

fiche d'information

Régénération, Sondes géothermiques – le nouveau standard

L'essentiel en bref

- Les pompes à chaleur avec sondes géothermiques ou capteurs solaires sont plus efficaces que les pompes à chaleur air-eau et permettent donc d'économiser de l'électricité et de l'argent.
- Pour que les sondes géothermiques puissent fonctionner durablement et avec une efficacité constante, elles doivent utiliser la technique dite de régénération.
- La régénération du sol peut être obtenue par un refroidissement passif ou actif, ainsi que par des composants supplémentaires tels que des aérorefrigérants.
- À partir d'environ 1000 m² de surface au sol, la régénération des sondes géothermiques est également rentable sur le plan économique, car elle permet d'économiser des compteurs de sonde.
- Lorsque le terrain est exigu et que les sondes sont espacées d'environ 5 à 10 m, la régénération permet d'éviter les interférences entre les sondes.

Les sondes géothermiques et l'utilisation de l'énergie géothermique – Explication des principes de base

L'intérieur de la Terre, le noyau terrestre, est une roche liquide dont la température avoisine les 1000 degrés. Cette chaleur provient encore de la formation de la Terre et ne s'échappe que très lentement vers la surface à travers les couches terrestres. Le flux de chaleur géothermique naturel qui en résulte n'est pas partout de la même ampleur. Il est très faible dans la plupart des endroits. En Suisse, il est d'environ 60 mW/m². La conductivité thermique du sous-sol détermine alors la chute de température vers la surface de la terre. Dans l'énergie géothermique, près de la surface à une profondeur < 1000 m, on suppose en Suisse un gradient de température dit de 3 K/100 m. Cela signifie que la température du sol dans les premiers 15 mètres varie selon la saison. Elle atteint alors une température constante d'environ 10 degrés et augmente de 3 degrés tous les 100 m (voir figure 2).

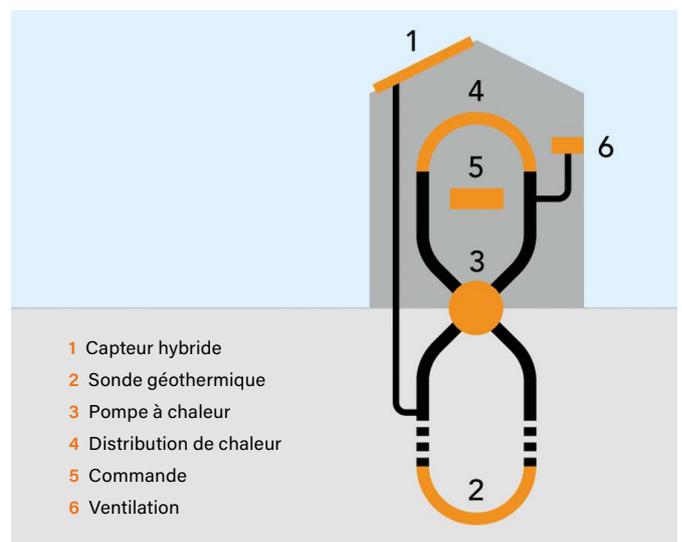


Illustration 1 : 1 Capteur hybride, 2 Sonde géothermique, 3 Pompe à chaleur, 4 Distribution de chaleur, 5 Commande, 6 Ventilation ; source : www.2sol.ch

Sondes géothermiques – les avantages et les bénéfices en pratique

Le grand avantage de l'utilisation de l'énergie géothermique comme source de chaleur pour la pompe à chaleur afin de chauffer les locaux et de fournir de l'eau chaude est la température élevée et constante par rapport à l'air extérieur. En conséquence, la pompe à chaleur fonctionne avec un coefficient de performance (COP) très élevé et nécessite donc moins d'électricité pour fournir de la chaleur. Voici un exemple de calcul :

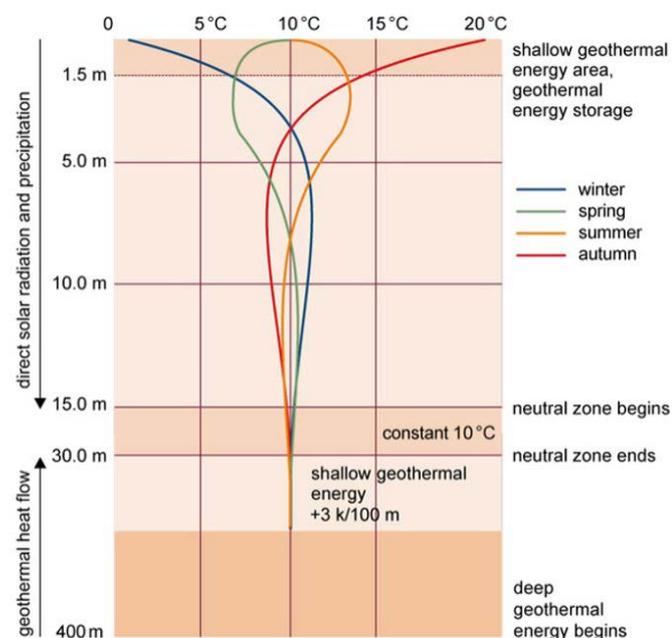


Figure 2 : Evolution de la température du sol en fonction de la profondeur.
Source : www.solarpraxis.de

La comparaison du tableau 1 montre que 4,6 unités de chaleur sont produites en utilisant le sol avec une unité d'électricité, alors que ce chiffre n'est que de 3,5 unités en utilisant l'air extérieur. En d'autres termes, cela signifie que la part de l'électricité pour la production de chaleur avec l'énergie géothermique n'est que de 21,7 %, mais de 28,5 % pour l'air extérieur. La part restante est constituée de chaleur environnementale renouvelable, provenant du sol ou de l'air extérieur. Cela signifie que la production de chaleur coûte 34 % de moins que celle de l'air extérieur lors de l'utilisation du sol.

Source de chaleur	Température de la source	Coefficient de performance COP-Chaleur ambiante (Ts=40°C)
Air extérieur	-5 °C	3.5
Terre	6 °C	4.6

Tableau 1 : Coefficient de performance de la pompe à chaleur en fonction de la source de chaleur

Régénération des sondes géothermiques – Pourquoi ?

Si vous comparez le flux de chaleur géothermique naturel de 60 mW/m² avec la demande de chaleur par m² dans une maison très bien isolée, le flux de chaleur géothermique est environ 250 fois plus petit. Cette comparaison montre qu'avec les sondes géothermiques, nous utilisons le sol pour chauffer les bâtiments, mais pas principalement comme source de chaleur, mais comme un très grand système de stockage de chaleur que nous déchargeons, mais qui doit également être rechargé. Pour illustrer cela, une représentation des températures autour d'une sonde géothermique lors de son utilisation (Figure 3). Ce que la figure 3 montre clairement, c'est une baisse de la température du sol loin de la sonde géothermique, à une distance allant jusqu'à 30 mètres. Dans ce contexte, on parle également d'un « entonnoir de température » de la sonde géothermique, ce qui ne signifie rien d'autre que le fait que la sonde géothermique influence l'environnement à l'intérieur de cet entonnoir et abaisse la température du sol. Cela permet également à ce type d'utilisation de la chaleur géothermique d'obtenir une partie de la chaleur d'un bien immobilier voisin et d'avoir un effet défavorable sur l'utilisation de l'énergie géothermique sur son bien. Afin de réduire ce refroidissement de l'environnement, il faut soit que les sondes géothermiques soient plus grandes et donc moins lourdement chargées, soit qu'elles soient régénérées. Ce dernier ne signifie rien d'autre que la partie de l'énergie qui a été prélevée sur le sol est renvoyée au sol.

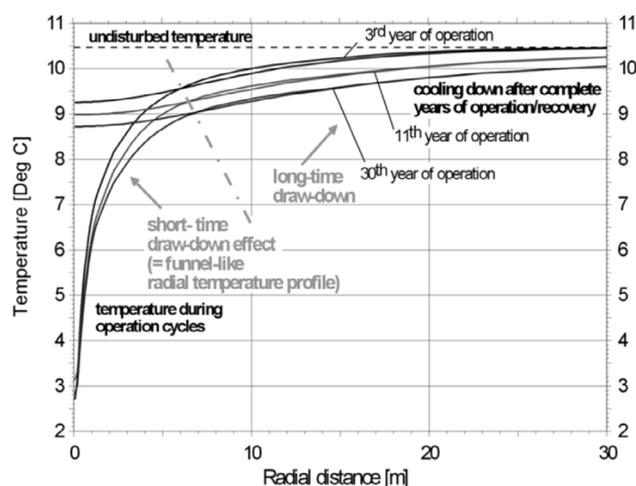


Figure 3 : Températures du sol autour d'une sonde géothermique lors de la réception de chaleur. Réduction de la température à court terme dans la zone d'influence immédiate de la sonde géothermique (rayon 0-5m) et dans la zone d'influence éloignée (rayon 5-30m).
Source : Rybach, L. (2001).

La conception classique des sondes géothermiques selon la norme SIA 384/6 nécessite un fonctionnement stable pendant 50 ans. Cette conception est donc basée sur l'extraction continue de la chaleur et donc le refroidissement du sol. Si, en revanche, les sondes géothermiques doivent être exploitées de manière durable, la régénéra-

tion est impérative. Dans la version actuelle de la norme de 2021, la conception pour un fonctionnement pendant 50 ans est considérée comme une exigence minimale. S'il est possible d'influencer mutuellement les sondes géothermiques des propriétés voisines, des exigences accrues s'appliquent, ainsi que des exigences de la planification énergétique officielle. Il en résulte une obligation de régénération des sondes géothermiques. Selon le niveau d'exigence, les degrés de régénération varient également de 20 à 100 %.

Régénération des sondes géothermiques – Comment ?

La régénération des sondes géothermiques peut se produire de différentes manières et a un impact sur la complexité du système de chauffage/refroidissement.

Refroidissement naturel : le refroidissement des bâtiments jouant un rôle de plus en plus important, les systèmes de pompes à chaleur avec sondes géothermiques présentent un grand avantage. Le sol peut être utilisé directement pour refroidir le bâtiment et peut ainsi être partiellement régénéré. Étant donné que le froid du sol est suffisant pour les bâtiments résidentiels, la pompe à chaleur n'a pas besoin d'être utilisée, c'est pourquoi on l'appelle « free cooling ».

Refroidissement actif avec PAC + PV : Si une capacité de refroidissement plus élevée ou une énergie de refroidissement plus élevée est nécessaire, un refroidissement actif avec des pompes à chaleur réversibles est également possible. Dans ce cas, les côtés source et évier de la pompe à chaleur sont intervertis afin que le bâtiment soit refroidi et que la chaleur résiduelle soit envoyée dans le sol pour la régénération de la sonde géothermique. De plus, la chaleur résiduelle peut être utilisée pour chauffer l'eau chaude sanitaire. Si vous complétez ce refroidissement actif avec de l'électricité photovoltaïque locale, vous disposez d'un système de refroidissement de bâtiment purement renouvelable avec régénération simultanée des sondes géothermiques. Si les besoins en refroidissement du bâtiment ne sont pas suffisants pour une forte régénération du sol, des sources de chaleur supplémentaires peuvent être utilisées, comme indiqué ci-dessous.

Les capteurs d'air extérieur peuvent être utilisés comme sources de chaleur supplémentaires pour la régénération active du sol / la production d'eau chaude sanitaire, mais permettent également une régénération directe du sol sans pompe à chaleur. Dans ce cas, la chaleur est extraite de l'air extérieur en été et amenée directement dans le sol.

Les capteurs PVT offrent une autre source de chaleur possible pour la régénération directe des sondes géothermiques. Cependant, ils peuvent également être combinés avec une pompe à chaleur de différentes manières ; que ce soit pour le refroidissement actif des bâtiments ou pour le préchauffage de l'eau sanitaire.

Prise en compte coûts/bénéfices de la régénération et de la contribution à la transition énergétique

La régénération des sondes géothermiques apporte des avantages non négligeables pour l'efficacité du système de pompe à chaleur, ainsi que pour le confort en été. Les avantages générés sont compensés par de petits coûts supplémentaires pour le système de chauffage et de refroidissement. Selon la conception du système, des coûts supplémentaires résultent de : - Hydraulique supplémentaire (conduites d'eau, vannes) - Composants supplémentaires (collecteur d'air extérieur / PVT) - S'il va au-delà du simple « free cooling », ajouts pour le système de commande

L'expérience des projets de construction résidentielle montre qu'à partir d'une certaine taille d'installation de 30 à 40 kW, ce qui correspond à peu près à un bien immobilier d'une surface au sol de 1000 m², la régénération vaut la peine tant sur le plan technique qu'économique. À partir de ces tailles d'installation, la longueur cumulée de la sonde est réduite par la régénération, de sorte que les coûts d'investissement sont même réduits avec la régénération. De plus, les grandes propriétés ne peuvent plus être exploitées de manière durable sans régénération et l'efficacité du système de chauffage diminue continuellement au fil du temps en raison du refroidissement du sous-sol. Le besoin de régénération devient d'autant plus pressant que les sondes sont proches les unes des autres. Par exemple, dans des conditions de terrain confiné et les petites distances de sonde qui en résultent (< 5–10 m), il faut s'attendre à une influence réciproque, qui peut être réduite par la régénération. De ce point de vue, la régénération des sondes géothermiques sécurise également leur valeur d'investissement en permettant un fonctionnement durable sur plusieurs générations. En l'absence de régénération, il peut être nécessaire de réinvestir après 50 ans, par exemple lors de l'achat/de la transmission d'un bien immobilier existant.

En raison de l'efficacité de fonctionnement plus élevée de la pompe à chaleur en hiver, la régénération apporte également une contribution importante à la transition énergétique. En effet, l'approvisionnement en électricité à partir de sources renouvelables est particulièrement exigeant en hiver et l'efficacité hivernale joue donc un rôle central.

La figure 4 montre une courbe de température moyenne exemplaire du sol autour d'une sonde géothermique (représentée jusqu'à une distance de 12 m, à des intervalles radiaux de 1,2 m) sur 50 ans. La figure 4 (a) montre le profil de température sans régénération, la figure 4 (b) avec une régénération de 40 %, la figure 4 (c) avec une régénération de 80 % (rapport entre l'apport d'énergie et l'épuisement de l'énergie). Sans régénération, la température moyenne du sol près de la sonde (en bleu) passe de 14,5 °C au début à -1,25 °C après 50 ans de fonctionnement. Avec la régénération, la température moyenne du sol après 50 ans est de 6 °C (b) et de près de 14 °C (c). Cela signifie que la régénération stabilise la température du sol et que l'on peut s'attendre à ce qu'elle atteigne des températures printanières élevées à long terme (également à l'avenir). Cela permet d'obtenir des gains correspondants en termes d'efficacité du fonctionnement de la pompe à chaleur et une facture d'électricité moins élevée (voir tableau 1).

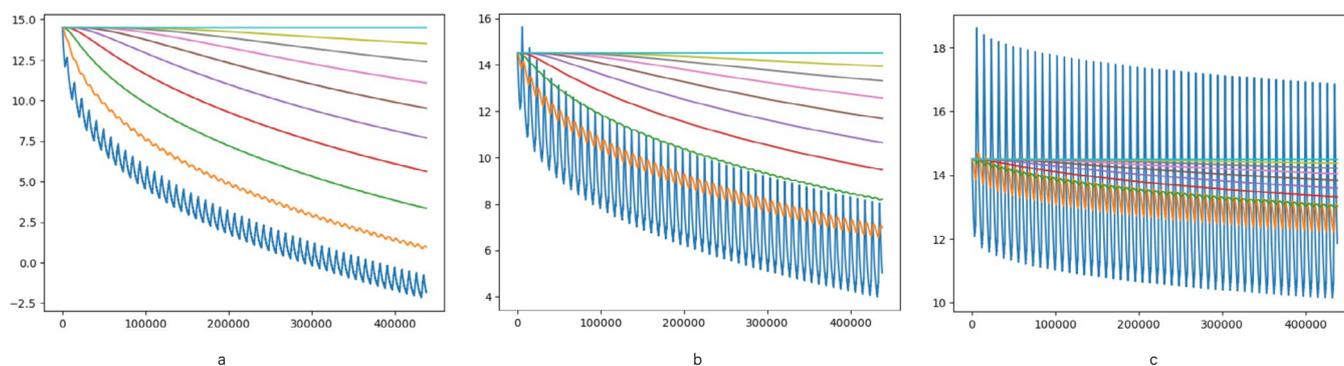


Figure 4 : Exemple de régénération d'une sonde géothermique pour un immeuble d'habitation avec des sondes géothermiques 2 x 300 m, demande de chauffage de 25 MWh, besoin en eau chaude de 18 MWh et capacité d'extraction maximale de la pompe à chaleur de 18 kW. Puissance de régénération (a) 0 kW, (b) 10 kW, (c) 20 kW.

Forum Stockage d'énergie Suisse

Le stockage de chaleur et d'électricité est une des clés de la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050. En tant que think tank et plate-forme de dialogue de l'économie, de la science et de la politique, le Forum Stockage d'énergie Suisse permet des échanges systématiques sur la diversité des possibilités de stockage, sur l'utilisation des accumulateurs d'énergie dans

l'intérêt du système et du climat, ainsi que sur les conditions-cadres et les modèles d'activité requis. Le Forum est organisé de façon intersectorielle – chaleur, électricité, mobilité – et indépendant de toute technologie. Le Forum stockage d'énergie Suisse est un groupe professionnel d'aeesuisse.