

# L'ENERGIE DE REFROIDISSEMENT ISSUE DU SOL

La Suisse est leader de l'utilisation de systèmes de sondes géothermiques pour le chauffage et la production d'eau chaude. Afin de permettre une utilisation durable du sous-sol, il est recommandé d'utiliser ces systèmes également pour le rafraîchissement (geocooling). À titre d'exemple, la Haute école spécialisée de la Suisse italienne (SUPSI) a étudié le potentiel du geocooling sur un bien immobilier de Lugano. Cette étude a démontré que le geocooling permettait de régénérer de façon efficace le sous-sol en été, après que l'on ait extrait la chaleur en hiver; de plus, les bâtiments peuvent ainsi être rafraîchis à un niveau de température agréable, tout en consommant relativement peu d'énergie électrique. Si le taux d'humidité élevé de l'air au cours des deux années d'exploitation a cependant posé quelques problèmes, l'optimisation de l'installation a finalement permis d'améliorer le confort des habitant(e)s.



Le projet géocooling suscite un grand intérêt dans les cercles d'experts. Marco Belliardi explique l'installation aux visiteurs. Photo: SUPSI

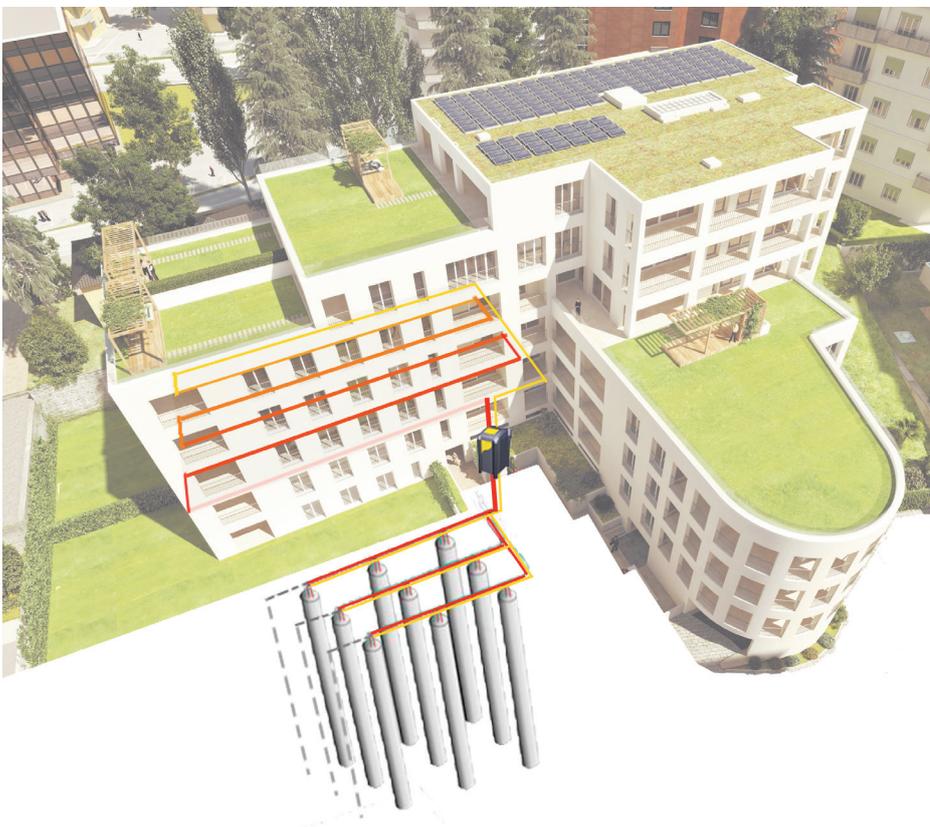
La valorisation de l'énergie du sous-sol à l'aide de pompes à chaleur sol/eau couplées à des sondes géothermiques est très répandue en Suisse. On compte environ 106'000 pompes à chaleur sol/eau à travers toute la Suisse, pour le chauffage et la production d'eau chaude. Depuis quelques années, ces sondes géothermiques ne sont plus uniquement utilisées pour l'approvisionnement en chaleur, mais également pour le rafraîchissement des locaux d'habitation et des locaux commerciaux. Il s'agit en particulier des nouvelles installations, qui sont de plus en plus souvent utilisées pour le géocooling. On estime à plusieurs centaines les biens immobiliers rafraîchis ainsi par géocooling, en Suisse.

Environ dix installations sont en service dans le Tessin. L'une d'entre elles se situe à Lugano (quartier Besso), et alimente, en chaleur et en énergie de refroidissement, un bâtiment d'habitation Minergie de 46 appartements. Initialement, 17 sondes géothermiques avaient été prévues, et ces dernières n'étaient destinées qu'à l'alimentation en chaleur de cette propriété ayant une surface de référence énergétique de 5'700 m<sup>2</sup>. Le maître d'ouvrage a ensuite décidé d'utiliser les sondes également pour le rafraîchissement du bâtiment pendant les mois d'été. Celles-ci exploitent la différence de

température naturelle entre la température intérieure (élevée) et celle du sol (plus basse). «Non seulement cette technologie a rendu superflue l'intégration d'une pompe à chaleur réversible (autorisée dans certains cantons, comme le Tessin, et dans certaines conditions), mais en plus, la chaleur extraite des locaux en été, est restituée au sous-sol, ce qui permet de régénérer le champs de sondes géothermiques», affirme Marco Belliardi, chercheur à la SUPSI, qui réalise un suivi scientifique de l'installation de géocooling. «La régénération du sous-sol pendant les mois d'été a permis, dans un premier temps, de réduire le nombre de sondes de 17 à 15. De plus, suite à une étude géologique indiquant des conditions du sous-sol favorables, 13 sondes se sont finalement avérées suffisantes. La réduction de 17 à 13 sondes a permis des économies de l'ordre de 70'000 à 80'000 francs.»

### **Le géocooling atteint un coefficient de performance de 30**

Le nouveau bâtiment résidentiel au cœur de Lugano est habité depuis 2014. Depuis 2016 et jusqu'à fin 2019, le chercheur de la SUPSI, Marco Belliardi, dirige le projet de suivi de l'installation de chauffage et de refroidissement, projet qui est financé par l'Office fédéral de l'énergie dans le cadre du



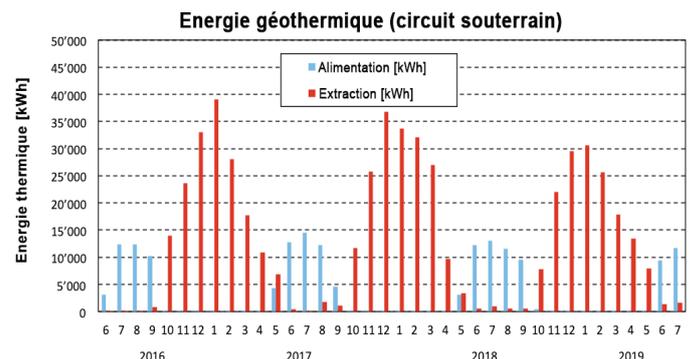
Le bien immobilier «City Residence» de Lugano avec 46 appartements. Pour le chauffage (hiver) et le rafraîchissement (été) du bâtiment, 13 sondes géothermiques ont été installées à une profondeur jusqu'à 200 mètres sous la construction, où la température est d'env. 14,5 °C. Chaque sonde géothermique se compose d'un tube à double guidage inséré dans le trou de forage. Le trou de forage est ensuite rempli avec d'une sorte de ciment (bentonite). Illustration: SUPSI

programme Pilote et démonstration. Le suivi scientifique se divise en deux phases: la première s'étend de juin 2016 à juillet 2018, la seconde d'août 2018 à octobre 2019. Ces deux phases résultent du fait que l'installation a été optimisée au cours de l'été 2018, et que l'efficacité de ces mesures d'optimisation ont fait l'objet d'un second suivi.

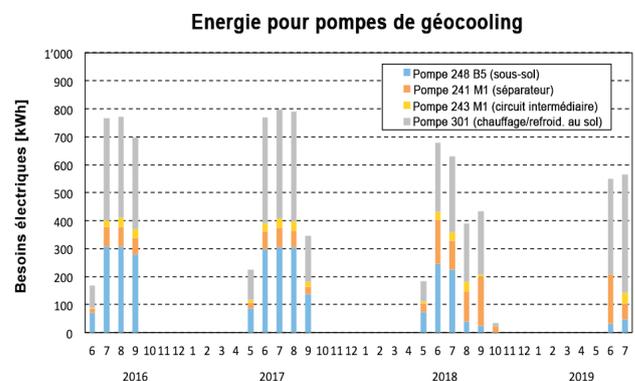
Première observation importante du projet: le géocooling permet le rafraîchissement du bâtiment de Lugano avec une consommation relativement faible d'énergie électrique. L'été 2017 illustre bien ce propos: pendant la saison chaude, 47 MWh de chaleur ont été extraits du bâtiment par géocooling, générant une consommation d'électricité d'environ 3 MWh pour les pompes de circulation. Il en résulte un coefficient de performance de 15 en mode rafraîchissement (seasonal energy efficiency ratio/SEER) ou, pour simplifier: l'énergie de rafraîchissement est 15 fois supérieure à l'énergie électrique utilisée. Cette valeur est même passée à 30 après l'optimisation de l'installation au cours de l'été 2018 (meilleure régulation des pompes de circulation). Des mesures réalisées en été 2019 tendent à confirmer cette valeur. «L'efficacité énergétique du géocooling est ainsi dix fois meilleure que celle d'un groupe froid à compression mécanique, lequel présente en règle générale un SEER de 3 à 4», affirme Marco Belliardi. «Si nous pouvions réguler toutes les pompes comme nous le souhaitons, il serait même possible d'atteindre un SEER de 40 dans le bâtiment étudié.» Ceci dit, il convient de préciser que de nombreux cantons interdisent l'utilisation de groupes froid pour les bâtiments de logement.

### Problèmes de température trop basse, et d'eau de condensation

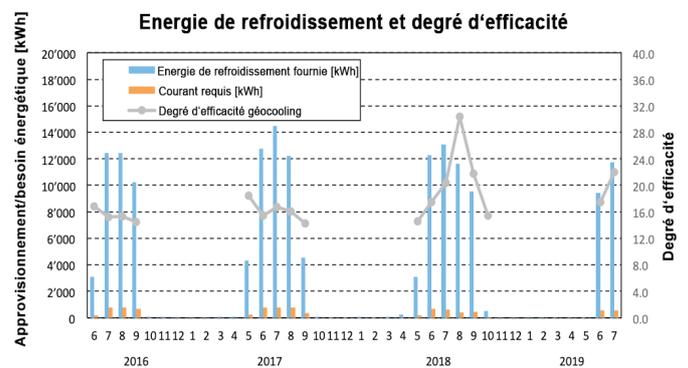
Seconde observation des chercheurs tessinois: le géocooling permet de respecter les prescriptions de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes (SIA) concernant la température ambiante (norme SIA 382/1) (cf. graphique p.5). Alors que les prescriptions de la SIA ont pour ainsi dire été dépassées, par moment, pendant les deux périodes estivales 2016 et 2017, la puissance de rafraîchissement de l'installation a pu être réduite au cours de l'optimisation réalisée en été 2018, et la température de départ dans le circuit au sol a été augmentée d'environ 18 à 20 °C. Parallèlement, la température ambiante a pu être augmentée d'environ 2 degrés en moyenne. L'augmentation de la température a eu un effet secondaire bienvenu: dans la mesure où le géocooling ne comprend pas de déshumidification de l'air, l'humidité relative de l'air dans les appartements était parfois trop élevée au cours des deux étés 2016 et 2017 (jusqu'à 90% d'humidité relative pour une



Le graphique montre la quantité d'énergie extraite du sol (en rouge) à l'aide de sondes géothermiques pendant le semestre d'hiver. Pendant la saison chaude, les appartements sont rafraîchis par géocooling et l'énergie ainsi obtenue est utilisée pour la régénération du sous-sol (en bleu). Graphique: SUPSI



Le projet géocooling ne requiert aucune pompe à chaleur pour le rafraîchissement des appartements, mais de l'énergie électrique pour l'exploitation des pompes de circulation des circuits de saumure et d'eau. La pompe 301 (grise) est responsable de la recirculation de l'eau dans le sol de l'appartement étudié. Pour des raisons techniques, la pompe ne peut pas être complètement régulée en fonction des besoins et présente une consommation élevée. Graph: SUPSI



Le graphique met la puissance de rafraîchissement (en bleu) en relation avec l'électricité consommée pour les pompes de circulation (en orange). En termes d'efficacité (en gris), le géocooling a atteint une valeur de pointe en août 2018 avec une valeur de 30 grâce aux mesures d'optimisation. En juin et juillet 2019, l'efficacité n'était pas aussi élevée que possible dans un premier temps car des interventions techniques pour la maintenance des pompes de circulation ont eu lieu pendant cette période. Graphique: SUPSI

température ambiante de 22 °C), ce qui a altéré le confort et engendré des problèmes de condensation au sol. Avec l'augmentation de la température ambiante, l'humidité relative de l'air a pu être réduite, améliorant ainsi le confort des habitants.

En outre, grâce à cette étude, les chercheurs de la Haute école du Tessin ont pu tirer des enseignements qui pourront, à

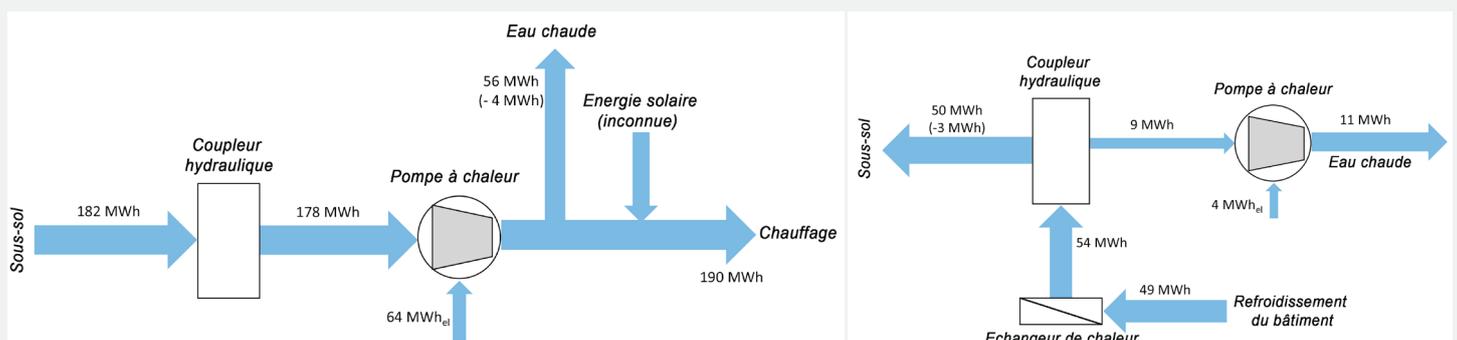
l'avenir, être utiles aux planificateurs pour le dimensionnement correct des installations de géocooling. Par exemple, pour l'installation réalisée à Lugano avec un champ de 13 sondes géothermiques, ils ont calculé une régénération active d'environ 25%. Cela signifie qu'environ un quart de l'énergie extraite du sous-sol en hiver à des fins de chauffage, est restituée en été dans grâce au géocooling (voir également le graphique p.3 en haut à ce sujet). Ceci est important, car,

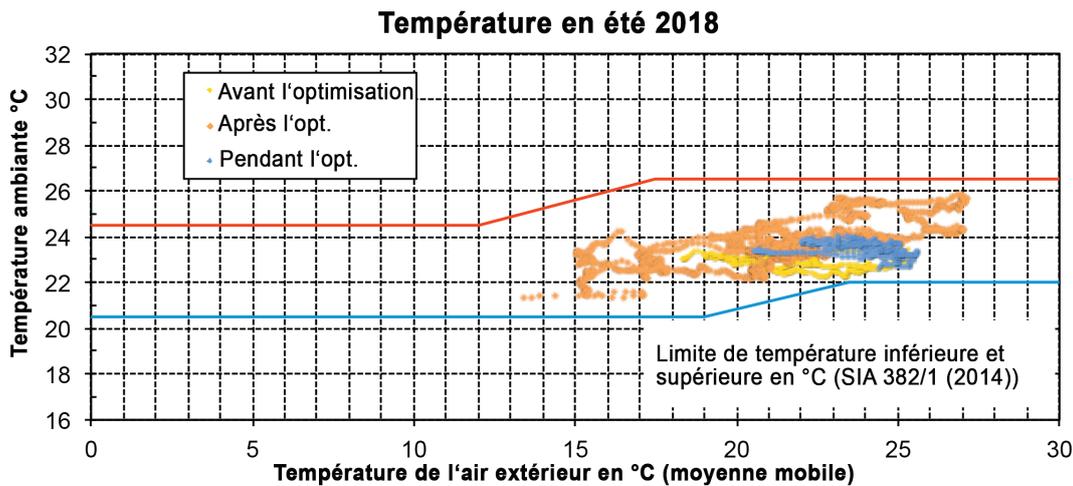
## CHAUFFER EN HIVER, RAFRAICHIR EN ETE

Les 13 sondes géothermiques sous le bâtiment d'habitation à Lugano s'étendent jusqu'à une profondeur de 200 mètres. Les sondes géothermiques sont constituées d'un tube double U en polyéthylène d'environ 40 mm d'épaisseur avec lequel un mélange eau-glycol (saumure) est circulé dans le sol et remonte à la surface à une température d'environ 15 °C. Le mélange d'eau glycolée peut être utilisé à des fins de chauffage en hiver et de refroidissement en été. En hiver, une pompe à chaleur sol/eau extrait la chaleur de l'eau glycolée et chauffe ainsi l'eau du circuit de chauffage au sol, à une température de 35 à 40 °C. En été, la chaleur du circuit de chauffage au sol (qui fonctionne alors comme circuit de rafraîchissement) est transférée à la saumure, et aucun groupe froid n'est nécessaire (refroidissement passif). L'eau du circuit de chauffage au sol circule ainsi avec la température idoine, selon qu'on est en mode chauffage ou rafraîchissement.

Les deux graphiques montrent les flux d'énergie pour la saison de chauffage 2017/2018 (cf. graphique à gauche) ainsi que pour l'été 2018 (cf. graphique à droite). Toutes les valeurs indiquées sont des valeurs mesurées (remarque: les apparentes erreurs de bilan énergétique sont liées au fait, d'une part, que les mesures indiquées sont des mesures instantanées, et, d'autre part, à des phénomènes inhérents à la technique de mesures). Les flux énergétiques avec le signe moins représentent des flux qui vont en sens inverse. L'apport énergétique des panneaux solaires sur le toit n'a pas pu être mesuré, car il n'y a pas de capteurs. On estime à environ 50% la part des besoins d'eau chaude satisfaits par ces apports solaires durant la période chaude de l'année. En hiver ces apports sont négligeables, raison pour laquelle ils ne sont pas représentés sur le graphique correspondant. La chaleur des capteurs solaires (40 à 60 °C) ne peut pas être utilisée pour la régénération du champ de sondes, car sinon le sous-sol serait trop chaud pour servir au rafraîchissement des locaux.

En principe, toutes les pompes à chaleur sol/eau sont adaptées pour le géocooling. Environ 100'000 pompes à chaleur de ce type sont en service en Suisse. De plus, les quelque 6'000 installations fonctionnant avec de l'eau de nappe, qui sont installées en Suisse, seraient, théoriquement, également adaptées. Toutefois, selon les cantons, il n'est pas, ou que sous des conditions très strictes, autorisé de restituer l'eau réchauffée dans la nappe souterraine. BV





Le graphique illustre l'effet de l'optimisation réalisée en été 2018 sur l'installation de géocooling de Lugano: la température à l'intérieur du bâtiment a pu être augmentée, notamment lorsque la température extérieure était particulièrement élevée, pour que les habitants puissent s'habituer à une température intérieure plus élevée. Les habitants ont perçu l'augmentation de la température comme une amélioration du confort. Les données représentées sur le graphique se basent sur des mesures de températures réalisées dans un des 46 appartements. Graphique: SUPSI

comme le prévoit la norme SIA384/6 actuellement en révision, une régénération suffisante des champs de sondes géothermiques, notamment dans les zones urbaines et résidentielles, devra être garantie à l'avenir. La régénération est essentielle pour éviter la baisse graduelle de la température moyenne du sous-sol au fil des années, ce qui, à long terme, nuirait à l'extraction de chaleur en hiver.

#### Faibles coûts d'investissement et d'exploitation

Aujourd'hui, les constructions réalisées selon le standard Minergie-P, notamment les bâtiments de bureaux, ont parfois le problème qu'en été, les apports thermiques, qui sont liés entre autres aux grandes surfaces vitrées, ne peuvent plus être correctement évacués du bâtiment - une évolution qui inquiète les experts. «Nous avons besoin de bâtiments qui soient efficaces d'un point de vue énergétique, sur l'ensemble de l'année. A cet effet, le sol peut jouer un rôle essentiel en tant que stockage énergétique. Dans ce contexte, le géocooling est une option intéressante pour régénérer le sol tout en proposant des avantages intéressants aux occupants d'un bâtiment», affirme Dr Céline Weber, directrice du programme de recherche Géoénergie de l'Office fédéral de l'énergie.

Le projet du Tessin est aussi riche en enseignements qui peuvent être utiles également pour la Suisse alémanique et la Suisse romande, même si les résultats liés au dimensionnement des installations ne peuvent pas être repris tels quels. Le constat suivant fait par les chercheurs de Lugano devrait cependant être pris en compte dans les futurs projets: dans

le bâtiment étudié à Lugano, l'interlocuteur des chercheurs était un gérant, lequel devait discuter de toutes les modifications importantes sur l'installation de chauffage et de rafraîchissement avec les 46 propriétaires du bien immobilier, ce qui n'était possible qu'à l'occasion de la réunion annuelle des propriétaires. «C'est pourquoi la planification de telles installations doit être optimale dès le départ, car ultérieurement, c'est-à-dire en cours d'exploitation, les optimisations sont parfois extrêmement difficiles à mettre en œuvre», affirme Marco Belliardi.

## L'OFEN SOUTIEN DES PROJETS DE DEMONSTRATION

Le suivi de la Haute école de la Suisse italienne (SUPSI) pour le projet de géocooling de Lugano fait partie du programme «Projets pilotes et de démonstration». Grâce à ce programme, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) encourage le développement de technologies et de solutions novatrices proches du marché, favorisant une consommation énergétique économe et efficace et le recours aux énergies renouvelables. L'OFEN soutient les projets pilotes, de démonstration et les projets phares en subventionnant jusqu'à 40% des surcoûts non amortissables. Des demandes de subvention peuvent être adressées à l'OFEN tout moment.

➔ [www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration](http://www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration)

- Tous **renseignements** par rapport à ce projet peuvent être obtenus auprès de Dr Céline Weber (cweber[at]focus-e.ch), directrice du programme de recherche en Géoénergie, sur mandat de l'OFEN.
  
- Tous les **articles** concernant les projets de recherche, les projets pilote et démonstration, ainsi que les projets phares, dans le domaine de la géothermie, sont disponibles sur [www.bfe.admin.ch/ec-geothermie-fr](http://www.bfe.admin.ch/ec-geothermie-fr).