

# **La chaleur de la Terre est disponible sous nos pieds : une chance pour la Suisse et le Valais !**

par François-D. Vuataz, Centre de recherche en géothermie, Neuchâtel

## ***Introduction***

L'intérêt de la géothermie est multiple : elle est accessible partout et en tous temps, ses applications sont très nombreuses, et elle représente une ressource locale avec un coût d'exploitation faible, même si l'investissement initial reste élevé dans certains cas. Les ressources de la géothermie sont immenses, même si seule une très petite partie de cette énergie peut être exploitée actuellement. Grâce à de faibles impacts sur la biosphère et à une gestion durable, la géothermie est une énergie très favorable à l'environnement.

La Suisse fait partie des pionniers du développement de la géothermie de basse température et de faible profondeur pour le chauffage et le refroidissement des bâtiments. En Valais, les caractéristiques géologiques et la demande en énergie peuvent favoriser le développement de la géothermie. La recherche appliquée reste cependant nécessaire dans certains secteurs de la géothermie, dont le développement induit déjà la création d'emplois qualifiés en Suisse.

## ***Origine et distribution de la chaleur de la Terre***

A toute époque, les manifestations naturelles de la chaleur de la Terre, telles les sources thermales, les geysers et les volcans, ont été des centres d'attraction de l'humanité. Les Romains ont été vraisemblablement les premiers à mettre au point le chauffage par le sol dans certains de leurs édifices, une technique qui s'est ensuite perdue jusqu'au 20<sup>e</sup> siècle.

Plus de 99% de la masse de la Terre est à une température de plus de 1000° C. Seul le 0,1% de la masse de la Terre est plus froid que 100° C. En s'enfonçant dans le sous-sol, la température des ouvrages tels que tunnels, galeries de mines et forages monte régulièrement. En moyenne, le gradient géothermique augmente de 33° C par kilomètre de profondeur. Par conséquent, sous le Plateau suisse, les roches et les eaux possèdent à 1000 m de profondeur une température de 35 à 45° C. Par contre, dans les milieux géologiques et topographiques complexes et hétérogènes comme les Alpes, le gradient géothermique peut varier fortement sur de petites distances.

L'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol est appelée géothermie, quelle que soit la température et la profondeur à laquelle on l'exploite et l'usage que l'on en fait. Cependant, la chaleur contenue dans les roches est trop diffuse pour être extraite de manière économique: il est nécessaire d'avoir à disposition un fluide caloporteur, généralement de l'eau, afin de transporter l'énergie vers la surface. C'est au moyen de forages que l'on peut faire remonter de l'eau souterraine contenant l'énergie thermique du sous-sol.

## ***Types d'exploitation de la géothermie***

Selon le type de ressources géothermiques, son potentiel, sa température et sa profondeur, le mode d'utilisation est très différent. Si l'on dispose d'un réservoir géothermique nettement au-dessus de 100° C, on préférera convertir cette énergie thermique en électricité. Au contraire, si la température de la ressource est inférieure à 100° C, c'est un usage thermique direct qui en sera fait, c'est-à-dire principalement pour des applications de chauffage.

En fonction de sa température, l'eau chaude provenant d'un aquifère géothermique peut être utilisée directement pour fournir de la chaleur à un réseau de chauffage à distance, aux

piscines d'un centre thermal, aux bassins d'une pisciculture, à des serres agricoles, ou à toutes autres activités nécessitant de la chaleur. Toute la gamme des températures entre 15 et plus de 100° C peut être utilisée pour des applications diverses. Dans le Monde, la grande majorité des installations géothermiques exploitant une ressource de moins de 100° C servent au chauffage (habitat urbain collectif ou individuel, locaux industriels et agricoles), à la balnéothérapie et dans une moindre mesure à la pisciculture et aux usages industriels.

Si la température de la ressource n'est pas suffisante pour assurer un système monovalent, une autre source d'énergie (électricité, gaz, fuel) peut être couplée, pour assurer les pointes de consommation de chaleur pendant les jours les plus froids de l'hiver. Pour les ressources dites de basse température (10 - 50° C), on couple des pompes à chaleur (PAC) pour rehausser la température de fourniture de la chaleur.

La taille des installations est très variable, avec une puissance installée de quelques kilowatts thermiques pour des maisons familiales jusqu'à plusieurs mégawatts thermiques pour des réseaux de chauffage urbain approvisionnant des milliers d'appartements, des écoles, des hôpitaux, etc. Dans le monde en 2008, plus de 70 pays totalisent une puissance installée de 30'000 mégawatts thermique (MWt), produisant 80'000 gigawattheures par an (GWh/an). Les dix pays qui possèdent plus de 500 MWt installés chacun sont les suivants: USA, Suède, Chine, Islande, Turquie, Danemark, Hongrie, Italie, Suisse et Allemagne.

## Applications en Suisse

Il y a 25 ans, la Suisse était représentée par une surface blanche sur la carte géothermique de l'Europe. Personne n'imaginait alors que la Suisse deviendrait un utilisateur important de la chaleur terrestre. Une des caractéristiques de la géothermie suisse est représentée par la variété des ressources et des modes d'utilisation qui seront détaillés ci-dessous.

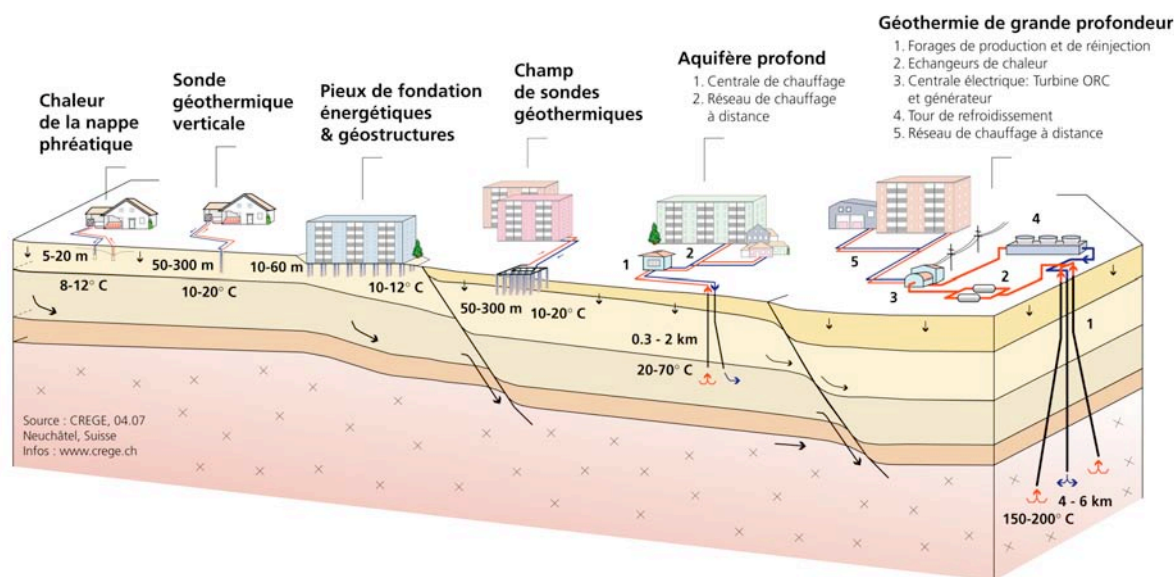


Figure 1 : Principaux types d'exploitation de la géothermie en Suisse (schéma S. Cattin)

### Sondes géothermiques verticales (SGV)

Les SGV sont des échangeurs de chaleur installés verticalement dans des forages de 50 à 400 m. De l'eau est pompée en circuit fermé pour extraire l'énergie du sous-sol à l'aide d'une PAC sol-eau. Ces SGV sont installées clé en main par des entreprises de forage.

Pour autant que l'autorisation de forer soit donnée, et que la puissance thermique de la sonde géothermique soit correctement calculée en fonction du terrain et de la demande de

La chaleur de la Terre est disponible sous nos pieds

chaleur, une SGV peut être installée dans presque tous les contextes géologiques. Un forage, ou deux si nécessaire, sont alors réalisés à proximité du bâtiment à chauffer.

Dans le forage terminé, on insère un double tube de polyéthylène en forme de U jusqu'au fond. Ensuite, un circuit fermé est établi entre le forage et la PAC sol-eau située dans le sous-sol du bâtiment. Le fluide circulant dans le forage gagne la chaleur du terrain et fournit la source d'énergie géothermique à la PAC. Cette dernière rehausse le niveau de température entre 30 et 65° C selon le type de diffuseur de chaleur (chauffage au sol, radiateur). La part de l'électricité faisant fonctionner la PAC représente 25 à 30% de l'énergie totale de l'installation et le 70 à 75% restant provient du sous-sol.

Pour une villa neuve, le coût d'investissement d'une SGV est un peu plus élevé que celui d'un système de chauffage à mazout ou à gaz. Par contre, les frais annuels de fonctionnement sont très en faveur de la SGV et le temps de retour de l'investissement n'est que de quelques années. Plus de 40'000 installations de ce type existent en Suisse, ce qui représente la plus forte densité au monde par km<sup>2</sup>! Jusqu'en 2004, la très grande majorité des SGV servaient à chauffer des maisons familiales neuves. Depuis lors, l'installation des SGV dans le domaine de la rénovation et pour des immeubles est en plein essor.



**Figure 2 : Forage d'une sonde géothermique verticale pour une villa (photo S. Cattin)**

### **Champs de sondes géothermiques**

Si l'on regroupe une série de SGV ou si l'on fore à plus grande profondeur, l'échangeur de chaleur disposera d'un potentiel plus important, et permettra de chauffer un groupe de villas ou des bâtiments de plus grande taille, comme des immeubles, des locaux industriels, administratifs ou encore des salles polyvalentes. Les puissances thermiques installées vont de quelques dizaines à plus de 1000 kilowatts pour les grandes installations.

Une série de sondes géothermiques verticales (4 à 80 sondes), de profondeur variée (50 à 350 m), sont disposées à côté du bâtiment à chauffer. Les conduites de chaque sonde se rejoignent dans un collecteur alimentant une ou plusieurs PAC. Le fonctionnement de l'installation se déroule sur un cycle annuel: la chaleur du terrain est extraite pendant la saison de chauffage (injection de froid); pendant la période de rafraîchissement estival (réinjection de chaleur dans le terrain), c'est le froid qui est extrait du milieu souterrain. Ce cycle saisonnier permet de recharger thermiquement le terrain.

A Zermatt, un champ formé de cinq sondes géothermiques permet le chauffage d'un immeuble Minergie de neuf appartements.

## Géostructures et pieux énergétiques

Les géostructures nécessaires au soutènement et aux fondations de bâtiments de taille importante peuvent être équipées d'échangeurs de chaleur. Les pieux en béton armé atteignent généralement une longueur de 10 à 40 m de longueur. A l'intérieur de ces pieux est installé un tube ou un réseau de tubes en polyéthylène. Ces tubes sont ensuite noyés dans le béton pour assurer un bon contact thermique. Un fluide caloporteur circule dans un réseau en boucle entre les pieux et la PAC sol-eau, comme pour les champs de sondes géothermiques.

Cette technologie simple et rationnelle ne demande pas des surcoûts excessifs, mais nécessite son intégration dès le début du projet, ainsi qu'une réflexion globale sur les aspects de la construction et de la consommation de l'énergie. Il existe actuellement une trentaine d'installations de ce type en Suisse, dont la plus grande est le Dock Midfield à l'aéroport de Zurich.

A Fully, le centre scolaire est un bâtiment Minergie de 20 classes construit sur des pieux de fondation battus à 23 m de profondeur, dont 41 sont équipés en échangeurs thermiques. En hiver, un chauffage de basse température couplé à une pompe à chaleur reprend la chaleur du terrain, alors qu'en été c'est le froid stocké dans le sous-sol qui permet de rafraîchir les salles sans l'usage d'une machine frigorifique.



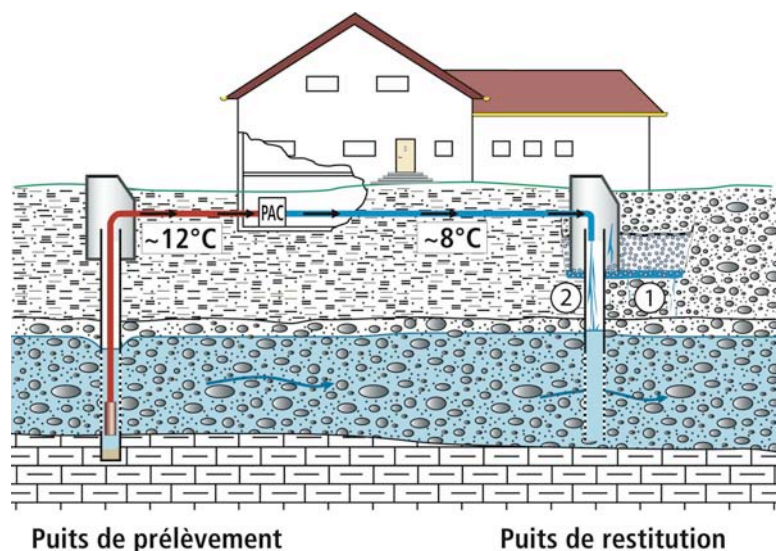
**Figure 3 : Bâtiment scolaire Minergie à Fully chauffé et refroidit par des pieux énergétiques (photo E. de Lainsecq)**

## Chaleur de la nappe phréatique

La nappe phréatique est un fournisseur remarquable d'énergie pour le chauffage et le rafraîchissement de bâtiments. En Suisse, la température des eaux souterraines superficielles (5 à 20 m) atteint de 8 à 12° C et ne fait l'objet que de très faibles variations saisonnières, à la différence des eaux de surface. L'exploitation de la nappe phréatique fait appel à des puits uniques ou multiples (puits de production et d'injection) et requiert une concession.

Après avoir extrait l'eau souterraine par pompage dans un puits, une PAC soutire ses calories et rehausse la température pour le système chauffage. Après refroidissement, l'eau est renvoyée dans la nappe par un deuxième puits. En période estivale, l'eau souterraine peut servir à refroidir le même bâtiment de manière directe sans utiliser une machine frigorifique. En Suisse, on compte environ 5'000 installations de ce type, notamment dans la vallée du Rhône (Chablais et Valais central).

La chaleur de la Terre est disponible sous nos pieds



**Figure 4 : Schéma d'utilisation thermique de la nappe phréatique (schéma M. Eberhard & Partner )**

### Sources thermales et aquifères profonds

La plupart des sources chaudes «naturelles» sont exploitées depuis longtemps en Suisse par les stations thermales. Certaines d'entre elles profitent des excédents de calories pour chauffer leurs bâtiments et préchauffer l'eau chaude sanitaire. La majorité des eaux thermales des Alpes suisses se trouvent dans la vallée du Rhône ou à proximité, entre Lavey-les-Bains et Brigerbad, en passant par Val d'Illeiez, Saillon, Saxon, Combioula et Leukerbad. C'est à Lavey-les-Bains que se trouve le meilleur exemple d'utilisation des excédents de chaleur d'une station thermale suisse. En effet, 100% des besoins thermiques du Centre thermal sont assurés par la géothermie, sans aucune pompe à chaleur.



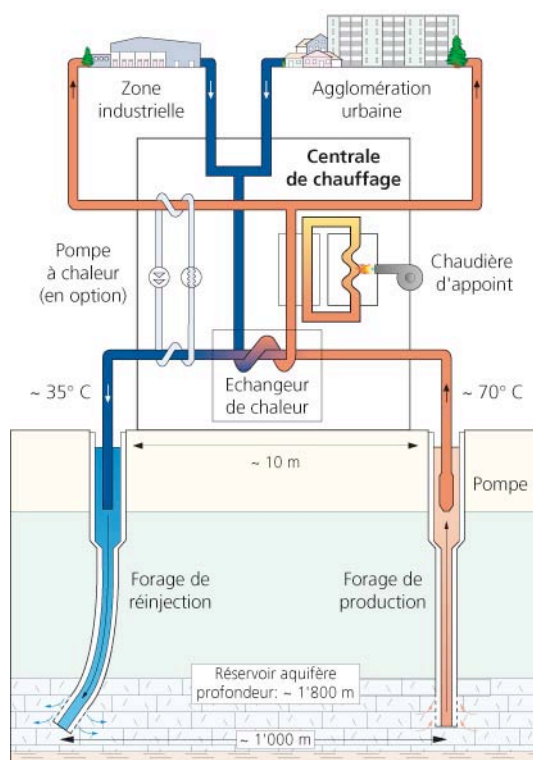
**Figure 5 : Bassin du Centre thermal de Lavey-les-Bains (photo Les Bains de Lavey )**

Pour des raisons environnementales et de gestion durable de la ressource, l'eau d'un réservoir aquifère profond exploité pour son usage géothermique doit être réinjectée en profondeur après refroidissement. Ce mode de fonctionnement est réalisé par un doublet géothermique. Un premier forage pompe l'eau géothermale à la surface. Ensuite, un échangeur de chaleur transmet les calories géothermiques au circuit de chauffage.

La chaleur de la Terre est disponible sous nos pieds

Finalement, l'eau géothermale refroidie est restituée à l'aquifère par un forage d'injection.

A Riehen dans le canton de Bâle-Ville, l'exploitation de l'aquifère à 64°C et 1500 m de profondeur est réalisée au moyen de deux forages verticaux, un producteur et un injecteur, séparés par une distance de 1 km. Ce doublet géothermique alimente le réseau de distribution de chaleur de Riehen, équipé d'une centrale de cogénération chaleur-force à gaz et de deux PAC électriques de 1410 kW chacune, la géothermie fournissant 50% de la chaleur du réseau. Un quart des logements de la commune de Riehen, soit environ 2000, sont chauffés par la géothermie, ainsi qu'un quartier de Lörrach de l'autre côté de la frontière allemande au moyen d'une conduite de 600 m.



**Figure 6 : Schéma d'un doublet géothermique dans un aquifère profond (schéma S. Cattin)**

### Géothermie des tunnels

Les tunnels et les galeries traversant des massifs rocheux drainent les eaux souterraines qu'ils rencontrent. Ces eaux sont évacuées vers l'extérieur des galeries par des canaux et sont déversées dans des cours d'eau. Suivant l'épaisseur de roches qui recouvre le tunnel, la température des eaux interceptées peut atteindre 20 à 40° C. Associée à des débits importants, cette ressource géothermique peut être utilisée pour des besoins en chaleur de consommateurs proches des portails des tunnels.

Une étude géothermique de 15 tunnels et galeries de Suisse a montré leur potentiel, tant sur le plan de l'énergie géothermique disponible que de la présence de consommateurs. Il faut également relever que les deux tunnels de base d'AlpTransit (Lötschberg et Gothard) fourniront un potentiel important, en raison de leur longueur et de l'épaisseur du recouvrement rocheux. D'ailleurs, un projet d'utilisation de la géothermie est en cours à Frutigen (BE), avec un élevage d'esturgeons pour la production de caviar, une serre tropicale et un petit réseau de chaleur.

Actuellement en Suisse, il existe six installations de chauffage utilisant la chaleur des tunnels. Dans le tunnel ferroviaire de la Furka en Valais, quelque 90 litres/seconde à 16° C sont drainés et s'écoulent de manière naturelle vers le portail ouest. Une conduite amène l'eau par gravité au village d'Oberwald, où un système novateur a été choisi: un réseau de

La chaleur de la Terre est disponible sous nos pieds

distribution amène l'eau à la PAC de chaque utilisateur. Actuellement, 177 appartements et une salle de sport communale sont chauffés par la chaleur du tunnel.



**Figure 7 : Salle multisport d'Oberwald chauffée par le tunnel de la Furka (photo J. Wilhelm)**

## **Et dans le futur... ?**

On constate qu'aujourd'hui, à l'échelle régionale ou internationale, il n'y a plus de solution énergétique unique envisageable à court et moyen terme ! De nombreuses technologies sont à disposition pour produire (et économiser) l'énergie thermique et électrique (p.ex. chauffage et climatisation). Parmi elles, la géothermie, l'une des « nouvelles » énergies renouvelables, fait partie des réponses possibles pour la Suisse, pour l'Europe et le monde.

A moyen terme, la géothermie de basse température (sondes géothermiques et chaleur de la nappe phréatique) pour le chauffage et la climatisation des bâtiments va poursuivre sa forte progression. L'utilisation accrue de la géothermie et la bonne gestion de la chaleur et du froid du sous-sol contribuera à diminuer la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles et par conséquent les émissions de gaz à effet de serre. L'énergie du sous-sol est disponible partout et apportera une contribution beaucoup plus forte sur la scène énergétique suisse.

Selon son potentiel reconnu en Suisse, la géothermie profonde peut et doit se développer dans plusieurs directions. La première est liée aux aquifères profonds (1 - 3 km) qui sont encore très mal connus en raison de l'absence d'une véritable prospection.

L'autre direction concerne la production d'énergie (électricité et chaleur) basée sur les énormes réservoirs de chaleur formés par les roches profondes (3 - 5 km), où les températures varient entre 100 et 200°C, notamment dans le socle cristallin, où les roches sont généralement fracturées mais peu perméables. Ce type de ressources, appelées Systèmes géothermiques stimulés (EGS- Enhanced Geothermal Systems), a montré que par la création de fractures hydrauliquement conductrices, un échangeur de chaleur en milieu rocheux fracturé autorise l'extraction de grandes quantités d'énergie. Les premières installations pilote de production d'électricité sont prévues dès 2008 en Alsace et en Australie. Dans les années suivantes, des centrales de plus grande taille prendront leur essor, il faudra cependant engager 10 à 15 ans de recherche pour résoudre l'ensemble des questions technologiques liées à ces ressources géothermiques EGS.

**CREGE** - Centre de recherche en géothermie

11 rue E.-Argand - CP158

CH-2009 Neuchâtel

[www.crege.ch](http://www.crege.ch)

[francois.vuataz@crege.ch](mailto:francois.vuataz@crege.ch)