

GÉOTHERMIE EN SUISSE

UNE SOURCE
D'ÉNERGIE
POLYVALENTE



suisse énergie

Notre engagement : notre futur.

UNITÉS DE MESURE

Puissance

1 térawatt (TW) =
1000 gigawatts (GW) =
1'000'000 mégawatts (MW) =
1'000'000'000 kilowatts (kW) =
1'000'000'000'000 watts (W)

Puissance d'une bouilloire =
2000 W

Mesure d'énergie

1 térawattheure (TWh) =
1000 gigawattheures (GWh) =
1'000'000 mégawattheures (MWh) =
1'000'000'000 kilowattheures (kWh) =
1'000'000'000'000 wattheures (Wh)

Consommation d'énergie d'un combiné
réfrigérateur congélateur A+++ en un an
= 150 kWh

Consommation d'électricité
en Suisse (2015)
= 58,20 TWh

Consommation d'énergie
totale en Suisse (2015)
= 232,88 TWh



SOMMAIRE

PRÉFACE	5
LA GÉOTHERMIE, ÉNERGIE RENOUVELABLE ISSUE DE LA CHALEUR DE LA TERRE	6
DES APPLICATIONS MULTIPLES GRÂCE À DES TECHNIQUES ÉPROUVÉES	14
UNE ÉNERGIE RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT.....	24
INSTALLATIONS ET PROJETS EN SUISSE.....	28
CONDITIONS-CADRE DE LA GÉOTHERMIE	34
UNE ÉNERGIE PLEINE D'AVENIR	36
INFORMATIONS UTILES.....	40



Forage d'une sonde géothermique pour une villa. Source: Geotherm SA à Belfaux (FR)

DEPUIS LES CRISES PÉTROLIÈRES DES ANNÉES 1970 ET SUITE AUX RAPPORTS DU GROUPE INTERGOUVERNEMENTAL D'EXPERTS SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT (GIEC), LA COMMUNAUTÉ INTERNATIONALE CHERCHE DANS L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET LE DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES UNE SOLUTION AU REMPLACEMENT DES RESSOURCES FOSSILES, AINSI QU'AUX ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE NÉFASTES POUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ.



Nous avons assisté, ces dix dernières années, à un quasi doublement des énergies renouvelables dans la production totale d'énergie en Europe, principalement grâce à l'énergie hydraulique, la biomasse et la part renouvelable des déchets, l'énergie solaire et l'énergie éolienne. Quant à la géothermie, elle est de plus en plus exploitée au niveau mondial, que cela soit pour la production de chaleur ou d'électricité. En 2015, une alliance mondiale a été créée dans le cadre de la conférence de Paris sur le climat COP21. Signée par près de 40 pays incluant la Suisse, l'objectif de la «Global Geothermal Alliance» est d'aider les pays en développement ayant d'importantes ressources à exploiter ce potentiel.

La Stratégie énergétique 2050, adoptée par le Conseil fédéral en 2011, doit permettre de garantir la sécurité d'approvisionnement de la Suisse en misant sur d'importantes économies, une efficacité énergétique renforcée, le développement de l'énergie hydraulique et un large encouragement des nouvelles énergies

renouvelables. Dans ce contexte, la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre de notre pays devront nettement diminuer dans les prochaines décennies. De plus, les réseaux d'électricité doivent être rapidement élargis et la recherche énergétique renforcée.

La géothermie fait partie des énergies renouvelables à développer. Il s'agit d'une source d'énergie présentant de nombreux avantages, dont le fait d'extraire de la chaleur et de produire de l'électricité en continu quelles que soient les conditions climatiques. En Suisse, la géothermie de faible profondeur assistée de pompes à chaleur s'est bien développée à partir des années 1980 et continue de progresser. Les technologies sont éprouvées et les standards de qualité élevés. Avec 3,4 térawattheure produits, la géothermie représente ainsi un quart de la chaleur issue des nouvelles énergies renouvelables, la plaçant en deuxième position après la biomasse (chiffres 2015). Par contre, la géothermie liée à des forages plus profonds a été peu exploitée jusqu'à présent. Or, cette énergie possède un fort potentiel, notamment en termes de production électrique.

Aujourd'hui, il est nécessaire de lever progressivement les freins technologiques, politiques et psychologiques inhérents à toute nouvelle technologie, afin que la géothermie puisse participer efficacement à la production de chaleur et d'électricité d'origine renouvelable en Suisse.

Dr. Frank Rutschmann
Chef de la section Energies renouvelables

LA GÉOTHERMIE, ÉNERGIE RENOUVELABLE ISSUE DE LA CHALEUR DE LA TERRE

MÊME SI LA GÉOTHERMIE EXISTAIT BIEN AVANT QUE L'ON PARLE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE OU DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT, ELLE RESTE AUJOURD'HUI LARGEMENT MÉCONNUE. OR, CETTE RESSOURCE POSSÈDE DES AVANTAGES CONSIDÉRABLES PUISQU'IL S'AGIT D'UNE SOURCE D'ÉNERGIE PRESQUE INÉPUISABLE ET RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT.

Du grec gêo (terre) et thermos (chaud), la géothermie désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques du sous-sol et les procédés industriels qui les exploitent pour en tirer de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité.

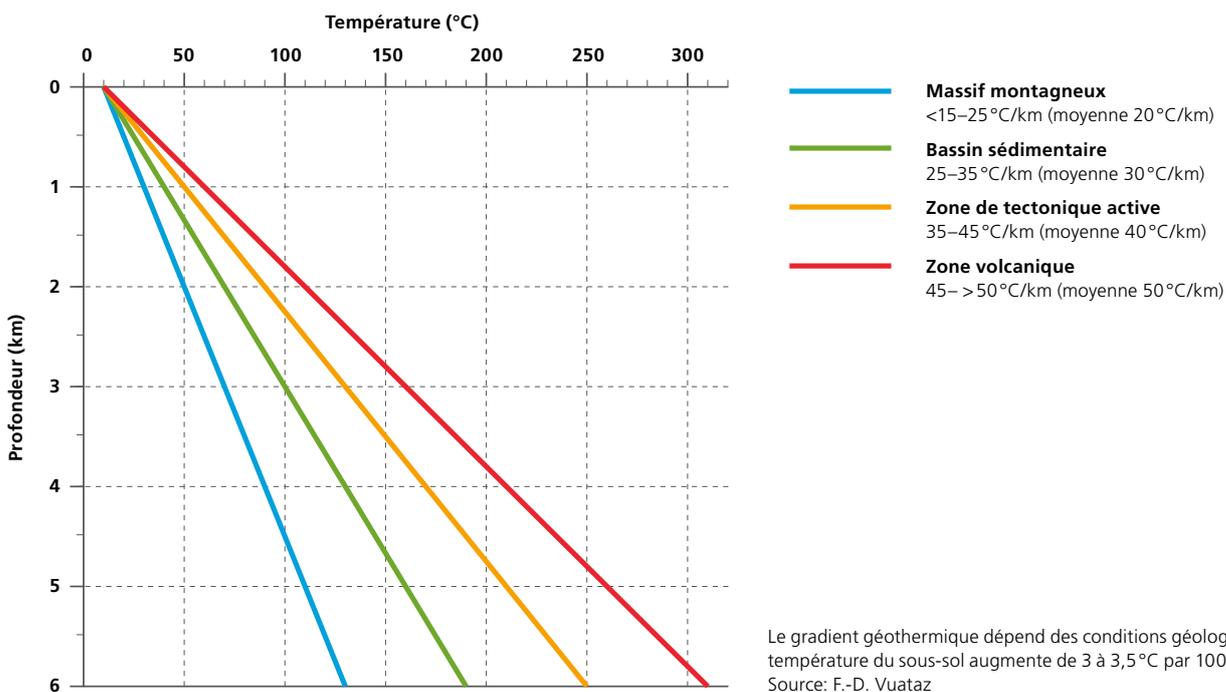
LA TERRE, CET IMMENSE RÉSERVOIR DE CHALEUR

La chaleur dans le sous-sol est notamment due à l'énergie libérée lors de la formation de notre planète et à celle qui est dégagée par la désintégration d'isotopes radioactifs. Le pouvoir calorifique du sous-sol dépend de ses spécificités géologiques, de sa profondeur et surtout de sa teneur en eau.

Les tout premiers mètres du sous-sol sont influencés thermiquement par le rayonnement solaire et les conditions climatiques. A partir de 10–20 m, la température ne dépend plus de la météo, des heures de la journée ou des saisons. Elle va par contre augmenter avec la profondeur: c'est ce que l'on nomme le gradient géothermique.

En Suisse, celui-ci est généralement de 3 à 3,5°C par 100 m, impliquant une température supérieure à 100°C dès 3000 m de profondeur, sauf dans le cas d'anomalies géothermiques (p.ex. zones de sources thermales). Dès 5000 m, on atteint la plupart des temps des températures de 150 à plus de 200°C.

VALEURS DU GRADIENT GÉOTHERMIQUE °C/KM



DU CHAUD, DU FROID ET DE L'ÉLECTRICITÉ

L'exploitation de l'énergie géothermique vise principalement à remonter vers la surface de la Terre la chaleur du sous-sol. On utilise généralement un fluide qui s'est réchauffé au contact des roches plus chaudes du sous-sol. La géothermie permet, à plusieurs échelles et selon la température du sous-sol, de:

- chauffer (chauffage, eau chaude sanitaire, processus agricoles et industriels)
- rafraîchir
- stocker de l'énergie thermique (pour chauffer et rafraîchir)
- produire de l'électricité lorsque la température et le débit de l'eau captée sont assez élevés

L'énergie peut être directement utilisée si la température de la ressource est adaptée aux besoins. Le recours à une pompe à chaleur permet de modifier la température de la ressource avant son utilisation.

UNE ÉTUDE A MONTRÉ QUE 40 PAYS
EN AFRIQUE, ASIE, OCÉANIE ET
AMÉRIQUE LATINE POURRAIENT
PRODUIRE UNE GRANDE
PROPORTION DE LEUR ÉLECTRICITÉ
PAR LA GÉOTHERMIE.

World Bank's Energy Sector Management
Assistance Program (ESMAP), 2014



Selon la géologie et les propriétés du sous-sol, l'eau de pluie est infiltrée ou coule en surface. Source: OFEN



L'énergie géothermique du tunnel de base du Lötschberg est utilisée sous forme de chaleur par la Maison tropicale de Frutigen (BE) afin d'élever des esturgeons et de cultiver des fruits exotiques. Source: OFEN



La géothermie est utilisée fréquemment dans les secteurs industriels et tertiaires. Ici, le centre D4 de la SUVA à Gisikon (LU) est à la fois chauffé et rafraîchi par un stock souterrain de chaleur. Source: CREGE



Les sources d'eau chaude souterraines sont utilisées depuis des millénaires pour des installations thermales. Source: OFEN

UNE ÉNERGIE QUI PROFITE À TOUS

L'énergie provenant de la chaleur terrestre profite à de nombreux utilisateurs. Le mode d'utilisation diffère selon le type de ressource géothermique, son potentiel, sa profondeur et sa température qui, en Suisse, varie entre 5 et plus de 150°C.

HABITAT, LOISIRS ET SANTÉ

Lorsqu'on exploite de la chaleur à faible profondeur, à l'aide d'un système de pompe à chaleur (voir p. 20), cette énergie peut servir au chauffage individuel, à la production d'eau chaude sanitaire, au réseau à basse température, au réseau de chauffage à distance et au rafraîchissement de bâtiments. Ce dernier point représente un avantage majeur de la géothermie par rapport aux autres énergies renouvelables. Dans certaines zones géologiques, l'énergie issue de sources thermales naturelles ou avec une température améliorée par forage est largement utilisée pour les bains thermaux ainsi que pour le chauffage de piscines.

INDUSTRIE

Dans le cas des usages industriels, l'eau captée se présente sous forme liquide ou de vapeur. Selon sa température, elle peut servir pour le séchage des produits industriels, l'extraction de substances chimiques, la fabrication de pâte à papier, l'évaporation de solutions concentrées (production d'eau douce par dessalement d'eau de mer), le dégivrage et le déneigement des routes. Lorsque le fluide géothermal est très chaud et chargé en sels divers, il est parfois possible de récupérer, outre la chaleur, certains sous-produits tels que le brome, l'iode, le bore et le lithium. On peut aussi extraire des gaz dissous comme le méthane ou le gaz carbonique. En cas de température du sous-sol suffisamment élevée, il est aussi envisageable de produire de l'électricité.

AGRICULTURE ET ALIMENTATION

Dans plusieurs pays, le chauffage de serres constitue un domaine important d'application de la géothermie. Dans le cas d'une installation de pisciculture, l'eau chaude est utilisée directement ou à l'aide d'un échangeur de chaleur quand sa composition n'est pas compatible avec l'élevage. La chaleur terrestre peut également être exploitée pour le séchage de produits agricoles, de bois et de poissons.

« Le chauffage de mes serres nécessite 20'000 MWh d'énergie par an. Avec le soutien de partenaires publics et privés, j'ai décidé d'investir dans deux forages profonds qui me permettent d'utiliser l'eau chaude du sous-sol et d'éviter ainsi l'émission de 5000 tonnes de CO₂ par an par rapport au chauffage précédent qui consommait 80% de gaz et 20% de mazout. »

Hansjörg Grob, producteur de légumes à Schlattingen (TG)

**UTILISATION ET UTILISATEURS SELON
LE TYPE DE GÉOTHERMIE**

UTILISATION	TYPE D'UTILISATEURS	TYPE DE GÉOTHERMIE	TEMPÉRATURE DU SOUS-SOL	PROFONDEUR
Chauffage et eau chaude sanitaire, rafraîchissement	Maison individuelle	Corbeilles géothermiques, sonde géothermique verticale (SGV)	5–20°C	1,5–4 m pour les corbeilles géothermiques, 50–250 m pour les SGV
	Maison individuelle, immeubles	Sonde géothermique verticale profonde	20–35°C	250–800 m
	Maison individuelle, immeubles, groupe d'immeubles	Eaux souterraines*	5–15°C	10–50 m
	Maison individuelle (nouvelle construction), immeubles, bâtiments industriels	Géostructures énergétiques	5–15°C	10–50 m
	Immeubles, quartiers, bâtiments industriels	Champ de sondes	5–35°C	30–800 m (< 250 m pour le rafraîchissement)
Chauffage et eau chaude sanitaire, chaleur agricole et industrielle	Immeubles, groupe d'immeubles, quartiers, bourgades, exploitation agricole ou industrielle	Eau thermale, eaux drainées par les tunnels, système hydrothermal de moyenne profondeur*	20–100°C	jusqu'à 3000 m
Chauffage et eau chaude sanitaire, électricité	Immeubles, groupe d'immeubles, quartiers, bourgades, exploitation agricole ou industrielle	Système hydrothermal de grande profondeur*	dès 100°C	dès 3000 m
		Système pétrothermal	dès 100°C	dès 3000 m

* Eau naturellement présente dans le sous-sol

LES NOMBREUX AVANTAGES DE LA GÉOTHERMIE

Dans la palette des différentes énergies utilisées par l'homme, l'énergie géothermique présente de nombreux avantages:

CHAUFFAGE, RAFRAÎCHISSEMENT ET ÉLECTRICITÉ

Comme l'énergie solaire, la biomasse et la part renouvelable des déchets, la géothermie représente une source d'énergie renouvelable susceptible de fournir de la chaleur et/ou de l'électricité selon les conditions géologiques et le type de technique utilisé. Contrairement à d'autres sources d'énergie renouvelable, elle présente le grand avantage de pouvoir répondre aux besoins de rafraîchissement.

DISPONIBLE EN TOUT TEMPS ET PARTOUT

Tout comme les centrales nucléaires ou les centrales hydroélectriques au fil de l'eau (placées sur les fleuves ou les grandes rivières), la géothermie constitue une énergie en ruban, c'est-à-dire utilisable en tout temps puisqu'elle ne dépend que des caractéristiques intrinsèques du sous-sol. Le taux de disponibilité des centrales géothermiques est en moyenne mondiale de 90% et peut même approcher 100% pour les réseaux de chaleur. La géothermie représente ainsi un complément idéal à d'autres énergies renouvelables comme l'éolien et le solaire qui dépendent des conditions climatiques et saisonnières. Elle est également disponible en grande quantité et en tout point du globe, ce qui fait que son potentiel théorique suffirait à couvrir l'intégralité des besoins en énergie de la planète.

ÉNERGIE RENOUVELABLE

Elle est considérée comme une énergie renouvelable car la chaleur terrestre est presque inépuisable. Si elles sont bien dimensionnées, les installations ne devraient pas soutirer plus de chaleur que celle fournie naturellement. En cas de forte exploitation où un refroidissement du sous-sol est observé, il est possible de le recharger en chaleur à l'aide d'une énergie renouvelable ou de rejets de chaleur.

ÉNERGIE LOCALE

Le fait que l'énergie produite soit consommée sur place implique une plus grande indépendance énergétique. De plus, aucun transport ou stockage de combustibles n'est nécessaire.

UNE ÉNERGIE PROPRE

La géothermie produit peu d'émissions néfastes pour l'environnement. En tant que source de chaleur, elle est immédiatement

utilisable et n'a pas besoin de processus de combustion ni d'aucune autre transformation énergétique. Les seuls rejets concernent la phase de forage des puits, ainsi que le transport de matériaux lors de la réalisation des forages et de la centrale (comme pour tout chantier de génie civil). La géothermie est considérée, après l'énergie hydraulique, comme l'énergie la plus respectueuse de l'environnement.

PRIX STABLES ET COÛTS CONCURRENTIELS AVEC LES AUTRES ÉNERGIES RENOUVELABLES

La géothermie présente un faible coût d'exploitation. Elle ne nécessite pas d'achat de combustibles et les installations demandent peu de maintenance. Une fois l'installation réalisée, les frais d'énergie restent stables et prévisibles sur une longue durée. Le coût de l'énergie produite varie en fonction:

- de la profondeur du forage
- du type d'énergie produite (chaleur ou électricité)
- de la maturité de la technologie choisie

PEU D'IMPACT VISUEL

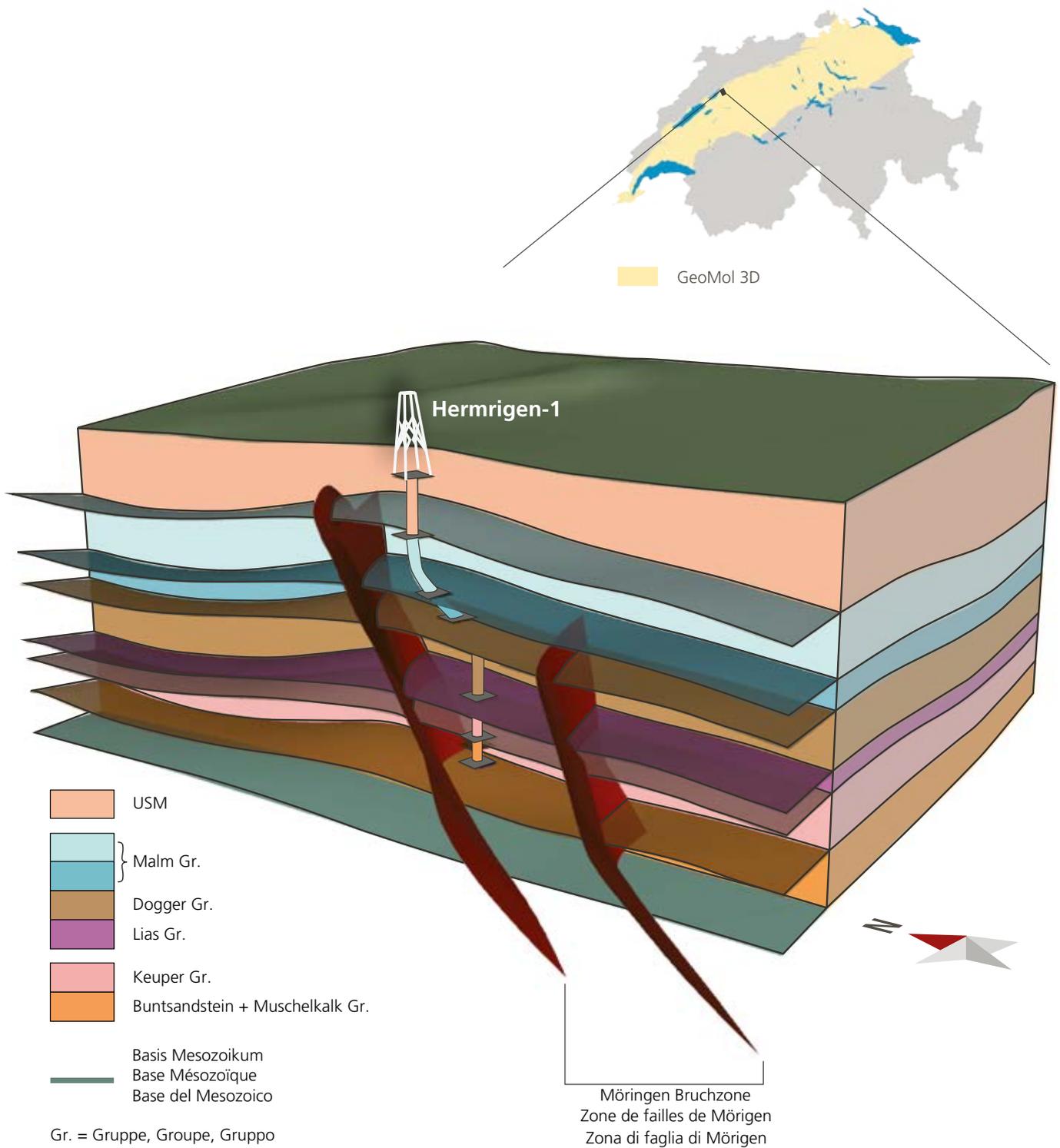
L'impact visuel et les besoins de surface au sol d'une installation géothermique sont minimes. Le besoin spécifique en terrain par unité d'énergie produite est plus faible que pour la plupart des autres sources d'énergie. A la fin de l'exploitation de la ressource, les installations de surface d'une centrale sont facilement démontables.

DES SOLUTIONS ADAPTÉES AUX BESOINS

L'énergie géothermique répond à des besoins de chaleur, de rafraîchissement et d'électricité. Une centrale peut être réglée de manière précise en fonction des variations de puissance demandées. Lorsque la qualité de la ressource n'est pas suffisante pour assurer les pointes de consommation de chaleur durant la saison hivernale, il est possible de coupler la géothermie avec d'autres vecteurs énergétiques comme la récupération des rejets de chaleur, le solaire thermique, la biomasse, le gaz et le mazout.

CAPACITÉ DE STOCKAGE

Le sous-sol peut être utilisé comme stockage géothermique afin de différer l'utilisation d'une énergie produite et la rendre disponible au moment le plus propice. Par exemple, la chaleur peut être extraite d'un bâtiment en été et injectée dans le sous-sol. On récupère une partie de cette chaleur en hiver pour alimenter le bâtiment en chauffage.



Une connaissance détaillée du sous-sol n'est possible qu'en réalisant des forages. Ceux-ci vont contribuer à l'élaboration de modèles 3D des couches et structures géologiques, une étape essentielle dans tout projet de géothermie de grande profondeur. Source: swisstopo

DEUX DÉFIS MAJEURS

Les principaux problèmes que peut poser cette source d'énergie concernent particulièrement les installations qui exploitent la chaleur en grande profondeur.

INCERTITUDES LIÉES AU SOUS-SOL

Sans forage, il est difficile de connaître les caractéristiques du sous-sol profond (fractures, fissures, porosité, perméabilité), et notamment de prévoir la position et l'extension des conduits naturels permettant au fluide géothermal de s'écouler. Les pays bénéficiant d'une tradition d'exploitation gazière ou pétrolière ont foré de grandes parties de leur sous-sol et ainsi acquis des connaissances détaillées en la matière. En Suisse, seuls 16 forages profonds livrent ponctuellement des indications utiles.

INVESTISSEMENT DE DÉPART ÉLEVÉ POUR LA GÉOTHERMIE PROFONDE

La géothermie bénéficie, comme d'autres énergies renouvelables, de coûts d'exploitation relativement bas. Par contre, les coûts d'investissement représentent souvent un frein au développement de grandes centrales géothermiques. Pour s'assurer de l'existence d'une ressource, un premier forage doit être réalisé avec un risque d'échec comme dans tout type d'exploration du sous-sol (pétrole, gaz, eau, minéral). La phase d'exploration (forages profonds et tests) constitue 65 à 75% de l'investissement total.

EN 2014, ON COMPTE UN TOTAL DE 13'000 MW DE PUISSANCE ÉLECTRIQUE INSTALLÉE D'ORIGINE GÉOTHERMIQUE DANS 26 PAYS, CORRESPONDANT ENVIRON À LA PUISSANCE ÉLECTRIQUE TOTALE INSTALLÉE EN SUISSE.

L'HISTOIRE DE LA GÉOTHERMIE

Il y a 15'000 à 20'000 ans, les hommes ont commencé à utiliser les fumarolles et sources chaudes des régions volcaniques pour se chauffer, cuire des aliments et se baigner. Plus tard, la pratique des bains thermaux et l'utilisation des boues thermo-minérales se sont répandues, notamment chez les Romains.

Dès 1330, il est fait mention dans les archives françaises et italiennes d'usages artisanaux de la chaleur terrestre pour le lavage de la laine et des peaux ou l'extraction de substances chimiques.

Ce n'est qu'au 19^e siècle que l'exploitation industrielle de la chaleur terrestre s'est développée grâce aux progrès techniques et à une meilleure connaissance du sous-sol.

Le premier réseau moderne de chauffage urbain alimenté grâce à la géothermie est installé à Reykjavik (Islande) en 1930. Dès lors, des réseaux de chaleur utilisant la géothermie vont voir le jour en Europe et aux Etats-Unis.

En 1904, c'est en Italie, à Larderello, que la géothermie produit de l'électricité pour la première fois au monde. La première centrale géothermique électrique est construite au même

endroit en 1913. Le Japon, les Etats-Unis et la Nouvelle-Zélande sont également des pionniers du développement et de l'utilisation de la géothermie pour produire de l'électricité au 20^e siècle.

La part mondiale d'électricité et de chauffage d'origine géothermique ne devient significative qu'à partir des années 1970, poussée par les crises pétrolières et le souci de certains pays d'utiliser une ressource nationale pour produire leur énergie.



Larderello 1904: Une turbine alimentée par de la vapeur géothermique est reliée à une dynamo qui permet, pour la première fois dans l'histoire, de produire de l'électricité d'origine géothermique. Source: Enel Green Power – Geotermia

DES APPLICATIONS MULTIPLES GRÂCE À DES TECHNIQUES ÉPROUVÉES

DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES ONT ÉTÉ DÉVELOPPÉES AFIN D'UTILISER L'ÉNERGIE TIRÉE DU SOUS-SOL POUR LE CHAUFFAGE, LE RAFRAÎCHISSEMENT ET L'ÉLECTRICITÉ. LA PLUPART ONT FAIT LEUR PREUVE DEPUIS DES DÉCENNIES, ET DEVIENNENT DE PLUS EN PLUS PERFORMANTES AU FIL DU TEMPS.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE GÉOTHERMIE

1 Sonde géothermique/corbilles/capteurs horizontaux

2 Eaux souterraines

3 Géostructures énergétiques

4 Champ de sondes

5 Sonde géothermique profonde

6 Eau thermale

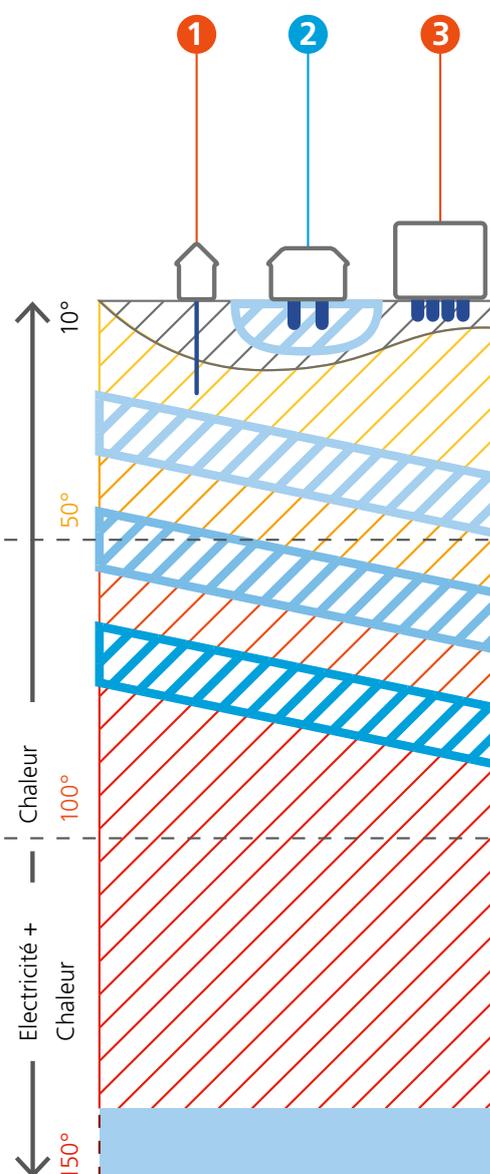
Système hydrothermal de moyenne profondeur:

7 Chaleur agricole + industrie

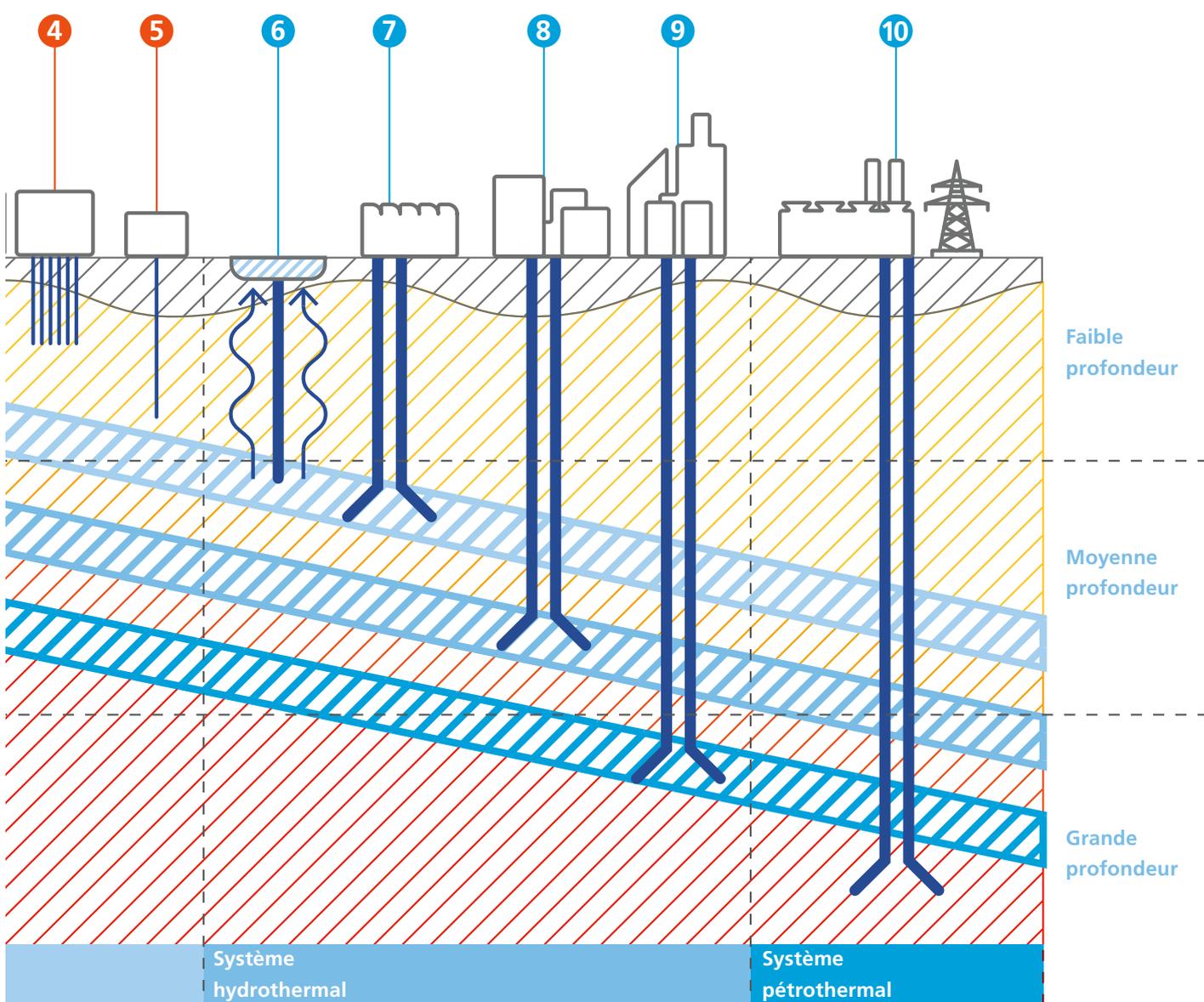
8 Chauffage + eau chaude sanitaire

9 Système hydrothermal de grande profondeur:
chaleur + électricité

10 Système pétrothermal:
électricité + chaleur



Par contre, la géothermie des systèmes stimulés à grande profondeur (système pétrothermal ou EGS) est encore en phase de développement. Elle possède un immense potentiel puisqu'elle permet d'extraire de la chaleur et de l'électricité en récupérant l'énergie du sous-sol dans pratiquement toutes les conditions géologiques. Parmi les différents systèmes géothermiques, on distingue ceux à circuit ouvert qui utilisent les eaux naturelles comme vecteur de chaleur de ceux à circuit fermé où un liquide caloporteur (mélange d'eau et d'antigel) est pompé et circule dans des sondes pour capter les calories en profondeur. Tous nécessitent des forages et des installations permanentes.



● Circuit ouvert

● Circuit fermé



Les eaux souterraines et la chaleur résiduelle du centre de données de Swisscom seront utilisées pour l'approvisionnement en chauffage et en rafraîchissement du réseau d'énergie de l'Argauerstrasse à Zurich. Source: ewz

DE LA CHALEUR ET DU FROID

A partir de quelques mètres de profondeur, là où le sous-sol a une température constante tout au long de l'année, il est possible d'extraire et de stocker de l'énergie thermique pour chauffer et rafraîchir. La présence d'eau dans le sol est un critère déterminant pour le choix du système. En effet, l'eau augmente la conductivité thermique du sol et permet une meilleure extraction de l'énergie du sous-sol.

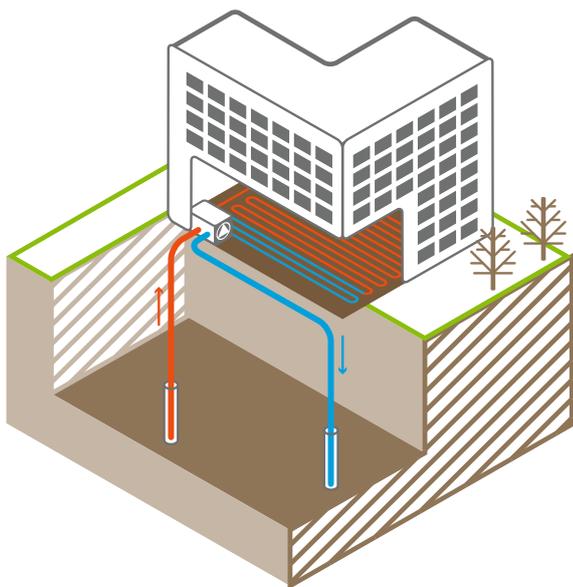
On parle de freecooling ou geocooling lorsqu'il est possible de rafraîchir les bâtiments en faisant simplement circuler le fluide caloporteur dans les planchers chauffants. Cette particularité unique dans le secteur énergétique présente plusieurs avantages: ce système amène un véritable confort en été, recharge le sous-sol avec la chaleur de la surface et permet d'économiser un système de machine frigorifique.

EAUX SOUTERRAINES

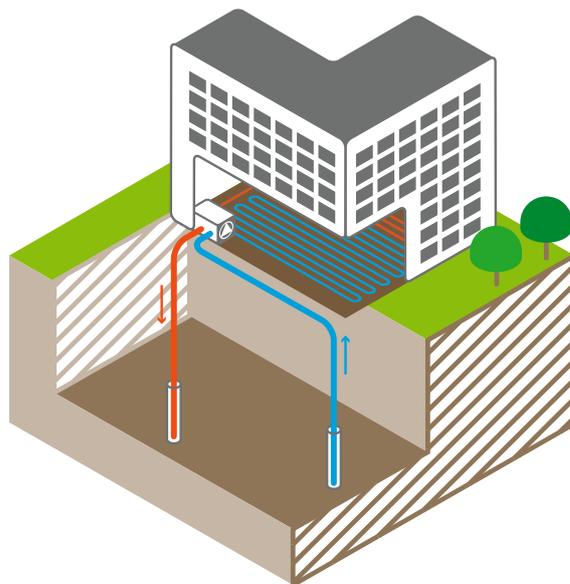
Si les conditions hydrogéologiques sont favorables, on peut, grâce à un ou plusieurs puits de pompage, exploiter directement l'eau prélevée dans les nappes phréatiques de faible profondeur pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le rafraîchissement. Bénéficiant d'une température stable toute l'année (5–15°C), l'eau est prélevée par une pompe immergée puis acheminée vers une pompe à chaleur dite «eau-eau» qui va rehausser le niveau de température. L'eau refroidie est généralement restituée dans un forage d'injection ou un ouvrage d'infiltration (voir encadré ci-dessous). En période estivale, l'eau souterraine peut servir directement au rafraîchissement de bâtiments sans mettre en fonction la pompe à chaleur. Les nappes phréatiques étant souvent exploitées pour la production d'eau potable, des restrictions pour un usage thermique existent dans certaines zones afin de protéger la ressource.

Production de chaud et de froid grâce à la géothermie

Hiver



Eté



SINGLET ET DOUBLET GÉOTHERMIQUES

Prélevée par un forage de production, l'eau souterraine permet le transport de l'énergie du sous-sol vers la surface.

Après extraction de la chaleur, le rejet dans la nature de l'eau refroidie peut s'effectuer de plusieurs manières:

- généralement dans un forage d'injection réalisé à distance du premier ou dans un ouvrage d'infiltration (doublet géothermique)
- plus rarement en surface dans un cours d'eau ou un lac lorsqu'elle est faiblement minéralisée et non sulfurée (singlet géothermique)

Le doublet géothermique présente plusieurs avantages: absence de rejet dans l'environnement grâce à une circulation en boucle fermée, pérennité du débit hydraulique et stabilité des pressions d'exploitation. Le doublet géothermique est utilisé dans tous les types d'aquifères (nappes d'eau souterraines) entre quelques mètres et plusieurs kilomètres de profondeur. Sa mise en place peut être soumise à des restrictions spécifiques selon les législations sur la protection des eaux.

SONDES GÉOTHERMIQUES

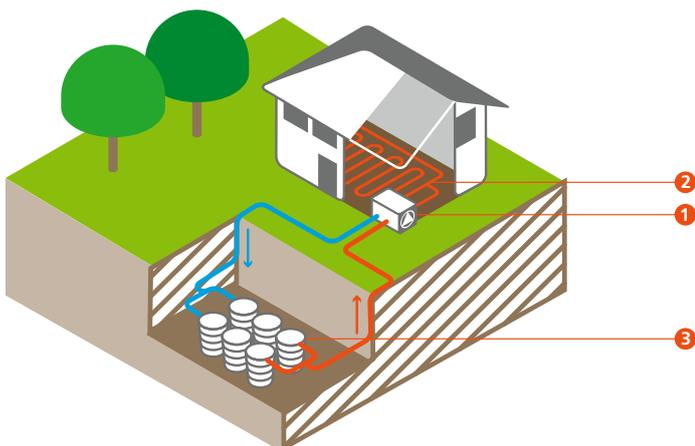
L'énergie thermique du sous-sol est récupérée en installant verticalement un échangeur de chaleur en forme de tube en U (ou parfois coaxiale), appelé **sonde géothermique verticale (SGV)**. Les forages sont souvent situés à côté, mais parfois aussi sous le bâtiment à chauffer. Dans la sonde, le fluide caloporteur est pompé en circuit fermé et récupère l'énergie du terrain qui pourra être extraite à l'aide d'une pompe à chaleur (PAC) dite «sol-eau» située dans le bâtiment. Cette dernière soutire la chaleur géothermique et la transmet au circuit de chauffage (plancher chauffant ou radiateurs) à une température plus élevée. En général, elle sert aussi à chauffer l'eau chaude sanitaire.

La sonde géothermique verticale peut techniquement être installée dans n'importe quel milieu géologique, pour autant que les nappes phréatiques restent protégées (notamment en cas de ressource d'eau potable). Sa profondeur va dépendre de la conductivité thermique du terrain, de la puissance de la pompe à chaleur et de la demande en chaleur. Pour une maison individuelle, une profondeur de sonde de 100 à 200 m est généralement suffisante selon sa taille et son niveau d'isolation thermique.

S'il n'est pas possible de forer profondément et si l'on dispose d'une grande surface de terrain, on peut recourir aux **corbeilles géothermiques** ou à des **capteurs horizontaux** à faible profondeur. Le premier système est un très long tuyau qui forme des spirales en trois dimensions. Le second se présente sous la forme d'un réseau de capteurs placés à l'horizontale. Un fluide caloporteur circule dans les capteurs jusqu'à la pompe à chaleur.

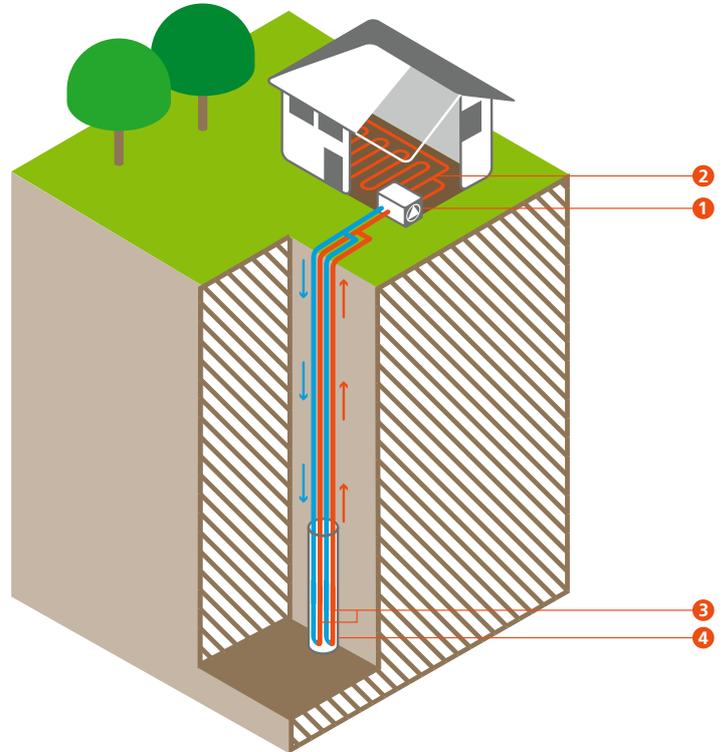
Corbeilles géothermiques

- 1 Pompe à chaleur
- 2 Chauffage au sol
- 3 Corbeille géothermique



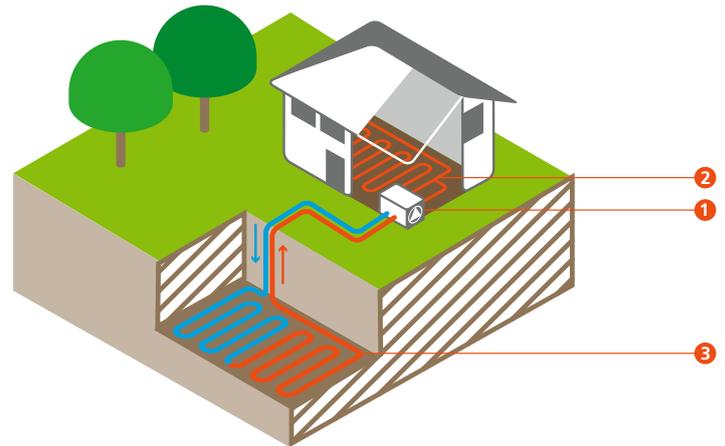
Sonde géothermique verticale

- 1 Pompe à chaleur
- 2 Chauffage au sol
- 3 Tube échangeur de chaleur en U (double)
- 4 Forage (<20 cm de diamètre)



Capteurs horizontaux

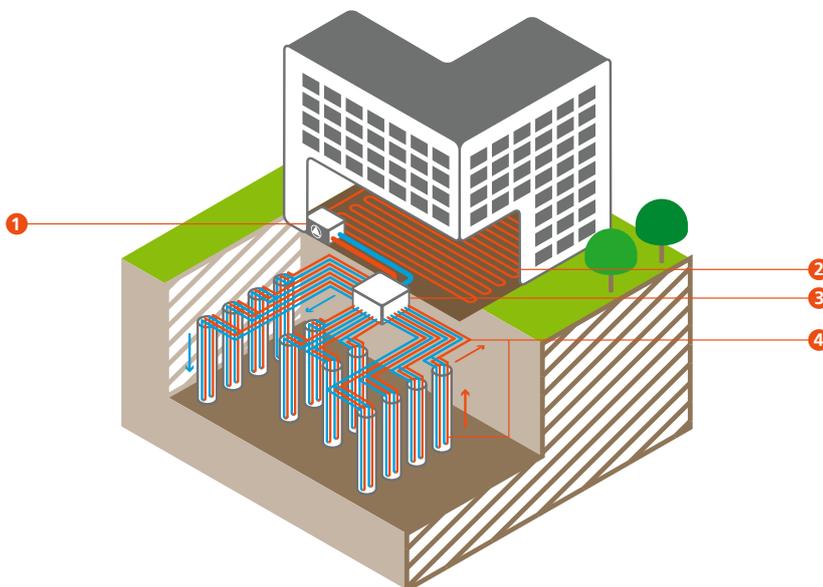
- 1 Pompe à chaleur
- 2 Chauffage au sol
- 3 Capteurs horizontaux



Le regroupement jusqu'à plusieurs dizaines de SGV, appelé **champ de sondes géothermiques**, permet de chauffer et rafraîchir des immeubles ou des bâtiments industriels et administratifs de grande taille. Les sondes sont raccordées à un collecteur qui alimente une à plusieurs PAC. La chaleur est extraite du sous-sol durant la saison de chauffage. Pour le rafraîchissement estival, on injecte la chaleur des bâtiments dans le champ de sondes géothermiques, ce qui permet de recharger thermiquement le terrain. On parle alors de stockage géothermique.

Champ de sondes géothermiques

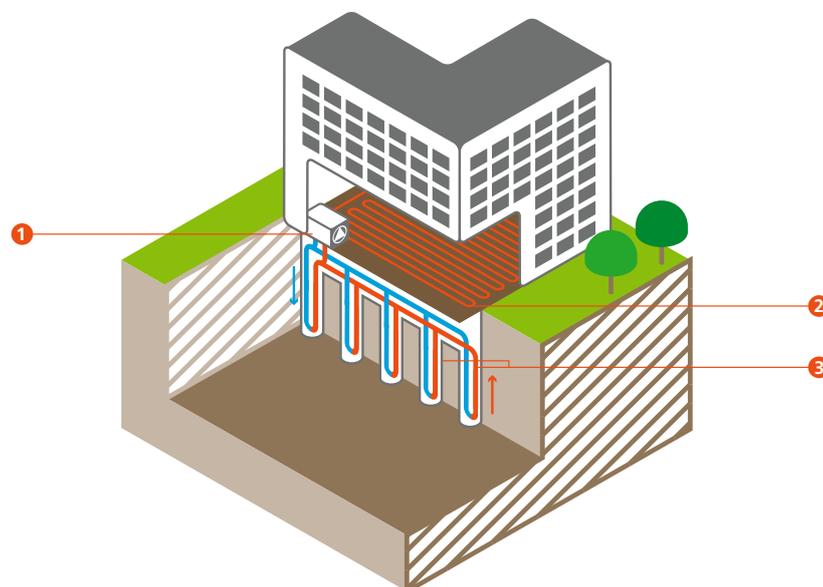
- 1 Pompe à chaleur
- 2 Chauffage au sol
- 3 Collecteur de sondes géothermiques
- 4 Champ de sondes géothermiques



Sur le même principe que les sondes géothermiques verticales, les **géostrucures énergétiques** (p. ex. pieux énergétiques) sont utilisées pour les grands bâtiments lorsque le terrain est peu stable et que des pieux de fondation doivent de toute façon être installés. Il s'agit de piliers ou de parois enterrés de 10 à 100 m de profondeur permettant d'assurer les fondations du bâtiment. Ils utilisent la même technique que les sondes géothermiques en faisant circuler un fluide caloporteur à travers des échangeurs de chaleur. Le système de chauffage hivernal et de rafraîchissement estival est quasiment le même que pour un champ de sondes géothermiques. Les conduites rejoignent un collecteur qui alimente une ou plusieurs PAC. Par définition, cette technologie doit être intégrée dès le début du projet de construction du bâtiment.

Géostrucures (Pieux énergétiques)

- 1 Pompe à chaleur
- 2 Chauffage au sol
- 3 Pieux de fondation équipés d'un échangeur de chaleur



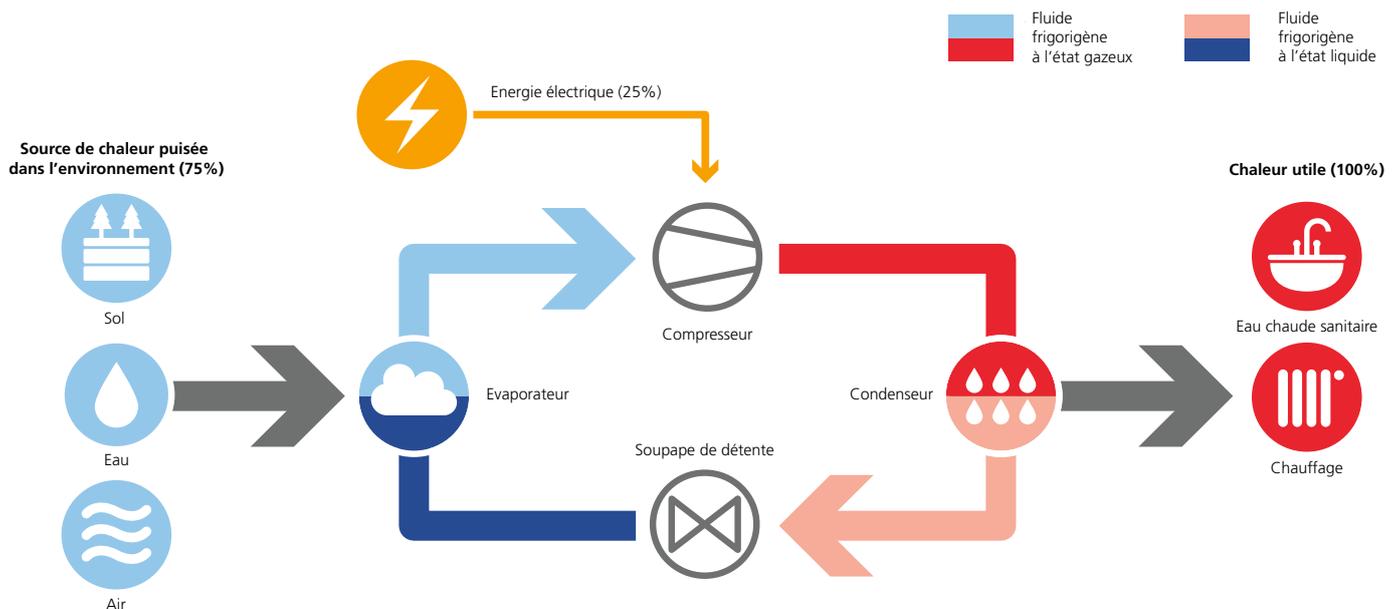
QU'EST-CE QU'UNE POMPE À CHALEUR (PAC)?

Une pompe à chaleur est une génératrice de chaleur ou de froid qui prélève l'énergie thermique de l'environnement (sol, eau ou air). Dans le cadre de la géothermie, la chaleur provenant du sous-sol est transmise au fluide frigorigène de la pompe à chaleur qui se transforme alors en vapeur. Cette dernière est ensuite comprimée, ce qui a pour conséquence d'élever sa température, puis passe dans un condenseur et revient à l'état liquide en cédant de la chaleur. La chaleur ainsi libérée dans le condenseur est transmise au fluide qui circule dans les radiateurs ou dans les planchers chauffants. Finalement le fluide de la pompe à chaleur est détendu (sa pression et sa température chutent) et retourne dans l'évaporateur où il pourra à nouveau absorber la chaleur du sous-sol.

La compression du fluide caloporteur dans la pompe à chaleur requiert de l'énergie électrique. Ceci étant, la quantité totale

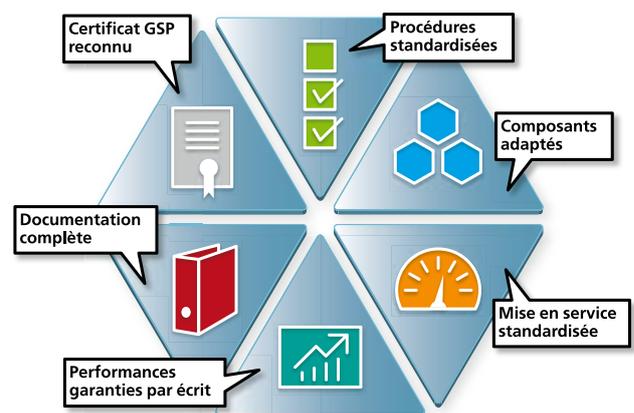
d'énergie chaleur fournie par la pompe à chaleur est nettement supérieure à la quantité d'énergie électrique nécessaire pour faire tourner le système. Dans le cas d'une pompe à chaleur couplée à des sondes géothermiques, celle-ci fournit 4 à 5 fois plus d'énergie chaleur qu'elle ne requiert d'énergie électrique. On parle alors de «coefficient de performance» (COP) qui est d'autant plus élevé que la différence de température entre la source de chaleur prélevée dans l'environnement et la température de distribution de la chaleur domestique est faible.

Dans le cas où la PAC est réversible, elle peut également servir pour le rafraîchissement en inversant le circuit de fonctionnement. Les pompes à chaleur permettent de diminuer les émissions de CO₂ jusqu'à 80% par rapport à un chauffage au mazout moderne et jusqu'à 70% par rapport à une chaudière au gaz.



Le label suisse «Pompes à chaleur système-module» permet de réaliser des installations de PAC très efficaces, aussi bien lors de la rénovation qu'à l'occasion de la construction d'un immeuble. Le nouveau standard permet de comparer les offres, de combiner les interfaces et de veiller à ce que toutes les prestations soient effectivement fournies. Au moins une installation sur cinq fait l'objet d'un contrôle dans le cadre d'un système de garantie de qualité exigeant.

Toutes les informations sont disponibles sur:
www.pac-systememodule.ch



EAU THERMALE

La plupart des sources chaudes naturelles sont généralement exploitées pour des bains thermaux. Selon le principe de l'usage en cascade (utilisation diverse à mesure que la température baisse), la chaleur résiduelle peut ensuite servir au chauffage de bâtiments et à l'eau chaude sanitaire. Après refroidissement, l'eau est dirigée vers un milieu récepteur en surface comme un cours d'eau ou réinjectée dans l'aquifère (voir encadré p.17).

EAUX DRAINÉES PAR LES TUNNELS

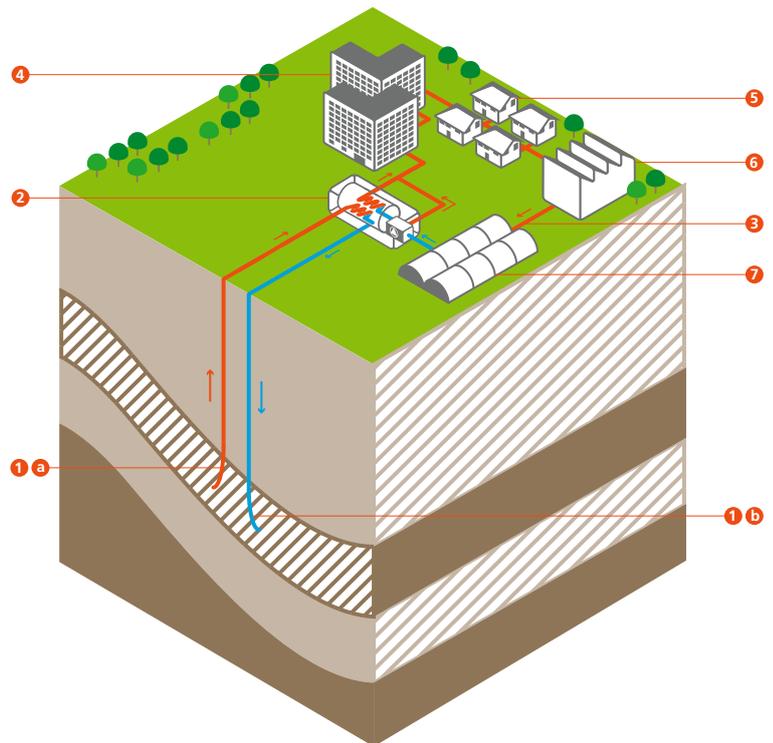
Les eaux souterraines drainées lors de la construction de tunnels sont disponibles aux portails (sorties) des tunnels comme source d'énergie à basse température pour le chauffage et le rafraîchissement de bâtiments, la production d'eau chaude sanitaire, ou pour des applications agricoles et industrielles. Cela implique que les bénéficiaires de cette chaleur excédentaire soient proches des sorties des tunnels.

SYSTÈME HYDROTHERMAL DE MOYENNE PROFONDEUR

Ce système utilise l'eau naturellement présente dans le sous-sol. Les aquifères, ou nappes d'eau souterraines, situés généralement dans des couches sédimentaires de 500 à 3000 m, servent de réservoirs-échangeurs. Ils permettent de valoriser la chaleur du sous-sol via un réseau de chauffage à distance. La chaleur peut ensuite être utilisée pour d'autres usages (pisciculture, balnéothérapie, alimentation de piscines, chauffage de serres, procédés industriels ou agricoles) à mesure que la température de l'eau baisse (usage en cascade). L'utilisation complémentaire d'une pompe à chaleur permet dans certains cas d'élever le niveau de température.

Ce système géothermique peut être couplé à d'autres systèmes produisant de la chaleur à partir d'énergies renouvelables telles que le solaire thermique, la biomasse, la récupération des rejets de chaleur, mais aussi non renouvelables comme le gaz et le mazout. Cette modularité favorise ainsi la mise en œuvre de la transition énergétique vers des énergies propres dans le secteur de la chaleur.

Système hydrothermal de moyenne profondeur



« La technique du doublet géothermique dans le bassin parisien est devenue une référence, la première installation ayant été réalisée à Melun l'Almont en 1969. La région Ile-de-France abrite ainsi la plus grande densité au monde d'opérations de géothermie en fonctionnement en 2017. Près de quarante doublets géothermiques fournissent du chauffage et de l'eau chaude à plus de 240'000 équivalent-logements. Cette expérience est tout à fait reproductible en Suisse. »

Christian Boissavy, Président de l'Association Française des Professionnels de la Géothermie

- 1 a Forage de production
- 1 b Forage d'injection
- 2 Centrale de chauffage géothermique (échangeur et pompe à chaleur)
- 3 Réseau de chauffage à distance
- 4 Bâtiments
- 5 Maisons individuelles
- 6 Industrie
- 7 Serres agricoles

LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN PLUS

Lorsque la température de l'eau prélevée est supérieure à 100°C, il est possible non seulement d'extraire de la chaleur mais aussi de produire de l'électricité. Pour atteindre ces températures, il faut soit des conditions géologiques particulières, soit un forage de 3000 à 5000 m de profondeur.

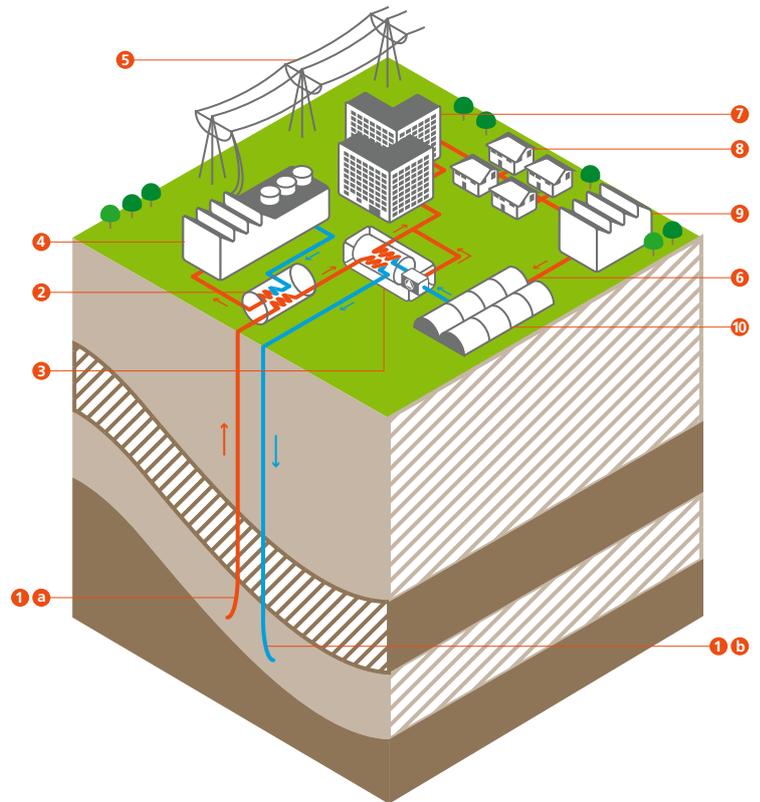
SYSTÈME HYDROTHERMAL DE GRANDE PROFONDEUR

Un système hydrothermal de grande profondeur utilise les fluides présents dans les aquifères profonds. Au moyen d'un forage profond, l'eau est extraite, puis réinjectée après refroidissement via un deuxième forage installé à distance du premier (voir encadré, p. 17). L'objectif principal consiste à extraire de la chaleur pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les processus agricoles et industriels. Il est également possible de produire de l'électricité sous certaines conditions:

- température de l'eau supérieure à 100°C
- volume du réservoir géothermique et débit d'exploitation suffisants pour une production d'électricité rentable et durable en surface

Même si l'on peut définir la nature des formations rocheuses et la localisation des principales zones de fracture où les conditions sont plus favorables, des forages d'exploration demeurent nécessaires. Ils permettent de confirmer l'existence d'aquifères productifs et d'évaluer la perméabilité, le débit et la température. Dans le cas où le débit est trop faible, on peut recourir à différentes techniques comme la stimulation hydraulique (voir encadré, p. 23). On se rapproche alors des systèmes EGS tels que définis à la page 23.

Système hydrothermal de grande profondeur



LES AQUIFÈRES PROFONDS ALLEMANDS PRODUISENT DE L'ÉLECTRICITÉ ET DE LA CHALEUR

En Allemagne, on compte une trentaine de centrales géothermiques de type hydrothermal, notamment dans le bassin munichois et le fossé rhénan pour le chauffage de bâtiments d'habitation, de bains thermaux et de serres, et 150 projets sont en cours de lancement. Une partie des installations produit aussi de l'électricité avec des températures de 110 à 140°C. Rien qu'en Bavière du sud, on comptait, en 2015, 25 concessions d'exploitation et 40 concessions d'exploration.

- | | | | |
|-----|---|----|--------------------------------|
| 1 a | Forage de production | 6 | Réseau de chauffage à distance |
| 1 b | Forage d'injection | 7 | Bâtiments |
| 2 | Echangeur | 8 | Maisons individuelles |
| 3 | Centrale de chauffage géothermique (échangeur et pompe à chaleur) | 9 | Industrie |
| 4 | Centrale de production électrique (turbine, génératrice, refroidissement) | 10 | Serres agricoles |
| 5 | Injection du courant sur le réseau | | |

UNE ÉNERGIE RESPECTUEUSE DE L'ENVIRONNEMENT

L'UN DES AVANTAGES PRINCIPAUX DE LA GÉOTHERMIE RÉSIDE DANS LE FAIT QUE CETTE ÉNERGIE EST QUASI EXEMPTÉ D'ÉMISSIONS DE CO₂ ET QU'ELLE RESPECTE L'ENVIRONNEMENT NATUREL. ELLE A ÉGALEMENT PEU D'IMPACT SUR LE PAYSAGE. COMME TOUTE TECHNOLOGIE, L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE COMPORTE CERTAINS RISQUES. CEUX-CI APPARAISSENT PRINCIPALEMENT DURANT LA PHASE DE CONSTRUCTION. ILS PEUVENT FACILEMENT ÊTRE ÉVITÉS GRÂCE À DES TECHNOLOGIES ET DES ÉQUIPEMENTS INSTALLÉS ET EXPLOITÉS DE MANIÈRE CORRECTE.

IMPACT FAIBLE SUR L'ENVIRONNEMENT

Durant la phase d'exploitation, une centrale géothermique fonctionne sans combustible (ce qui évite transport et stockage) et n'émet pas de substances toxiques. L'eau prélevée en profondeur est parfois chargée en éléments chimiques naturellement présents dans les roches dans lesquelles elle circule. Cependant aucun de ces éléments n'est libéré en surface puisque le fluide est réinjecté afin d'y être à nouveau réchauffé. Minime, l'impact environnemental d'une installation géothermique est lié au chantier de forage et au démantèlement, ainsi qu'à la consommation d'électricité des pompes de circulation et/ou PAC.

A noter que la géothermie a peu d'impact sur le paysage. Les sondes géothermiques et les forages dans les aquifères profonds pour le chauffage de quartiers sont peu ou pas visibles. Les centrales de chauffage auxquelles ces installations sont reliées se trouvent dans le sous-sol des bâtiments à chauffer ou dans des édifices ressemblant aux chaufferies classiques. Quant aux centrales géothermiques électriques modernes, elles sont très

compactes et peuvent être aisément intégrées au paysage. Ainsi, une installation de 5 MW_e qui fournit de l'électricité à environ 6000 ménages occupe l'équivalent d'un terrain de football.

Les nuisances sonores sont généralement liées à la phase de construction du chantier de forage et au trafic lié à celui-ci. En cas de production électrique, le fonctionnement des aérocondenseurs engendre néanmoins du bruit.

RISQUES DE CONTAMINATION DES EAUX

L'exploitation de la chaleur terrestre ne menace pas la qualité des eaux de surface ou souterraines. Par contre, si un forage n'est pas réalisé correctement ou si le site n'est pas adapté, certains risques existent. Toute installation géothermique est soumise à la législation sur la protection des eaux et sur la protection de l'environnement, ce qui minimise le risque de contamination des eaux.

« En ce qui concerne le chauffage des bâtiments, on constate déjà que la géothermie peut être imbattable sur les plans écologique et économique. Nous devons poursuivre nos efforts dans la production d'électricité afin de voir si un succès similaire est au rendez-vous dans ce domaine. »

Pierrette Rey, porte-parole du WWF pour la Suisse romande

EXTERNALITÉS DE LA GÉOTHERMIE PROFONDE SELON LES PHASES DE FORAGE ET D'EXPLOITATION

ENVIRONNEMENT	PHASE DE FORAGE	PHASE D'EXPLOITATION
SOL	1–2 hectares (en fonction de la profondeur du forage)	Minime (peut être en sous-sol ou dans un bâtiment)
AIR	Risque de dégagement de gaz pouvant être maîtrisé	Pas d'émissions de CO ₂ , pas de gaz toxiques (circuit fermé)
EAU	Risque de pollution et de modification des conditions hydrogéologiques	Risque de pollution et de modification des conditions hydrogéologiques
BRUIT	Transport et machine de forage	En cas de production d'électricité (système de refroidissement à l'air)
ODEUR	Risque de dégagement lors de forage	Minime
IMPACT VISUEL	Tour de forage	Minime (peut être en sous-sol ou dans un bâtiment). Plus important pour une centrale électrique.
FAUNE ET FLORE	Risque de déséquilibre naturel lié au chantier (lumière, plan d'eau artificiel, abattage d'arbres, etc.)	Minime
SISMICITÉ	Sismicité induite pouvant créer des dommages	Sismicité induite pouvant créer des dommages
TRANSPORT ET CARBURANT	Trafic lié au chantier	Minime
DÉCHETS	Boues de forage à gérer	Minime
RÉVERSIBILITÉ	Cimentation et fermeture du forage	Déconstruction de la centrale (forage non réversible)



Nuisances minimales ou inexistantes



Risques



Nuisances potentiellement importantes



LA GÉOTHERMIE REPRÉSENTE ACTUELLEMENT 1% DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE (CHALEUR ET ÉLECTRICITÉ) DANS LE MONDE.

LA GÉOTHERMIE DANS LE MONDE

En 2014, la puissance électrique cumulée des installations géothermiques présentes dans 26 pays représentait 13 gigawatts (GW), avec une prévision à 21 GW d'ici 2020. Ces installations produisaient 73'500 gigawattheures (GWh) d'électricité, soit 0,3% de la consommation mondiale. Avec une puissance installée de 3,4 GW, les Etats-Unis figurent au premier rang des pays producteurs d'électricité géothermique au monde. Suivent les Philippines, l'Indonésie, le Mexique puis l'Italie, chef de file en Europe avec 0,9 GW. Les installations les plus puissantes et les plus efficaces se trouvent dans des régions volcaniques ou le long de zones tectoniques actives, là où il est possible de capter à des profondeurs de 1000 à 3000 m des fluides dépassant 200 °C, et de les utiliser pour produire de l'électricité grâce à une turbine à vapeur.

La puissance des installations produisant de la chaleur à partir de l'énergie géothermique est estimée, dans 82 pays, à 70 GW en 2014.

L'Islande a fait de la géothermie un pilier essentiel de son économie en tirant profit de son volcanisme. Source: iStockphoto

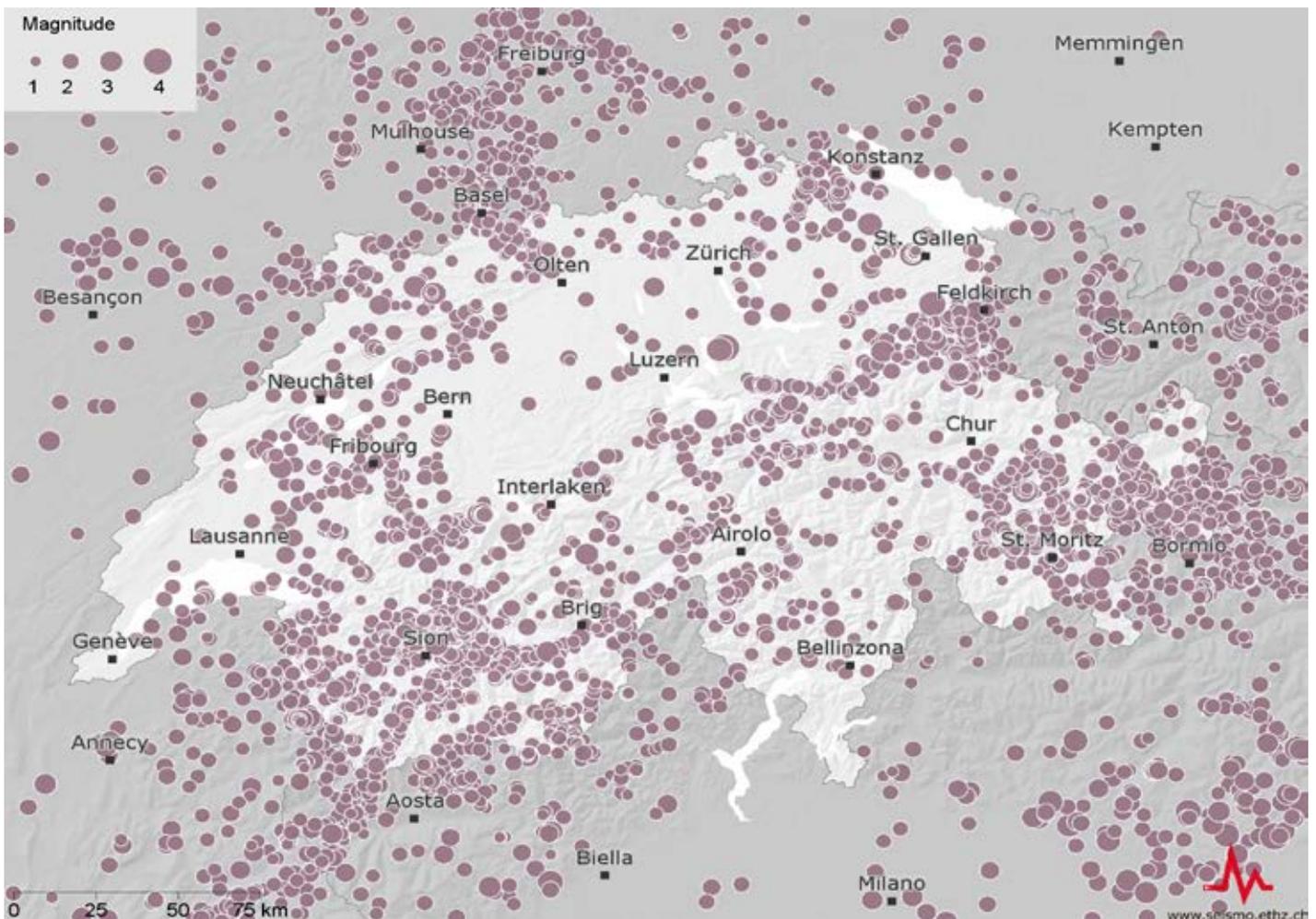
RISQUES SISMIQUES

Ce type de risque ne concerne que la géothermie de grande profondeur, et plus particulièrement les systèmes pétrothermaux. Dans le cas des systèmes géothermiques stimulés (voir encadré p. 23), de l'eau sous pression est injectée dans la roche afin de créer des fissures ou d'élargir celles existantes dans le but de réaliser un échangeur de chaleur. Ce processus entraîne naturellement de faibles mais nombreux microséismes, dont la quasi-totalité n'est pas ressentie par la population locale. Par contre, ils vont fournir de précieuses informations sur la dimension et l'étendue du réservoir. Une faible sismicité induite peut également être observée durant la phase d'exploitation dans une moindre mesure.

Plusieurs techniques novatrices permettent d'anticiper ce type de risque et de maintenir les séismes induits à un niveau acceptable. Par ailleurs, des systèmes d'enregistrement et de surveillance des événements microsismiques servent à interrompre les opérations lorsque la fréquence et l'intensité des microséismes commencent à augmenter. Toutefois, même si la microsismicité est de mieux en

mieux contrôlée, il est à l'heure actuelle impossible d'exclure complètement ce type d'incidents, ni de les prédire longtemps à l'avance. A noter que des séismes de plus de 2,5 de magnitude sur l'échelle de Richter restent des cas rares dans le cadre de forages géothermiques.

La Suisse connaît des tremblements de terre de magnitude supérieure à 3 sur l'échelle de Richter environ dix fois par année, ceux-ci étant ressentis par la population environnante à partir d'une magnitude de 2,5. Ils sont la plupart du temps d'origine naturelle mais peuvent également être provoqués par la construction d'ouvrages (par exemple tunnel, barrage, extraction minière et stimulation de forage géothermique). Les deux derniers événements liés à des projets géothermiques sont les séismes mineurs survenus dans le cadre des projets de grande profondeur à Bâle en 2006 et à Saint-Gall en 2013 (voir encadré p. 37). A noter que les séismes compris entre 3 et 3,9 de magnitude sont considérés comme «mineurs» selon l'échelle de Richter, car ils ne provoquent généralement pas de dommages importants.



Epicentres des tremblements de terre de magnitude ≥ 1 entre 2006 et juin 2016.
Source: SED

INSTALLATIONS ET PROJETS EN SUISSE

LA SUISSE CONNAÎT UN DÉVELOPPEMENT DE L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE DEPUIS UNE TRENTAINE D'ANNÉES, MALGRÉ LE FAIT QUE NOTRE PAYS NE POSSÈDE NI VOLCAN NI AUTRE ANOMALIE GÉOTHERMIQUE POUVANT PERMETTRE UN CAPTAGE AISÉ DE LA CHALEUR DU SOUS-SOL. MAIS L'EXPÉRIENCE MONTRE QUE, SELON LE TYPE DE TECHNOLOGIE UTILISÉE, DES EXPLOITATIONS GÉOTHERMIQUES SONT INTÉRESSANTES D'UN POINT DE VUE ÉCONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTAL DANS NOTRE PAYS.

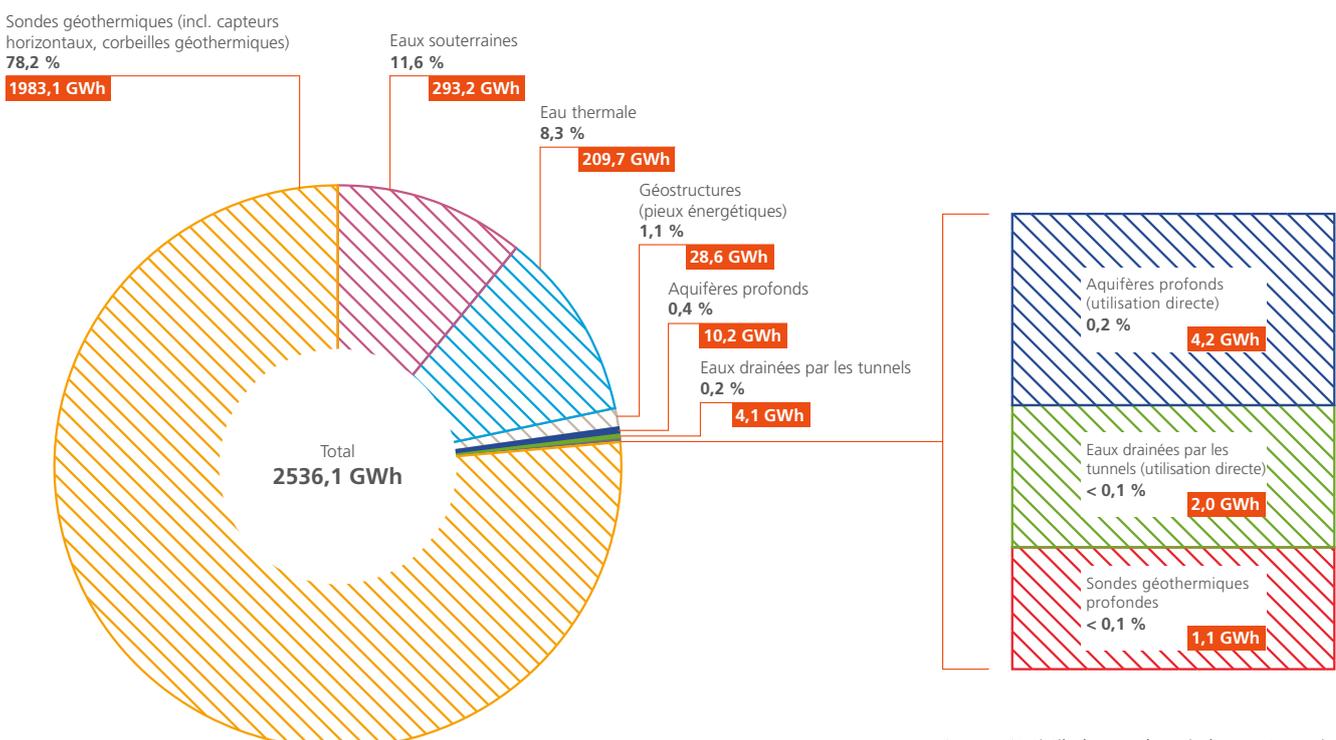
ÉTAT DE LA GÉOTHERMIE EN SUISSE

Actuellement, l'utilisation de la géothermie en Suisse se limite exclusivement à l'extraction et au stockage d'énergie thermique pour chauffer et rafraîchir. Il n'existe pour l'instant pas d'installation de production d'électricité sur notre territoire. Les installations individuelles de sondes géothermiques verticales couplées à des pompes à chaleur constituent la forme la plus courante d'exploitation de l'énergie géothermique de faible profondeur en Suisse. Ainsi, près de 15% des chauffages de notre pays sont équipés de pompes à chaleur géothermiques.

Par ailleurs, les champs de sondes géothermiques sont de plus en plus fréquents pour des grands bâtiments avec des besoins en chauffage et en rafraîchissement, ce qui augmente notablement l'efficacité énergétique de ces systèmes.

Les sondes géothermiques (sondes géothermiques verticales, capteurs horizontaux et corbeilles géothermiques) représentent près de 80% de l'énergie géothermique (part renouvelable) produite en Suisse, soit 1986,1 GWh* par an, un chiffre qui a plus que triplé en 10 ans. La Suisse compte près de 90'000 sondes

POURCENTAGE DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE (PART RENOUVELABLE) PRODUITE SELON TOUS LES SYSTÈMES GÉOTHERMIQUES EN 2015



Source: Statistik der geothermischen Nutzung in der Schweiz (seulement en allemand), édition 2015, juillet 2016

géothermiques, soit plus de deux par km²*. A l'heure actuelle, il s'agit de la filière la plus importante sur le plan économique du marché suisse de la géothermie.

Le reste de la production de chaleur issue de l'énergie géothermique (part renouvelable) se partage entre l'exploitation des eaux souterraines (293,2 GWh = plus de 5000 installations),

l'eau thermale (209,7 GWh = 15 centres thermaux), les géo-structures énergétiques (28,6 GWh = env. 30 installations), les aquifères profonds (14,4 GWh = 6 installations), les eaux drainées par les tunnels (6,1 GWh = 7 tunnels) et les sondes géothermiques profondes (1,1 GWh = 3 installations).*

* Chiffres 2015

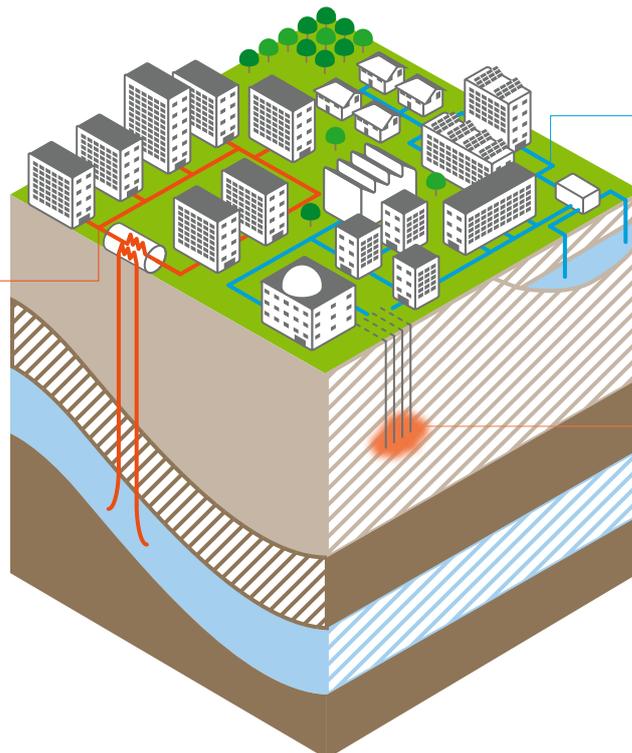
UN NOUVEAU CONCEPT: L'ANERGIE OU L'ADÉQUATION ENTRE BESOINS ET REJETS

Faisant partie de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich, le campus Science City vise à stocker sous terre, lorsqu'il n'y a pas de besoin, les rejets de chaleur de ses bâtiments au moyen de quelque 800 sondes géothermiques, afin de mettre cette énergie à disposition des utilisateurs au moment opportun. Ces systèmes s'inspirent de l'écologie industrielle qui vise à faire en sorte que les «déchets» des uns deviennent la matière première des autres. Dès que ces accumulateurs d'énergie thermique auront été intégrés au réseau, il en résultera un système de stockage dynamique également appelé «réseau d'anergie». Celui-ci permettra de fournir indifféremment du chauffage, de l'eau chaude sanitaire et du rafraîchissement, tout en stockant les calories excédentaires dans le terrain pour les réutiliser ultérieurement.

Modèle de réseaux de chaleur et de rafraîchissement, avec stockage géothermique

Réseau moyenne et haute température

La géothermie de moyenne et grande profondeur fournit la majeure partie de la chaleur du réseau. Les bâtiments anciens ont besoin d'un niveau de température élevée. L'utilisation de PAC n'est pas obligatoire mais peut permettre de mieux valoriser la géothermie.



Réseau à basse température

Les bâtiments à basse consommation ont besoin d'un niveau de température modéré. La géothermie fournit de la chaleur et permet d'en stocker (rejets thermiques industriels, solaire thermique, etc.). La géothermie fournit aussi du rafraîchissement. L'utilisation de PAC est nécessaire et permet d'optimiser le système.

Stockage géothermique

Le sous-sol à faible, moyenne et grande profondeur ainsi que les eaux souterraines peuvent servir de stockage géothermique. Ainsi, des rejets de chaleur peuvent être stockés et valorisés ultérieurement pour du chauffage (par exemple en hiver). A l'inverse, une fois refroidi, le sous-sol peut servir à fournir du geocooling (par exemple en été).

En Suisse, plusieurs régions dans les Alpes, le Jura et sur le Plateau présentent des aquifères potentiels intéressants pour l'exploitation de la géothermie de moyenne profondeur. Encore largement sous-exploitée, cette technologie montre cependant un grand potentiel pour notre pays.

En 2017, 8 centrales de moyenne profondeur sont en fonction. A Weissbad, Weggis et Zurich, des sondes géothermiques pouvant atteindre 2300 m de profondeur permettent de chauffer des bâtiments et un hôtel-spa. A Riehen, la chaleur profonde est utilisée dans un réseau de chauffage à distance. A Kreuzlingen, Lavey-les-Bains, Schinznach-Bad et Bassersdorf, l'eau est destinée aux bains thermaux et au chauffage des installations. Lavey-les-Bains, où se trouve la source d'eau la plus chaude de Suisse, a été en 1972 la première réalisation géothermique pour le chauffage de bâtiments en complément à l'exploitation d'un établissement thermal. Depuis 1998, 100% des besoins thermiques du centre thermal sont assurés par la géothermie, sans aucune pompe à chaleur.



L'eau circulant dans des failles ou des roches perméables est drainée par les tunnels. La chaleur contenue dans ces eaux souterraines peut être utilisée à des fins de chauffage, comme par exemple pour une serre tropicale à Frutigen (voir image page 8). Source: CREGE

PLUS DE 20 ANS D'EXPÉRIENCE À LA CENTRALE DE HASELRAIN À RIEHEN (BS)

Depuis 1994, la commune de Riehen abrite la plus grande centrale géothermique hydrothermale de Suisse et la seule basée sur l'exploitation d'un aquifère profond au moyen d'un doublet: forage de production de 1547 m et forage d'injection de 1247 m de profondeur. Le débit d'exploitation initial de 18 l/s est passé à environ 25 l/s grâce à l'injection d'acide chlorhydrique qui a dissout la calcite bouchant partiellement les fissures dans lesquelles de l'eau circule (stimulation chimique). La géothermie fournit 50% de la chaleur du réseau de chauffage urbain. Elle est complétée par des centrales à couplage chaleur-force à haut rendement et par d'autres centrales de production de chaleur permettant de couvrir les pics de demande. Ce réseau de chaleur à distance alimente quelque 7000 habitants de Riehen. Il évite au final le rejet de 9000 tonnes de CO₂ par année.



Tête de forage à la centrale géothermique de Riehen.
Source: Wärmeverbund Riehen AG

SUR LES 600 TUNNELS QUE COMPTE LA SUISSE, 15 POSSÈDENT UN IMPORTANT POTENTIEL GÉOTHERMIQUE ET 7 UTILISENT CETTE ÉNERGIE.

L'utilisation de l'énergie géothermique des tunnels suisses remonte au début des années 1970. Sur les 600 tunnels et galeries que compte la Suisse, 15 ont un potentiel géothermique intéressant et 7 installations utilisent cette énergie: elles se trouvent aux portails (sorties des tunnels) du St-Gothard, de la Furka, du Mappo-Morettina, du Hauenstein, du Ricken, du Grand-Saint-Bernard et du Lötschberg. L'énergie géothermique sert au chauffage et au rafraîchissement de divers logements, bâtiments, salles et centres sportifs, mais aussi à l'élevage de poissons et au chauffage de serres. Les installations nécessitent la présence d'une pompe à chaleur pour élever le niveau de température de la ressource, sauf dans le cas de la pisciculture.

Quant à la géothermie de grande profondeur permettant de fournir de la chaleur et de l'électricité, aucune centrale n'a été réalisée pour le moment en Suisse.

LES ÉTAPES CLÉS D'UN PROJET DE GÉOTHERMIE DE MOYENNE OU GRANDE PROFONDEUR

1. Concept et étude de pré-faisabilité

Evaluer la faisabilité du projet sur la base des documents géologiques existants afin de préciser le potentiel géothermique; confronter ces informations à celles concernant les consommateurs.

2. Phase de prospection et d'exploration: étude du sous-sol, recherche de gisement et accès à la ressource

Déterminer l'endroit optimal pour les forages destinés à exploiter les ressources géothermiques et inventorier ces ressources. Une fois la ressource identifiée, vérifier sa présence mais aussi ses caractéristiques attendues (température, débit, capacité de réinjection, etc.) grâce à un premier forage.

3. Phase de réalisation des forages: captage de la ressource

En cas de succès, un forage de production permet de faire remonter l'eau chaude à la surface. L'eau refroidie est généralement réinjectée dans un autre forage (technique du doublet) afin de protéger l'environnement et de garantir la pérennité de la ressource.

4. Phase de construction et de distribution

En cas de production de chaleur, construction d'un réseau de chauffage à distance ou connexion à un réseau existant. Pour la production électrique, construction d'une centrale.

5. Phase d'exploitation: Production de chaleur et/ou d'électricité et transmission au consommateur

Suivant la quantité d'énergie captée et l'usage auquel elle est destinée, différents systèmes sont possibles (voir pp. 21 à 23). L'énergie géothermique est ensuite transmise aux bâtiments directement ou indirectement via un réseau de chauffage à distance et/ou une centrale de production d'électricité.

Hormis ces étapes techniques, des demandes d'autorisation, un montage financier, des appels d'offres, des notices ou études d'impact environnemental, une étude sismique et une campagne d'information, accompagnent généralement ce type de projet.

POTENTIEL GÉOTHERMIQUE ET STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE

Dans son étude «Perspectives énergétique 2050» datant de 2013, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) estime que la Suisse pourra produire jusqu'à 4,4 TWh d'électricité géothermique par an d'ici 2050 (potentiel technique estimé à 80'000 TWh), sur les 62 TWh consommés annuellement en Suisse. Ainsi, 7% de la consommation d'électricité en Suisse seraient couverts par l'énergie géothermique. Cela correspond à la production d'environ 110 centrales géothermiques d'une puissance de 5 MW_{el} et à 1,5 fois la puissance de la centrale nucléaire de Mühleberg.

Le plus grand potentiel pour produire du courant d'origine géothermique réside dans la technique pétrothermale, étant donné que le sous-sol suisse profond se compose de roches cristallines ne contenant naturellement que très peu d'eau. Des projets hydrothermaux de grande profondeur peuvent cependant être envisagés dans certaines régions particulières du point de vue géologique que l'on trouve localement au pied du Jura, sur le Plateau, ou dans les Préalpes et les Alpes. Dans ce document, aucun objectif pour la production de chaleur n'a été établi. L'OFEN précise néanmoins que la surface habitable chauffée par des pompes à chaleur devra au minimum être multipliée par six entre 2010 et 2050.

Afin de rendre exploitable une fraction de ce potentiel technique colossal, la connaissance du sous-sol doit être considérablement améliorée. Il s'agit en effet du point faible de la Suisse: ne s'appuyant sur aucune tradition gazière ou pétrolière comme les pays l'entourant, la connaissance du sous-sol helvétique profond est extrêmement limitée. Or, seuls des forages permettent d'établir avec précision les conditions thermiques et hydrauliques du sous-sol.

Les connaissances actuelles sur la nature du sous-sol de la Suisse (type de roches, présence et productivité d'aquifères, zones de failles, etc.) se fondent sur les données provenant d'une partie des forages existants. Il en existe actuellement 95 entre 600 et 3000 m de profondeur et 16 à plus de 3000 m de profondeur. Par comparaison, une densité de huit forages profonds par 1000 km² existe en Bavière (D) contre 1 sur le Plateau suisse.

Parallèlement, le Service géologique national de swisstopo élabore des modèles géologiques en 3D (voir page 12) pour faciliter l'exploitation de l'énergie géothermique. Au niveau fédéral, il est envisagé de développer un programme d'exploration systématique du sous-sol grâce à plusieurs forages.

« L'Office fédéral de l'énergie nourrit de grands espoirs pour la production d'électricité d'origine géothermique dans le futur. La plus grande difficulté est probablement le manque de connaissances du sous-sol de la Suisse. A cet égard, la Confédération, les cantons et les communes soutiennent des projets de recherche et d'innovation. Dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050, des contributions à la prospection sont nouvellement prévues et vont permettre d'améliorer les conditions-cadre pour les investisseurs. »

Dr. Frank Rutschmann, Chef de la section Energies renouvelables



Lors d'une campagne de prospection géophysique, un camion vibreur émet des ondes acoustiques qui permettront, grâce aux données récoltées, de réaliser une coupe géologique du sous-sol. Source: Pedro Neto

En 2017, une dizaine de projets de géothermie de moyenne et grande profondeur était en cours d'élaboration, dont:

- système hydrothermal: AGEPP à Lavey-les Bains (VD), Plaines-du-Loup (VD), EnergieÖ La Côte (VD), GEothermie2020 (GE), Oftringen (AG)
- système pétrothermal: Haute-Sorne (JU), Avenches (VD), Etwilen (TG), Pfaffnau et Triengen (LU).

Ces cinq derniers sont développés par Geo-Energie Suisse SA, une société issue d'un consortium de sept entreprises énergétiques suisses dont le but est de développer la technologie des systèmes géothermiques stimulés.

Le projet le plus avancé est celui de Haute-Sorne pour lequel un permis de construire a été délivré en 2015. Celui-ci a pris en compte les multiples données et expériences tirées du projet EGS de Bâle, afin de mettre en place un nouveau concept de stimulation par étape qui fournit plus d'énergie et engendre moins de microsismicité induite (voir encadré p. 23). En comparaison, sept centrales géothermiques profondes sont déjà en service pour la production d'électricité en Allemagne et deux en France.

A noter qu'en fonction du débit et de la température de l'eau extraite, et donc de la quantité d'énergie à disposition, plusieurs scénarios de valorisation de l'énergie sont possibles. L'échec total d'un projet est donc rare car il existe toujours la possibilité de valoriser la chaleur du sous-sol avec une sonde géothermique profonde. De plus, les connaissances délivrées lors d'un forage profond sont nécessaires pour de futurs projets.

4,4 TWh_{el} =
110 INSTALLATIONS
DE 5 MW_{el}

G GEOTHERMIE SCHWEIZ
GEOTHERMIE SUISSE
GEOTERMIA SVIZZERA

GEOTHERMIE-SUISSE: LA VOIX DE LA GÉOTHERMIE EN SUISSE

GEOTHERMIE-SUISSE promeut l'énergie géothermique en Suisse par la mise sur pied de différentes actions et l'élaboration d'outils de communication. En 2012, sa restructuration en une organisation faîtière a permis d'améliorer la visibilité de la géothermie dans les milieux économiques et politiques. Ses supports d'information visent à faire connaître les nombreux avantages de cette énergie renouvelable ainsi que les risques de manière transparente, afin d'améliorer son image et son acceptation auprès des autorités, des scientifiques, des acteurs de l'approvisionnement énergétique et du public. En tant que centre de compétences, cette association travaille sur des projets de formation et d'éducation pour ses membres et d'autres parties intéressées.



Centrale géothermique du projet de moyenne profondeur EnergieÖ à Vinzel (VD), avec puits de production et de réinjection – image de synthèse. Source: EnergieÖ

CONDITIONS-CADRE DE LA GÉOTHERMIE

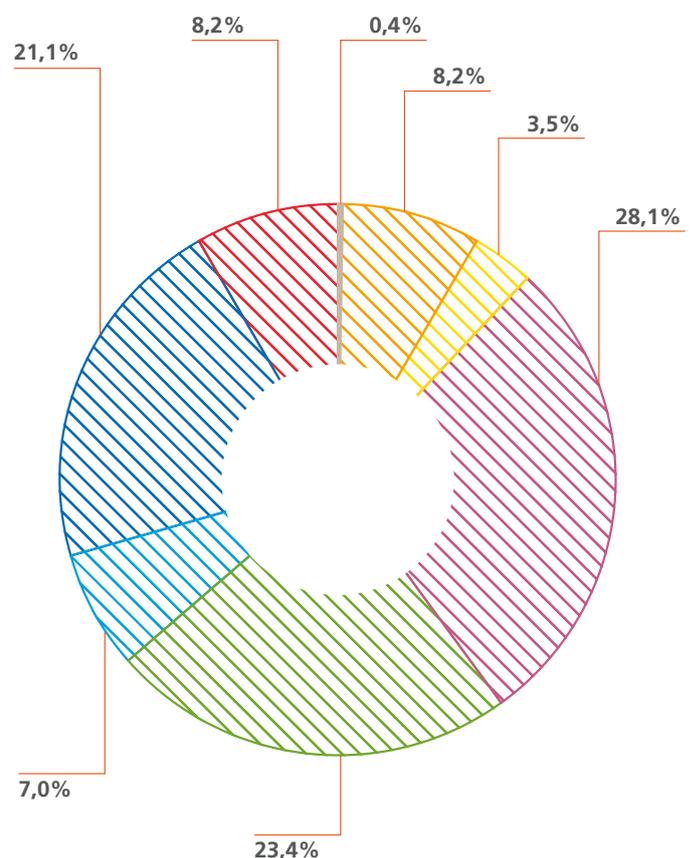
A L'HEURE ACTUELLE, LES FREINS PRINCIPAUX À LA GÉOTHERMIE PROFONDE SONT LES COÛTS DES FORAGES PROFONDS, LE RISQUE LIÉ À L'EXPLORATION DE RESSOURCES SOUTERRAINES, AINSI QU'UN CADRE LÉGAL NON UNIFORMISÉ OU INADAPTÉ DANS CERTAINS CANTONS. OR SEULES DES INSTALLATIONS PILOTES PERMETTRONT D'ACQUÉRIR LES CONNAISSANCES NÉCESSAIRES SUR LE SOUS-SOL ET SUR LES PROCÉDÉS À METTRE EN ŒUVRE DANS DES CONDITIONS RÉELLES, AFIN DE CONSTRUIRE À TERME DES CENTRALES GÉOTHERMIQUES CAPABLES D'EXTRAIRE DE LA CHALEUR ET DE PRODUIRE DE L'ÉLECTRICITÉ.

LE COÛT DE LA GÉOTHERMIE

L'investissement de départ pour l'installation d'une sonde géothermique verticale dans une maison individuelle est plus élevé que pour un système de chauffage au gaz ou au mazout. Par contre, les frais d'exploitation et de maintenance sont généralement moins élevés et plus stables dans la durée. Il s'agit donc d'une bonne opération financière notamment pour une nouvelle construction, mais également dans le cadre de la rénovation d'un bien immobilier et de son système de chauffage.

En ce qui concerne la géothermie de moyenne et grande profondeur, ce sont les coûts de forage qui alourdissent le plus le bilan de la géothermie, généralement estimés à la moitié de la facture totale. En phase d'exploration, ils constituent un facteur de risque financier, car ce n'est qu'avec le forage que l'on peut connaître les caractéristiques précises du sous-sol; ensuite, les essais de production permettent d'évaluer le potentiel technique et économique de la ressource géothermique. Selon les résultats obtenus, une réorientation de certains projets s'impose.

RÉPARTITION DES COÛTS POUR LES PROJETS DE GÉOTHERMIE DE GRANDE PROFONDEUR



Source: GEOTHERMIE-SUISSE, édition 2014, août 2015

Concernant la production d'électricité d'origine géothermique, le prix de revient en Suisse est estimé aujourd'hui entre 40 et 60 ct./kWh par l'Office fédéral de l'énergie. Selon l'étude de TA-Swiss «Energy from the earth» (2015), les prix de revient devraient à l'avenir être nettement plus faibles, notamment en cas de vente de la chaleur résiduelle (14 ct./kWh).

Plusieurs facteurs permettront à l'avenir de diminuer les coûts de l'énergie géothermique, en particulier de grande profondeur, et de concurrencer à terme le marché des autres énergies renouvelables:

- la diminution des coûts de forage grâce aux progrès techniques, conduisant à réaliser des forages de plus en plus profonds et plus rapidement
- l'optimisation des procédés pour augmenter la perméabilité de la roche réservoir et pour créer des échangeurs de chaleur plus efficaces
- l'amélioration de la connaissance du sous-sol en faisant appel aux méthodes géophysiques de pointe pour le choix des sites
- une meilleure compréhension de la sismicité induite et de la modélisation des réservoirs (nouvelles technologies 3D)
- La réduction de l'énergie nécessaire pour pomper et réinjecter l'eau produite
- les améliorations techniques de la conversion électrique, afin de parvenir à une plus grande efficacité avec des températures plus basses.

LES AIDES FINANCIÈRES

À l'heure actuelle, la Confédération, soucieuse de soutenir l'essor de la géothermie profonde en Suisse, offre une couverture des risques pour les installations géothermiques destinées à produire de l'électricité. Cette mesure doit permettre de stimuler les investissements à risque et d'augmenter le nombre de bons projets.

La rétribution à prix coûtant du courant injecté (RPC) d'origine renouvelable, soit le prix correspondant aux coûts de production, constitue une autre incitation de la Confédération. Le fonds RPC est alimenté par une redevance que les consommateurs d'électricité versent pour l'utilisation du réseau. Pour le courant renouvelable d'origine géothermique, le montant de la rétribution est fixé, depuis le 1^{er} janvier 2014 et pour 20 ans, à un tarif de 40 centimes par kWh pour les installations dont la puissance électrique ne dépasse pas 5 MW. Certains cantons octroient des subventions dans le cadre de projets géothermiques de plus faible profondeur.

LE CADRE LÉGAL

En Suisse, même si la Constitution fédérale énonce certains principes généraux en matière d'aménagement du territoire et de protection des eaux et de l'environnement, l'utilisation du sous-sol relève, selon le droit actuel, de la responsabilité des cantons. Selon les législations cantonales relatives à la construction, une simple autorisation de construire est requise pour les installations peu profondes comme les sondes géothermiques, l'usage thermique des eaux souterraines, les capteurs horizontaux, les corbeilles géothermiques et les pieux énergétiques. Ces installations, conformément à la législation en matière de protection des eaux souterraines, nécessitent une autorisation pour les forages et les essais de pompage dans les eaux souterraines. De plus, l'utilisation thermique des eaux souterraines peut être soumise à concession. À partir d'une certaine profondeur, le canton exige en général un permis pour l'exploration, puis une concession pour l'exploitation des ressources géothermales, le permis ne donnant pas nécessairement droit à la concession.

La situation légale pour l'installation de centrales géothermiques varie selon les cantons: certains ne possèdent aucune réglementation à ce sujet, d'autres s'appuient sur la loi sur les mines ou leurs lois cantonales sur les eaux, la protection des eaux et les ressources du sous-sol. Outre ces dispositions, le projet doit prendre en compte de nombreuses autres prescriptions qui varient également d'un canton à l'autre:

- autorisation de prélèvement d'eau ou d'utilisation de la nappe phréatique
- conformité de l'installation prévue avec la loi sur la protection de la nature et du paysage
- respect du plan directeur cantonal conformément à la loi sur l'aménagement du territoire
- notice ou étude de l'impact sur l'environnement en vertu de la loi sur la protection de l'environnement
- étude sur les risques sismiques pour les systèmes hydrothermaux de grande profondeur et les systèmes pétrothermaux

Il en résulte un manque d'uniformité dans les démarches à entreprendre pour la planification et une éventuelle exploitation d'installations géothermiques en Suisse. Il est actuellement question d'harmoniser les pratiques des cantons et d'intégrer le sous-sol dans les plans structurels et les plans directeurs cantonaux afin d'améliorer les conditions-cadre pour les investisseurs et les développeurs de projets.

UNE ÉNERGIE PLEINE D'AVENIR

L'UTILISATION DE L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE DE FAIBLE ET MOYENNE PROFONDEUR REPOSE SUR DES TECHNIQUES QUI FONCTIONNENT PARFAITEMENT DEPUIS DE NOMBREUSES ANNÉES. DANS CE DOMAINE, LA RECHERCHE SE FOCALISE PRINCIPALEMENT SUR L'OPTIMISATION DES INSTALLATIONS GÉOTHERMIQUES EN TERMES DE COÛT, DE QUALITÉ, D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL. PAR CONTRE, LE DÉVELOPPEMENT DE SYSTÈMES PÉTROTHERMAUX POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ NÉCESSITE ENCORE DE METTRE SUR PIED DES INSTALLATIONS PILOTES.

LES DOMAINES CLÉS DE LA RECHERCHE

Les trois domaines principaux de la recherche mondiale qui connaissent un fort potentiel de développement sont les suivants:

- **rentabilité:** augmentation du rendement grâce à des technologies innovantes pour les pompes, les forages, les échangeurs de chaleur; utilisation de la chaleur résiduelle; systèmes hybrides combinant diverses ressources énergétiques; techniques de conversion de l'énergie thermique en énergie électrique
- **technique liée aux installations:** développement des matériaux afin d'éviter la corrosion des tubes dans les forages, des conduites reliant les puits et de l'échangeur; chimie des eaux thermales
- **sismicité:** développement de modèles numériques afin de simuler et prévoir les phénomènes survenant en sous-sol tels que le déclenchement de petits séismes perceptibles par la population; monitoring sismique; nouveaux protocoles d'injection d'eau pour minimiser la magnitude de la sismicité induite

TROIS INSTALLATIONS PILOTES EN EUROPE

Alors qu'il existe déjà des centaines d'installations hydrothermales dans le monde, seules des installations pilotes de type pétrothermal permettront d'acquérir les connaissances nécessaires sur le sous-sol et sur les procédés mis en œuvre dans des conditions réelles pour les projets plus complexes. Cela permettra également de développer de nouvelles technologies.

En 2017, il existe trois installations pilotes en Europe utilisant la technique pétrothermale afin de produire de l'électricité. L'une est située à Soultz-sous-Forêts au nord de Strasbourg, en Alsace, et les deux autres se trouvent en Allemagne, également dans le fossé rhénan. Pour le projet européen de Soultz, qui a débuté en 1986 et

auquel ont participé des chercheurs suisses pendant de nombreuses années, quatre forages profonds de 3600 à 5000 m ont été réalisés. Une circulation d'eau géothermale activée entre les puits par un système de pompage permet de récupérer environ 30 à 40 litres d'eau par seconde à 165 °C en fond de puits, ce qui offre une puissance de 1,5 MW électrique. La centrale électrique a été reconstruite en 2016.

La recherche européenne à Soultz-sous-Forêts a permis de tirer de nombreux enseignements, notamment en ce qui concerne la maîtrise de la sismicité induite. Ce pilote scientifique a montré la voie au concept d'EGS. D'ailleurs, tirant profit du succès de Soultz-sous-Forêts et utilisant les anomalies thermiques de la région, une première exploitation de production de chaleur géothermique pour l'industrie a été inaugurée en 2016. Également située en Alsace, la centrale de Rittershoffen vise ainsi à alimenter en chaleur l'usine de Roquette, leader mondial de la transformation de l'amidon. Après réalisation du doublet géothermique à 2500 m de profondeur, de la stimulation et des tests de production, cette centrale a été mise en service avec une puissance thermique de 24 MW. La production annuelle d'énergie équivaut au chauffage de 12'000 logements.

FORMATION, RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT EN SUISSE

En Suisse, la recherche en géothermie profonde nécessite des programmes de formation appropriés proposés dans les hautes écoles. Actuellement, l'Université de Neuchâtel ainsi que l'École Polytechnique Fédérale de Zurich (EPFZ) dispensent une formation spécifique dans ce domaine. Le Centre d'hydrogéologie et de géothermie (CHYN) de l'Université de Neuchâtel offre un master en hydrogéologie et en géothermie unique en Europe, ainsi qu'une formation continue en systèmes géothermiques profonds.

Il accueille également un laboratoire de géothermie qui participe et accompagne de nombreux projets scientifiques appliqués.

En 2013, le Parlement a adopté le plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée» qui a conduit à la création de huit centres de compétences financés par le Fonds national suisse et la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI).

Le Centre de compétences SCCER-SoE (Supply of Electricity), établi sur le site de l'EPFZ, s'intéresse particulièrement à la géothermie profonde et au stockage du CO₂. Regroupant 25 entités comprenant des hautes écoles, des instituts de recherche, des offices et services fédéraux, ainsi que des partenaires industriels, il intègre trois niveaux de recherche pour la géothermie:

- la simulation numérique et le développement de technologies innovantes concernant les forages, la cimentation des puits, les capteurs pour puits et les matériaux résistant à la corrosion

- la validation des données dans des laboratoires souterrains (notamment dans le laboratoire du Grimsel)
- le développement de projets pilotes

Parallèlement, de nombreux projets de recherche et développement ont été lancés tels que GEOSIM/prévention des risques sismiques, GEOTHERM-2/recherche sur les processus dans les réservoirs géothermiques profonds en exploitant notamment les données du projet EGS bâlois, et COTHERM/modélisation de systèmes géothermiques combinant hydrogéologie, géochimie et géophysique. Le projet pilote GEOBEST, mené par le Service sismologique suisse (SED), accompagne des projets de géothermie profonde avec un réseau de mesure ultrasensible, afin de construire des modèles de prévision les plus précis possible pour des séismes induits artificiellement.

BÂLE ET SAINT-GALL: DEUX PROJETS RICHES D'ENSEIGNEMENTS

Le projet Deep Heat Mining de Bâle visait à fissurer des roches granitiques situées à 5000 m de profondeur en injectant de l'eau à haute pression dans deux forages profonds, afin de créer un échangeur de chaleur souterrain capable de produire de l'électricité d'origine géothermique (système pétrothermal, voir p. 23). Ce projet a été interrompu en décembre 2006 à la suite de séismes atteignant jusqu'à 3,4 de magnitude sur l'échelle de Richter, induits par la stimulation du premier forage. Le projet de centrale géothermique a ensuite été abandonné en 2009 en raison du risque sismique.

Depuis lors, un nouveau concept a été élaboré sur la base des données et des expériences tirées du projet bâlois, qui ont démontré la faisabilité de la création artificielle d'un «chauffe-eau souterrain» au moyen de la stimulation hydraulique. On part aujourd'hui du principe que la mise en œuvre d'un système de stimulation multi-étapes de segments isolés (voir encadré p. 23) pourrait limiter l'activité sismique induite et garantir un meilleur rendement énergétique.

Le projet saint-gallois prévoyait un système hydrothermal (voir p. 22) impliquant deux forages de plus de 4000 m de profondeur, qui devait fournir entre 60 et 80 GWh thermiques destinés à alimenter un réseau de chauffage à distance et produire 7 à 10 GWh électriques. Le premier forage a été creusé au début 2013 sans rencontrer de difficulté notable. Des tests hydrauliques et des stimulations chimiques visant à déterminer et à améliorer sa productivité ont été réalisés à mi-2013. Du gaz naturel ayant fait irruption dans le trou de forage avant le test de production programmé, il a fallu appliquer une contre-mesure technique consistant à injecter une quantité imprévue d'eau et de fluide de forage pour rétablir la stabilité hydraulique à l'intérieur du forage et pour satisfaire à toutes les exigences de sécurité en vigueur. Le lendemain, une secousse sismique de magnitude 3,5 sur l'échelle de Richter a été ressentie dans la région. Le projet a été stoppé et la situation a été examinée en détail. Des tests de production de gaz et d'eau ont été effectués un peu plus tard. Le projet de centrale géothermique a finalement été abandonné à mi-2014 pour différentes raisons: la production d'eau profonde obtenue était trop inférieure au débit escompté; la présence de gaz naturel entravait l'exploitation géothermique du forage; et l'aléa sismique empêchait d'en creuser d'autres.



Inaugurée en juin 2016, la centrale de Rittershoffen en Alsace (F) est la première centrale de géothermie profonde au monde à vocation industrielle qui utilise la technologie EGS. Source: Hansruedi Fisch, avec autorisation de ECOGI

Le sous-sol profond suisse étant peu connu, des efforts pour améliorer les connaissances des structures géologiques profondes ont été entrepris. Le nouveau système d'information de géothermie profonde en accès gratuit et illimité de swisstopo représente un outil de grande utilité pour tout porteur de projet, quelle que soit la taille de ce dernier.

Sous l'égide du Centre d'évaluation des choix technologiques TA-SWISS, l'étude «Energy from the earth», publiée en 2015, contient les rapports de travaux de l'Institut Paul Scherrer (PSI), de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich (EPFZ), de l'Université des sciences appliquées de Zurich (ZHAW) et de l'Université de Stuttgart/Dialogik. Les analyses portent sur les conditions-cadre géologiques, les aspects techniques, économiques et environnementaux de la géothermie profonde, mais aussi sur le cadre juridique et l'évaluation par la société des nouveaux modes de production d'énergie.

La Suisse participe à des projets de recherche européens tels que GeORG, GeoMol et IMAGE. Elle tire également de nombreux enseignements en s'engageant activement dans plusieurs programmes de recherche européens et mondiaux élaborés dans le cadre de:

- European Geothermal Energy Council (EGEC)
- European Energy Research Alliance/Joint Programme on Geothermal Energy (EERA-JPGE)
- Geothermal ERA-NET
- International Energy Agency/Technology Collaboration Program on Geothermal Energy (IEA Geothermal)
- IPGT – International Partnership for Geothermal Technology
- Global Geothermal Alliance

UNE ÉNERGIE À VALORISER SOUS TOUTES SES FORMES

L'énergie géothermique possède des caractéristiques uniques qui en font une énergie renouvelable très prometteuse dans notre pays:

- Ses utilisations sont multiples et peuvent être combinées les unes aux autres selon les techniques utilisées et la nature de la ressource: chauffage individuel ou en réseau, eau chaude sanitaire, chaleur agricole et industrielle, rafraîchissement, stockage géothermique, électricité.
- Pouvant être facilement couplée à d'autres sources énergétiques (renouvelables ou pas), l'énergie géothermique, quelle que soit la profondeur des forages, représente un pilier essentiel de la transition vers les énergies propres.

- Seule la géothermie permet de stocker l'énergie produite et de la rendre disponible au moment le plus propice, qu'il s'agisse de chauffage ou de rafraîchissement, avec un réglage qui peut s'effectuer au jour le jour. Cela permet, en outre, de recharger le terrain en chaleur afin de garder l'équilibre entre les énergies puisées et les énergies injectées dans le sous-sol.

Ainsi la géothermie est exploitable presque partout et pour chaque type de bâti individuel ou groupé. Si l'énergie produite est insuffisante, il est toujours possible de moduler la solution en l'associant à d'autres vecteurs énergétiques.

Cette énergie renouvelable possède un potentiel théorique immense et son potentiel technique est loin d'être totalement exploité en Suisse. A l'heure actuelle, la Suisse possède la plus forte densité au monde de sondes géothermiques par km², représentant 80% de la chaleur d'origine géothermique de notre pays. La géothermie dite de faible profondeur y est donc bien établie même si ce chiffre doit être relativisé puisque 85% de la chaleur que nous consommons proviennent encore d'énergies non renouvelables.

Concernant la géothermie de moyenne profondeur utilisée pour le chauffage et le rafraîchissement de quartiers, mais également à des fins agricoles et industrielles, les techniques sont éprouvées. Chaque projet contribue à fournir de précieuses informations sur la nature du sous-sol, un élément indispensable au développement de cette source d'énergie.

Quant aux forages profonds, le recours au système hydrothermal n'est possible que dans certaines conditions géologiques. Avec des roches cristallines peu perméables, le potentiel le plus important en Suisse se trouve dans le développement de systèmes pétrothermaux visant à produire de l'électricité. Mais cela implique de forer à plus de 3000 m et de stimuler la roche pour améliorer la qualité des réservoirs. Cette technique en est à ses prémices et présente encore des défis technologiques, nécessitant la réalisation de projets pilotes.

« L'énergie géothermique, reconnue comme une source d'énergie durable, respectueuse de l'environnement, locale et fiable, constituera à l'avenir un pilier important de la fourniture de chaleur et d'électricité en Suisse, en phase avec la stratégie énergétique de la Confédération et les enjeux liés au réchauffement climatique. »

Willy Gehrer, Président de GEOTHERMIE-SUISSE

INFORMATIONS UTILES

SUISSE

www.bfe.admin.ch/geothermie	Office fédéral de l'énergie
www.suisse-energie.ch	Plate-forme d'information et de promotion de l'énergie en Suisse
www.seismo.ethz.ch/fr/home	Service Sismologique Suisse SED
www.swisstopo.ch/geologie	Office fédéral de topographie swisstopo
www.geologieportal.ch/fr/page-d-accueil.html	Plate-forme d'information de la scène géologique suisse

EUROPE

www.egec.org	European Geothermal Energy Council
www.geodh.eu/geodh-map	Carte dynamique de la géothermie en Europe
www.ademe.fr	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie en France
www.brgm.fr/activites/geothermie/geothermie	Service géologique national en France, activités Géothermie
www.geothermie-perspectives.fr	Plate-forme d'information sur la géothermie en France
www.tiefengeothermie.de	Plate-forme d'information sur la géothermie profonde en Allemagne

ASSOCIATIONS

www.geothermie-schweiz.ch/?lang=fr	GEOTHERMIE-SUISSE
www.fws.ch/home_fr	Groupeement professionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP
www.electricite.ch	Association des entreprises électriques suisses
www.afpg.asso.fr	Association française des professionnels de la géothermie
www.geothermie.de	Association pour la géothermie en Allemagne
www.bdew.de	Fédération allemande des industries de l'énergie et de l'eau
www.dena.de	Deutsche Energie-Agentur
www.geothermal-energy.org	Association internationale de géothermie
www.iea-gia.org	International Energy Agency – Geothermal Implementing Agreement

CENTRES DE RECHERCHE ET DE COMPÉTENCES

www.sccer-soe.ch	Swiss Competence Center for Energy Research – Supply of Electricity
www.unine.ch/chyn	Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie, Université de Neuchâtel
www.ta-swiss.ch/fr/	Centre d'évaluation des choix technologiques
www.psi.ch	Institut Paul Scherrer
www.geo-energie.ch/fr	Geo-Energie Suisse SA – Centre de compétence suisse en géothermie profonde pour la production d'électricité et de chaleur

Cette publication a été réalisée en collaboration avec Newcom Partners SA.

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale: CH-3003 Berne
Infoline 0848 444 444, www.suisseenergie.ch/conseil
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.suisseenergie.ch

Distribution: www.publicationsfederales.admin.ch
Numéro d'article 805.016.F



No. 01-17-992052 – www.myclimate.org
© myclimate – The Climate Protection Partnership



MIXTE
Papier
FSC® C103895