Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 96 (2005)
Heft: 15

Artikel: L'énergie géothermique
Autor: Vuataz, François-D.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857825

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

L'énergie géothermique

Un grand potentiel et de nombreuses applications

C'est en 1904 que la géothermie industrielle a démarré avec la production d'électricité en Toscane. A partir des années 1960, des centrales électriques géothermiques voient le jour progressivement dans 24 pays. L'utilisation directe de la chaleur souterraine, notamment pour le chauffage et pour le thermalisme, s'est développée dans 70 pays. En Suisse, les sondes géothermiques verticales pour le chauffage de villas familiales connaissent un fort engouement et les champs de sondes réalisés pour le chauffage et le refroidissement de bâtiments de grande taille se mettent en place avec succès. Dans un avenir proche, des centrales de production couplée d'électricité et de chaleur utiliseront des ressources géothermiques à grande profondeur.

D'où provient la chaleur de la Terre? A toute époque, les manifestations naturelles de la chaleur de la Terre, telles que les sources thermales, les geysers et bien sûr les volcans, ont été des centres d'attraction de l'humanité. Les sources chaudes ont été utilisées depuis la haute

François-D. Vuataz

Antiquité et chacun sait que les Romains étaient de grands amateurs de bains thermaux. De nombreuses villes européennes ont été fondées autour de sources thermales telles que Bath en Grande-Bretagne, Baden-Baden en Allemagne ou Aix-les-Bains en France, pour ne citer que ces trois villes d'eau (fig. 1). Il ne faut pas oublier que les bâtisseurs 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 pratiquement perdue jusqu'au 20e 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, c'est-à-dire les trois premiers kilomètres, sont plus froids que 100 °C. A la surface de la Terre, la chaleur rayonne avec un flux moyen de 0,065 Watt/m^2. Cette chaleur dégagée n'a pas pour origine principale le refroidissement du globe terrestre, mais provient à 90% de la désintégration des éléments radioactifs (uranium, thorium, potassium) contenus dans les minéraux de la croûte. 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, mais parfois des conditions géologiques spécifiques sont responsables de fortes augmentations de température et le gradient peut atteindre 40 à 50 °C/km, et même beaucoup plus dans des zones volcaniques. A 1000 m de profondeur sous le Plateau suisse, où le gradient géothermique est tout à fait normal, les roches possèdent une température de 35 à 45 °C.

L'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol est appelée géothermie, quelque soit la température de la ressource, 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. Ce fluide est souvent présent dans le sous-sol, il s'agit des aquifères, bien connus à faible profondeur (moins de 100 m), mais certaines formations géologiques perméables peuvent être trouvées à des profondeurs de 200 à 3000 m, avec des températures qui s'échelonnent entre 15° et nettement plus de 250 °C selon les régions. En l'absence d'aquifères, d'autres techniques sont à disposition pour transférer la chaleur contenue dans les roches.

C'est la réalisation de forages équipés qui permet de remonter en surface l'éner-

Figure 1 Source thermale à Aix-les-Bains, France

Type de géothermie	Ressource	Profondeur (m)	Production	Technologie
Très basse énergie	Roches sèches	10...100	Chaleur ou froid	Sondes géothermiques verticales, géostructures énergétiques, tunnels, etc.
10...30° C	Aquifères peu profonds	10...1000		
Basse énergie	Aquifères profonds	1000...3000	Chaleur	Centrales de chauffage urbain, complexes de serres agricoles, thermalisme, pisciculture, etc.
30...90° C	Zones d'anomalie thermique à faible profondeur	100...1000		
Géothermie de moyenne énergie	Aquifères très profonds	2000...4000	Electricité et/ou chaleur	Centrales de production électrique et/ou distribution de chaleur couplée
90...150° C	Zones d'anomalie thermique à faible profondeur	500...2000		
Géothermie de haute énergie	Aquifères profonds dans des zones de gradient anormalement élevé	1000...5000	Electricité (et chaleur)	Centrales de production électrique (et distribution de chaleur couplée)
150...350° C	Systèmes géothermiques stimulés EGS			Centrales dès 2006

Tableau I Typologie et caractéristiques des ressources géothermiques

gie calorifique contenue dans les roches. La technologie actuelle permet d'atteindre puis de capter des ressources géothermiques jusqu'à 5000 m de profondeur et 400 °C.

Typologie des ressources géothermiques

On distingue plusieurs types de géothermie en fonction de la température de la ressource et du mode d'utilisation de l'énergie. Selon la température disponible, deux filières d'utilisation de la géothermie sont possibles: la production directe de chaleur pour des installations de chauffage et la conversion de l'énergie calorifique en électricité (tabl. I).

Modes d'utilisation: Usage direct des calories

L'eau chaude provenant d'une ressource 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 toute autre activité nécessitant de la chaleur. Toute la gamme des températures entre 15 et plus de 100 °C peut être utilisée pour des applications diverses. La majorité des installations géothermiques réalisées jusqu'à aujourd'hui sont liées au chauffage (habitat urbain collectif ou individuel, locaux industriels et agricoles), à la balnéothérapie et à la pisciculture.

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 de très faible température (nappe phréatique et formations rocheuses à faible profondeur), on utilise des pompes à chaleur pour augmenter la chaleur et fournir un chauffage à basse température.

La taille des installations est très variable, allant de 5 à 7 kWt pour des maisons familiales jusqu'à 100000 kWt pour des réseaux de chauffage urbain approvisionnant des milliers d'appartements, des écoles, des hôpitaux, etc. (fig. 2).

Dans le cas de l'utilisation calorifique d'un réservoir aquifère profond, le fluide géothermique arrive en surface par le forage de production et transmet ses calories à un fluide de chauffage au moyen d'un échangeur de chaleur. Afin de rentabiliser au mieux la ressource géothermique et protéger l'environnement, les fluides géothermiques doivent être réinjectés dans l'aquifère après refroidissement, à la température la plus basse possible. La solution idéale est de refroidir le fluide géothermique par des utilisateurs successifs en cascade, jusqu'à la température ambiante.

Usage indirect pour la conversion en électricité

Le fluide géothermal qui se trouve dans un réservoir dit de haute énergie est généralement sous forme liquide, ou diphasique. Dans certains cas très favorables, il est déjà en phase vapeur. Lors de la remontée dans un forage de production, le fluide est progressivement dépressurisé et se vaporise partiellement. Un séparateur de phase permet de conduire la vapeur seule, sous pression, vers une turbine couplée à un générateur, qui convertit cette énergie en électricité.

Afin de rentabiliser au mieux une ressource géothermique, la réinjection du fluide refroidi dans son réservoir doit se

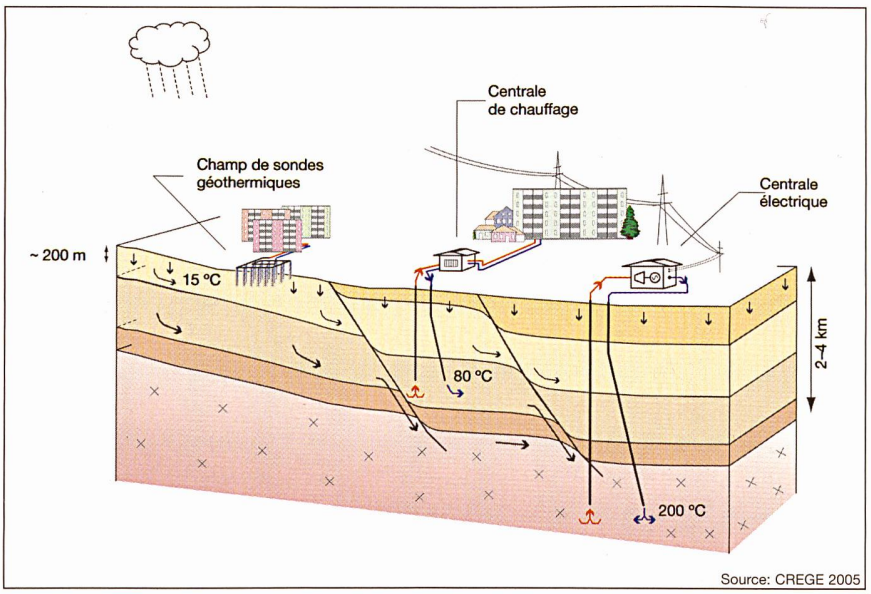

Figure 2 Ressources géothermiques et modes d'exploitation

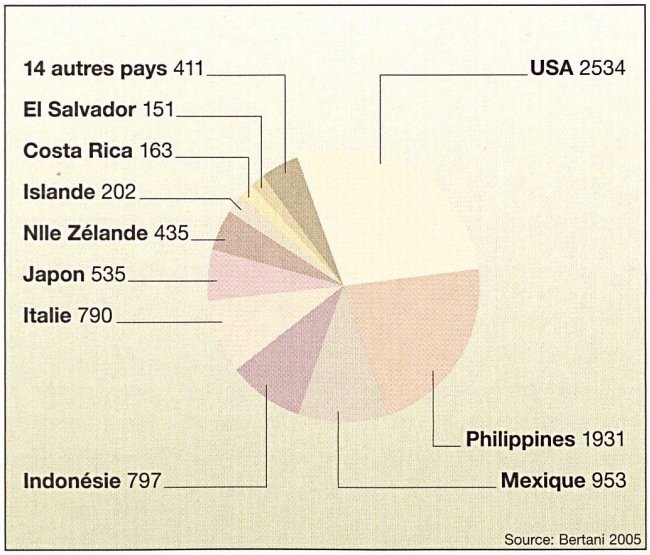

Figure 3 Puissance installée (MWe) pour la production d'électricité géothermique en 2005 dans les 10 principaux pays (au total, 8900 MWe installés dans 24 pays produisant 56 800 GWh/an)

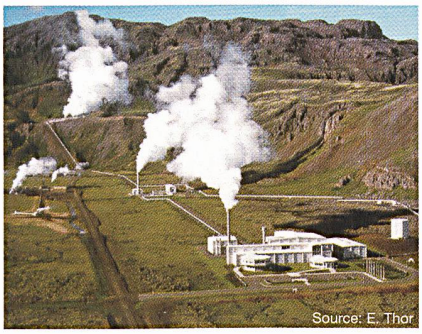

Figure 4 Cogénération à la centrale géothermique de Nesjavellir, Islande: 60 MW d'électricité pour le réseau national et 150 MW de chaleur distribuée par une conduite de 27 km jusqu'à Reykjavik

faire à la température la plus basse possible. En sortant du séparateur ou de l'échangeur de chaleur, le fluide est encore à près de 100 °C. Pour mieux valoriser la ressource, il faut donc refroidir davantage ce fluide, soit au moyen d'une deuxième turbine à basse pression ou d'une installation de chauffage, pour autant que des consommateurs de chaleur existent à proximité.

Différents types de centrales électriques sont construites, en fonction de la température du réservoir, de la pression de la quantité de vapeur et de la salinité du fluide géothermal. Dans le cas d'une ressource à haute température et faible salinité du fluide, c'est la vapeur géothermale qui fait tourner la turbine (cycle direct).

Pour des ressources dont le fluide est fortement salé et/ou la température est inférieure à 150 °C, c'est la technologie des centrales à fluide binaire qui est utilisée. La puissance calorifique est alors transmise au moyen d'un échangeur de chaleur à un fluide de travail organique à bas point de vaporisation, qui actionne la turbine selon le cycle de Rankine (ou de Kalina). On est en présence de deux circuits de fluide fermés: le circuit géothermal primaire et le circuit secondaire de la centrale.

La majorité des centrales de production d'électricité géothermique atteignent une puissance installée de 20 à 50 MWe, alors que les petites unités varient de 0,5 à 5 MWe et les plus grandes centrales dépassent 100 MWe. La plupart des centrales électriques géothermiques ont été conçues pour des fluides de 150 à 250 °C, car le rendement de la conversion électrique dépend de la température. Cette conversion est sensiblement plus favorable au-delà de 180 °C. Depuis quelques années cependant, des ressources géothermiques de température plus faible (100 à 150 °C) sont également exploitées en Autriche et en Allemagne notamment, pour de petites productions d'électricité, combinées avec la fourniture de chaleur.

Exploitation de la géothermie dans le monde

Production d'électricité

C'est en 2004 qu'a été fêté le centenaire de la production d'électricité par la géothermie. En effet, dès le début des années 1900, des pionniers en Italie et au Japon ont construit les premières centrales électriques géothermiques. Pendant presque 50 ans, le champ géothermique de Larderello en Toscane fut le seul à produire de l'électricité de manière industrielle. Depuis les années 1960, un développement rapide de la géothermie a vu la mise en route progressive de centrales électriques dans 24 pays, notamment les USA, les Philippines, le Mexique, l'Italie et l'Indonésie pour les cinq principaux (fig. 3). Actuellement, six pays produisent entre 10 et 24% de leur électricité grâce à la géothermie: Costa Rica, El Salvador, Islande, Kenya, Nicaragua et Philippines (fig. 4). Au total, 63 millions de personnes sont alimentées par de l'électricité d'origine géothermique dans le monde.

Production de chaleur

Les ressources de vapeur à haute température et forte pression sont essentiellement exploitées pour produire de l'électricité. Par contre, les ressources géothermiques de moyenne ou basse température sont utilisées de manière directe, en majorité pour le chauffage de bâtiments et le thermalisme, mais aussi pour les usages associés aux serres agricoles, à la pisciculture et à l'industrie (fig. 5). En 2005,

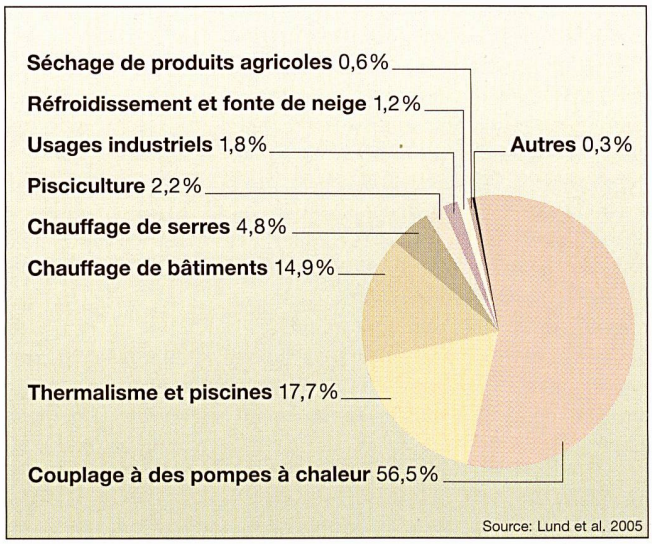

Figure 5 Répartition des modes d'utilisation thermique de la géothermie dans le monde en 2005 (au total 28 000 MWt installés dans 71 pays produisant 72 600 GWh/an)

articles spécialisés

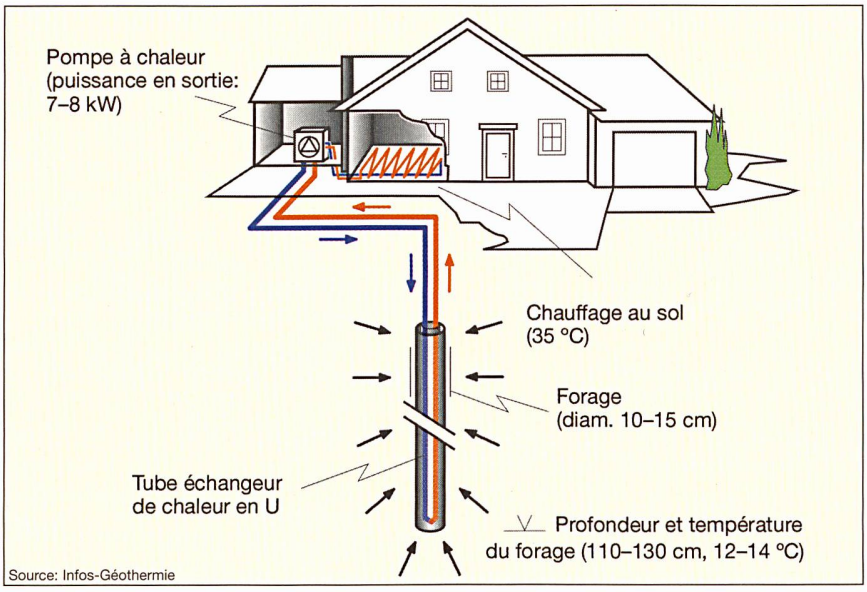

Figure 6 Chauffage d'une maison familiale avec une sonde géothermique couplée à une pompe à chaleur

plus de 70 pays totalisent une puissance installée de 28 000 MWt, produisant 72 600 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.

Les applications et les techniques utilisées sont très variées d'un pays à l'autre. En Europe occidentale, les grandes installations géothermiques sont raccordées à des réseaux urbains de distribution de chaleur, alors que les petites installations couplées à des pompes à chaleur assurent le chauffage de maisons familiales. En Europe orientale, les utilisations sont plus variées, notamment avec le chauffage de nombreuses serres agricoles.

Les applications de la géothermie en Suisse

Il y a 25 ans, la Suisse était représentée par une tache blanche sur la carte géothermique de l'Europe. En effet, la prospection et l'utilisation des ressources géothermiques en Suisse n'était pratiquée que de manière confidentielle, par quelques spécialistes. A cette époque, personne n'imaginait que la Suisse deviendrait un jour un utilisateur important de la chaleur terrestre. En considérant à l'échelle mondiale la puissance géothermique installée par habitant (uniquement pour la production de chaleur), la Suisse arrive au cinquième rang avec 76 Wt par habitant, après l'Islande, la Suède, le Danemark et la Norvège.

Une des caractéristiques de la géothermie suisse est représentée par la variété des ressources (de 10 à plus de 2000 m de profondeur) et des modes d'utilisation (depuis le chauffage de la villa familiale jusqu'au réseau de distribution de chaleur).

Sondes géothermiques verticales (SGV)

Les SGV sont des échangeurs de chaleur installés verticalement dans des forages de 50 à 350 m. Un fluide est pompé en circuit fermé et permet d'extraire l'énergie du sous-sol à l'aide d'une pompe à chaleur. Ces SGV sont installées clés en mains par des entreprises spécialisées. Les quelques 35 000 installations qui existent en Suisse représentent la plus grande densité au monde de ce type d'installation! La grande majorité des SGV servent à chauffer des maisons familiales.

Une SGV peut être installée dans presque tous les types de formation rocheuse. Un ou deux forages d'un diamètre d'environ 15 cm sont réalisés très proches du bâtiment à chauffer. La profondeur du forage est déterminée d'après le volume des locaux à chauffer et les caractéristiques thermiques du terrain (fig. 6).

Dans le forage terminé, on insère généralement un double tube de polyéthylène en forme de U jusqu'au fond. L'espace vide restant est rempli d'un mélange de bentonite et de ciment, pour assurer un bon contact thermique entre les tubes et la paroi du forage. Ensuite, un circuit fermé est établi entre le forage et le sous-sol du bâtiment, et de l'eau généralement additionnée de 15 à 20% d'antigel est pompée dans l'échangeur de chaleur ainsi créé.

Le fluide circulant dans le forage prend la chaleur du terrain et fournit la source d'énergie géothermique à une pompe à chaleur (PAC). Celle-ci permet de monter le niveau de température à environ 35 °C. La part de l'électricité faisant fonctionner la PAC représente 25 à 30% de l'énergie totale de l'installation. Ce système permet d'assurer toute la saison de chauffage d'une habitation par planchers chauffants à basse température, et selon le type de PAC, celle-ci peut également assurer la fourniture de l'eau chaude sanitaire.

Pour une villa neuve, les coûts d'investissement d'une SGV sont similaires à ceux d'un système de chauffage classique à mazout équipé d'une chaudière. Par contre, les frais de fonctionnements annuels sont très en faveur de la SGV (pas d'entretien et pas de combustible). Dans le cas d'une restauration de maison ancienne ou du changement d'un chauffage vétuste, il vaut la peine d'évaluer les coûts et les avantages d'une sonde géothermique.

Champs de sondes géothermiques

Si l'on regroupe une série de sondes 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, tels que des immeubles, des locaux industriels ou administratifs, des salles polyvalentes, etc. Les puissances thermiques installées vont de quelques dizaines de kW à 1000 kW pour les plus grandes installations (fig. 7).

Une série de sondes géothermiques verticales (4 à 80 sondes), de profondeur variée (30 à 350 m), sont disposées sous le bâtiment à chauffer ou immédiatement à côté. Les conduites de chaque sonde se rejoignent à un collecteur alimentant une ou plusieurs pompes à chaleur. Le fonctionnement de l'installation se déroule

Figure 7 Usine et bureaux à Wollerau, Schwyz, chauffés et refroidis par un champ de 32 sondes géothermiques

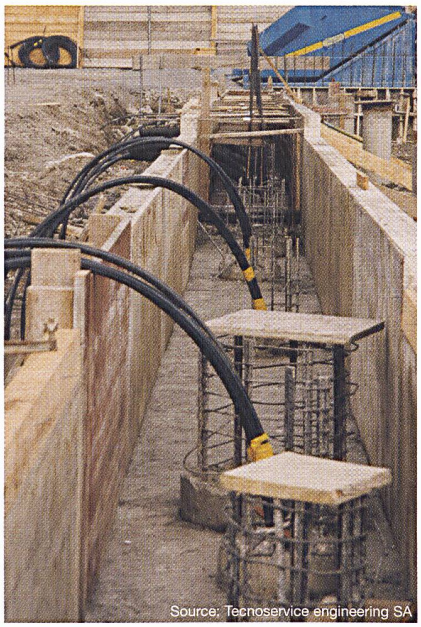

Figure 8 Système de pieux énergétiques pour le chauffage et le rafraîchissement d'un bâtiment Minergie: le Centre scolaire de Fully, Valais

sur un cycle annuel: la chaleur du terrain est extraite pendant la saison de chauffage (injection de froid) et pendant la période de rafraîchissement estival (réinjection de chaleur dans le terrain), c'est le froid qui est extrait du milieu souterrain. Un système de chauffage de secours ou d'appoint est parfois installé, mais n'est mis en fonction que pendant les périodes d'entretien et de réparation ou lors des jours de grand froid.

Géostructures et pieux énergétiques

Les géostructures nécessaires au soutènement et aux fondations de bâtiments de toute taille peuvent être équipées d'échangeurs de chaleur. Les pieux en béton armé atteignent une longueur de quelques mètres à plus de 30 m de longueur. A l'intérieur de ces pieux est installé un tube ou un réseau de tubes en polyéthylène, souvent des doubles ou quadruples U, selon le diamètre des pieux. Ces tubes sont ensuite noyés dans le béton pour assurer un bon contact thermique. Un fluide caloporteur, souvent de l'eau claire uniquement, circule dans un réseau en boucle entre les pieux et la pompe à chaleur, afin de pouvoir échanger la chaleur ou le froid du terrain.

Le fonctionnement de l'installation se déroule sur un cycle annuel, avec une extraction de la chaleur du terrain pendant la saison de chauffage (injection de froid) et une extraction de froid pendant la période de climatisation (injection de chaleur dans le terrain). Les puissances installées varient entre 20 et 1000 kWt. Les avantages de ces installations sont la réduction des coûts d'exploitation en combustible fossile (env. 80%) et une réduction des émissions de CO_2 (45 à 100%).

Cette technologie simple et rationnelle ne demande pas des surcoûts excessifs, mais nécessite, son intégration dès le début du projet, et une réflexion globale sur les aspects de la construction et de la consommation de l'énergie. Il existe actuellement plus de 350 installations de type géostructures énergétiques en Autriche et en Allemagne et seulement une trentaine en Suisse (fig. 8).

Chaleur de la nappe phréatique

La nappe phréatique est un fournisseur remarquable d'énergie aux fins de chauffage de locaux et de l'eau sanitaire. 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 pompe à chaleur soutire ses calories et fournit une température suffisante pour un système de chauffage à basse température. Après refroidissement, l'eau est renvoyée dans la nappe par un deuxième puits. En Suisse, on compte environ 5000 installations de ce type et il en existe plus de 900 pour le seul canton de Berne, principalement pour des bâtiments de petite taille.

Sources thermales et aquifères profonds

La plupart des sources thermales «naturelles» sont exploitées depuis longtemps en Suisse par les stations de cure. Certaines d'entre elles profitent des excédents de calories pour chauffer leurs bâtiments et préchauffer l'eau chaude sanitaire, notamment à Lavey-les-Bains (VD), Zurzach (AG) et Bad Schinznach (AG). Dans le cadre du soutien aux projets de forages géothermiques profonds et de la couverture du risque géologique mise en place par l'OFEN, 14 forages de 400 à 2500 m de profondeur ont été réalisés entre 1988 et 1998, avec un taux de succès de l'ordre de 50%.

Pour des raisons environnementales et de gestion durable de la ressource, le fluide géothermal doit être réinjecté dans son aquifère après utilisation des calories. Ce mode de fonctionnement est appelé doublet géothermique. Le forage de production remonte l'eau géothermale à la surface au moyen d'une pompe immer-

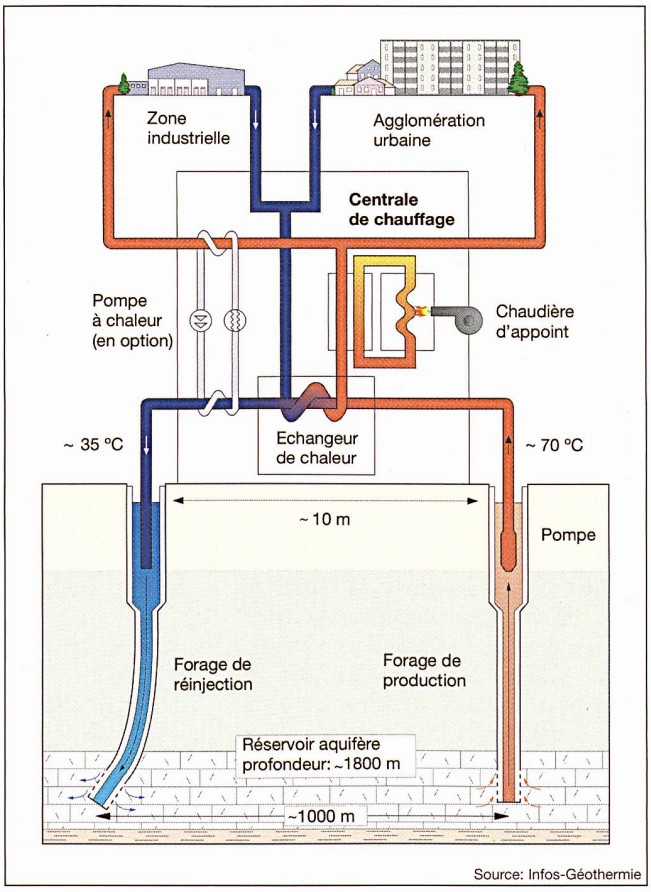

Figure 9 Schéma type d'un doublet géothermique alimentant un réseau de chauffage à distance

gée. Ensuite, un échangeur de chaleur transmet les calories géothermiques au circuit de chauffage. Après refroidissement, l'eau géothermale est alors restituée à l'aquifère par le forage d'injection (fig. 9).

La plus grande centrale géothermique de Suisse basée sur le principe du doublet alimente le réseau de distribution de chaleur de Riehen (Bâle). Cette installation est équipée d'une centrale de cogénération chaleur-force et de deux pompes à chaleur électriques. L'exploitation de l'aquifère (67 °C à la profondeur de 1500 m) est réalisée au moyen de deux forages verticaux séparés par une distance de 1 km. Quelques 160 immeubles sur territoire suisse sont chauffés par la géothermie et depuis l'année 2000 un cas unique de vente de chaleur géothermique transfrontalière permet également d'approvisionner un quartier de Lörrach (Allemagne) par une conduite de 600 m provenant de la centrale géothermique de Riehen.

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 30 °C, voire plus. 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. Le potentiel total susceptible d'être exploité atteint 30 000 kWt. Il faut également relever que les deux tunnels de base d'AlpTransit (Lötschberg et Gothard) vont fournir un potentiel très important, en raison de leur longueur et de l'épaisseur du recouvrement rocheux.

Actuellement en Suisse, il existe six installations de chauffage utilisant la chaleur des tunnels. Dans le tunnel ferroviaire de la Furka en Valais, quelques 5400 l/min 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 distribution amène l'eau aux pompes à chaleur de chaque utilisateur. Actuellement, 177 appartements et une salle de sport communale sont chauffés par la chaleur du tunnel. La puissance totale installée atteint 960 kWt, mais le potentiel disponible est de 3700 kWt.

Technologie des systèmes géothermiques stimulés: un projet d'avenir

Le principe des Systèmes Géothermiques Stimulés (EGS) consiste à augmenter la perméabilité d'un massif de roches fissurées dans le socle cristallin, afin de faire circuler de l'eau pour la réchauffer. Dans ce but, on injecte sous forte pression de l'eau froide dans un forage, à une profondeur où la roche atteint une température d'environ 200 °C (5 à 6 km de profondeur dans les conditions géologiques de la Suisse). Sous l'effet de la pression, les fissures existantes sont élargies et une circulation en continu peut alors être instaurée entre un puits d'injection et un ou plusieurs puits de production. Après son cheminement dans le réseau des fissures, l'eau réchauffée remonte dans le forage de production et transmet l'énergie calorifique en surface, au moyen d'un échangeur de chaleur, à un fluide de travail. Ce deuxième circuit, à bas point de vaporisation, actionne la turbine à vapeur couplée à un générateur. Après refroidissement, le fluide géothermal retourne dans le massif rocheux par le forage d'injection (fig. 10).

Basé sur cette technologie, le projet Deep Heat Mining (DHM) a débuté en 1996. Le concept d'une centrale pilote pour la production conjointe d'électricité et de chaleur en Suisse a été élaboré, sur la base des expériences réalisées par les programmes Hot Dry Rock internationaux. Pour des raisons d'ordre économique, politique et géothermique, c'est à Bâle que la première centrale pilote sera construite. Avec une puissance électrique nette d'environ 4 MWe et une puissance thermique de 30 MWt, elle fournira dès 2010 électricité et chaleur pour 5000 ménages. Cette capacité sera atteinte au moyen d'un forage d'injection et de deux forages de production, produisant un débit de 100 l/s à la température de 180 °C. Le coût global de réalisation de cette centrale pilote est devisé à 85 millions de francs, alors que le prix de revient de l'énergie a été évalué à 15 ct/kWh pour le courant électrique et à 3,5 ct/kWh pour la chaleur. Le financement de tous les forages et de l'ingénierie de réservoir est bouclé et le premier forage de 5 km de profondeur sera réalisé dès janvier 2006.

Etat de la géothermie en Suisse à l'aube du 21e siècle

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 continuer sa forte progression (tabl. II). D'autre part, dans le domaine de la production d'électricité par les systèmes géothermiques stimulés à grande profondeur, les premières centrales pilotes verront le jour à Soultz-sous-Forêts

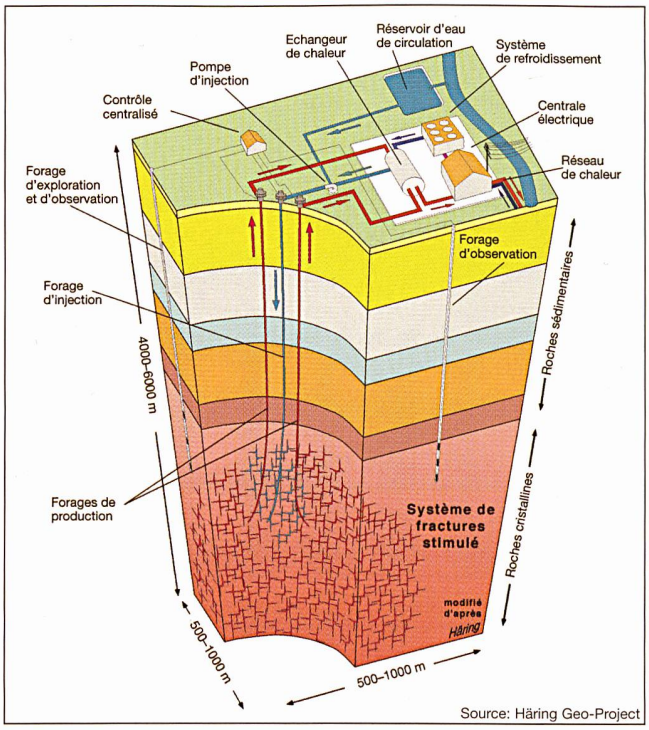

Figure 10 Schéma de fonctionnement d'une installation géothermique de grande profondeur

Type et utilisation	Puissance installée en 2004 (MWt)	Production en 2004 (GWh)
Sondes géothermiques verticales et nappes de tubes horizontales	450	666,3
Forages dans la nappe phréatique	75,4	114,4
Sources thermales et forages	40,8	341,5
Géostructures énergétiques (chaleur et refroidissement)	7,0	15,2
Aquifères profonds	6,1	37,2
Tunnels (eaux de drainage)	5,2	13,7
Echangeurs de chaleur en forages profonds	0,2	0,9
Total	**584,7**	**1189,2**

Tableau II Puissance installée et production de chaleur géothermique en Suisse en 2004

(Alsace) dès 2006 et à Bâle en 2010. Ces opérations de démonstration permettront d'engager une dynamique pour accélérer la réalisation de nouvelles centrales, plus grandes et plus efficaces.

De manière générale, l'utilisation accrue de la géothermie et la bonne gestion de la chaleur (et du froid !) du sous-sol en Suisse contribueront à diminuer la dépendance vis-à-vis des huiles de chauffage et par conséquent à réduire les émissions de gaz à effet de serre. La chaleur du sous-sol est disponible et peut apporter une contribution nettement plus importante sur la scène énergétique suisse.

Informations supplémentaires

Société Suisse pour la Géothermie
2502 Bienne
Tél. 032 341 45 65
svg-ssg@geothermal-energy.ch
www.geothermal-energy.ch

Littérature

Bertani R.: World geothermal generation 2001-2005: state of the art. Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

Dickson M. H. & Fanelli M. (eds.): Geothermal energy: utilization and technology. UNESCO Publ., Paris, 205 pp, 2003

Haering M.: Deep Heat Mining: development of a co-generation power plant from an enhanced geothermal system in Basel, Switzerland. IGA Newsletter, 58: 4-6, 2004

Hurter S. & Haenel R. (eds.): Atlas of geothermal resources in Europe. Office for official publ. of the European Communities, EUR 17811, 2002

Lemale J. & Jaudin F.: La géothermie, une énergie d'avenir. Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies Ile-de-France (ARENE), 1998

Lund J. W., Freeston D. H. & Boyd T. L.: World-wide direct uses of geothermal energy 2005. Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

Rummel F. & Kappelmeyer O. (eds.): Geothermal Energy. Future energy source? Facts-Research-Future. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe (bilingue allemand-anglais), 1993

Rybach L. & Gorhan H.: 2005 Country update for Switzerland. Proc. World Geothermal Congres 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

Rybach L., Mégel Th. & Eugster W. J.: At what time scale are geothermal resources renewable? Proc. World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000: 867-872

Signorelli, S., Andenmatten, N., Kohl, T. & Rybach, L.: Projekt Statistik der geothermischen Nutzung der Schweiz für die Jahre 2002 und 2003. Bericht für das Bundesamt für Energie, Bern, 2004

Vuataz F.-D.& Fehr A.: 25 ans d'activités géothermiques en Suisse. Bulletin Géothermie-CH, 26: 2-10 , 2000

Vuataz, F.-D., Gorhan, H.L. & Geissmann, M.: Promotion of geothermal energy in Switzerland: a recent program for a long-term task. Geothermics 32/4-6, Special issue, European Geothermal Conference 2003, 789-798, 2003

Informations sur l'auteur

Dr François-D. Vuataz est directeur du Centre de recherche en géothermie (CREGE) à Neuchâtel. Il a obtenu son doctorat ès sciences à l'Université de Genève en 1981. Ensuite il a occupé différents postes de recherche appliquée dans le domaine des ressources géothermiques aux Etats-Unis (Los Alamos National Laboratory), en France (BRGM) et en Suisse (EPFL, CREALP, CHYN). De 1990 à 2004, il a conduit le groupe de géothermie du CHYN (Université de Neuchâtel). Il est également vice-président de la Société Suisse pour la Géothermie (SG/SVG) et membre du Board of Directors de l'International Geothermal Association (IGA). Le CREGE est un réseau de compétences dans le domaine de la géothermie, fondé en novembre 2004, et formé de 34 institutions suisses.
Centre de recherche en géothermie CREGE, 2007 Neuchâtel, www.crege.ch, francois.vuataz@crege.ch

Ethernet bis an die Maschine
Ein Kommunikationsnetz für das gesamte Unternehmen

Ethernet erschien für den industriellen Einsatz lange Zeit ungeeignet. Inzwischen hat sich diese Technologie im Automatisierungsbereich etabliert. Industrial Ethernet hat allerdings nur noch wenig mit der über 25 Jahre alten Ursprungstechnologie zu tun. Die Priorisierung von Daten, kombiniert mit den Ethernet-Standards für Switching, Full-Duplex-Übertragung und die Möglichkeit der Skalierung der Bandbreite von 10 Mbit/s, auf 100 Mbit/s oder 1000 Mbit/s sind Meilensteine in der industriellen Kommunikation. Neue Technologien wie echtzeitfähiges Ethernet erhöhen die Stabilität der Automatisierungsnetzwerke zusätzlich.

Jürgen Schmid

Feldtauglicher IP67-Switch

Articles spécialisées sur Internet

www.electrosuisse.ch/v (Rubrique Bulletin)

BULLETIN