

Une chaleur agréable à 500 mètres de profondeur

Dans les zones urbaines à forte densité de construction, l'extraction de la chaleur géothermique pour le chauffage et l'eau chaude atteint parfois ses limites. En effet, l'espace pour la pose de sondes géothermiques y est restreint. Les Services Industriels de Lausanne sortent des sentiers battus : ils posent moins de sondes mais ils les posent plus en profondeur.



Avec un système de mesure sophistiqué en fibres de verre, le chef de projet Francesco Barone peut déterminer avec précision la température le long des sondes géothermiques (température du liquide transporteur ou de la roche environnante). Photo : B. Vogel

Dr. Benedikt Vogel, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)

À partir de 2017, le « quartier écologique » Plaines-du-Loup sera construit au nord de Lausanne. Sur une surface de 30 ha, des appartements seront construits pour 10 000 habitants et emplois. Les nouveaux bâtiments devront satisfaire aux normes de durabilité d'une société à 2000 Watts. Les planificateurs souhaitent atteindre cet objectif ambitieux, entre autres, grâce à l'utilisation de la géothermie : les sondes géothermiques collectent la chaleur géothermique par le biais de

pompes à chaleur pour la production nécessaire au chauffage et à l'eau chaude.

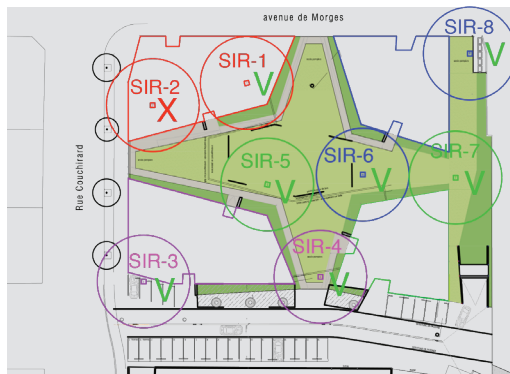
Les sondes géothermiques sont actuellement installées à une profondeur allant de 50 à 300 mètres. Mais l'espace n'est pas suffisant partout. L'espace manque particulièrement vite pour de grands champs de sondes dans les zones urbaines fortement construites. Lorsque le nombre de sondes reste limité sur un espace, seule l'utilisation de la chaleur géothermique y est possible. Pour obtenir une quantité d'énergie suffisante avec peu de sondes, ces dernières doivent être posées

2 Une chaleur agréable à 500 mètres de profondeur

plus en profondeur. En effet, pour chaque 100 mètres de profondeur supplémentaire, la température du sol augmente de 3°, le rendement énergétique croît proportionnellement. Cet état de fait a donné l'idée à la ville de Lausanne de proposer pour le concept énergétique du futur quartier écologique des Plaines-du-Loup des sondes géothermiques de 500 mètres de profondeur et plus.

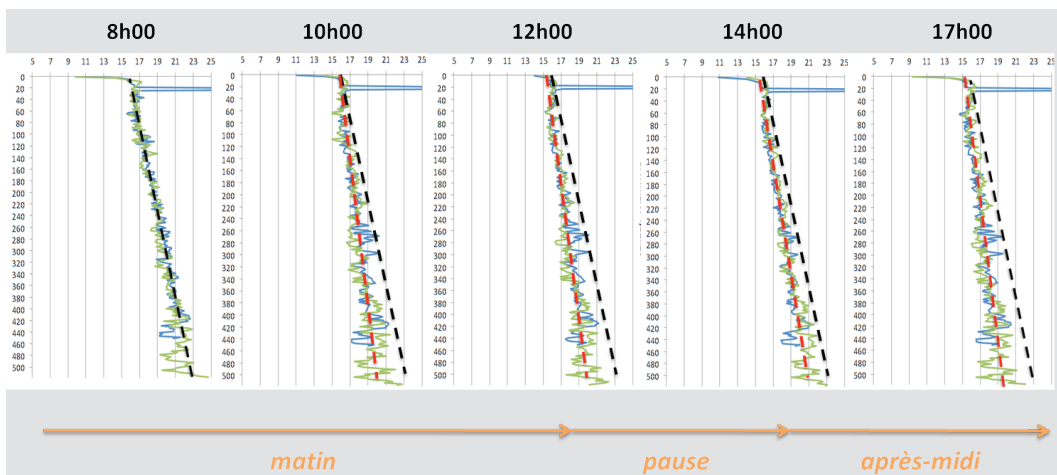
Projet pilote avec 104 logements

La Suisse a peu d'expérience concernant l'application de sondes géothermiques à de telles profondeurs. La ville de Lausanne a décidé d'explorer cette forme d'extraction de la chaleur dans le cadre d'un projet pilote avant de l'appliquer à l'échelle du nouveau grand ensemble immobilier. Un terrain communal fortement bâti construit au cours des trois dernières années sur l'Avenue de Morges fait office d'objet test. Les quatre immeubles respectant le standard Minergie-ECO comprennent 104 appartements avec des besoins en chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire d'environ 500 MWh_{th} par an. Chaque bâtiment dispose de son propre système de chauffage avec deux sondes géothermiques. Chacune de ces sondes est posée dans son propre forage à une profondeur de 500 mètres. Ainsi, les forages de Lausanne atteignent une profondeur inférieure au niveau de la mer.



La construction dans le centre-ville de Lausanne comprend quatre bâtiments disposés autour d'une cours aménagée en espace vert. Huit sondes géothermiques (SIR-1 à SIR-8) ont été installées à 500 mètres sous ce terrain. Graphique : SIL

Avec une paire de sondes par bâtiment, la puissance géothermique disponible est de 45 à 50 kW_{th} ; la pompe à chaleur génère une puissance thermique de 65 kW_{th} à partir de cette ressource. Le système énergétique est complété par des collecteurs solaires (sur un total de 140 m² répartis sur quatre toits) avec un rendement énergétique annuel de 70 MWh. L'intégration des collecteurs s'est avérée nécessaire car la législation vaudoise sur l'énergie impose que 30 % des besoins d'eau chaude sanitaire soient couverts par des énergies renouvelables pour les nouveaux bâtiments ; la chaleur ambiante (dont fait partie



Température du sol le long de deux sondes géothermiques (verte et bleue) en fonction de la profondeur : Après la mise en service des sondes géothermiques à 8 heures du matin, le sol refroidit d'env. 3° C au cours de la matinée. Pendant la pause du midi, le sol peut se régénérer légèrement. Graphiques de mesure : SIL

3 Une chaleur agréable à 500 mètres de profondeur

la géothermie) n'est pas considérée comme une énergie renouvelable pour la production d'eau chaude sanitaire dans la mesure où la pompe à chaleur fonctionne grâce au réseau électrique.

Les sondes géothermiques sont en service depuis la fin de l'année 2014. Elles ont donc déjà démontré leur performance en hiver. Pendant les mois estivaux, la chaleur géothermique est utilisée uniquement lorsque les collecteurs solaires ne couvrent pas à eux seuls les besoins en eau chaude.



Aperçu de la zone construite sur l'Avenue de Morges à Lausanne. Photo : B. Vogel

26,5° C à 500 mètres de profondeur

Le projet de Lausanne a été conçu et mis en œuvre par les services industriels de la ville (Services industriels Lausanne/SIL). Le chef de projet des SIL, Francesco Barone, guide les visiteurs dans les locaux techniques. L'ingénieur spécialisé dans l'énergie montre les tubes qui guident l'eau réchauffée dans le circuit des sondes géothermiques vers la pompe à chaleur installée dans le local. Suivi des mesures de température sur les sondes géothermiques : sur le chemin, l'eau qui circule à travers les sondes géothermiques passe de 14 à 18° C. À partir de cette différence de température, la pompe à chaleur génère de l'eau à 40° C pour le chauffage et l'eau chaude. Selon les mesures effectuées jusqu'à présent, la pompe à chaleur fonctionne avec une puissance respectable (COP) de 5 à 5.5 (mesurée en hiver dans une situation où les besoins en eau chaude étaient faibles). Cela

signifie que la pompe à chaleur génère une puissance thermique de 5 à 5.5 kW à partir d'une puissance électrique d'un kW. Si les sondes géothermiques étaient disposées à 200 mètres, la COP serait de 3 à 3.5.

« Dans les sondes géothermiques à 500 mètres de profondeur, l'eau ne passe pas seulement à 18° mais à 26,5° C », explique Barone, « toutefois, l'eau perd de nouveau de la chaleur à travers le sol lors du retour à la surface. » Cela signifie-t-il que la moitié du rendement thermique se perd sur le retour ? « En effet, l'eau se refroidit nettement », confirme Barone, « mais cette énergie n'est pas perdue. Elle réchauffe la roche environnante et y est stockée. » Ce stock de chaleur est le bienvenu. La terre autour des sondes fait office de puissant collecteur qui permet au système de se recharger. La chaleur ainsi stockée, comme le confirme les mesures effectuées jusqu'à présent, apporte une importante contribution au maintien à un niveau constant du rendement thermique du champ de sondes géothermiques pendant les années.

Cet effet compensateur est particulièrement utile sur le long terme. Les systèmes de chaleur géothermique ont en effet la caractéristique de refroidir la terre environnante au fil des années. Cela entraîne une dégradation du degré d'efficacité. Dans le cas du champ de sondes de Lausanne, parce qu'à 500 m, il est plus profond que les autres, la roche accumule relativement beaucoup de chaleur et freine ainsi le refroidissement. « Nos mesures de longue durée sur 10 ans et plus montreraient précisément comment la terre refroidit. Ainsi, notre projet fournit la base pour optimiser le nombre et la disposition des sondes géothermiques pour les futurs projets », ajoute Barone pour esquisser une question essentielle du projet pilote de Lausanne.

Données de températures exactes

En règle générale, les affirmations concernant les températures dans la terre se basent sur des simulations. Ce n'est pas le cas dans le cadre du projet Sirius, nom du projet pilote

4 Une chaleur agréable à 500 mètres de profondeur

de Lausanne. Ici, des valeurs de température dans les forages sont mesurées de manière exacte. Grâce au soutien de l'Office fédéral de l'énergie, les huit sondes géothermiques ont pu être équipées d'une infrastructure de mesure en fibres de verre. Ce dispositif de mesure permet de déterminer la température le long des sondes géothermiques disposées à 500 mètres de profondeur. Les points de mesure se situent à intervalles d'un mètre. Cette distance permet de mesurer en détail le champ de sondes complet sur un total de 4000 mètres de longueur (8 x 500 mètres) toutes les 20 minutes et ce, sur la durée totale du projet, soit dix ans et plus. Les données de mesure permettent de saisir avec précision le réchauffement de l'eau dans les sondes géothermiques pendant sa circulation et de mieux suivre les modifications au fil des années. « À ma connaissance, c'est la première fois qu'une sonde géothermique et son comportement thermique sont mesurés de manière aussi précise en Suisse », affirme Francesco Barone.

Des résultats éloquentes ont déjà été acquis au cours des premiers mois de la campagne de mesure. Ils montrent comment la terre autour du champ de sondes commence par refroidir dans les heures après le démarrage du matin (d'environ 3° C) car de la chaleur se perd dans la terre pour se régénérer partiellement plus tard pendant la pause de midi (cf. graphique p. 2). Cette régénération s'observe également la nuit lorsque les sondes ne transportent aucune chaleur géothermique.

Pas encore compétitif

Le système énergétique avec ses huit sondes géothermiques et ses collecteurs solaires (sans tenir compte de l'infrastructure de mesure des sondes géothermiques) a coûté 1,2 millions de francs. Avec ces frais d'investissement, l'utilisation de la chaleur géothermique n'est pas encore compétitive face aux chauffages au gaz. Les promoteurs du projet de Lausanne espèrent une amélioration de la compétitivité de ce type d'installations. Ils considèrent leur projet comme une contribution visant à rendre des champs de sondes de 500 ou même

800 mètres de profondeur commercialisables (cf. zone texte). Le système énergétique devra passer le test de vérité avec succès afin d'être appliqué à partir de 2020 aux Plaines-du-loup pour l'alimentation de tout un quartier de nouveaux bâtiments. Il est également clair que l'application des sondes géothermiques à de telles profondeurs n'est judicieuse que pour les gros projets immobiliers et les quartiers fortement construits. Elles sont tout simplement trop puissantes pour les maisons individuelles.

Avec leur projet géothermique, les responsables des Services Industriels Lausanne souhaitent également envoyer un message au public suisse. Il s'agit du message suivant : l'utilisation de la chaleur géothermique progresse en dépit des revers qu'ont connus les projets géothermiques à Bâle et Saint-Gall. L'utilisation directe de l'eau chaude issue des grandes profondeurs à des fins de chauffage et de génération de courant, comme les deux villes l'avaient prévu, n'est qu'une partie relativement petite de ce qui est possible aujourd'hui en termes d'utilisation de la chaleur souterraine. Quatre cinquième de la chaleur géothermique générée en Suisse proviennent de la chaleur géothermique collectée par les sondes et portée à la température souhaitée par les pompes à chaleur. Ces systèmes de chauffage ne représentent aucun risque de tremblement de terre et représentent un investissement raisonnable.

- » Vous trouverez une précédente étude de l'OFEN sur les champs de sondes en profondeur sur : <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=00000011135.pdf&name=000000290895>
- » Rudolf Minder, directeur du programme de recherche BFE relatif à la géothermie, communique des informations supplémentaires : rudolf.minder@bluwin.ch
- » Vous trouverez d'autres articles spécialisés concernant les projets phares et de recherche, les projets pilotes et les démonstrations dans le domaine de la géothermie sur : www.bfe.admin.ch/CT/geothermie

Creuser jusqu'à 500 mètres de profondeur de manière économique

Les sondes géothermiques plus profondes ont un plus grand rendement énergétique mais les coûts de forage sont élevés. Le projet pilote des Services Industriels Lausanne a recherché à réduire les coûts en appliquant une technique de forage habituellement utilisée pour la pose des sondes géothermiques à 300 mètres de profondeur. L'implantation des huit sondes géothermiques dans le centre-ville de Lausanne a pu être effectuée sans montage d'une tour de forage et sans aménagement d'une plateforme en béton comme c'est le cas habituellement pour les forages géothermiques. Un traitement spécial des boues n'a pas été nécessaire. L'acquisition d'expérience a permis de réduire de moitié la durée de forage pour la dernière sonde par rapport à la première sonde, donc à deux semaines.

Les profondeurs de forage de 500 mètres et plus présentent un avantage supplémentaire : à cette profondeur, les sondes géothermiques peuvent être exploitées à une température nettement supérieure à 0° C. Ainsi, il est inutile d'ajouter d'agent antigel, en général du glycol coûteux, dans l'eau qui fait office de liquide transporteur. Selon les informations des responsables SIL, les économies réalisées ainsi (25 000 à 30 000 fr.) correspondent à environ 8 % des frais engendrés par les sondes géothermiques.

Dans le cadre de leur projet, les pionniers des sondes géothermiques profondes de Lausanne ont également connu quelques revers. À 300 mètres de profondeur, ils se sont trouvés confrontés à une couche géologique difficile. Afin d'éviter les effondrements, les puits de forage ont dû être stabilisés avec des tubes à une profondeur de 370 mètres. Une des huit sondes avec ses deux circuits d'eau s'est trouvée inutilisable, probablement en raison d'un effondrement ; un chauffage au gaz a dû être monté dans le bâtiment concerné pour la remplacer. En même temps, le projet montre que le prolongement des sondes géothermiques à 500 mètres de profondeur et les pressions d'env. 50 bar est réalisable avec des matériaux standard. Pour les sondes 1 à 3, les ingénieurs ont appliqué des tubes avec une pression nominale de 16 bar (PN16). Afin de réduire le risque de dommages, ils ont opté pour des tubes encore plus résistants à la pression (PN60) pour les sondes 4 à 8. BV

L'OFEN soutient des projets pilotes, de démonstration et les projets phares

Le projet Sirius des Services Industriels Lausanne fait partie des projets pilotes et de démonstration avec lesquels l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) soutient l'application économique et rationnelle de l'énergie et l'utilisation des énergies renouvelables. En outre, l'OFEN soutient une série de projets phares également orientés sur les objectifs de la stratégie énergétique 2050. L'OFEN soutient des projets pilotes, de démonstration et de projets phares avec 40 % des dépenses imputables. Des requêtes peuvent être déposées à tout moment.

www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration
www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH- 3063 Ittigen, Adresse postale: CH-3003 Berne
Téléphone +41 (0)58 462 56 11, Fax +41 (0)58 463 25 00
cleantech@bfe.admin.ch, www.bfe.admin.ch