

Géothermie



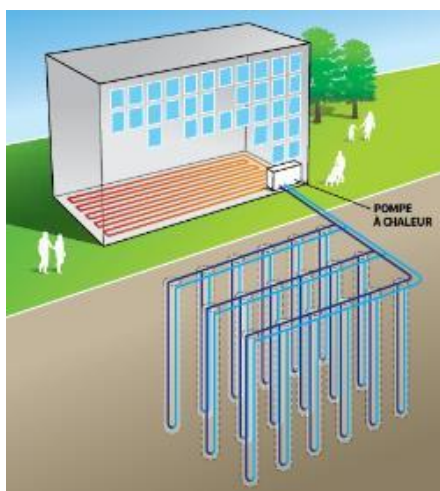
Fiche technique

Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie

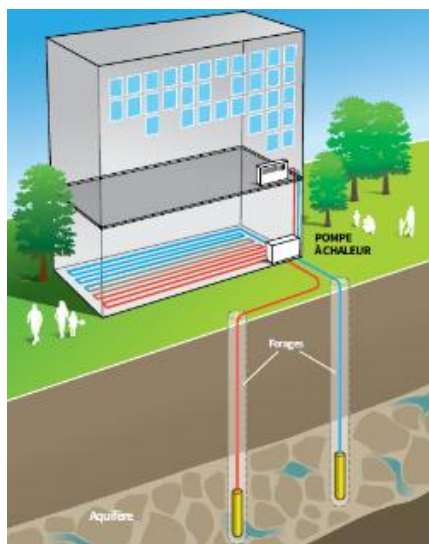


Décembre 2018

Description de la technologie



Géothermie TBE sur champ de sondes



Géothermie TBE sur aquifère

Crédit : CETIAT

On parle de géothermie Très basse énergie (TBE) ou de surface, dans le cadre d'une exploitation de la chaleur présente dans le proche sous-sol, ou dans des nappes phréatiques superficielles à de faibles profondeurs (généralement inférieures à 200 mètres). Cette ressource est disponible partout en France car elle correspond à l'énergie solaire stockée à la surface de la terre dans les premiers mètres mais aussi à la chaleur emmagasinée par la Terre lors de sa formation.

Il existe différentes technologies de captage de cette source de chaleur selon le système d'échange considéré :

- Système fermé : des sondes géothermiques dans lesquelles circule un fluide caloporteur captant l'énergie présente dans le sol, jusqu'à environ 200 mètres de profondeur (un champ de plusieurs dizaines de sondes est nécessaire pour couvrir des besoins industriels).
- Système ouvert : un doublet géothermique permettant de capter l'énergie contenue dans des aquifères peu profonds ou des nappes alluviales. Il est généralement constitué d'un puits de production (pompage de l'eau) et d'un puits de réinjection. Dans certains cas, plusieurs forages de production ou de réinjection peuvent être nécessaires.

Les systèmes géothermiques très basse énergie exploitent des températures très faibles ($< 30^{\circ}\text{C}$), ils sont donc souvent couplés à une Pompe à chaleur (PAC). La pompe à chaleur va alors prélever l'énergie de la source froide pour élever la température d'un second fluide à travers un cycle thermodynamique puis restituer la chaleur à une source chaude. La température de la ressource étant très faible (généralement autour de $10 - 15^{\circ}\text{C}$), les pompes à chaleur géothermiques peuvent être utilisées de manière réversible et produire aussi du froid. Elles peuvent même être by-passées pour assurer du rafraîchissement passif (géocooling).

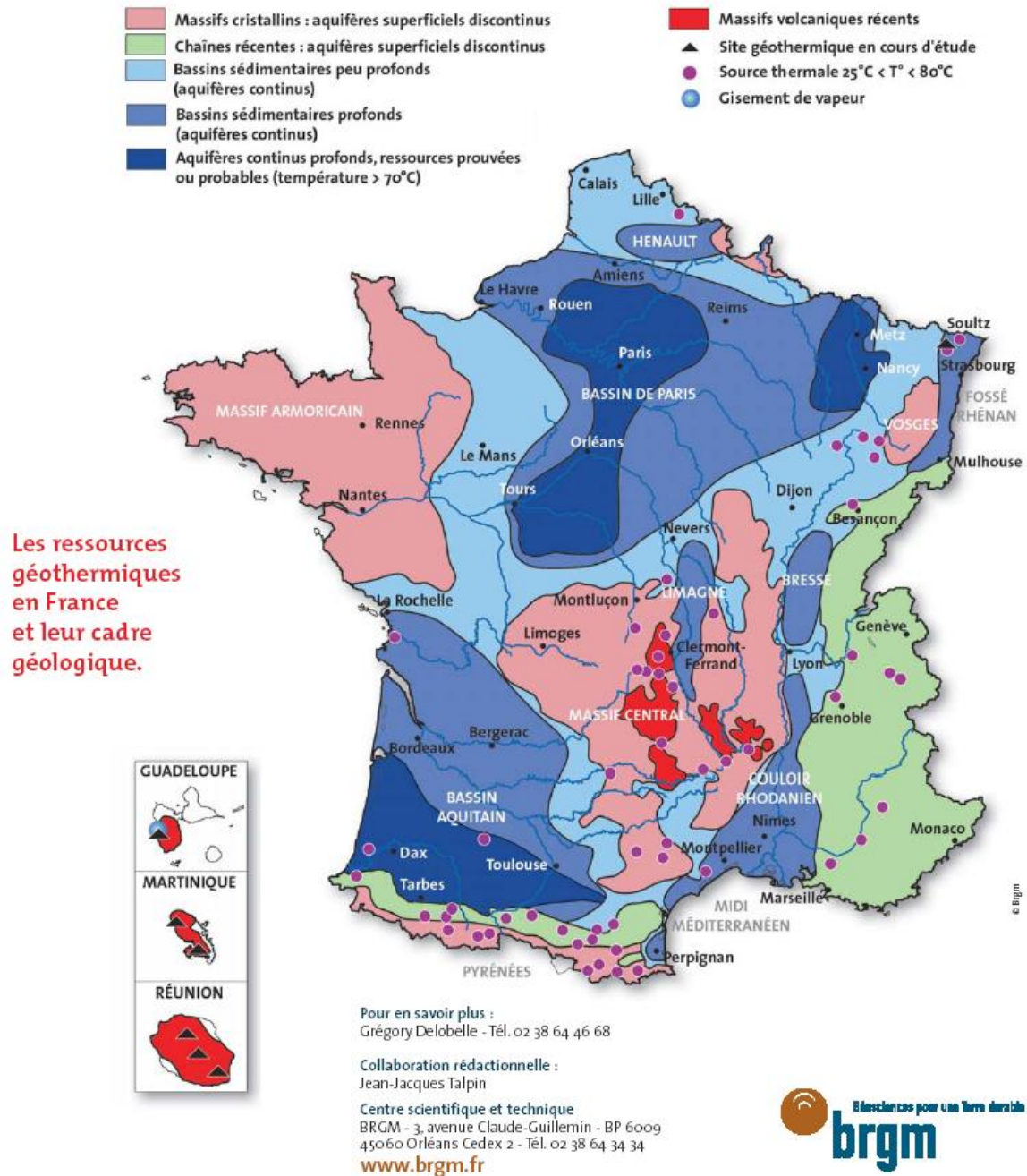


Figure - Carte des ressources géothermiques en France (BRGM)

Usages



Les pompes à chaleur géothermiques peuvent être utilisées pour chauffer des fluides à basse et très basse température, ou pour produire du froid. En montage thermofrigopompe, elles peuvent même assurer la production simultanée de chaud et de froid. Les PAC basiques et haute température, disponibles aujourd'hui permettent d'atteindre entre 65°C et 90°C, alors que les nouvelles générations de PAC très haute température, encore au stade de R&D, permettront de produire de la chaleur jusqu'à 120°C. Les performances des PAC sont d'autant meilleures que l'écart de température entre la source chaude et la source froide est faible.

Flux de fluides

Agroalimentaire
Industrie du papier et du carton
Raffinage
Métallurgie
Travail du bois
Textile
Équipement et assemblage

Illustration d'utilisation de la technologie dans les retours d'expérience

- [L'Oréal. Géothermie très basse énergie sur aquifère avec thermofrigopompe et récupération de chaleur fatale.](#)

Coûts

Sur champ de sondes

CAPEX : 1 200 – 2 000 EUR/kW

OPEX : 45 - 60 EUR/MWh_{utile}/an

Coût total de production :
69,8 – 146,5 EUR/MWh_{utile}/an

Sur aquifère / nappe

CAPEX : 500 – 1 400 EUR/kW

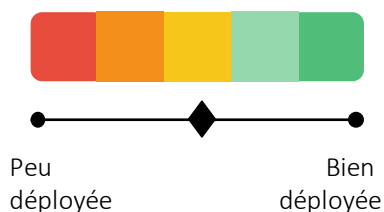
OPEX : 60 – 90 EUR/kW/an

Coût total de production :
52 – 129,2 EUR/MWh_{utile}/an

Pour des installations de fortes puissances, comme dans l'industrie, les systèmes sur aquifère sont d'une manière générale plus compétitifs que les systèmes sur champ de sondes. De plus, les coûts varient plus fortement en fonction de la taille de l'installation (en kW) dans le cas d'un projet sur aquifère que dans le cas d'un projet sur champ de sondes.

Les coûts d'investissement des systèmes sur champ de sondes se répartissent entre les sondes (entre 50 et 90 EUR/m linéaire pose comprise¹), la pompe à chaleur et l'installation. Pour les systèmes sur aquifère ou nappe, à puissance équivalente, les coûts d'investissement liés au sous-sol sont plus réduits conduisant à des coûts d'investissement totaux deux fois moins élevés en moyenne.

Diffusion de la technologie de récupération



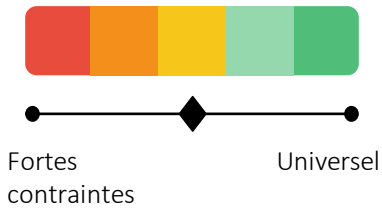
Les différentes technologies sont matures et maîtrisées si bien que les petites et moyennes installations de géothermie très basse énergie (d'une puissance inférieure à 500 kW) sont courantes en France, en particulier dans les secteurs résidentiels et tertiaires. [1]

Pourtant, il existe encore peu d'installations de géothermie très basse énergie dont la capacité installée dépasse 500 kW, capacité qui serait plus adaptée aux besoins des industriels. [1] Ce manque de diffusion dans l'industrie malgré la maturité de la technologie peut s'expliquer par le manque de sensibilisation du public et de l'industrie. Par ailleurs un amalgame est souvent fait avec la géothermie basse énergie dommageable pour la géothermie très basse énergie (voir encart). [2]

¹ Le coût varie en fonction de la nature du sous-sol, de la région et du nombre de foreurs locaux

Contraintes d'intégration sur site

Dans le cas d'un projet de géothermie sur champ de sondes pour l'industrie, des dizaines de sondes jusqu'à environ 200 mètres de profondeur doivent être installées par des entreprises de forage spécialisées, ce qui nécessite un temps de chantier qu'il est préférable d'anticiper. [2]

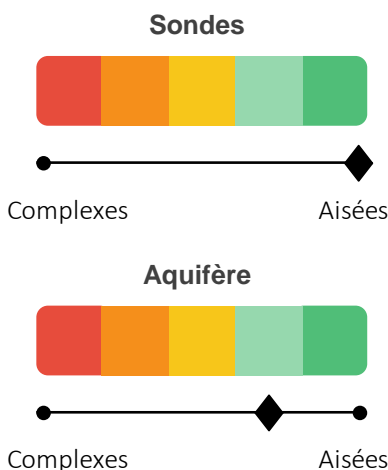


Dans le cas de projets sur aquifère superficiel, le doublet est en principe constitué de deux forages pouvant aller jusqu'à 200 m de profondeur. Ceux-ci sont effectués par des entreprises de forage spécialisées et ne posent pas de problème particulier, même en zone urbaine. [2]

Pour le reste de l'intégration sur site, les industriels peuvent faire appel à des sociétés spécialisées dans la mise en œuvre de systèmes géothermiques TBE. [3]

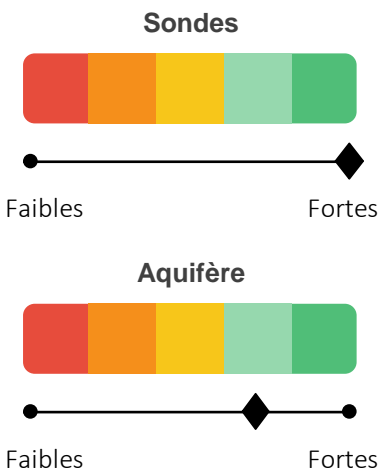
Des démarches administratives sont nécessaires en fonction des caractéristiques de l'installation et de la réglementation applicable (code minier, code de l'énergie, code de l'environnement...) mais allégées pour les installations de géothermie de minime importance (profondeur inférieure à 200 mètres, puissance prélevée dans le sous-sol inférieure à 500 kW, et température de prélèvement inférieure à 25°C pour les systèmes ouverts (ou système sur aquifère). [4]

Contraintes d'opération et de maintenance



L'opération et la maintenance des forages sur aquifère superficiel peuvent nécessiter des compétences spécialisées mais le faible besoin de maintenance offre un taux de disponibilité proche de 100 %. De plus, les entreprises prenant en charge l'installation de système géothermiques incluent aussi parfois des offres de maintenance dans leur contrat. [3]

Disponibilité et accessibilité de la ressource



La géothermie très basse énergie est disponible partout en France, car il s'agit de la chaleur emmagasinée sous la surface de la Terre. Les sondes géothermiques peuvent donc être installées quasiment sur tout le territoire.

La présence des aquifères superficiels est plus localisée, bien que présente partout en France (contrairement à la géothermie BE) ; ce type de technologie n'est donc pas généralisable à tous les sites industriels. L'industriel peut solliciter s'il le souhaite la garantie AQUAPAC (voir § mécanismes de soutien). Dans le cas d'une recherche infructueuse d'aquifère superficiel, l'industriel pourra également se tourner vers un projet sur champ de sondes.

Performance environnementale



L'empreinte carbone des installations de géothermie très basse énergie est principalement assimilable aux émissions de la pompe à chaleur. Elle est donc environ quatre fois plus faible que l'empreinte carbone de l'électricité consommée par les industriels en France soit environ 12 gCO₂eq/kWh, pour une pompe à chaleur ayant un coefficient de performance égal à 4 (produisant 4 fois plus d'énergie thermique qu'elle ne consomme d'énergie électrique). [5]

En substitution à une chaudière au gaz naturel, la géothermie TBE permet d'éviter l'émission de 230 gCO₂eq/kWhth, ce qui en fait l'énergie renouvelable la plus performante en termes de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. [5]

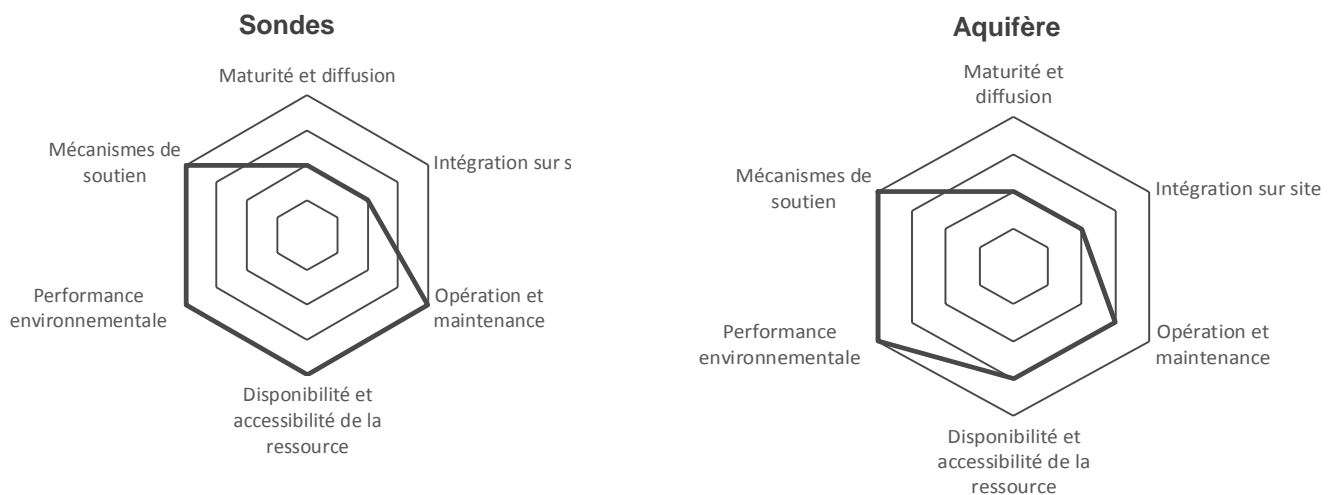
Mécanismes de soutien



La filière est soutenue par des appels à projets nationaux et régionaux de l'ADEME dans le cadre du [Fonds Chaleur](#).

Les projets de PAC sur aquifère superficiel peuvent bénéficier en outre de la garantie AQUAPAC, créée par l'ADEME, le BRGM et EDF, gérée par la SAF Environnement, une filiale de la Caisse des Dépôts et Consignations. Cette double garantie « de recherche » et « de pérennité » concerne les projets dont la profondeur de forage ne dépasse pas 200 mètres, et sur lesquels a été installée une PAC d'une puissance thermique supérieure à 30 kW. Le volet « recherche » de la garantie AQUAPAC permet au maître d'ouvrage qui la sollicite d'être indemnisé (montant des ouvrages garantis) si la ressource en eau souterraine n'est pas suffisante pour couvrir les besoins thermiques du projet. [6]

En résumé



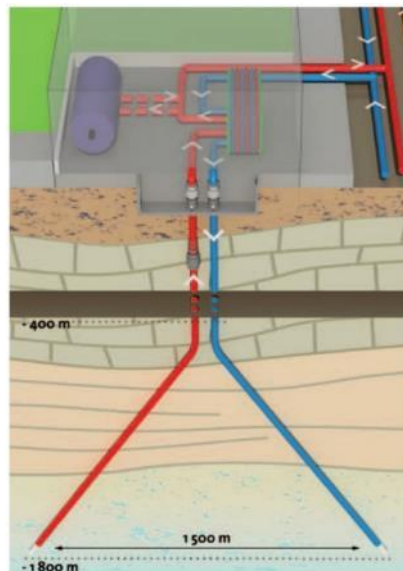
La géothermie TBE, qu'elle soit sur champ de sondes ou sur aquifère offre les mêmes caractéristiques générales. C'est une source d'énergie disponible partout en France, facile à intégrer et à opérer, ayant une empreinte carbone très faible et soutenue par divers mécanismes financiers et de subventions. Pourtant, sa diffusion dans l'industrie est encore limitée, en partie par un manque de sensibilisation de l'industrie sur la filière et un amalgame avec la géothermie BE (voir encart).

- [1] Nos références en région, afpg, web 2017
[2] Retours d'expérience, ADEME
[3] *Chauffer et rafraîchir avec une énergie renouvelable*, ADEME, 2017
[4] *Cadre législatif et réglementaire pour les gîtes géothermiques*, Ministère de la Transition écologique et solidaire, web, 2017
[5] Base carbone, ADEME, 2017
[6] Garantie AQUAPAC, Géothermie Perspectives, ADEME & BRGM, web, 2017

La géothermie Basse énergie (BE)

La géothermie basse énergie ou géothermie basse température valorise la chaleur présente dans des aquifères à des températures comprises entre 30°C et 100°C et situées à des profondeurs entre 200 et 2 500 mètres. Les caractéristiques des aquifères dits « profonds », principalement le débit et la température de l'eau à capter, permettent généralement un échange direct de la chaleur sans utiliser de pompe à chaleur. La géothermie basse énergie utilise systématiquement un doublet géothermique sous forme d'un puits de production qui pompe de l'eau chaude et un puits d'injection qui rejette l'eau froide.

Le transfert de chaleur entre la boucle géothermale et le circuit géothermique du réseau de distribution est assuré par un échangeur de chaleur à plaques. Lorsque le puits n'est pas artésien, il est nécessaire d'incorporer un système de pompage en tête du puits de production pour assurer un débit d'eau régulier et suffisant. Si l'aquifère présente une température inférieure à 50°C, le couplage à une PAC est nécessaire. La géothermie basse énergie est utilisée principalement pour l'alimentation de réseaux de chaleur pour des chauffages collectifs ou industriels.



Une ressource très localisée et uniquement présente dans certaines régions

La géothermie BE valorise la chaleur présente dans des aquifères profonds. Ces formations aquifères sont très localisées et présentes uniquement dans certaines régions de France : Bassin parisien, Bassin aquitain, fossé rhénan, Hainaut, Limagne, Bresse, et couloir Rhodanien. [1]

Le Fonds Chaleur accompagne financièrement la mise en œuvre des installations de géothermie profonde. Il n'existe pas de mécanisme de financement dédié, mais des subventions peuvent être attribuées au cas par cas par l'ADEME, la Région, l'Union Européenne et d'autres fonds. De plus à l'instar des opérations de géothermie TBE, un dispositif de garantie a été mis en place (le Fonds de garantie géothermie qui inclut un volet Court terme et un volet Long terme).

Des projets de réseaux de chaleur en Île de France

La plupart des projets de géothermie BE en France ont été lancés dans les années 80, le plus souvent dans le bassin parisien sur le réservoir du Dogger et pour alimenter des réseaux de chaleur collectifs. Depuis quelques années, la dynamique des projets repart à la hausse, en partie grâce au soutien du Fonds Chaleur, ce qui a permis à 8 nouveaux réseaux de chaleur géothermiques de voir le jour entre 2015-2016 en Île-de-France. Pourtant, la géothermie basse énergie dans l'industrie reste très rare en France (coûts d'investissement élevés, risques projet élevés avant forages mais compensés par le Fonds de garantie, et ressource très localisée). [2]

Là où elle est disponible, une source d'énergie à très faible impact environnemental

La géothermie basse énergie est une source d'énergie renouvelable constante, avec une empreinte carbone quasi nulle du fait de l'absence de combustible et généralement de pompe à chaleur.

- [1] *Guide du Maître d'Ouvrage, La géothermie et les réseaux de chaleur, Guide technique*, ADEME, 2010
[2] *La géothermie en France, Etude du marché en 2015*, afpg

Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie

Fiche technique

Géothermie

Cette fiche décrit la technologie de la géothermie en identifiant les forces et faiblesses de cette technologie pour son intégration dans l'industrie : coûts de production de l'énergie, niveau de maturité et de diffusion, facilité d'intégration sur site, contraintes d'opérations et de maintenance, empreinte carbone.

Cette fiche permet de caractériser la technologie afin d'identifier les avantages qu'elle apporte, mais aussi les freins et difficultés à surmonter.

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.



www.ademe.fr



010723 - F7