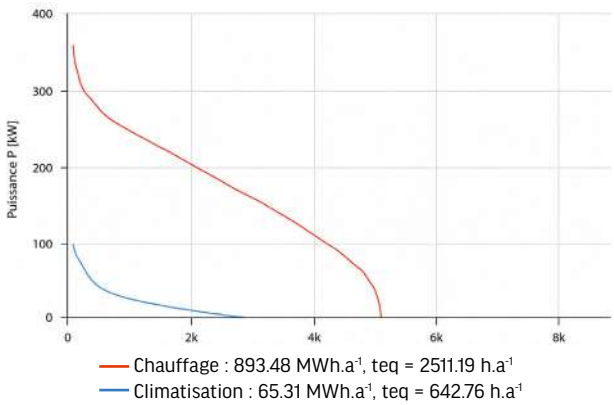


Figure 1B : monotone de puissance (chauffage et climatisation) pour un bâtiment hôtelier (BRGM – Cartodim)

b - Caractérisation du sous-sol et de la ressource géothermique

Le bureau d'études « sous-sol » :

- Réalisation du dimensionnement final des ouvrages enterrés qui devront répondre aux besoins énergétiques du projet sur la base des données transmises par le bureau d'études « surface »,
- Validation des caractéristiques de la ressource en cas d'incertitude :
  - Réalisation d'un test de réponse thermique (TRT) pour les projets de sondes géothermiques verticales
  - Réalisation d'un forage d'eau (avec essais de pompage) si projet sur nappe

Ces forages qui peuvent être réalisés en phase études, pourront être utilisés dans le cas où le projet se développe.

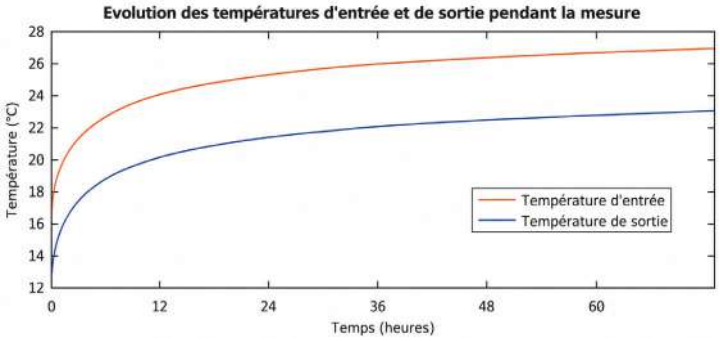


Figure 2A : exemple de résultat d'un test de réponse thermique (TRT) (BRGM)

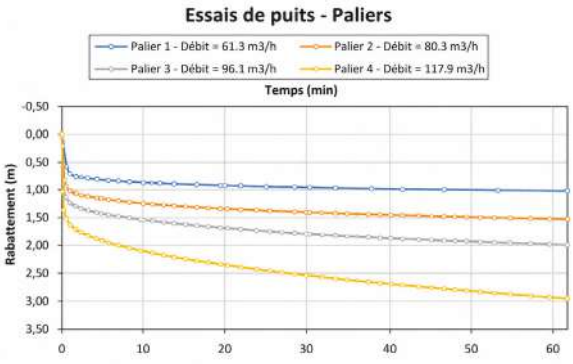


Figure 2B : exemple de résultat d'un essai de pompage (BRGM)

c - Dimensionnement de l'installation géothermique

Ensemble, les bureaux d'études proposent une approche technico-économique finale pour le projet. Ils valident la pérennité de l'installation sur le long terme (50 ans). Cela passe notamment par le recours à des modélisations numériques *(cf. Fig 3A et 3B)*.

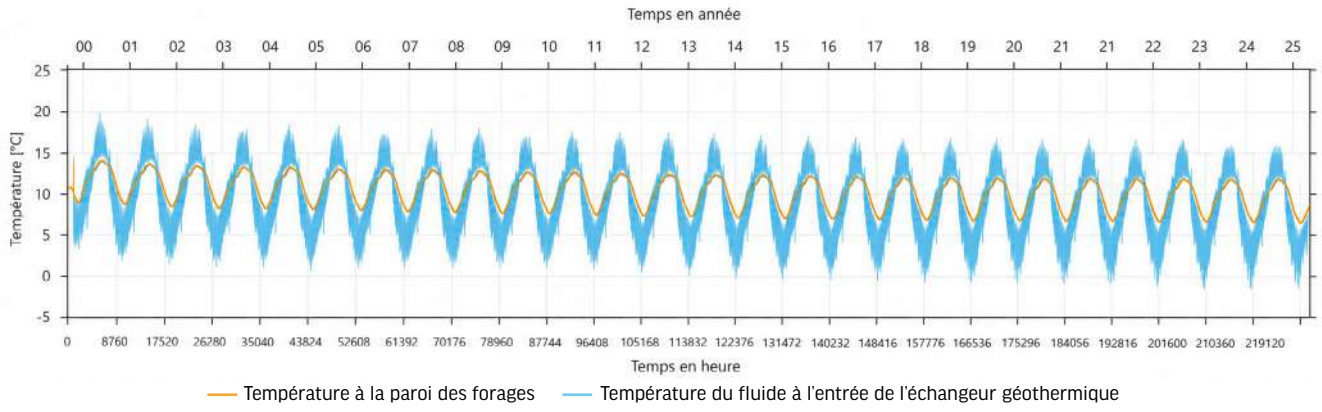


Figure 3A : géomodélisation d'un champ de sondes (BRGM)

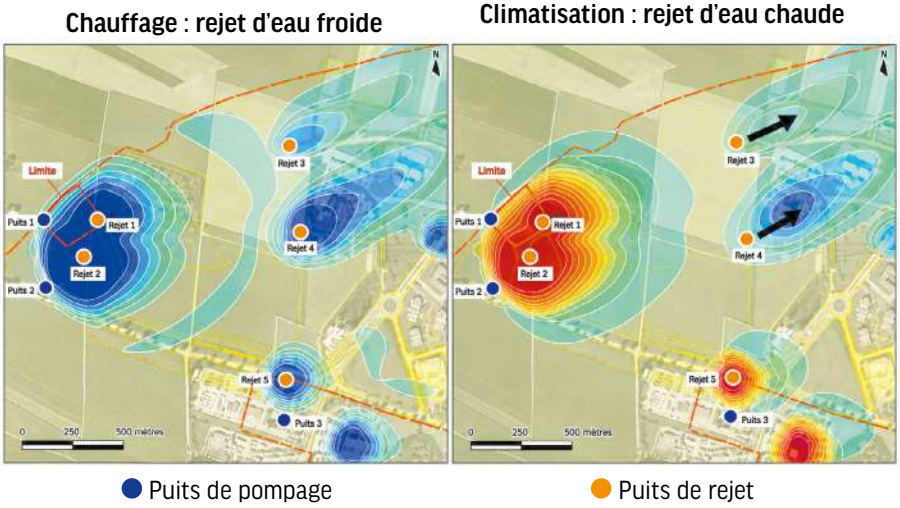


Figure 3B : modélisation d'un doublet sur nappe (ANTEA)

Les échangeurs souterrains doivent être parfaitement dimensionnés par rapport à la PAC retenue dans les conditions imposées par le bâtiment.

Une installation **sous-dimensionnée** pourrait amener, dans certains cas, à un épuisement de la ressource géothermique (débit de la nappe insuffisant ou dérive importante de la température du sous-sol pour un champ de sondes). L'appoint, s'il est présent, fonctionnerait alors sur une période plus longue au cours de l'année. Sans appoint, le bâtiment ne pourrait pas répondre aux consignes de fonctionnement.

La qualité des réponses apportées par les études, permettra de rédiger des Cahiers des Clauses Techniques Particulières (CCTP) dans le Dossier de Consultation des Entreprises (DCE) suffisamment pointus pour que les entreprises de travaux puissent construire une installation géothermique de qualité et performante *(cf. fiche 4)*.

LE CONTENU DU CAHIER DES CHARGES POUR LES BUREAUX D'ÉTUDES

Un cahier des charges complet pour une prestation d'études de faisabilité par un bureau d'études doit contenir à minima :

- Une analyse des besoins en chaud et en froid,
- Une définition des principales caractéristiques du sous-sol,
- Une définition précise des installations sous-sol, doublet sur nappe ou sondes et des liaisons de surface,
- Une analyse de l'adéquation entre ressources du sous-sol et besoins avec un bilan,
- Une définition des installations de surface y compris les liaisons en surface,
- Les coûts d'investissement et d'exploitation,
- La mention de la couverture du risque géologique (cas du doublet sur nappe),
- Le financement de l'opération,
- Une analyse économique comparative,
- Une analyse du risque et une étude de sensibilité,
- Une analyse réglementaire,
- Un planning de l'opération.

L'ADEME met à disposition sur la plateforme Agir un modèle de cahier des charges pour les études de faisabilité - https://agirpourlatransition.ademe.fr/

Certaines régions proposent des documents complémentaires adaptés au territoire.

A l'issue de l'étude de faisabilité, le maître d'ouvrage doit avoir en main :

- La détermination précise des besoins thermiques et des puissances en jeu (avec une simulation thermique dynamique),
- La ressource géothermique à l'aplomb du site en tenant compte des contraintes et des installations déjà existantes,
- Le dimensionnement des installations de surface (PAC géothermique) et des installations sous-sol (forages, liaisons) respectant les normes en vigueur,
- Des simulations des fluctuations des besoins de chaud et de froid qui permettent d'estimer la combinaison de la PAC géothermique avec le ou les appoints,
- Une modélisation du sous-sol montrant le bon dimensionnement du système.

PUISSANCE ET ÉNERGIE MOBILISABLE DANS LE SOUS-SOL

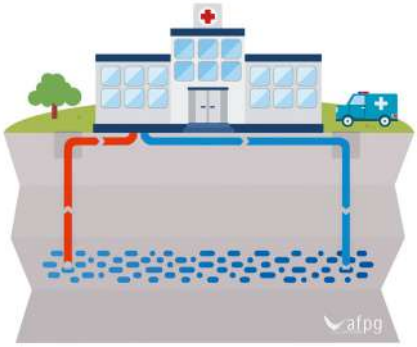
Lors des études d'opportunité et de faisabilité, les professionnels identifient la ressource et dimensionnent l'échangeur souterrain. Généralement, deux cas peuvent se présenter. Le maître d'ouvrage se verra proposer l'une ou l'autre des solutions suite à l'analyse de la ressource géothermique mobilisable à l'aplomb du site et en tenant compte de la réglementation *(cf. fiche 7)*, de l'environnement du site et de la surface de terrain disponible pour le projet.

Cas n°1 : la nappe d'eau souterraine

L'opération nécessitera la réalisation de **doublet de forages** : un **forage de production** équipé d'une pompe électrique immergée et un **forage d'injection** qui permet de restituer l'eau prélevée au milieu d'origine et de maintenir la pression dans le réservoir. Les 2 forages doivent être suffisamment éloignés afin d'éviter le recyclage thermique (distance à déterminer par le BET sous-sol, variant entre quelques dizaines et centaines de mètres selon les besoins énergétiques et la capacité du sous-sol à renouveler les eaux souterraines.).

Exemple :

Pour répondre aux besoins du bâtiment, une pompe à chaleur de 200 kW doit être installée dans le bâtiment.



La note d'opportunité

En considérant un coefficient de performance de 4 (= rendement de 400 %), 150 kW sont à prélever dans le sous-sol. Un débit de l'ordre de 25 m³/h doit alors être pompé dans la nappe.

En phase opportunité, les preuves de prélèvement de ces débits vont être cherchés sur les forages (géothermiques ou non) situés à proximité du projet via des bases de données publiques.

L'atlas du potentiel géothermique sur nappe est un outil interactif gratuit en ligne disponible sur le site des géothermies[2]. Celui-ci peut également apporter des éléments indicatifs sur la favorabilité de la ressource (ratio débit, profondeur, qualité).

Dans tous les cas, la note d'opportunité apportera au maître d'ouvrage des éléments pour évaluer l'intérêt de se lancer dans un projet de production de chaleur (ou de froid) par géothermie avec pompe à chaleur sur nappe.

Ce résultat doit être impérativement confirmé par un bureau d'études « sous-sol » via une étude de faisabilité.

L'étude de faisabilité

Le bureau d'études « surface » fournira au bureau d'études « sous-sol » les éléments précis relatifs aux besoins thermiques du bâtiment (puissance, énergie) et à la pompe à chaleur utilisée (puissance, performance réelle). Si cela n'est pas le cas, le bureau d'études "sous-sol" pourra prendre des hypothèses.

Une étude hydrogéologique est réalisée. Elle permettra d'identifier les différentes ressources à disposition (profondeur, débit mobilisable, contexte réglementaire, ...) grâce à une étude approfondie du contexte géologique, des forages réalisés à proximité et de l'hydrogéologie régionale. Au-delà du débit de la ressource, la qualité de l'eau sera prise en compte.

Un forage test pourra être préconisé pour valider la présence et les caractéristiques de la ressource. L'ensemble des données collectées (essai de pompage, qualité analysée en laboratoire, ...) permettra, au besoin, de réaliser une modélisation thermique et hydraulique (écartement entre les forages, panache de froid / chaud).

La conception de l'installation sera ensuite affinée (conception du/des forages, implantation prenant en compte les résultats des essais[2].

[2] www.geothermies.fr

ZOOM

Recyclage / écartement des forages

Pour un système géothermique sur nappe, l'eau prélevée dans le forage de production est réinjectée dans le forage d'injection après avoir été refroidie (cas du chauffage) ou réchauffée (cas de la climatisation). Il se crée ainsi une zone refroidie (ou chaude) autour du forage d'injection, zone qui s'étendra au fil du temps. Cette perturbation thermique peut parvenir au forage de production et de l'eau refroidie ou réchauffée peut alors être prélevée : on parle alors de recyclage. Ce recyclage peut être plus ou moins important.

L'évaluation de ce recyclage par le bureau d'études « sous-sol » est indispensable pour assurer la pérennité de l'installation et maintenir ses performances.

Garantie Aquapac

Le maître d'ouvrage peut également souscrire à une garantie AQUAPAC *(cf. fiche 8)* pour son projet géothermique sur nappe. Elle couvre jusqu'à 100 % du coût du premier forage si la ressource en eau souterraine découverte se révèle insuffisante.

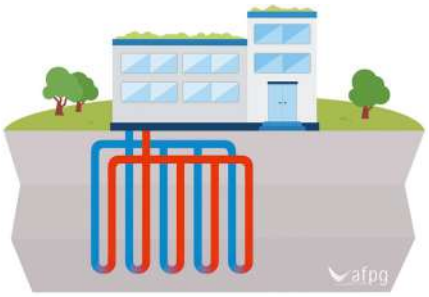
Cas n°2 : les sondes géothermiques

La géothermie sur sondes n'étant pas tributaire de la présence d'une ressource en eau, elle est réalisable sur la majeure partie du territoire.

Les sondes doivent être suffisamment espacées pour éviter les interférences thermiques et favoriser une exploitation durable du sous-sol, il faut donc bien évaluer l'espace disponible en surface.

Exemple :

Pour répondre aux besoins du bâtiment, une pompe à chaleur de 200 kW doit être installée dans le bâtiment (même exemple que pour la géothermie sur nappe).



La note d'opportunité

En considérant un coefficient de performance de 4 (= rendement de 400 %), 150 kW sont à prélever dans le sous-sol.

En phase opportunité, il est commun d'avoir recours à un ratio d'extraction d'énergie (ou de puissance) par mètre de forage. Une valeur de 50 W/m peut par exemple être utilisée, notamment dans le cas d'un projet relativement équilibré entre la production de chaud l'hier et de froid l'été ou pour les projets fonctionnant un nombre limité d'heures dans l'année.

Il est également possible d'utiliser des abaques proposant des ratios en fonction de la nature des terrains traversés et du temps de fonctionnement de la PAC dans l'année.

Quoi qu'il arrive, il ne s'agit que d'un prédimensionnement ayant vocation à valider l'espace nécessaire pour implanter ces forages. Dans notre exemple, il faudrait réaliser environ 3000 mètres de sondes soit 20 sondes de 150 mètres de profondeur chacune. En considérant l'espacement de 10 m, une surface de l'ordre de 3000 m^2 serait nécessaire pour implanter l'ensemble des forages. Le terrain est naturellement utilisable pour type d'usage : espaces verts, parking, construction, ...

Ce résultat doit être impérativement confirmé par un bureau d'études « sous-sol » via une étude de faisabilité.

L'étude de faisabilité

Une sonde géothermique de 200 m de profondeur a une puissance variable en fonction de la nature géologique du sous-sol, de la présence d'eau et de la sollicitation de la pompe à chaleur. Le stock d'énergie annuellement mobilisable est également à considérer.

Afin de définir précisément la longueur de sondes nécessaire pour répondre aux besoins de la PAC, il faut recourir à une géo-modélisation (modélisation de l'évolution de la température du sol sur une période de 25 à 50 ans) pour s'assurer de la pérennité de la ressource, quantifier l'éventuelle dérive en température et valider les critères réglementaires.

Pour ce faire, deux éléments sont à produire :

Une simulation thermique dynamique (STD) du bâtiment (produite par le bureau d'études « surface ») visant à définir les appels de puissance au cours d'une année ;

Les résultats d'un test de réponse thermique (TRT) visant à définir les caractéristiques précises du sous-sol, réalisé avec un forage de sonde

Il est important de considérer à cette étape les besoins de froid (passif et actif) puisqu'il s'agit d'une manière pour « recharger »

En savoir plus

Dans certains cas, le TRT n'est pas nécessaire, notamment si le projet est de petite taille ou si un test a été réalisé à proximité. Il est possible de consulter les tests réalisés sur la cartographie du site des géothermies[3].

[3] www.geothermies.fr

En savoir plus

Dans certains cas, les solutions sur nappe et sur sondes sont toutes les deux réalisables. Le MO pourra donc orienter son projet en fonction de paramètres économiques et organisationnels.

COMPARER LA GÉOTHERMIE À D'AUTRES SOURCES D'ÉNERGIE

Pour savoir si la géothermie est la meilleure solution énergétique pour son projet de bâtiment, le maître d'ouvrage doit avoir en main un comparatif avec d'autres énergies.

Cette comparaison économique est utile pour juger de la pertinence du projet géothermique. Elle est obligatoire pour bénéficier d'aides financières. Idéalement, elle est réalisée en phase opportunité.

Il faut comparer la solution utilisant la géothermie avec d'autres sources d'énergie (gaz, électricité, solaire…) sur une période minimum de 20 ans. En effet, l'énergie géothermique est disponible 24h/24 toute l'année et la durée de vie des installations sous-sol est d'environ 50 ans.

Le maître d'ouvrage a également accès à des éléments de cadrage et des données générales économiques fournis par l'ADEME et ses partenaires pour lui permettre :

- de réaliser son analyse économique préliminaire,
- d'apprécier dans le temps le recours à la géothermie.

PHASES APD ET DCE

ÉLÉMENTS ATTENDUS, ÉLÉMENTS À DEMANDER

Une fois l'étude de faisabilité réalisée (généralement une étude de niveau Avant-Projet Sommaire (APS), le porteur de projet a l'ensemble des éléments en main pour décider de continuer le projet ou non (notamment dans le cas où la ressource géothermique ne permet pas de répondre aux besoins énergétiques du projet de manière satisfaisante). La phase de conception est une phase capitale dans la vie du projet de géothermie puisqu'elle va définir les caractéristiques techniques, économiques, financières et juridiques de l'opération. Elle correspond généralement aux phases : Avant-Projet Détaillé (APD) et Document de Consultation des Entreprises (DCE) qui doivent permettre d'aboutir à la réalisation des travaux.

Cette fiche présente au maître d'ouvrage :

- les **éléments attendus dans les études livrées en phase APD,**
- les **éléments à demander aux entreprises** pour les prestations de travaux dans le **DCE,** à travers les Cahiers des Clauses Techniques Particulières (CCTP).

DONNÉES À DISPOSER ET DÉMARCHES À RÉALISER EN PHASE AVANT-PROJET DÉFINITIF (APD)

Compétences

L'ensemble des études géothermiques exige des connaissances et une expertise pointue que peu d'entreprises possèdent au complet. Il est donc recommandé, comme en phase d'étude de faisabilité, d'avoir recours à des bureaux d'études « surface » et « sous-sol » spécialisés en géothermie *(cf. fiche 2 et 7).*

Attendus des études

A cette étape d'APD le maître d'ouvrage obtiendra les résultats d'une étude sous-sol et d'une étude surface avec un niveau de précision plus important qu'en phase faisabilité *(cf. fiche 3).*

Elles permettront de :

- Valider les caractéristiques du projet avant le choix de l'équipe de réalisation,
- Préciser l'implantation ainsi que l'encombrement de tous les éléments, les tracés des canalisations, le programme des essais,
- Établir le coût prévisionnel des travaux décomposés par lots, les frais d'exploitation ainsi que le planning prévisionnel,
- Définir la nature des travaux à réaliser :
    - Forages (nombre, types, implantations, équipements…),
    - Liaisons forages – chaufferie,
    - Production de chaleur (pompe à chaleur et raccordements, distribution dans le bâtiment, …),
    - Régulation et métrologie.

Démarches réglementaires

Si le projet géothermique nécessite un (des) **forage(s),** le maître d'ouvrage devra s'assurer que les professionnels ont mené les bonnes démarches avant la réalisation des travaux :

- Télédéclaration, dans la plupart des cas *(cf. fiche 7 – cadre de la géothermie de minime importance),*
- Demande d'autorisation, notamment pour les projets les plus conséquents *(cf. fiche 7 – dossier au titre du Code minier et du Code de l'environnement auprès DREAL).*

Démarches financières

Dans le cas où le projet est réalisable selon les conditions définies par le maître d'ouvrage, il convient de soumettre officiellement – à ce stade – le dossier aux organismes chargés du financement et de l'octroi des aides (banques, ADEME, Conseil régional...). L'engagement de ces organismes permet alors au maître d'ouvrage de réaliser le projet ou de renoncer, en toute connaissance de cause.

ZOOM

La responsabilité et le rôle du maître d'ouvrage

Le maître d'ouvrage doit s'assurer de la maîtrise de toutes les étapes du projet pour éviter toute dérive.
Il peut réaliser cela seul ou bien être accompagné par un maître d'œuvre et éventuellement un Assistant à Maîtrise d'Ouvrage (AMO).
Il gérera notamment les relations avec les professionnels de la filière géothermie (bureaux d'études « sous-sol » et « surface ») qui garantissent la qualité de conception et de réalisation.
Des contrats de maîtrise d'œuvre définissent les rôles respectifs des différents acteurs. Le maître d'ouvrage devra veiller à une bonne complémentarité des tâches entre bureaux d'études, de sorte que les études et les travaux soient parfaitement coordonnés.

RÉDACTION DU DOSSIER DE CONSULTATION DES ENTREPRISES (DCE)

Il s'agit maintenant de préparer les Dossiers de Consultation des Entreprises (DCE) qui seront présentes sur le chantier.

La réalisation des installations géothermiques impose des contraintes et la coordination des interventions entre les installations sous-sol et de surface, mais également avec les autres lots de travaux. La définition des cahiers des charges pour chaque intervenant, des calendriers et des limites de prestation est donc à faire très rigoureusement.

Assistance pour la passation des contrats de travaux

La maîtrise d'œuvre peut assister la maîtrise d'ouvrage pour passer les marchés de travaux et étudier les offres qui seront remises par les entreprises. Il s'agit de la mission d'assistance pour la passation des contrats de travaux (ACT), prévue par la loi MOP.

La forme du marché devra être étudiée au niveau du Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) : entreprise générale, allotissement, marchés spécifiques... Lorsque le projet porte sur la création d'un bâtiment, il est préférable de dissocier les compétences, tout en recherchant des réponses groupées.

Le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)

Les études conçoivent et dimensionnent les installations de chauffage/froid. L'ensemble des données recueillies doit être présenté dans le CCTP de consultations. Il rassemble les clauses techniques du marché avec notamment une description précise des prestations à réaliser, permettant à la personne responsable de suivre le déroulement et la bonne exécution de ces prestations.

Le CCTP doit bien mettre en avant les limites de prestation. Par exemple, indiquer si la géothermie figure au sein d'un seul lot (exemple : lot géothermie) ou de plusieurs lots (exemple : lot forage géothermique, lot Chauffage Ventilation Climatisation (CVC) & PAC, lot Voirie et Réseaux Divers (VRD), ...).

Dans le cas d'un projet sur sondes, au-delà du forage, le CCTP doit préciser qui :

- réalise les tranchés qui vont permettre d'acheminer les liaisons horizontales au collecteur,
- installe ces liaisons jusqu'au collecteur,
- se charge du remplissage des sondes avec le fluide caloporteur défini (par exemple mélange eau + monopropylène glycol)...

Les points devant apparaitre dans le DCE études

1 - Phase d'opportunité

à demander au bureau d'études « surface »

- Évaluation des besoins [Consommation (chaud, froid, ECS) et puissance] ;
- Étude des besoins thermiques avec élaboration de la courbe monotone ;
- Adéquation des besoins et de la ressource ;
- Définition des appoints ;
- Approche technico-économique ;
- Comparaison avec une solution de référence.

à demander au bureau d'études « sous-sol »

Pour la partie nappe :	**Pour la partie sondes géothermiques verticales (SGV) :**
• Analyse du contexte géologique ; • Caractéristiques de l'aquifère ; • Productivité et caractéristiques physico-chimiques prévisionnelles ; • Dimensionnement des forages (profondeur, diamètre, type de crépine…), • Implantation des forages d'eau (écartement) ; • Contraintes administratives ; • Pollution des sols ; • Évaluation financière prévisionnelle ; • Conclusion.	• Analyse du contexte géologique ; • Nombre, longueur, écartement des échangeurs à implanter ; • Modélisation du champ de sondes • Contraintes administratives ; • Évaluation financière prévisionnelle ; • Conclusion.

2 - Phase de faisabilité

à demander au bureau d'études « surface »

- Bilan économique complet des dépenses d'investissements (CAPEX) et de fonctionnement (OPEX) de la solution géothermique intégrant les évaluations financières de la partie sous-sol ainsi que les coûts liés aux raccordements et à l'installation de la pompe à chaleur,
- Bilan environnemental.

à demander au bureau d'études « sous-sol »

Pour la partie nappe :	**Pour la partie sondes géothermiques verticales (SGV) :**
• Conception des forages à réaliser, • Implantation des forages et modélisation (le cas échéant), • Évaluation financière détaillée (forages et équipements), • Planning prévisionnel, • Réalisation d'un forage d'essai (le cas échéant) : - Élaboration du dossier AQUAPAC, - Consultation des entreprises de forages, - Suivi et interprétation des travaux. • Conclusion.	• Conception des SGV à réaliser, • Implantation des SGV, • Évaluation financière détaillée, • Planning prévisionnel, • Réalisation d'un forage test (TRT, le cas échéant) : - Consultation des entreprises de forages, - Réalisation d'un test de réponse thermique et interprétation, - Suivi et interprétation des travaux. • Redimensionnement (via modélisation) du champ de sondes (en fonction des résultats obtenus), • Conclusion.

Les points devant apparaitre dans le DCE Travaux

Partie « sous-sol »

Cas des installations de géothermie sur nappe

Lot forages

- Installation de chantier/accès, alimentation en eau et rejet des eaux d'essai,
- Stockage et enlèvement des "déchets" (notamment débris de forage, boue, eau),
- Implantation des forages,
- Caractéristiques des forages :
  - Coupe géologique prévisionnelle,
  - Coupe technique prévisionnelle,
  - Nature, diamètres, épaisseur des tubages,
  - Nature de la crépine,
  - Massif filtrant (par exemple : graviers - si nécessaire).
- Développement des forages :
  - Air Lift,
  - Traitement chimique (hexamétaphosphates, acide chlorhydrique, ...),
- Pompage d'essai :
  - Test par paliers (débits, durée),
  - Test de longue durée (débit, HMT, durée),
  - Fréquence des mesures et nombre de points à surveiller,
  - Fourniture d'un fichier des données.
- Test d'injection (sur le doublet) :
  - Raccordement à mettre en place,
  - Test par paliers (débits, HMT, durée),
  - Test de longue durée (débit, HMT, durée),
- Analyse d'eau (nature de l'analyse),
- Contrôle,
- Diagraphies (nature),
- Inspection vidéo,
- Mise en sécurité des forages,
- Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE).



AdobeStock

Lot équipement des forages

1. Réalisation des regards (nature, dimensions),
2. Équipement du forage de production :
   - Pompe immergée (débit et HMT prévisionnels, profondeur d'installation),
   - Colonne d'exhaure (nature et diamètre),
   - Tête de forage (description) et tuyauterie dans le regard,
   - Métrologie associée (débitmètre, suivi des niveaux et température, enregistreur),
   - Raccordement à la canalisation forage de production – local PAC au niveau du regard,
   - Armoire de commande et variateur de fréquences pour piloter la pompe immergée (préciser implantation, puissance, alarmes, affichages, ...),
   - Filtration (nature, localisation, place disponible).
3. Équipement du forage d'injection :
   - Colonne d'injection (nature et diamètre),
   - Tête de forage (description) et tuyauterie dans regard,
   - Métrologie associée (débitmètre, suivi des niveaux et température),
   - Raccordement à la canalisation local PAC-forage d'injection au niveau du regard.
4. Essais et mise en service
5. Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE)

Lot raccordement des forages

- Réalisation des tranchées,
- Pose des canalisations (nature, diamètre),
- Test d'étanchéité,
- Rinçage des canalisations,
- Raccordement des forages au local PAC depuis les regards,
- Raccordement électrique (fourreau et câbles, puissance à fournir et distance par rapport à l'armoire de commande),
- Pose d'un fourreau pour transmission de la métrologie (nature du câble),
- DOE.

Cas des sondes géothermiques verticales (SGV)

Lot forages

- Installation de chantier/accès,
- Stockage et enlèvement des "déchets" (notamment débris de forage, boue, eau),
- Caractéristiques des forages et implantation,
- Installation des sondes géothermiques et tests d'étanchéité,
- Cimentation,
- Le cas échéant :
  - Test de réponse thermique et interprétation puis vérification du dimensionnement du champ de sondes (nécessaire si le prédimensionnement préconise de réaliser plus de 100 mL de sondes),
  - Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE).

Lot raccordement des SGV

- Réalisation des tranchées,
- Création des fosses pour les collecteurs et pose des collecteurs,
- Raccordement des SGV aux collecteurs et des collecteurs au local PAC,
- Remplissage des sondes et du circuit avec fluide caloporteur (nature et dosage à préciser),
- Essais et mise en service avec équilibrage (fournir cahier d'équilibrage),
- Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE).

Partie « surface »

Lot installation de chauffage / CVC

- Description de l'échangeur de protection (nature, puissance, delta T),
- Description de la PAC (Puissance, COP),
- Raccordement hydraulique dans le local et pompe pour circuit secondaire,
- Alimentation électrique de la PAC (amenée de la puissance, armoire de commande),
- Régulation de la PAC et des auxiliaires,
- Métrologie associée à la PAC (contrôle des pressions au niveau de l'échangeur et des températures, compteur d'énergie produite, compteur électrique),
- Mise en service,
- Essai de fonctionnement,
- Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE).

Les qualifications des entreprises de travaux

Le CCTP peut prescrire des exigences concernant les qualifications des entreprises.
Le forage doit être réalisé par une entreprise certifiée. Le code minier requiert une certification obligatoire des foreurs *(cf. fiche 7)*.
Le chauffagiste doit également justifier de ses compétences et d'expériences pour l'installation et le raccordement de pompes à chaleur géothermiques. Les qualifications *Reconnu Garant de l'Environnement* (RGE) et des références de travaux similaires sont à présenter lors de la remise des offres.

Les offres déposées doivent respecter scrupuleusement les prescriptions du CCTP, qui doit donc intégrer toutes les informations nécessaires.



AdobeStock

SUIVI DES TRAVAUX ET RÉCEPTION

ÉLÉMENTS À VÉRIFIER, ÉLÉMENTS À OBTENIR

Le projet passe en phase réalisation. Les entreprises sont retenues, elles disposent des compétences requises et de méthodologie professionnelle dans le respect des marchés signés.

Cela ne dispense pas pour autant le maître d'ouvrage, assisté du maitre d'œuvre s'il en a un, de suivre du début du chantier à la réception des installations :

- Le bon déroulement du chantier,
- Le respect des marchés,
- La qualité des réalisations,
- La conformité des installations finales.

Voici les éléments à savoir, à vérifier et à obtenir à cette étape.

ORGANISATION DU CHANTIER

Les interventions pour la pose d'une installation géothermique (travaux en sous-sol et en surface) s'imbriquent dans les lots classiques d'un programme de construction ou de rénovation. Chaque entreprise interviendra en fonction de l'avancée du chantier.

Les responsabilités de chacun ont été définies à la signature du marché. Les intervenants doivent donc bien tous se coordonner et le maître d'ouvrage doit veiller au bon déroulement de l'ensemble.

ZOOM

Les formations sur la géothermie

Pour approfondir les connaissances de la géothermie comme solution énergétique, de nombreux organismes comme l'ADEME, l'AFPG et le BRGM, produisent des modules de formation pour les Maîtres d'Ouvrage, les Maîtres d'œuvre et les professionnels.

Pour en savoir plus sur les formations certifiantes :

www.geothermies.fr/outils/les-formations

https://www.opqibi.com/uploads/documents/liste-organismes-formation-pour-rge-030326-69a6ad7ddd622763076557.pdf

1 - Les travaux en sous-sol

Le forage

La première étape consiste à réaliser les forages.

Il faut pour cela amener des engins de grande taille sur le chantier et donc disposer d'une surface de travail adaptée. Pour un atelier de forage classique, l'emprise au sol correspond principalement à :

- La foreuse
- Le compresseur / la centrale à boue
- Les bassins de décantation ou les cuves
- La zone de manutention des tiges de forage
- La zone de stockage des tiges de forage et autres matériels
- L'espace nécessaire à la circulation des engins et du personnel

Les surfaces nécessaires à l'installation de l'atelier de forage varient fortement selon la profondeur, le nombre de forages, le diamètre foré, la technique de forage utilisée, la logistique mise en œuvre et l'accessibilité du site. Les différents éléments qui composent l'atelier de forage (présentés ci-dessus) sont modulables afin d'optimiser la surface nécessaire au chantier de forage. La surface requise pour un chantier de forage peut être de l'ordre de quelques dizaines de m² jusqu'à environ 300 m² pour les chantiers les plus importants. Il revient au bureau d'études / maître d'œuvre de s'assurer de l'accessibilité et de la disponibilité foncière nécessaires à l'implantation du chantier de forage.

Plusieurs éléments sont à anticiper.

- Il est nécessaire de disposer d'une planification du programme de forage garantissant la sécurité du chantier.
- La déclaration de forage via le site de télédéclaration GMI auprès de la DREAL doit être faite 2 semaines avant le début des travaux de forage *(cf. fiche 7)*.

Les forages doivent être réalisés selon les normes en vigueur :

  - NFX 10-999 pour la géothermie sur nappes.
  - NF X10-960-(1 à 4), NF X10-970, XP X10-950, NF EN ISO 17628 et NF EN 17522 pour la géothermie sur sondes verticales.

- Au cours de cette phase, il est conseillé de faire un enregistrement des paramètres d'avancement de l'outil de forage, ainsi qu'un relevé de la coupe géologique.
- La garantie AQUAPAC peut être souscrite pour le forage *(cf. fiche 8)*. Elle couvre le risque d'échec (ressource en eau insuffisante pour le fonctionnement de l'installation géothermique).

La pose des équipements de captage

Le forage terminé, les équipements de captage (boucles de sondes ou tubages de captage/rejet) peuvent être installés.





Figure 1 : forage sur sonde géothermique verticale (à gauche) et forage géothermique sur nappe (à droite). Sources : mission d'animation de la filière géothermie en Haut de France (à gauche), mission d'animation de la filière géothermie en Grand Est (à droite).

Comme pour le forage, des règles de pose sont à respecter pour assurer :

- Le bon déroulement des opérations,
- La conformité de réalisation de l'ouvrage et sa tenue dans le temps.

L'entreprise doit pouvoir fournir tous les documents attestant du respect des normes techniques selon la technologie installée (nappe ou sondes) tant pour le matériel installé que pour la méthodologie de réalisation.

Une fois les éléments posés, la cimentation doit être faite rapidement pour ne pas endommager le trou (effondrement, pollution de la nappe…)

- PAC sur nappe : la pose d'un massif de gravier en fond de forage est recommandée, comme filtre et soutènement des parois. La cimentation par-dessus protégera l'aquifère de potentielles infiltrations depuis la surface.

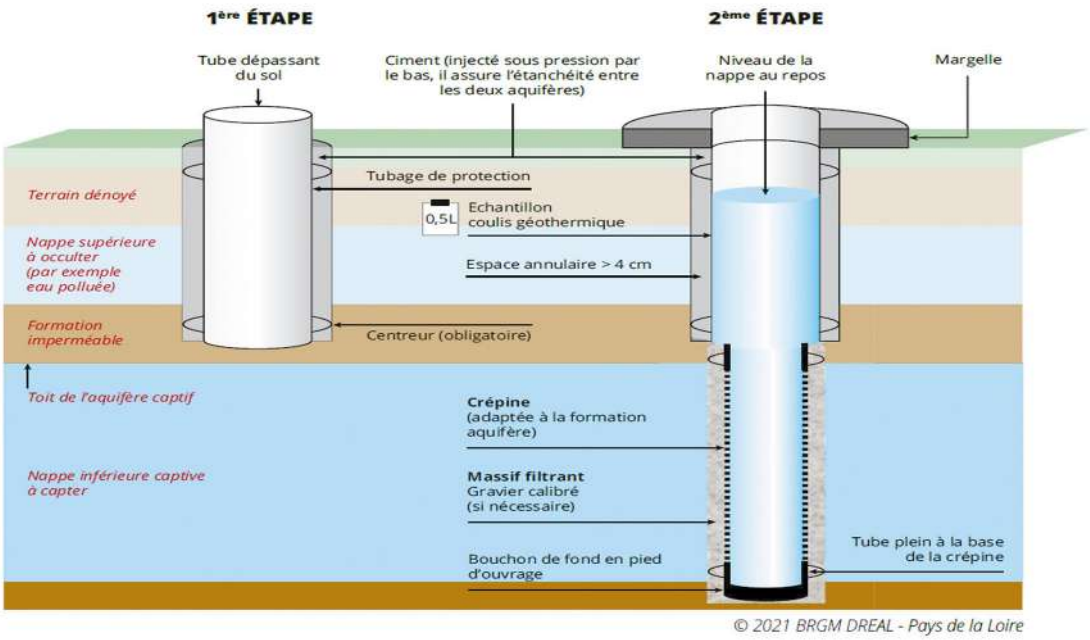


Figure 2 : coupe d'une installation de géothermie sur nappe (boucle ouverte).

PAC sur sondes : la cimentation se fait depuis le fond du trou jusqu'à la surface et sa composition doit se référer aux prescriptions du fournisseur de sonde.

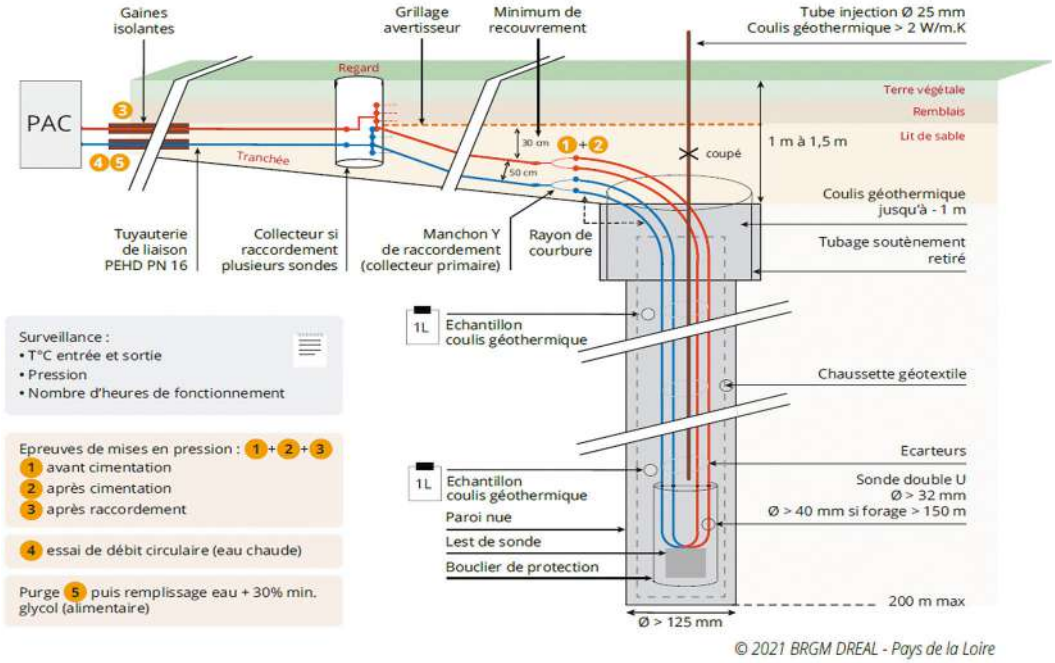


Figure 3 : coupe d'une installation de géothermie sur sonde verticale (boucle fermée)

Une fois ces opérations terminées, les raccordements de surface peuvent être effectués. La tête de forage est réalisée pour faire la jonction avec les parties enterrées, mais aussi pour protéger le sous-sol des infiltrations.

Dans le cas des sondes géothermiques verticales, l'ouvrage souterrain étant entièrement cimenté, les sondes géothermiques sont ensuite reliées à un ou plusieurs collecteurs via des liaisons horizontales enterrées à environ 1,50 m de profondeur. Le rôle du collecteur est de centraliser l'ensemble du champ de sondes afin de relier ce dernier au local technique et à la pompe à chaleur via deux canalisations : un départ et un retour.

Dans le cas de la géothermie sur nappe, les forages doivent être protégés notamment des ruissellements et de toute introduction d'eau éventuellement polluée ou chargée en matières solides. Pour ce faire, il est nécessaire soit de :

- Créer un abri en surface, le forage étant disposé sous ce dernier au centre d'une dalle en béton d'au moins 3 m² (arrêté du 11 septembre 2003) ;
- Créer, au-dessus des têtes de forage, un regard enterré ou semi-enterré.

2 - Les travaux en surface

Les travaux en surface se déroulent en même temps que les autres travaux (plancher chauffant, plomberie-chauffage, électricité, ventilation mécanique contrôlée, etc.) pour la suite du projet. Le dimensionnement final de la PAC peut être conditionné aux résultats des tests de pompages réalisés dans le cas d'une installation sur nappe. En géothermie sur sondes, le dimensionnement final de la PAC tiendra compte du dimensionnement du champ de sondes ainsi que du test de réponse thermique (TRT) si le nombre de mètres linéaires de sondes prévu est supérieur à 1 000 m (préconisation ADEME). Tous les corps de métiers cohabitent et se coordonnent sur le chantier à partir de cette phase.

La pompe à chaleur (PAC) est installée selon les normes techniques et l'ensemble des raccordements hydrauliques (captages-PAC, PAC-distribution) et électriques (pompes, PAC, régulation…) est réalisé.

TEST DE L'INSTALLATION ET VÉRIFICATIONS AVANT LA MISE EN SERVICE

Des essais de production permettent de valider la qualité de la réalisation des installations géothermiques.

1 - Nappe

Dans le cas d'un projet de géothermie sur nappe, il est nécessaire de réaliser des **pompages d'essai** afin de déterminer les paramètres hydrodynamiques de la nappe exploitée. Ceux-ci se déroulent en deux phases :

- **Essai de puits :** pompage par paliers (minimum trois paliers de débit, avec une durée minimale d'une heure par palier).
- **Essai de nappe :** pompage de longue durée à débit constant (la durée doit être adaptée au contexte spécifique de la nappe et le débit doit être supérieur ou égal au débit de prélèvement envisagé).

Les pompages d'essai permettent, d'une part, d'évaluer les capacités maximales de production de l'ouvrage et tester son comportement : stabilité, rabattement de la nappe, efficacité du forage, etc. (essai de puits) et, d'autre part, d'évaluer l'influence des prélèvements sur la ressource en eau ainsi que déterminer les caractéristiques hydrauliques de la nappe (Essai de nappe).

Par ailleurs, les pompages d'essai permettent également de déterminer la qualité de l'eau grâce à la réalisation d'analyses d'eau.

2 - Sondes géothermiques verticales

Dans le cas de l'installation de sondes géothermiques verticales, pour le bon fonctionnement de l'installation il est indispensable de s'assurer d'une bonne mise en œuvre des sondes mais aussi de l'absence de fuite dans le circuit de sondes, d'autant plus qu'une fois recouvertes les sondes géothermiques verticales ne seront plus accessibles.

Pour ce faire, toutes les sondes doivent être soumises à des essais (ou épreuves) de mise en pression permettant de contrôler l'étanchéité de chaque sonde. Cela consiste à mettre la sonde sous pression constante et de mesurer, en fonction du temps, la pression du liquide dans la boucle de sonde. Une chute de pression indique un dysfonctionnement.

En règle générale cinq contrôles par essai de mise en pression sont à réaliser, certains étant obligatoires :

- En usine avant l'envoi sur le chantier de forage (Obligatoire)
- Avant la mise en place de la sonde dans le forage
- Après la mise en place dans le forage et avant la cimentation
- Après la cimentation de l'ouvrage (Obligatoire)
- Après le raccordement de l'installation au local technique (Obligatoire)

3 - La pompe à chaleur et ses auxiliaires

Avant la mise en exploitation d'une installation de géothermie de surface, il est nécessaire de vérifier le bon fonctionnement de la **pompe à chaleur** et de ses **équipements auxiliaires.**

Concernant la **pompe à chaleur**, il convient notamment de vérifier :

- Les raccordements électriques et les protections associées,
- Le bon fonctionnement du compresseur,
- Les paramètres de réglage définis par le constructeur.
- Les pressions et températures du circuit frigorifique

Les **équipements auxiliaires** doivent aussi être vérifiés, notamment :

- Le ballon tampon,
- Les vases d'expansion,
- Les soupapes de sécurité,
- Ainsi que les capteurs de température et de pression.

Le bon fonctionnement des dispositifs de régulation et de contrôle doit également être confirmé.

Une attention particulière doit être portée au **paramétrage de la régulation**, avec la vérification des consignes de température, de la loi d'eau et des séquences de démarrage et d'arrêt de la pompe à chaleur. Le bon fonctionnement des différents modes de fonctionnement de l'installation (chauffage ou rafraîchissement) ainsi que l'éventuelle interface avec un système de gestion technique du bâtiment doivent aussi être contrôlés.

Enfin, lors de la mise en service, certaines **mesures de performance** peuvent être réalisées afin de vérifier la cohérence du fonctionnement de l'installation. Cela peut notamment inclure le contrôle des températures en entrée et en sortie de la pompe à chaleur, des débits hydrauliques, de la puissance électrique consommée et de la puissance thermique produite. Ces éléments permettent de s'assurer que les performances de l'installation sont conformes aux objectifs définis lors de la conception.

ÉLÉMENTS À DEMANDER POUR LA RÉCEPTION DES OUVRAGES

La réception de l'ouvrage est une étape importante car elle transfère la propriété des installations au maître d'ouvrage. Il convient donc de s'assurer de la conformité des travaux aux cahiers des charges et de disposer de l'ensemble des éléments en fin de chantier.

Le document des ouvrages exécutés (DOE) doit comprendre :

- Le plan de recollement,
- La coupe géologique des terrains traversés,
- La coupe technique du forage,
- Les fiches matériel, recommandations d'utilisation et maintenance préconisée,
- Les mesures et essais réalisés,
- Le compte- rendu de fin de travaux, intégrant les évènements marquants figurant au cahier de relevés quotidiens.

Éléments techniques à fournir au maître d'ouvrage :

Nappe

- Rapport de pompage d'essai de chaque forage, et de l'essai en boucle au débit nominal,
- Analyse de l'eau pompée,
- Type de pompe électrique immergée et profondeur d'immersion.

Sondes

- Type, longueur totale et diamètre des capteurs,
- Description de la cimentation, produit utilisé, éprouvettes témoins,
- Essai de pression avant et après cimentation,
- Obturation des sondes en attente de raccordement et repérage,
- Remplissage de la sonde avec fluide caloporteur,
- Puissance frigorifique nominale et nombre d'heures annuel de fonctionnement prévisionnel,
- Rapport d'équilibrage des sondes.

Surface

- Rapport d'essai d'étanchéité du circuit complet sondes et échangeur de la pompe à chaleur,
- Attestation de la charge en fluide frigorigène,
- Rapport d'essai de mise en fonctionnement (réglage du détendeur, température, débit, pression entrée/sortie, puissance électrique absorbée/ thermique fournie),
- Descriptif des instrumentations et compteurs d'énergie installés.

OUTILS POUR CONNAÎTRE L'INSTALLATION

Le maître d'ouvrage doit absolument prendre en main son installation car il va devoir suivre au quotidien le bon fonctionnement général de ses équipements. Cela nécessite de connaître la conception générale et les différents organes de l'outil de production de chaleur ainsi que leur fonctionnement général.

Il est donc conseillé de constituer un cahier de chaufferie *(cf. fiche 6)*.

Le schéma de principe de l'installation globale doit être affiché dans la chaufferie. Ce document doit pouvoir être lu par toute personne intervenant sur le site (entretien régulier, maintenance, visite…). C'est pour cela que le document doit permettre de :

- Retrouver rapidement chaque élément présent,
- Les situer, notamment pour les instruments permettant d'effectuer les relevés et donc le suivi de fonctionnement.

Le schéma de principe de l'installation globale peut être un schéma synoptique ou une photo de l'intérieur de la chaufferie qui reprend en situation les principaux éléments :

- Arrivée des forages (et rejet le cas échéant),
- Échangeur primaire,
- Pompe à chaleur,
- Autres éléments (ballon tampon, armoires électriques et de régulation, vase d'expansion, …),
- Sondes de température, capteurs et compteurs d'énergie (électriques, débit, chaleur…) permettant de distinguer la production énergétique d'origine renouvelable, la consommation électrique de la PAC et des auxiliaires.

Il est conseillé que le maître d'ouvrage demande une formation par les entreprises et/ou les fournisseurs de matériels pour le personnel ayant en charge l'entretien de la chaufferie. Ces agents pourront ainsi disposer du minimum de connaissance pour suivre au quotidien l'installation et procéder aux relevés réguliers des compteurs.

SUIVI D'EXPLOITATION

SUIVRE ET ENTRETENIR SON INSTALLATION DE GÉOTHERMIE

Dès la **mise en service** de l'installation, le maître d'ouvrage doit souscrire un contrat d'entretien couvrant l'intégralité des installations de forages et de génie climatique. Cette **surveillance** et cet **entretien** doivent être faits tous les ans par un professionnel qualifié. Ils permettent de se prémunir de certaines pannes. Le maître d'ouvrage doit également mettre en place un **suivi,** seul moyen de détecter une dérive des performances de l'installation sur plusieurs années.

Voici les éléments à savoir et à vérifier pour une utilisation et des performances optimales de son installation géothermique.

LE CONTRAT D'ENTRETIEN ET DE MAINTENANCE

Le maître d'ouvrage doit souscrire un contrat d'entretien et de maintenance auprès d'un prestataire spécialisé (chauffagiste).

Ce contrat s'établit sur la base d'un **cahier des charges** *(cf. zoom)* qui reprend :

- Les attentes du maître d'ouvrage et / ou des financeurs
- L'ensemble des données à collecter pour suivre la performance des installations.

Il existe plusieurs types de contrats de maintenance.

- Pour les installations d'une puissance supérieure à 200 kW, la gestion de l'installation est généralement confiée à un prestataire spécialisé. Il assure alors le fonctionnement et la maintenance.
- Pour des installations d'une puissance inférieure à 200 kW, le suivi du fonctionnement est généralement assuré par le personnel technique du maître d'ouvrage. Toutefois, il est souhaitable qu'il confie la maintenance à une entreprise spécialisée (chauffagiste) pour assurer l'entretien de l'installation ainsi qu'un contrôle périodique de la pompe à chaleur et des auxiliaires. Le cas échéant, il prendra l'attache d'une société de forages pour entretenir les forages (cas de la géothermie sur nappe).

En règle générale on parle de contrats de type P2 ou P3. Il s'agit de niveaux de prestations utilisés dans les contrats d'exploitation et de maintenance des installations thermiques (chauffage, froid, réseaux, pompes à chaleur, etc.). Ils servent à répartir les responsabilités et les coûts entre le propriétaire et l'exploitant.

Contrat P2 : conduite et maintenance

Le P2 concerne **l'exploitation et l'entretien courant de l'installation.**

Cela comprend généralement :

- La conduite des installations (réglages, surveillance),
- L'entretien préventif,
- Les petites réparations,
- Les contrôles réglementaires,
- Le dépannage,
- La main-d'œuvre de maintenance,
- Les petites fournitures (joints, filtres, etc.).

Le P2 ne couvre **pas le remplacement des équipements importants.**

Ce type de contrat est forfaitisé.

Contrat P3 : garantie totale / renouvellement

Le P3 correspond au **remplacement des équipements majeurs lorsqu'ils tombent en panne ou arrivent en fin de vie**.

L'exploitant constitue généralement une provision financière pour remplacer les composants importants.

Cela peut inclure :

- Le remplacement d'un **compresseur de PAC ou de la PAC complète**,
- Le remplacement d'une **pompe**,
- Le remplacement d'un **appoint**,
- Le remplacement d'organes importants.

On parle souvent de **garantie totale**.

Le coût est réparti sous forme d'une **redevance annuelle**.

ZOOM

Guide de rédaction des clauses techniques des marchés publics d'exploitation de chauffage avec ou sans gros entretien des matériels et avec obligation de résultat.

L'observatoire économique de l'achat public propose des éléments pour constituer le cahier des charges pour un contrat d'entretien / de maintenance d'une installation.

https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/daj/media-document/exploitation_chauffage.pdf

LES CONNAISSANCES À ACQUÉRIR EN INTERNE POUR PILOTER L'INSTALLATION

En interne, il est important qu'une ou plusieurs personnes sachent :

- Arrêter et remettre en route l'installation,
- Modifier les réglages de température et de plages de fonctionnement,
- Relever et consigner dans le carnet de chaufferie les données nécessaires au calcul des performances,
- Accéder et transmettre les informations liées aux erreurs de fonctionnement à l'entreprise de maintenance,
- Accéder et transmettre les paramètres de fonctionnement de la pompe à chaleur et des autres organes (heures de fonctionnement, températures de fluide...),
- Vérifier le fonctionnement des forages (cas de la géothermie sur nappe), la teneur en glycol dans le réseau primaire (cas des sondes géothermiques).

Il est donc conseillé de demander à l'installateur de :

- Insérer tous ces éléments dans sa formation de l'utilisateur,
- Consigner ces éléments dans un document annexe au carnet de chaufferie.

ZOOM

L'ADEME propose une formation « Conduire une installation de géothermie » à destination des techniciens maîtres d'ouvrage d'installations géothermiques.

Cette session de 14h de formation est idéale pour mieux appréhender et gérer son installation de géothermie.

https://formations.ademe.fr/formations_energies-renouvelables_conduire-une-installation-de-geothermie_s4935.html

Local Pompe à Chaleur géothermique installation d'Unilasalle Beauvais



Unilasalle Beauvais

LE LIVRET DE CHAUFFERIE

Le livret de chaufferie ou du local technique abritant la centrale de production d'énergie est un élément important pour les utilisateurs et les techniciens de maintenance. Il permet de :

- Connaître sa chaufferie
- Consigner à la fois :
  - Les relevés périodiques réalisés lors des visites mensuelles
  - Les rapports annuels de visite,
  - Les incidents,
  - Les réparations
  - Etc.

L'exploitant établira et tiendra à jour un carnet réglementaire pour la chaufferie et les équipements techniques qu'il a en charge, sur lesquels seront portées toutes interventions et observations, ainsi que le carnet sanitaire pour les installations concernées. Ces documents seront laissés dans les locaux concernés et pourront être consultés à tout moment par les représentants du Maître d'Ouvrage.

A chaque visite, le personnel d'intervention de l'exploitant mentionne sur les documents d'entretien l'essentiel de la visite effectuée.

Il atteste que les opérations systématiques prévues ont bien été effectuées à son initiative en mentionnant les dates de ses interventions. Il porte ses observations telles que : anomalies constatées, usures de certains organes, risque de détérioration, etc., et les suites qu'il convient de leur donner.

Exemple de sommaire d'un livret de chaufferie

Présentation de la chaufferie

- Identification de la chaufferie,
- Données globales sur la chaufferie et contacts,
- Descriptif de la chaufferie (et documentations techniques en annexe).

Bases d'exploitation de la chaufferie

- Mode d'exploitation (allumage, relève des compteurs…),
- Modalités de surveillance des équipements (forages, pompes PAC…),
- Consignes de sécurité particulières le cas échéant,
- Liste du personnel habilité.

Rapport des contrôles périodiques

- Contrôles hebdomadaires / mensuels et relevés des index,
- Contrôles réglementaires dans le cadre des climatisations, PAC réversibles supérieures à 12 kW ou puissance supérieure à 400 kW,
- Résultats des contrôles annuels (forages, pompes PAC…).

Grandes lignes de la vie de la chaufferie

- Nettoyages,
- Modifications,
- Réparations,
- Incidents.

Annexes

- Extraits des principaux textes réglementaires relatifs à l'utilisation de l'énergie géothermique (fuite, rechargement, décret 2010…).

L'UTILISATION DE L'INSTALLATION

L'installation géothermique a été dimensionnée *(cf. fiche 3)* selon des hypothèses d'utilisation du (des) bâtiment(s) et l'installateur a programmé, avec le maître d'ouvrage, les paramètres d'utilisation (plages horaires de fonctionnement, consignes de températures…).

L'utilisateur final (usager du bâtiment) est parfois tenté de demander une température plus élevée, notamment lorsqu'il peut accéder aux réglages. Afin d'éviter tout désordre, le maître d'ouvrage doit former les utilisateurs finaux à l'usage du système géothermique car :

- Dans le cas d'une installation sur nappe, une augmentation de la demande en chaleur sera limitée par le débit de la pompe. Cela n'aura *a priori* que peu d'effet sur la pérennité de la ressource géothermale.
- Dans le cas d'une installation en sondes verticales géothermiques (SVG), une modification importante de la demande en chaleur peut mener l'installation à l'arrêt. En effet le système va prélever trop d'énergie dans le sous-sol qui sera alors refroidi. Et ce refroidissement du sol peut entraîner l'arrêt du système puisqu'il n'y aura plus assez de ressource disponible dans le sol.

L'accès au thermostat d'ambiance, le cas échéant, ou au paramétrage du fonctionnement doit être hors de portée de l'utilisateur. Un contrôle régulier de ces paramètres permettra de voir si les consignes de programmation initiales sont bien respectées. Ces données seront consignées en évidence dans le livret (ou carnet) de chaufferie *(cf. plus bas)*.

Une attention sera également portée au ressenti des utilisateurs et à leur bonne utilisation du bâtiment. Il faut rapidement repérer une température trop élevée dans une pièce ou dans un bâtiment pour éviter les régulations « à la fenêtre ouverte » qui pourraient avoir un impact sur la pérennité de la ressource.

COMMENT INTERPRÉTER L'ÉVOLUTION DES PERFORMANCES DE L'INSTALLATION ?

Le suivi des performances de l'installation est nécessaire pour confirmer le bon dimensionnement de l'installation ainsi que son bon fonctionnement. Il convient donc de suivre la production énergétique ainsi que les consommations liées au fonctionnement de la pompe à chaleur (PAC) et des auxiliaires. De plus, dans le cadre de l'obtention des aides des Fonds Chaleur, une réserve de 20 % du montant total de l'aide est conditionnée au bon fonctionnement de l'installation et à l'atteinte des objectifs de performance. Cela implique nécessairement un comptage précis de l'énergie restituée par la pompe à chaleur ainsi que de l'électricité consommée par cette dernière.

Pour être en capacité de suivre les performances et le bon fonctionnement de l'installation, il est nécessaire d'installer du matériel de mesure et de comptage d'énergie. Comme le montre le schéma ci-dessous, des **compteurs électriques** devront être installés au niveau des différents consommateurs (pompe de puits, circulateurs, pompe à chaleur). Des **compteurs d'énergie thermique** devront être positionnés en amont et en aval de la pompe à chaleur afin de mesurer la quantité d'énergie prélevée au sous-sol et celle restituée dans le bâtiment.

Afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'installation, des **sondes de température** devront être positionnées en amont de la pompe à chaleur afin de mesurer la température de la source froide avant et après l'évaporateur de la PAC, ainsi qu'au niveau du circuit d'émission, à la sortie du condenseur de la PAC et au retour du circuit d'émission.

De même, des **capteurs de débit et de pression** devront être positionnés en entrée et en sortie de l'échangeur intermédiaire du circuit primaire.

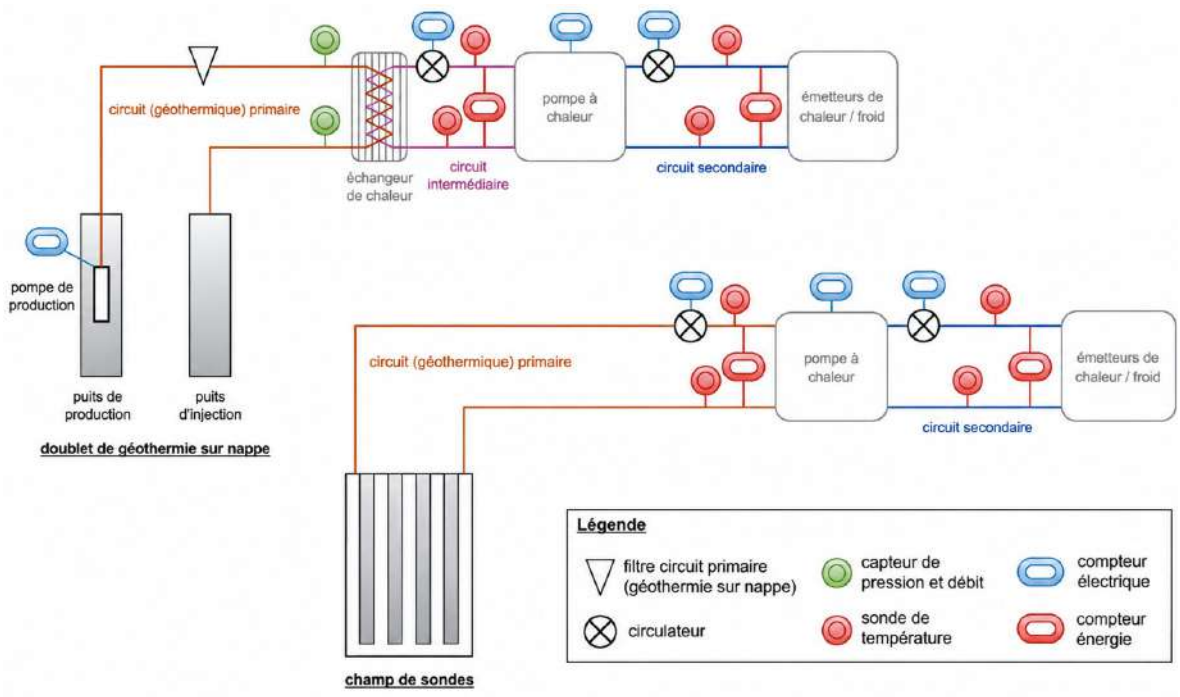


Figure 1 - Schéma de principe dédié au suivi des paramètres (source RAG)

L'efficacité de l'installation est mesurée via son SCOP (coefficient de performance saisonnier), qui correspond au rapport entre l'énergie produite et l'énergie consommée sur une saison de fonctionnement. Il est nécessairement plus faible que le COP (coefficient de performance) de la PAC, qui est mesuré dans des conditions de fonctionnement stables à un instant donné.

Le relevé mensuel des productions et des consommations permet de tracer l'évolution du COP de l'installation et de déceler d'éventuelles anomalies (défaut de régulation, par exemple). On distinguera deux types de COP : le COP machine de la PAC et le COP système, qui prend en compte toutes les consommations énergétiques de l'installation, auxiliaires inclus (pompes de circulation, régulation, etc.).

AIDES ET SUBVENTIONS

Le maître d'ouvrage peut mobiliser des dispositifs d'accompagnements techniques et financiers pour les études et les investissements de son projet géothermique. Cette fiche présente **les dispositifs à l'échelle nationale.** En région Grand Est, un dispositif spécifique à destination des projets inférieurs à 75 MWh EnR/an à été mis en place et est géré par Climaxion (collaboration entre l'ADEME Grand Est et la Région Grand Est). Ce dispositif intitulé Soutien à la géothermie de surface, ne sera pas détaillé dans cette fiche. Vous retrouverez néanmoins toutes les informations relatives à ce dernier dans la rubrique géothermie du site Climaxion ou directement via ce lien.

Cette fiche présente les dispositifs à l'échelle nationale durant l'exercice 2026.

LES AIDES DU FONDS CHALEUR

Le Fonds Chaleur de l'ADEME, initié en 2009, est un dispositif qui a vocation à soutenir le développement de projets de production de chaleur à partir d'énergies renouvelables telles que la géothermie, la biomasse, le solaire thermique ou la chaleur fatale. En 2024, c'est environ 700 M€ d'aide qui ont été alloués pour un montant d'investissement de presque 2Md€ dans des installations d'EnR&R. La géothermie représente sur cette année 110 M€ d'aide (source : ADEME).

Les dispositifs

Le Fonds Chaleur se scinde en 2 accompagnements tout au long de votre projet. L'accès à ces dispositifs se fait à partir d'une consommation supérieure à 25 MWh EnR/an hors région Grand Est ou à partir de 75 MWh/an pour les projets accompagnés en Grand Est, **les projets inférieurs à 75MWh EnR/an étant éligible au dispositif de soutien à la géothermie de surface de Climaxion.**

Il existe deux dispositifs d'aides cumulables accessibles en fonction de la taille et par conséquent de la production annuelle de chaleur et/ou de froid renouvelable de votre projet :

Aides aux études

En vue de favoriser l'atteinte des objectifs des politiques en faveur du développement des EnR&R thermiques, l'ADEME participe au financement des études permettant de définir la faisabilité d'un projet.

Ces études se découpent en plusieurs aspects :

- La réalisation d'une étude de faisabilité qui met en évidence la faisabilité technique, réglementaire et économique d'un projet :
  - Pour une étude de géothermie sur sondes, le Bureau d'Etude (BE) en charge devra être qualifié RGE étude OPQIBI 20.13 (Maitrise d'œuvre des installations de production utilisant l'énergie géothermique) ou 10.07 (Etude des ressources géothermiques).
  - Pour une étude de géothermie sur nappe, il est nécessaire que les 2 qualifications soient présentes sur l'étude. Cela peut se faire par l'association de 2 BE chacun qualifié dans leur domaine.

Cette étude de faisabilité devra répondre au cahier des chartes de l'ADEME pour se voir allouer une subvention.

- La réalisation de forages de reconnaissance et des études permettant la quantification d'énergie récupérable :
  - Sur sondes lorsque la quantité de forage dépasse 1000 mètres linéaires.
  - Et pour tous les projets sur nappe.

Les foreurs sollicités pour ces phases de reconnaissance devront être reconnu « CertiForage » par l'organisme de qualification Qualit'EnR.

- L'assistance à maîtrise d'ouvrage (AMO) pour la mise en place d'une installation de géothermie de surface. Bien que fortement recommandée, cette AMO n'est pas obligatoire dans le cadre d'un projet. Elle doit toutefois être assurée par un prestataire disposant de la qualification OPQIBI 2013 pour remplir cette mission.

L'ensemble des actions rentrent dans la partie aides à l'étude. Le montant total d'aide se calcule en fonction de la taille de l'entreprise accompagnée sur une assiette 50k€ pour les études de diagnostics et 100k€ lorsque ces études sont accompagnées de forages de reconnaissances et des test associées.

Cette aide peut aller :

- Jusqu'à 50% pour une grande entreprise.
- Jusqu'à 60% pour une moyenne entreprise.
- Jusqu'à 70 % pour une petite entreprise ou dans le cadre d'une activité non économique.

Ex : *Je suis une commune qui porte un projet de géothermie sur un groupe scolaire nécessitant la réalisation d'un test de réponse thermique (TRT) du sol, l'étude de faisabilité coûte 10k € et le forage ainsi que le TRT 29k €. Il me restera donc à charge 39k € – 0.7*39 € soit 11.7k €.*

*Je suis une grande entreprise qui porte un projet de géothermie sur nappe sur les locaux d'un de mes sites. L'étude de faisabilité coûte 12k € et forage ainsi que les essais de débit 150k €. Sur ces 162k € d'étude 100k € rentrent dans l'assiette éligible aux subventions il me reste donc à charge 162 – 0.5*100k € soit 112k €.*

Cette demande doit être formulé auprès de la Direction Régionale de l'ADEME avant le commencement des études. L'ensemble des informations complémentaires sont disponibles : Étude d'aide à la décision pour les projets de géothermie de surface, d'aérothermie ou de thalassothermie | Agir pour la transition écologique

Aides à l'investissement

Les installations de PAC permettant d'assurer la couverture des besoins de chauffage, d'eau chaude sanitaire (ECS) et/ou de froid peut faire l'objet d'une subvention au titre du Fonds Chaleur pour la partie investissement de projets. Afin de se voir allouer cette subventions le projet doit respecter les conditions d'éligibilités du Fonds Chaleur : Installations de production de chaleur et de froid renouvelable à partir de géothermie de surface, d'aérothermie ou de thalassothermie | Agir pour la transition écologique

Depuis janvier 2026, afin d'assurer une efficacité énergétique des bâtiments des plafonds de besoins par type de bâtiments ont été définies :

Catégorie	Résidentiel	Tertiaire (hors piscine)	Autres (piscine, industries et serres)
Plafond de besoin pour le chauffage (kWhu/m²/an)	90	100	Non applicable

Si les besoins du/des bâtiments sont supérieurs à ce plafond de consommation surfacique, le calcul de l'aide se fera au prorata de ces derniers.

L'aide à l'investissement est une aide forfaitaire au MWh EnR produit, son calcul est exprimé :

- Mode de production Chaud : Production d'EnR = Production utile de chaud sortie PAC – consommation électrique de la PAC.
- Mode de production Froid : Production d'EnR = (Production utile de froid issu de la PAC) * (SEER – 3.2) / (13.8-3.2)
- Mode de rafraichissement par géocooling : Production d'EnR = production de rafraichissement en sortie d'échangeur.

Ainsi l'aide forfaitaire des projets où la production d'EnR est inférieur à **2 000 MWh EnR/an** est :

Technologie	Aides forfaitaires **CHAUD** en € /MWhEnR/an (sur 20 ans)	Aides forfaitaires **FROID** en €/MWhEnR/an (sur 20 ans)
PAC/TFP sur sondes et géostructures énergétiques.	50 €/MWh EnR	Métropole et Corse : 20 €/MWh EnR Outre-mer : 25 € /MWh EnR
PAC/TFP sur échangeurs compacts et horizontaux géothermiques.	44 €/MWh EnR	
PAC/TFP sur eau de nappe, sur eau de mer et sur eaux de surface.	25 €/MWh EnR	
Rafraichissement par géocooling.		

Pour les projets dont les consommations sont supérieures 2 000 MWh EnR/an, les MWh au-delà de ce plafond sont subventionnées à hauteur de :

Technologie	Aides forfaitaires **CHAUD** en € /MWhEnR/an (sur 20 ans)	Aides forfaitaires **FROID** en €/MWhEnR/an (sur 20 ans)
PAC/TFP sur sondes et géostructures énergétiques.	30 €/MWh EnR	10 €/MWh EnR
PAC/TFP sur eau de nappe, sur eau de mer et sur eaux de surface.	15 €/MWh EnR	
Rafraichissement par géocooling.		

Cette demande doit être formulée auprès de la Direction Régionale de l'ADEME avant la signature du marché avec les entreprises.

Ex : *Pour une PAC sur sondes produisant 2 680 MWh de chaud/an : en supposant que la PAC a un coefficient de performance de 4, cela équivaut à une production de 2 010 MWh EnR/an (énergie prélevée dans le sous-sol). Le montant indicatif d'aide ADEME sera de : 2 006 000 € = (2 000*50 €/MWh EnR*20 ans + 10*30 €/MWh EnR*20 ans). Cette installation assure également du rafraîchissement par géocooling à hauteur de 150 MWhEnR/an ; soit une aide complémentaire de 30 000 € = (150*10 €/MWhEnR*20 ans).*

Pour une PAC sur nappe produisant 2 575 MWh de chaleur l'hiver avec un COP de 5 et 100 MWh de froid l'été avec un SEER de 5,3 ; la production d'EnR est de 2060 MWh/an en chaud et de 20 MWh/an en froid. Le montant indicatif d'aide ADEME sera de : 1 022 000 € *= (2000*25*20) + (60*15*20) + (20*10*20).*

Réseau de Chaleur Urbain (RCU) et Bureau d'Études Techniques spécialisé en Énergies et Géothermie (BETEG)

Dans le cadre d'un réseau de mutualisation, RCU, réseau technique ou BETEG, des aides supplémentaires sur le volet mise en place du réseau peuvent être sollicités. Ce référencer : Études sur les réseaux de chaleur ou de froid alimentés par des EnR et/ou EnR&R | Agir pour la transition écologique

Les certificats d'économies d'énergie

A partir de janvier 2026, les certificats d'économies d'énergies sont désormais cumulables avec le fonds chaleur de l'ADEME à travers les fiches standardisées **BAT-TH-162** pour le secteur tertiaire et **BAR-TH-178** pour le secteur résidentiel collectif.

Cette articulation est possible que sur des projets dédiés hors RCU, réseau technique et BETEG. Le couplage CEE + Fonds chaleur ne pourra pas dépasser les **65 % d'intensité d'aide** sur les investissements éligibles.

Ces fiches sont consultables sur : Légifrance - Publications officielles - Journal officiel - JORF n° 0209 du 09/09/2025 et permettent de définir en fonction de la typologie de projet, la surface chauffée en m², la répartition géographique, l'efficacité de l'installation et enfin la puissance ainsi que le rapport entre la puissance de la PAC et la puissance utile de la nouvelle chaufferie, la quantité de MWh cumac à valoriser.

La déclaration du volume de CEE doit être déclarer lors de la demande du Fonds Chaleur.



Astrid CARDONA MAESTRO - ADEME

La garantie AQUAPAC

Le maître d'ouvrage peut souscrire à une garantie AQUAPAC pour son projet de géothermie sur nappe.

La garantie AQUAPAC a été créée en 1983 par l'ADEME, le BRGM et EDF. La plaquette et le dossier de demande d'aides sont disponibles sur le site : https://www.geothermies.fr/les-garanties

Pour les études de ressource

La garantie AQUAPAC, dite « **garantie de recherche** », couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine insuffisante pour le fonctionnement d'une installation géothermique. Le montant de cette garantie représente 5% du coût du forage.

Pour l'exploitation

Une fois l'opération réalisée, cette **garantie dite de « pérennité »** peut également couvrir le risque de diminution ou de détérioration de la ressource durant les dix premières années d'exploitation. Le montant de cette garantie représente 4% du coût de l'installation.

Le maître d'ouvrage doit déposer un dossier avant le début des travaux auprès de SAF-Environnement (filiale de la Caisse des Dépôts et Consignations), gestionnaire du fonds de garantie.

L'attribution de la garantie repose sur l'examen, par le Comité Technique AQUAPAC, d'un dossier présentant les éléments techniques nécessaires à l'évaluation du projet.

Ces garanties ne sont pas éligibles aux particuliers.

ZOOM

La garantie AQUAPAC pour quel type de projet ?

La garantie AQUAPAC s'adresse à des projets faisant appel à une ressource d'une **profondeur de moins de 200 m** et utilisant une **pompe à chaleur d'une puissance thermique supérieure à 30 kW.**

Le tiers investissement

L'externalisation du financement d'une installation géothermique peut aussi apparaître comme une solution face aux nombreux facteurs difficiles à maitriser par la maitrise d'ouvrage.

Il existe plusieurs solutions qui peuvent permettre de palier à ce risque :

Tiers investisseur non-concepteur et non exploitant

La maîtrise d'ouvrage conserve le pilotage du projet et confie la conception et le suivi des travaux à un bureau d'études. L'exploitation est assurée par un chauffagiste via un contrat incluant des engagements de performance énergétique. Le financement peut être apporté par des banques ou des acteurs spécialisés, qui privilégient les offres clés en main (EPC) et exigent des garanties de l'exploitant. Ce montage laisse toutefois une part importante des risques à la charge de la maîtrise d'ouvrage.

Conception, réalisation, exploitation par un tiers investisseur

La maîtrise d'ouvrage contractualise avec un énergéticien unique qui assure la conception, la réalisation, l'exploitation, la maintenance et le financement de l'installation géothermique. La performance énergétique et carbone est au cœur du contrat, avec des garanties fortes sur la durée, incluant bonus/malus non plafonnés. Ce montage offre une forte sécurisation du projet grâce à une responsabilité intégrée, mais implique une contractualisation précise, souvent accompagnée par une AMO juridique.

Le financement dans le cadre d'un contrat de vente de chaleur ou de froid

Le modèle EaaS (Energy as a Service) permet à la MOA d'accéder à une solution énergétique complète sans investissement initial, l'infrastructure étant portée et gérée par le prestataire. Contrairement aux offres clés en main financées, ce modèle inclut l'achat de l'énergie primaire et se traduit par une facturation de l'énergie thermique fournie.

LES DONNÉES ÉCONOMIQUES

Les géothermies de surface présentent de nombreux avantages économiques, déterminants dans le choix de cette solution énergétique. Cette fiche propose plusieurs éléments chiffrés et points de repère indispensables pour aider à la décision et au lancement d'un projet dans des conditions optimales.

Le coût d'une solution géothermique varie selon les régions et dépend de plusieurs facteurs. Dans le cadre des études de faisabilité, les bureaux d'études (BE) fourniront un chiffrage précis et comparatif des différentes solutions géothermiques envisageables.

UN COÛT GLOBAL ATTRACTIF

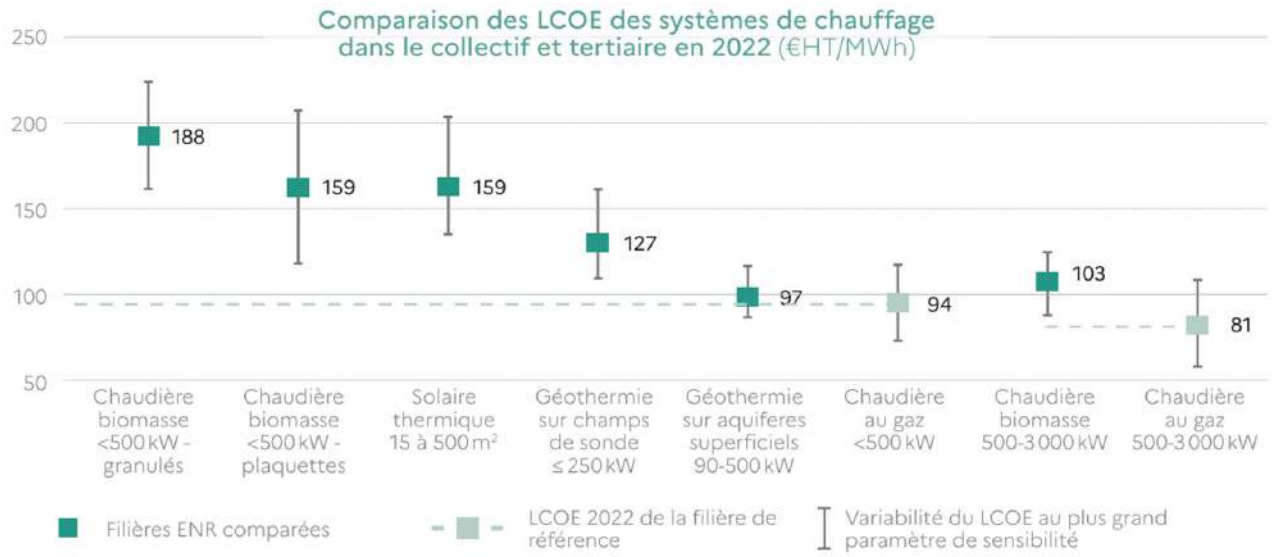


Figure 1 : comparaison des LCOE des systèmes de chauffage dans le collectif et tertiaire en 2022 (€HT/MWh) (source : ADEME, évolution du coût des énergies renouvelables et de récupération entre 2012 et 2022).

Le LCOE *(Levelized Cost of Energy)* est un indicateur économique permettant d'évaluer le coût moyen de production de l'énergie sur l'ensemble de la durée de vie d'un projet. Il intègre à la fois les investissements initiaux et les coûts d'exploitation des installations hors aides publiques.

À ce titre, les géothermies sur nappe et sur sondes affichent des LCOE parmi les plus attractifs pour la production de chaleur renouvelable.

LE COÛT DES ÉTUDES

Mener à bien un projet de géothermie requiert dès l'amont du projet la réalisation d'études spécifiques.

Le coût des études de faisabilité varie généralement de **5 000 € à 15 000 €**, en fonction de la taille du projet. Selon le type de géothermie envisagé, ces études peuvent nécessiter des investigations complémentaires :

- **Géothermie sur sondes :** lorsque le linéaire de forage dépasse 1 000 mètres, la réalisation d'un test de réponse thermique (TRT) est requise. Celui-ci est effectué après la mise en œuvre d'une première sonde, qui pourra ensuite être intégrée au champ de sondes définitif. Le coût de cette opération varie de 15 000 € à 35 000 € (sonde géothermique test comprise).
- **Géothermie sur nappe** : elle nécessite la réalisation d'un premier forage, ainsi que des essais de débit et des analyses qualitométriques. Le coût de cette opération dépend principalement de la profondeur du forage. Il est par ailleurs possible d'assurer cette phase en cas de défaut de la ressource (cf. page 38 « Aides et subventions »).

Une étude menée avec rigueur permet de prescrire un dimensionnement optimisé de l'installation et de mieux maîtriser les coûts d'investissement. Il est donc essentiel de ne pas négliger cette étape clé d'un projet de géothermie.

L'ensemble de ces études et opérations est éligible aux dispositifs d'aide au titre des « études d'aide à la décision » pour les projets de géothermie de surface, d'aérothermie ou de thalassothermie. Ces aides peuvent atteindre jusqu'à 70 % de subvention, pour une assiette de dépenses plafonnée à 100 k€ (cf. page 38 « Aides et subventions »).

COÛTS D'INVESTISSEMENTS

Les coûts d'investissement de la géothermie sont généralement plus élevés que ceux d'autres solutions de production de chaleur renouvelable. Cette caractéristique peut constituer une barrière à l'entrée pour cette technologie, qui demeure toutefois compétitive sur l'ensemble de la durée de vie d'un projet, avec un coût global souvent inférieur ou comparable à celui des solutions alternatives.

Les coûts d'investissement de la géothermie sont répartis en 2 volets :

- Le volet sous-sol qui prend en compte les forages ainsi que l'ensemble du système jusqu'au local de la PAC.
  - Pour la sonde ce coût dépendra fortement de la lithographie qui impactera les techniques de forations, le coût peut être compris en **80 et 140€HT/mL**.
  - Pour la sonde en fonction du débit recherché et de la profondeur de la nappe le coût peut varier de **500 à 2500 €HT/mL**. Contrairement à la géothermie sur sonde la géothermie sur nappe nécessitera dans la majorité des cas que 2 forages, un pour le pompage et un pour la réinjection.
- Le volet surface qui prend en compte l'ensemble des éléments présents dans le local technique. Par les économies d'échelle plus la puissance de la PAC augmente, plus le prix unitaire au kW diminue.

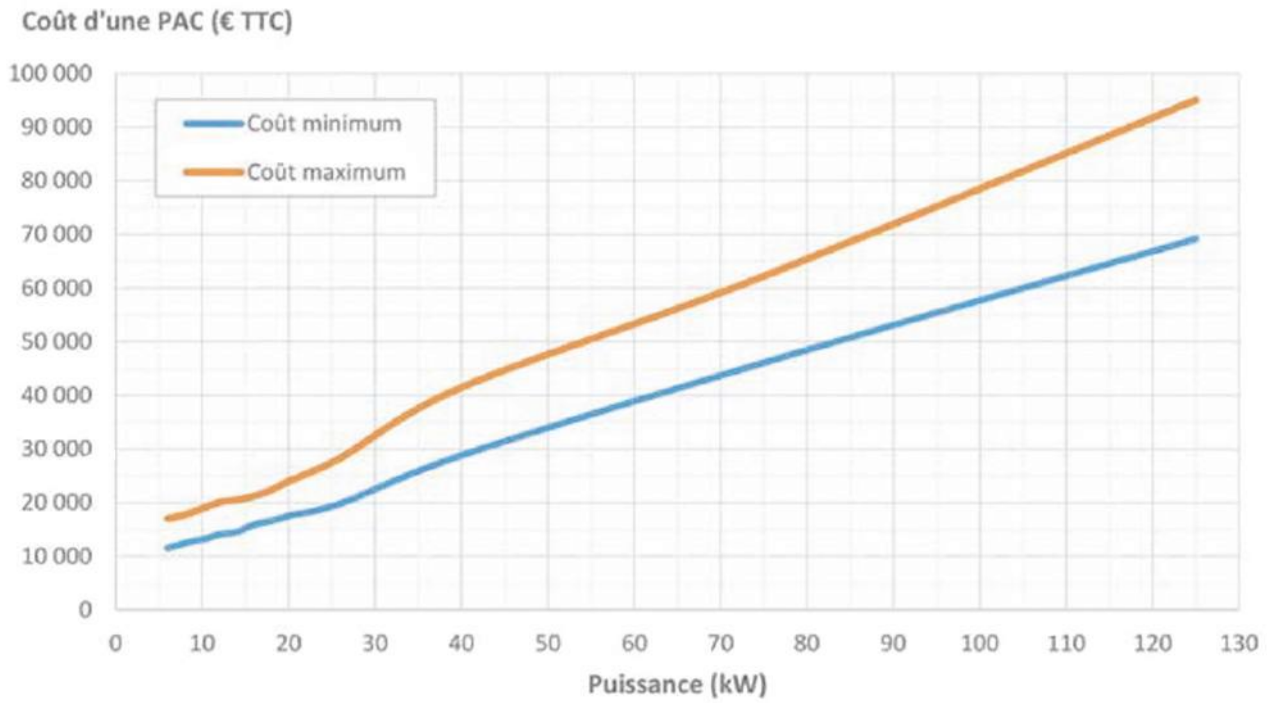


Figure 2 : évolution du coût selon la puissance pour une PAC eau/eau (source : AFPG, étude technico-économique de la géothermie de surface)

Les pompes à chaleur géothermiques peuvent fonctionner, en chaud comme en froid, avec tous les types d'émetteurs. Cependant, le rendement du système global sera meilleur si les émetteurs choisis sont basse température comme un plancher chauffant-rafraichissant, ce coût peut représenter entre 10 et 15% du coût total de l'installation.



AdobeStock

COÛTS DE FONCTIONNEMENT

Les coûts annuels de fonctionnement représentent les coûts associés à l'approvisionnement énergétique et les frais de maintenance. Contrairement à l'investissement qui représente le capital investit au début du projet, ces dépenses sont annuelles.

Le coût énergétique (P1)

Le coefficient de performance énergétique (COP) saisonnier d'une pompe à chaleur eau/eau, s'élevant à une valeur de 4.3, permet de réduire drastiquement l'indépendance énergétique du bâtiment et ainsi sa facture énergétique. Ainsi environ 75% de l'énergie délivrée au bâtiment provient du sous-sol et ne représente donc aucune dépense pour le projet (source : ADEME, performance pompes à chaleur : réalisation d'une campagne de mesures sur des pompes à chaleur en résidentiel individuel). Les 25% restants sont issus de l'électricité ou du gaz.

Les frais de maintenance (P2 et P3)

La maintenance peut être estimée entre 3 et 5% de l'investissement total de la solution géothermique. Dans les faits la partie forage ne représentera que très peu d'entretien par rapport à la géothermie sur nappe.

LA RENTABILITÉ DE LA GÉOTHERMIE

L'analyse de la rentabilité d'un projet de géothermie par rapport à une solution de référence carbonée s'effectue généralement sur 25 ans, soit la durée de vie moyenne d'une PAC eau/eau. (AFPG, étude sur la durée de vie des installations de géothermie de surface). A titre comparatif, la durée de vie de la partie sous-sol d'une installation géothermique se situe entre 50 et 100 ans.

Exemple

Ci-dessous, est présenté **à titre d'exemple,** un comparatif des coûts cumulés croissants de 3 solutions de production de chaud et de froid issu d'une étude de l'AFPG de 2023. Le but est d'illustrer la démarche à adopter pour déterminer la rentabilité d'un projet de géothermie.

Les 3 moyens comparés sont :

- Sondes géothermiques verticales
- Géothermie sur nappe
- Gaz et climatiseurs monobloc

Nous nous plaçons dans le cas d'un **logement collectif de 1 000 m²** avec les besoins suivants :

Besoins en chaud	Puissance thermique	Besoin de froid	Puissance de climatisation
84 MWh/an	50 kW	18 MWh/an	30 kW

Coût global des solutions

Pour plus de détails concernant la méthode de calcul de chiffres présentés, voir l'étude de l'AFPG :
Etude sur le rôle de la géothermie dans la climatisation et le rafraîchissement, 2023, AFPG

Nappe

Investissement initial en €		Maintenance en €/an		Fonctionnement en €/an			Aides en €
Partie sous-sol	Investissement surface (PAC + ingéniérie)	Maintenance sous-sol (entretien)	Contrat d'entretien PAC (TTC)	Electricité Chaud	Electricité Froid	Electricté pour pompe immergée	Fond Chaleur
50 000	65 000	1 800	350	2 776	195	616	**39 045**
115 000		**2 150**		**3 464**			

Sondes géothermiques verticales

Investissement initial en €		Maintenance en €/an	Fonctionnement en €/an		Aides en €
Partie sous-sol	Investissement surface (PAC + ingéniérie)	Contrat d'entretien PAC (TTC)	Electricité Chaud	Electricité Froid	Fond Chaleur
173 000	65 000		3 701	212	**69 291**
170 000		**350**	**3 914**		

Gaz + climatiseur

Investissement initial en € (gaz)		Maintenance et Fonctionnement en €/an (gaz)			Investissement initial en € (Clim)	Fonctionnement en €/an (Clim)
Chaudière à gaz	Raccordement chauffage et ECS + Pose	Maintenance	Abonnement	Coût gaz	Prix total	Électricité
11 785	7 070	250	250	1 233	**16 350**	**1 271**
18 855		**1 633**				

Comparaison des coûts

Les coûts cumulés des solutions géothermiques et des solutions de comparaison sont présentés sur une période de 25 ans. Ces coûts comprennent à la fois les coûts initiaux d'investissements et les coûts de fonctionnement, qui englobent les P1, P2 et P3. L'objectif est d'évaluer les coûts totaux des différentes options sur une période significative afin de pouvoir comparer leur rentabilité à long terme et d'établir ainsi le moment où le seuil de rentabilité est atteint.

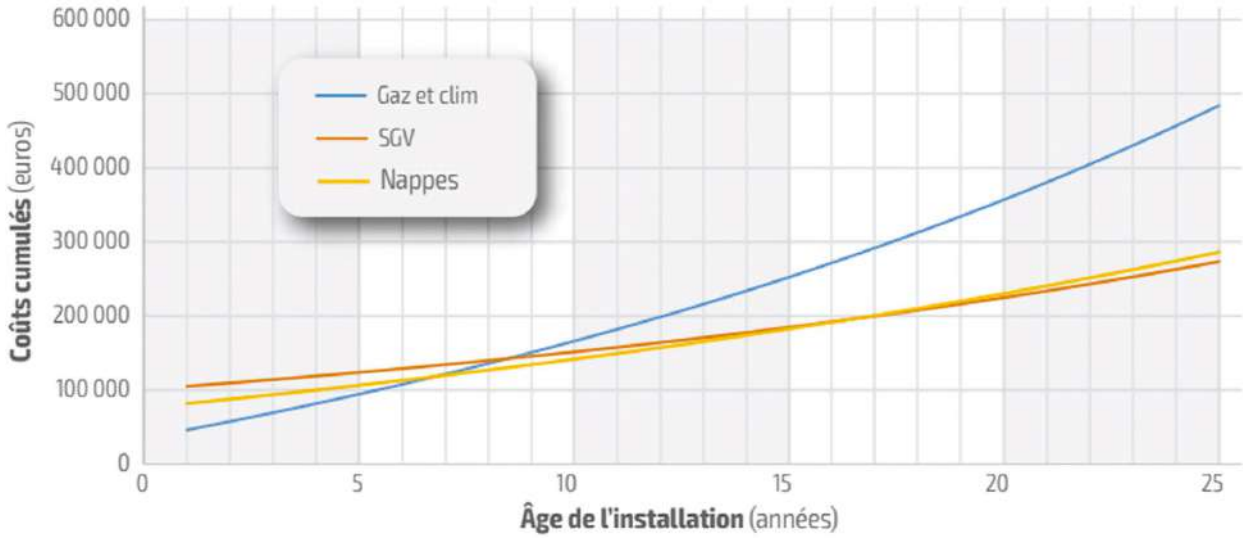


Figure 3 : coûts cumulés pour un bâtiment collectif (source : AFPG)
SGV : (Sondes géothermiques Verticales)

Ainsi dans ce cas d'étude, les solutions de géothermie deviennent plus rentables que la solution alternative après 7 ans pour la solution de géothermie sur nappe et 9 ans pour la solution des sondes géothermiques.

La géothermie est d'autant plus rentable lorsque le bâtiment présente des besoins simultanés ou alternés en chauffage et en rafraîchissement. En effet, au-delà de sa capacité à couvrir à la fois les besoins de chaud et de froid, contrairement à certaines solutions carbonées, ce couplage permet d'optimiser le dimensionnement du champ de sondes et, par conséquent, de réduire le nombre de sondes nécessaires.

POUR ALLER PLUS LOIN

Géothermies.fr
https://www.geothermies.fr/

Agir pour la transition :
https://agirpourlatransition.ademe.fr/

Climaxion
https://www.climaxion.fr/thematiques/energies-renouvelables/geothermie

Ressources

« Les pompes à chaleur géothermiques à partir de forage sur aquifère », *ADEME / BRGM Editions*

« Les pompes à chaleur géothermiques sur champ de sondes », *ADEME / BRGM Editions*

« Synthèses de l'état des lieux de la filière géothermie en Grand Est », *Climaxion*

Plus d'informations sur climaxion.fr

La Région Grand Est et l'État accélèrent la transition énergétique

climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

La Région Grand Est

GRAND EST RÉGION VERTE

EBRA Services | CSV19919 | Novembre 2026