

QUAND LE BÂTIMENT FAIT OFFICE DE COLLECTEUR DE CHALEUR

Si les sondes géothermiques sont posées de manière étanche, le sol se refroidit peu à peu au fil des années. Il est possible de lutter contre le refroidissement en régénérant le sol pendant les mois d'été avec la chaleur générée par le refroidissement actif des bâtiments associés. Une étude de la Haute école spécialisée de Suisse orientale et de Lucerne montre le potentiel et les limites de cette approche.

Pour la fourniture de chauffage et d'eau chaude, les pompes à chaleur sont aujourd'hui une technologie privilégiée. Toutefois, la densité croissante des pompes à chaleur eau glycolée/eau entraîne désormais un nouveau problème: si les sondes géothermiques sont posées de manière étanche, le sol se refroidit peu à peu au fil des années. La moyenne annuelle de la température du sol risque ainsi de descendre en dessous de $-1,5^{\circ}\text{C}$. Cette valeur a été fixée par la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) afin d'exclure le gel de la terre et les dommages dus au gel. Un autre problème est que les pompes à chaleur sont moins efficaces lorsque la température du sol est plus basse.

Chaleur résiduelle du refroidissement actif

« Actuellement, le refroidissement du sol n'est pas encore un problème aigu, mais aujourd'hui déjà, dans certaines régions, les sondes géothermiques sont posées de manière si dense qu'il faut s'attendre à un net refroidissement au cours des 50



Les sondes géothermiques sont posées à une profondeur de 50 à 300 mètres. Ils sont constitués de tuyaux en plastique parallèles dans lesquels circule un mélange d'eau et d'antigel (saumure). Photo: LSS Bohr AG

années de durée de vie de ces systèmes de chauffage », explique Florian Ruesch, scientifique à l'Institut SPF de technique solaire de la Haute école spécialisée de Suisse orientale (OST). Cette évolution peut être évitée si le sol autour des sondes géothermiques est régénéré par un apport de chaleur pendant les mois d'été. Différentes approches sont disponibles à cet effet, par exemple la chaleur provenant de capteurs solaires ou de rejets thermiques issus de processus industriels.

Une autre technologie est le géocooling (ou « freecooling ») : dans ce cas, la chaleur provient de bâtiments réchauffés par la chaleur estivale. La chaleur des pièces intérieures est absorbée par l'eau qui circule dans les tuyaux du chauffage au sol. Cela permet de refroidir les pièces. La chaleur arrive dans les sondes géothermiques via un échangeur de chaleur et réchauffe le sol refroidi autour des sondes. Ce procédé permet d'atteindre un taux de régénération de 10 à 20% ; les sondes géothermiques récupèrent donc jusqu'à un cinquième de la chaleur qui a été extraite du sol pendant les mois d'hiver. Dans la mesure où ce procédé ne nécessite qu'un échangeur de chaleur, mais pas de machine frigorifique, on parle de « refroidissement passif ».

Avec le changement climatique, le nombre de jours de canicule pendant les mois d'été devrait augmenter à l'avenir. Il en résulte un excédent de chaleur qui pourrait être utilisé pour régénérer les sondes géothermiques. Pour ce faire, le « refroidissement passif » ne suffit pas. Il faut un système de refroidissement « actif » qui permette d'extraire plus d'énergie du



Zurich-BinZ est l'un des quatre quartiers urbains sur lesquels les chercheurs des hautes écoles spécialisées OST et HSLU ont basé leurs simulations de régénération de sondes géothermiques. Photo: B. Vogel

DE PLUS EN PLUS IMPORTANTE

L'utilisation de pompes à chaleur eau glycolée/eau pour fournir du chauffage et de l'eau chaude est de plus en plus importante. La ville de Zurich s'attend à ce que de telles pompes à chaleur fournissent à l'avenir plus de 20% de la chaleur. Si l'énergie géothermique est utilisée de manière intensive, il en résulte des densités de prélèvement d'environ 20 à 100 kWh/m². La nouvelle norme SIA 384/6 (2021) exige qu'à partir d'une densité d'extraction de 8 kWh/m² par rapport à la surface du terrain, les sondes géothermiques soient régénérées ou prolongées. Une régénération est obligatoire à partir d'une densité d'extraction d'environ 33 kWh/m². La poursuite du développement des systèmes de chauffage avec des pompes à chaleur et des sondes géothermiques aura ainsi pour conséquence que les sondes géothermiques devront être régénérées à grande échelle, en particulier dans les zones urbaines.

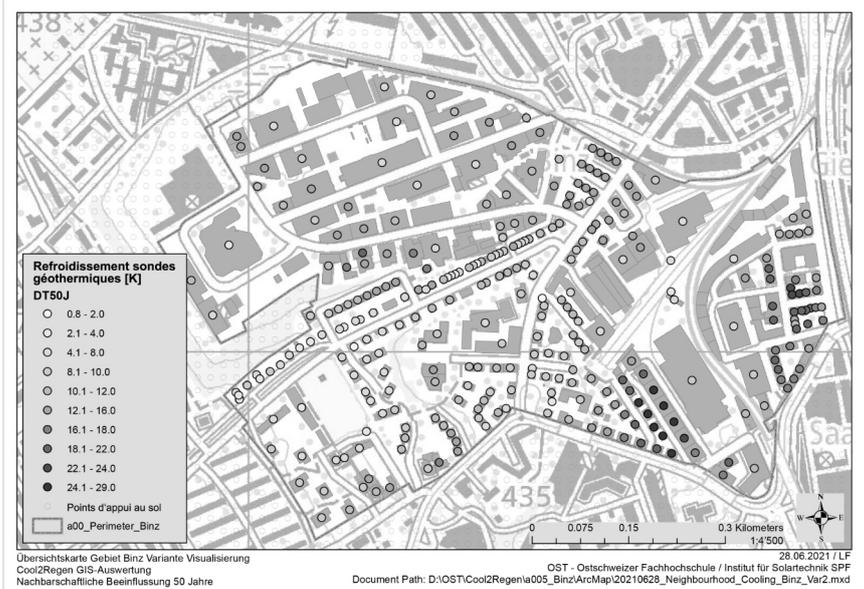
bâtiment. La mise en œuvre technique est possible par exemple avec une pompe à chaleur qui peut fonctionner de manière « inversée » (réversible) : en mode de fonctionnement réversible, la pompe à chaleur ne fournit pas de chaleur de chauffage pour le bâtiment, mais de la chaleur de régénération pour le sol.

Des besoins en refroidissement croissants

C'est ce concept que Florian Ruesch a étudié avec une équipe de l'OST et de la Haute école de Lucerne (HSLU). Comme les pompes à chaleur disponibles dans le commerce peuvent de plus en plus souvent fonctionner de manière réversible, leur utilisation pour le refroidissement des bâtiments est quasiment évidente. Pour faire fonctionner les pompes à chaleur, il est possible d'utiliser le surplus d'électricité photovoltaïque (PV) que l'on peut attendre en été si le développement du PV se poursuit. « Dans les scénarios d'avenir considérés, on peut s'attendre à ce que, au niveau du quartier, la quantité d'électricité photovoltaïque produite localement pendant les mois d'été dépasse nettement les besoins en électricité pour le refroidissement actif des bâtiments et qu'il existe une très bonne corrélation temporelle entre ces grandeurs », constatent les auteurs du rapport final du projet.

Les chercheurs de l'OST et de la HSLU ont calculé, à titre d'exemple, l'approvisionnement en électricité photovoltaïque

Si tous les bâtiments du quartier de Zurich-Binz étaient chauffés par des sondes géothermiques, le sol se refroidirait considérablement au cours des 50 prochaines années, comme le montre le graphique. Si l'on inclut le refroidissement dû à la propre sonde, le refroidissement est encore plus prononcé. Le refroidissement du sol peut être évité en régénérant les sondes géothermiques. Graphique: rapport final Cool2Regen

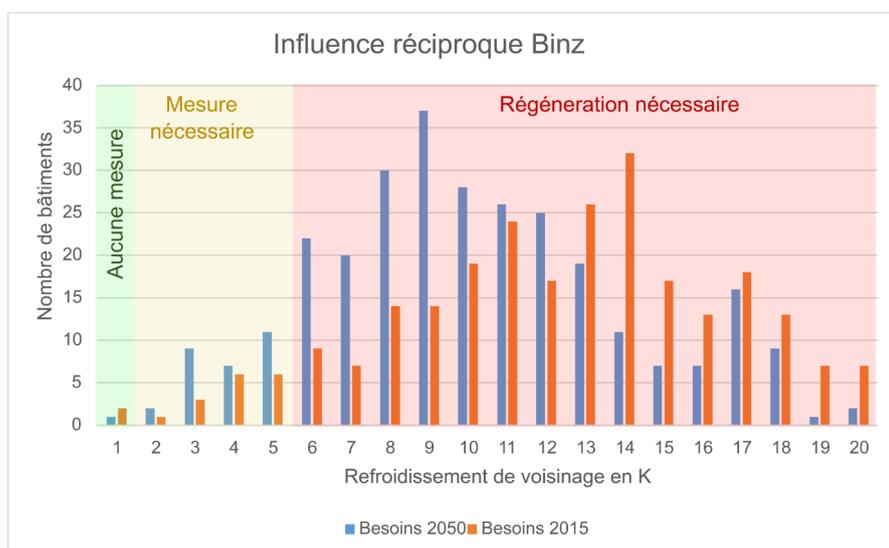


pour quatre quartiers de la ville de Zurich et de Rapperswil-Jona. « Selon le scénario retenu, 60 à 80% des besoins électriques pourraient être couverts directement par l'électricité photovoltaïque dans les quartiers considérés », notent-ils. Ces taux d'approvisionnement pourraient encore être optimisés par l'utilisation d'une commande intelligente de l'installation et/ou d'un stockage du froid (par exemple au moyen de réservoirs d'eau froide), supposent les chercheurs.

Adapté aux nouvelles constructions

Pour qu'il y ait suffisamment de chaleur disponible pour régénérer les sondes géothermiques, il faut des bâtiments avec une faible consommation de chaleur (bonne isolation thermique) et avec un apport de chaleur important (grandes

fenêtres). De plus, les gains solaires ne doivent pas être empêchés par des mesures de protection thermique estivales telles que des stores. Pour garantir cela, il faudrait supprimer les protections solaires aujourd'hui courantes, voire obligatoires. Dans les nouveaux bâtiments présentant ces caractéristiques, les auteurs de l'étude estiment qu'en 2050, sous les auspices du changement climatique, un bâtiment pourrait se voir retirer jusqu'à 20 kWh/m² d'énergie. Il y a ainsi suffisamment de chaleur disponible pour régénérer en grande partie les sondes géothermiques. Bilan des auteurs de l'étude: « Dans les nouveaux quartiers, la régénération par refroidissement actif peut contrer de manière décisive le refroidissement à long terme du sous-sol, si l'on renonce à la protection solaire ».



Refrroidissement du sol dans le quartier zurichois de Binz en raison de sondes géothermiques voisines après 50 ans d'exploitation. Dans ce scénario maximal, on suppose que les besoins en chaleur de tous les bâtiments sont couverts par la géothermie; cela conduit à la couverture théoriquement possible par des sondes géothermiques. La représentation montre qu'une régénération serait nécessaire pour pratiquement tous les systèmes de chauffage. Cette affirmation est également valable si l'on base le calcul non pas sur les besoins en chaleur des bâtiments de 2015 (en rouge), mais sur les besoins en chaleur plus faibles attendus pour 2050 (en bleu). Graphique: rapport final Cool2Regen

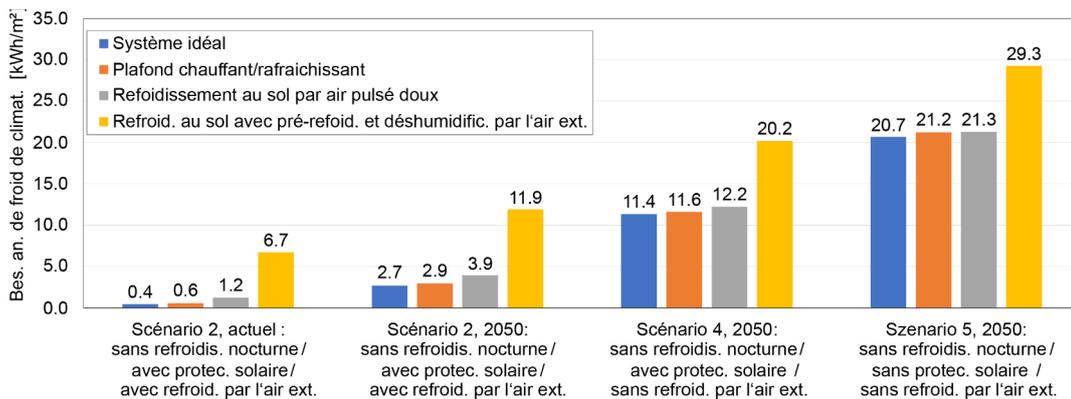
Cela signifie à l'inverse: si les habitants recourent à la protection solaire, il n'est déjà plus possible d'atteindre des degrés de régénération pertinents. Le concept est impraticable pour les bâtiments existants: en règle générale, ils ne sont pas équipés d'un chauffage au sol permettant de « collecter » la chaleur ambiante. De plus, en raison des fenêtres généralement plus petites, la chaleur ne pénètre pas suffisamment dans l'appartement ou la consommation de chaleur est élevée en raison d'une isolation thermique insuffisante. Il existe ici un besoin de refroidissement pouvant généralement être couvert par un refroidissement passif, même si les températures moyennes sont plus élevées, soulignent les auteurs de l'étude.

Une approche plus économique

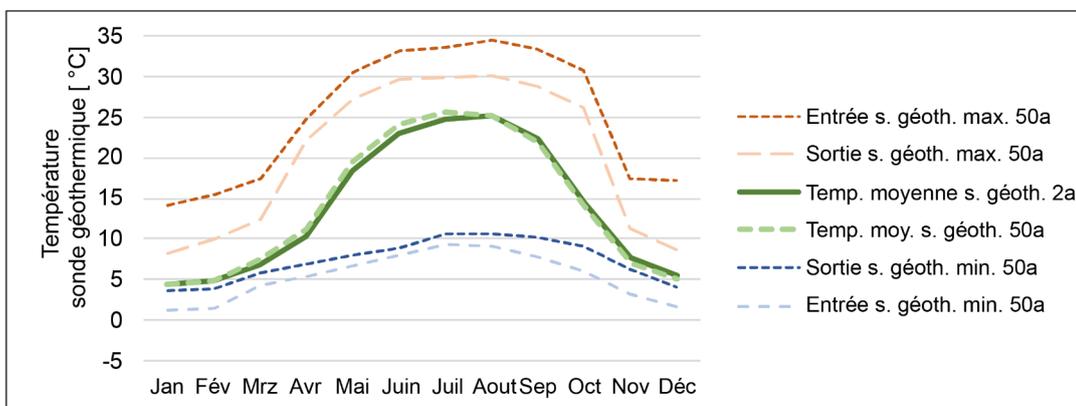
Pour les nouvelles constructions, la régénération des sondes géothermiques par le biais d'un refroidissement actif des bâtiments dans les conditions présentées est non seulement efficace, mais également la méthode de régénération la

moins coûteuse, constate l'équipe d'étude sur la base de ses calculs. Concernant les sondes individuelles, la rentabilité est assurée pour des densités de prélèvement élevées dans le quartier (40 à 60 kWh/m²), pour les installations plus grandes avec plusieurs sondes, même pour des densités de prélèvement plus faibles. Il convient d'ajouter que pour les sondes individuelles, un allongement de la sonde est souvent moins cher qu'une régénération par refroidissement actif, et ce même si l'on tient compte d'un certain refroidissement à long terme dû à l'influence du voisinage. Si une sonde est prolongée, elle peut absorber davantage de chaleur du sol.

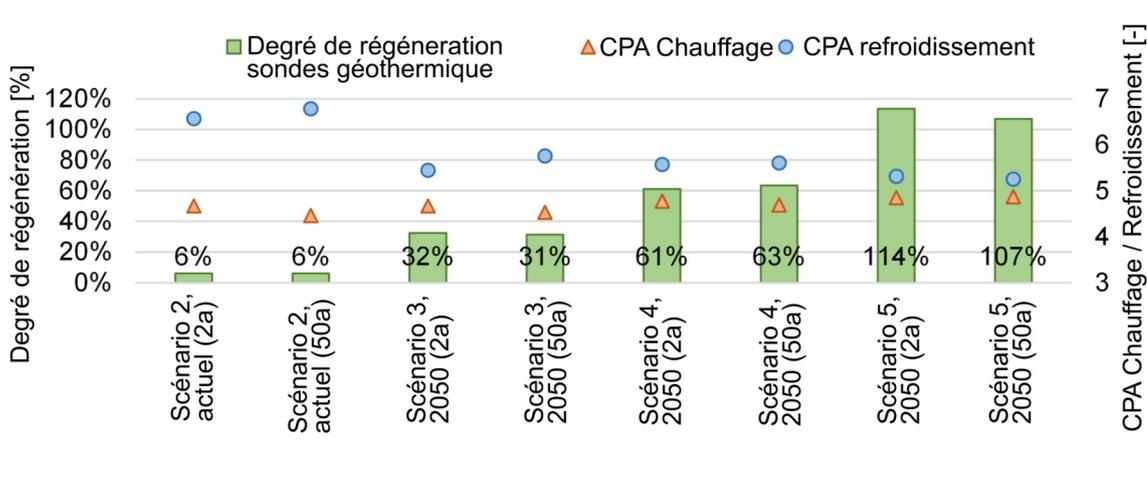
L'un des points délicats du concept OST réside dans l'isolation thermique: La régénération des sondes géothermiques par le biais du refroidissement des pièces ne fonctionne que si les habitants renoncent à des mesures de protection thermique en été, comme la fermeture des stores par exemple. Cela signifie que le bâtiment est délibérément chauffé pour que la chaleur excédentaire lui soit ensuite retirée en utilisant de



Les quatre colonnes tout à droite illustrent la situation dans laquelle on utilise délibérément un bâtiment comme « collecteur de chaleur » afin de récupérer un maximum de chaleur solaire pour la régénération des sondes géothermiques. L'intégration d'un système de ventilation avec refroidissement de l'air extérieur et déshumidification permet en outre d'extraire de l'énergie du bâtiment pour la régénération. Graphique: rapport final Cool2Regen



Température de la sonde géothermique d'un nouveau bâtiment qui, en raison d'une utilisation consciente de la chaleur solaire, a un besoin élevé de refroidissement et fournit ainsi beaucoup de chaleur pour la régénération des sondes géothermiques: après deux ans de fonctionnement (ligne verte étirée), la sonde géothermique a pratiquement la même température qu'après 50 ans de fonctionnement (ligne verte pointillée). Autrement dit: grâce à la chaleur de régénération élevée provenant de la nouvelle construction, la sonde géothermique peut également être entièrement régénérée à long terme. Graphique: rapport final Cool2Regen



Une nouvelle construction à refroidissement actif, dans laquelle aucune mesure de protection thermique estivale n'est mise en œuvre, permet, selon le scénario, un taux de régénération des sondes géothermiques de 114%. Cela signifie: au cours de l'année, la sonde géothermique reçoit plus de chaleur (par régénération) qu'elle n'en reçoit (à des fins de chauffage).
Graphique: rapport final Cool2Regen

l'électricité. Pour éviter cette dépense d'énergie supplémentaire, on a jusqu'à présent largement renoncé au refroidissement actif des bâtiments résidentiels. Du point de vue des chercheurs de l'OST, cette réserve est dépassée, comme ils l'écrivent dans le rapport final de leur projet: « Ces règles sont historiques et ne tiennent pas compte de l'augmentation des besoins de refroidissement due au changement climatique et à la surproduction prévue d'énergie solaire en été ». Florian Ruesch ajoute: « Si l'on incite les propriétaires à installer plus de panneaux solaires ou des panneaux plus grands en autorisant le refroidissement actif avec leur propre électricité solaire, cela est judicieux. En effet, une installation solaire plus grande produit également plus d'électricité en hiver, lorsqu'il n'y a pas de besoin de refroidissement, et cette électricité est alors disponible pour d'autres applications ».

Utilisation efficace du refroidissement passif

Il reste à voir si cette position deviendra majoritaire. La norme SIA 180 stipule que les bâtiments doivent être conçus de manière à obtenir des températures agréables uniquement par le biais du refroidissement passif. « Tant que nous pouvons éviter la surchauffe des espaces intérieurs grâce à des mesures de protection solaire, nous devrions utiliser ces mesures de manière conséquente plutôt que d'utiliser de l'électricité supplémentaire pour refroidir les bâtiments résidentiels », explique Nadège Vetterli, responsable externe du programme de recherche Bâtiments et villes de l'OFEN. Elle fait référence à la chaleur résiduelle des bâtiments commerciaux et aux capteurs PVT qui produisent non seulement de l'électricité mais aussi de la chaleur et qui tiennent à disposition la chaleur excédentaire en été: « Tant que nous n'aurons pas utilisé de manière cohérente ces sources de chaleur pour régénérer

les sondes géothermiques, nous ne devrions pas utiliser d'électricité pour le refroidissement actif des bâtiments résidentiels ».

- Le **rapport final** du projet «Cool2Regen – Refroidissement actif de bâtiments avec des pompes à chaleur et des sondes géothermiques pour des taux de régénération élevés» est disponible sur : <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=47563>
- Nadège Vetterli (nadege.vetterli@lanex.ch), responsable externe du programme de recherche Bâtiments et villes de l'OFEN, communique des **informations** sur ce projet.
- Vous trouverez d'autres **articles spécialisés** concernant les projets de recherche, les projets pilotes et de démonstration ainsi que les projets phares dans le domaine Bâtiments et villes sur www.bfe.admin.ch/ec-batiments.