

LES **Enjeux** DES **Géosciences**

FICHE DE SYNTHÈSE SCIENTIFIQUE
N° 10 - Avril 2005

Géothermie très basse et basse énergie : Une énergie du développement durable

Le sous-sol est naturellement chaud, surtout à grande profondeur : plus on s'enfonce dans les entrailles de la terre, plus la température augmente (3° à 4°C tous les 100 mètres dans les bassins sédimentaires). Par ailleurs, il peut contenir de l'eau qui se réchauffe au contact des roches. Cette eau chaude souterraine a été utilisée de tout temps par l'Homme pour se chauffer.

L'exploitation des eaux souterraines et le développement des pompes à chaleur pourraient faire de la géothermie une des grandes énergies durables de demain. Pour cela, il est nécessaire, pour compléter les incitations financières proposées, de construire une véritable filière professionnelle et de généraliser l'information auprès des professionnels et des particuliers.

Depuis plus de trente ans, le BRGM étudie les caractéristiques des gisements géothermiques, évalue le potentiel des ressources et définit les conditions optimum d'implantation des forages d'exploitation en fonction des modes d'exploitation de la géothermie : exploitation de la vapeur pour la production d'électricité ainsi que l'exploitation des eaux souterraines et l'exploitation directe de la chaleur du sous-sol pour le chauffage.



La géothermie s'est développée au 20^{ème} siècle dans de nombreux pays pour la production d'électricité (avec des eaux de très haute température transformées en vapeur) ou pour le chauffage (avec une température d'eau comprise entre 60 et 100°C).

À l'exception de la centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe, la France ne possède pas de réalisations de géothermie haute énergie pour l'électricité. C'est donc vers la basse et la très basse énergie que les professionnels français se sont orientés. Aujourd'hui, la géothermie contribue à hauteur de 0,44 % au "mix énergétique" français.

La prise de conscience du changement climatique validée par le protocole de Kyoto doit profiter aux énergies renouvelables. Parmi celles-ci, la géothermie est

Les deux demi-sphères translucides abritent les installations de chauffage géothermique. Cet ensemble alimente en eau chaude le réseau de chauffage urbain d'une partie des immeubles de la banlieue de Meaux.

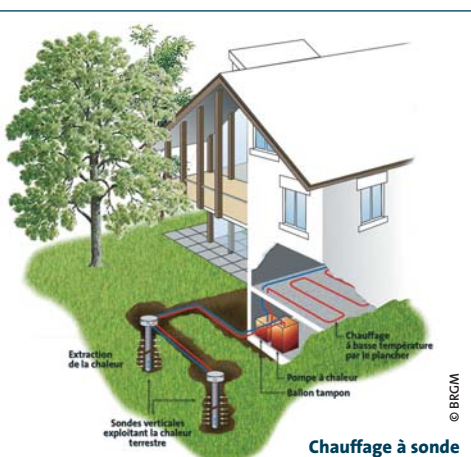
© ADEME-P.Baudin

moins médiatisée que le solaire, l'éolien ou la biomasse alors qu'elle offre pourtant des avantages indéniables en termes d'efficacité énergétique, de fiabilité et de protection de l'environnement. De plus, sa production énergétique et sa disponibilité tout au long de l'année sont supérieures à celles du solaire et de l'éolien. Mais surtout, la géothermie est une énergie propre : en 20 ans, les installations géothermales d'Ile-de-France ont permis d'éviter 8 millions de tonnes de rejets de CO₂ dans l'atmosphère.

Le groupe BRGM, associé à d'autres partenaires comme l'ADEME ou EDF, veut replacer la géothermie au premier plan des énergies de l'avenir avec des projets concrets de relance en Ile-de-France, notamment.

L'ÉNERGIE DANS SON JARDIN AVEC LES POMPES À CHALEUR

L'installation de pompes à chaleur géothermales est une technique d'avenir pour l'habitat individuel ou le petit collectif. De nouvelles aides fiscales, effectives depuis le 1^{er} janvier 2005, viennent relancer cette activité qui accuse un gros retard en France.

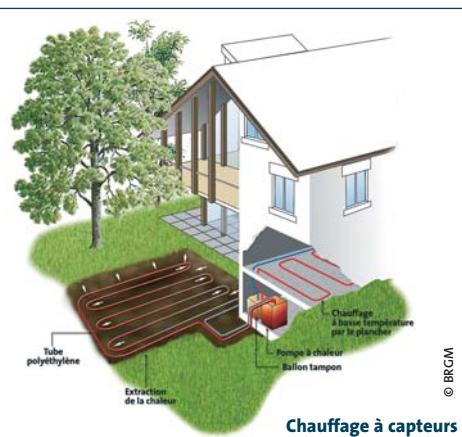


Chauffage à sonde

Les capteurs verticaux sont constitués de deux tubes de polyéthylène formant un U installés dans un forage (à plusieurs dizaines de mètres de profondeur) et scellés dans celui-ci par du ciment. On y fait circuler en circuit fermé de l'eau additionnée de liquide antigél. Dans ce cas, l'emprise au sol est minime par rapport à des capteurs horizontaux. L'installation de sondes géothermiques est effectuée par une entreprise de forage qualifiée (le BRGM gère, dans le cadre d'un partenariat avec l'ADEME et EDF une liste de foreurs engagés dans une démarche de qualité). Il faut aussi respecter les procédures administratives concernant la protection du sous-sol.

Encore peu connue en France, la pompe à chaleur géothermale (PAC) pourrait rapidement constituer une alternative au chauffage traditionnel.

Le principe est assez simple et semblable à celui d'un réfrigérateur qui fonctionnerait à l'envers, avec un cycle thermodynamique classique. Si on exclut les PAC sur



Chauffage à capteurs

Schéma d'une installation de chauffage avec capteurs horizontaux enterrés et pompe à chaleur. Les capteurs horizontaux sont des tubes en polyéthylène ou de cuivre gainés de polyéthylène dont la longueur peut dépasser plusieurs centaines de mètres. Ils sont installés en boucles enterrées horizontalement à faible profondeur (de 0,60 m à 1,20 m). Dans ces boucles circule en circuit fermé de l'eau additionnée d'antigel ou le fluide frigorigène de la pompe à chaleur (selon la technologie employée).

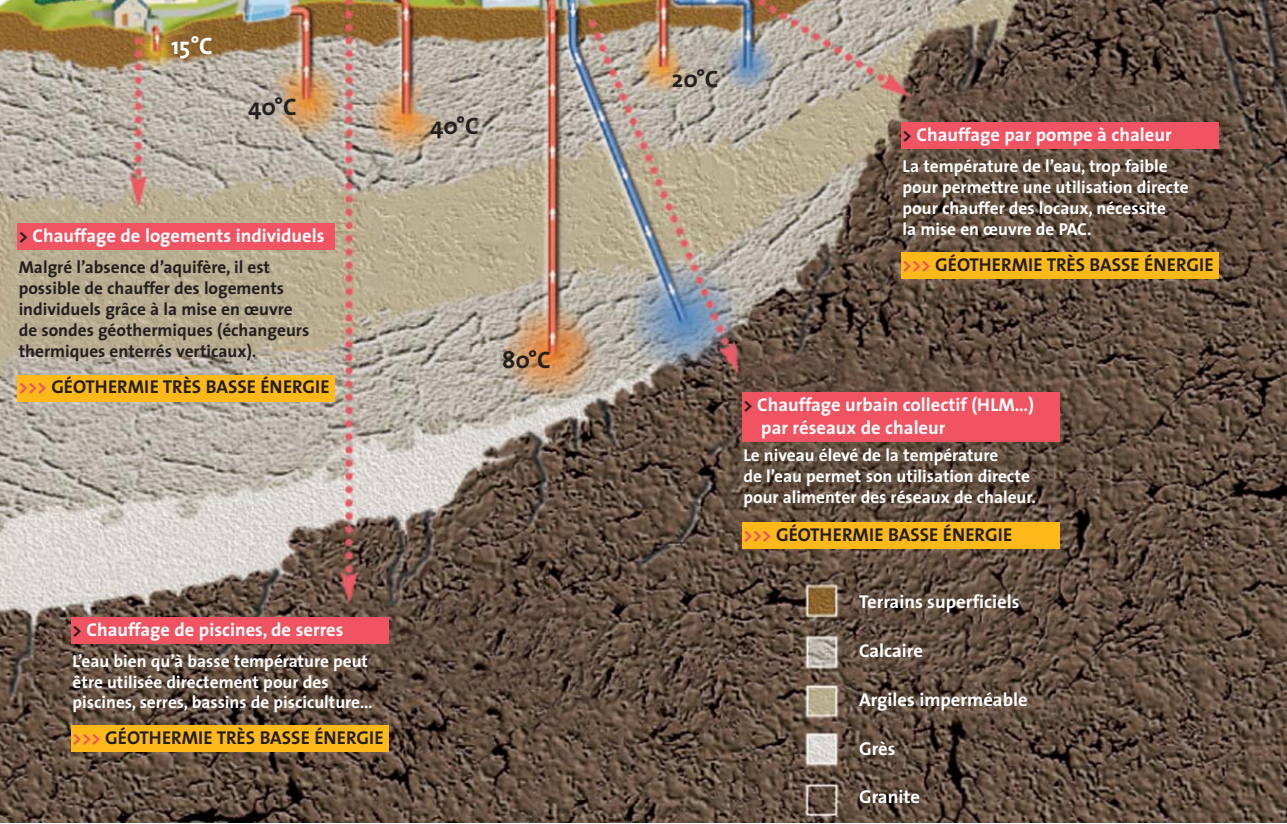
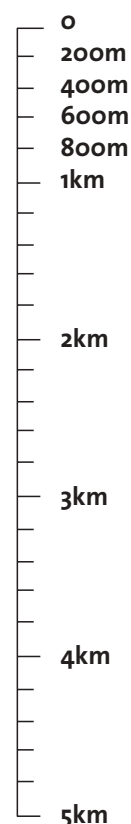
air, deux techniques, avec ou sans aquifère, sont utilisées. Dans le premier cas, un forage permet de puiser l'eau par pompage dans l'aquifère et de la transmettre à la PAC qui en extrait l'énergie et la restitue sous forme de chaleur dans un circuit de chauffage. L'eau est ensuite généralement réinjectée dans le sous-sol par un second forage. Une eau captée à 13°C peut ainsi être relevée à 35°C dans des planchers chauffants. La seconde technique repose sur des sondes géothermiques verticales avec un double tube en "U" inséré dans un ou plusieurs forages de 50 à 100 m. Un fluide circulant dans le tube en circuit fermé récupère la chaleur du sol et la transmet à la PAC. Dans les deux cas, les pompes à chaleur peuvent être réversibles et fournir de la chaleur l'hiver et du froid l'été.

Les nouvelles pratiques environnementales et la promotion des énergies propres vont remettre au goût du jour la très basse énergie géothermale. La France accuse dans ce domaine un certain retard : **95 % des maisons neuves en Suède et dans d'autres pays européens sont équipées de PAC contre 5 à 10 % seulement en France.** La forte demande des particuliers devrait donc permettre le décollage de cette activité

La PAC sur nappe aquifère ou sur sonde géothermique cumule les avantages en termes environnementaux. Ainsi, le coefficient de performance (COP) de la PAC est un des plus élevés et donc un des plus profitables pour l'environnement. Ce coefficient est en effet compris entre 3,5 à 4,5 : une pompe à chaleur utilise 1 kWh électrique pour son fonctionnement et produit plus de trois kWh thermiques, alors qu'un convecteur électrique en consomme autant qu'il en produit.

BONUS ENVIRONNEMENTAL ET... FISCAL

L'impact sur les gaz à effet de serre est aussi évident. Un chauffage individuel au gaz produit 6 tonnes de CO₂ par an, le fuel 7,1 tonnes, le chauffage électrique 6,9 tonnes et seulement 2,1 à 3,2 pour la pompe à chaleur. Malgré ces "bonus environnementaux", le secteur est encore freiné par des handicaps : un coût d'investissement assez lourd (15 000 euros en moyenne pour équiper son pavillon) et une rentabilité acquise seulement après 7 à 10 ans de fonctionnement, si l'on n'intègre pas la fonction rafraîchissement.



La loi de finances 2005 apporte un véritable bol d'air au secteur en instituant un crédit d'impôt assez élevé (40 % de l'investissement pour les équipements destinés à l'habitation principale) qui devrait véritablement relancer la PAC géothermale pour en faire une énergie domestique généralisée comme en Suisse.

Le développement des pompes à chaleur suppose aussi de développer l'offre.

Aujourd'hui, la très basse énergie géothermale est particulièrement adaptée au petit tertiaire et à l'habitat individuel neuf (la PAC est idéale pour les planchers chauffants, moins intéressante en cas de rénovation s'il faut se connecter aux anciens radiateurs). Cette technique doit

donc toucher d'autres utilisateurs. L'installation de champs de capteurs enterrés (plusieurs sondes géothermiques alimentant une ou plusieurs PAC) ou le captage d'aquifères peu profonds permettraient notamment de chauffer des ensembles d'habitat collectif, des maisons de retraite, des bâtiments tertiaires ou des équipements plus importants.

L'avenir passera aussi par une hybridation des systèmes et le recours à la co-génération avec le concept de "système hybride" qui repose sur la complémentarité entre géothermie, gaz, électricité et pompes à chaleur. Le meilleur exemple est sans doute celui du nouveau Reichstag de Berlin qui combine géothermie, pompes à chaleur et co-génération à base de diester pour en faire un condensé et une vitrine des énergies renouvelables.

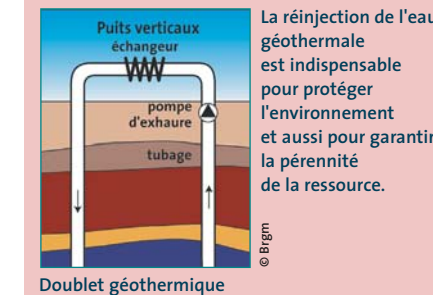
Ainsi, 55 installations ont été réalisées dans les années 80 dont 34 sont encore en exploitation en région parisienne, première région d'Europe pour la géothermie. Au total, près de 150.000 équivalents-logements sont chauffés par eau géothermale avec une puissance totale installée de 400 MWth, soit une économie de 130.000 tonnes équivalent-pétrole/an. Des installations collectives sont notamment en fonctionnement à Fresnes, La Courneuve, Melun, Meaux, L'Haÿ-les-Roses, Chevilly-Larue... De son côté, l'Aquitaine représente 10 % de la géothermie française avec le chauffage de bâtiments publics, de logements ou d'installations de pisciculture ou de culture sous serre. Après un développement rapide de la filière, le contexte technico-économique et le peu d'intérêt porté aux aspects environnementaux ont conduit à un arrêt des réalisations à partir de 1988. Pourtant, les installations en région parisienne ont fait leurs preuves depuis plus de 20 ans avec, régulièrement, le raccordement de la géothermie à de nouvelles extensions de réseaux, comme à Villejuif actuellement.



Forage géothermique à Bonneuil, Val de Marne, pour le chauffage d'un ensemble de logements collectifs

le principe du doublet

La plupart des opérations en Ile-de-France puisent leur ressource dans l'aquifère du Dogger à environ 1 800 mètres de profondeur. L'exploitation utilise la technique du "doublet" avec un puits d'extraction et un puits de réinjection. L'eau arrive à 72-80°C dans des échangeurs où elle cède sa chaleur au réseau avant d'être acheminée dans les immeubles vers des radiateurs. L'installation est souvent couplée à des énergies d'appoint (électricité et gaz) pour les périodes de pointe ou la maintenance.



La réinjection de l'eau géothermale est indispensable pour protéger l'environnement et aussi pour garantir la pérennité de la ressource.

150 000 LOGEMENTS DÉJÀ CHAUFFÉS PAR GÉOTHERMIE

La géothermie basse énergie a connu un développement important entre 1976 et 1987 avant de s'essouffler du fait de l'écroulement du cours des énergies fossiles. Un plan de relance pour l'Ile-de-France est en cours qui devrait permettre de redynamiser la filière. La première crise du pétrole au début des années 70 a véritablement donné le coup d'envoi de l'énergie géothermale en France. Les premières opérations réalisées en Ile-de-France consistaient à aller puiser l'eau chaude du Dogger à grande profondeur (1800 à 2000m) et à alimenter des réseaux de chaleur urbains.

D'autres éléments facilitateurs sont également en cours comme Aquapac®, système d'assurance piloté par l'ADEME, EDF et le BRGM qui garantit les maîtres d'ouvrages contre les risques liés à la présence ou non de ressource en eau lors de la réalisation des forages ou encore la mise en place d'une procédure qualité pour encadrer les foreurs afin qu'ils adoptent les bonnes pratiques.

L'Europe et la recherche devraient également favoriser la généralisation des pompes à chaleur. Des programmes européens sont en cours afin d'améliorer les techniques et les technologies pour aboutir à une baisse des prix et diversifier l'offre.

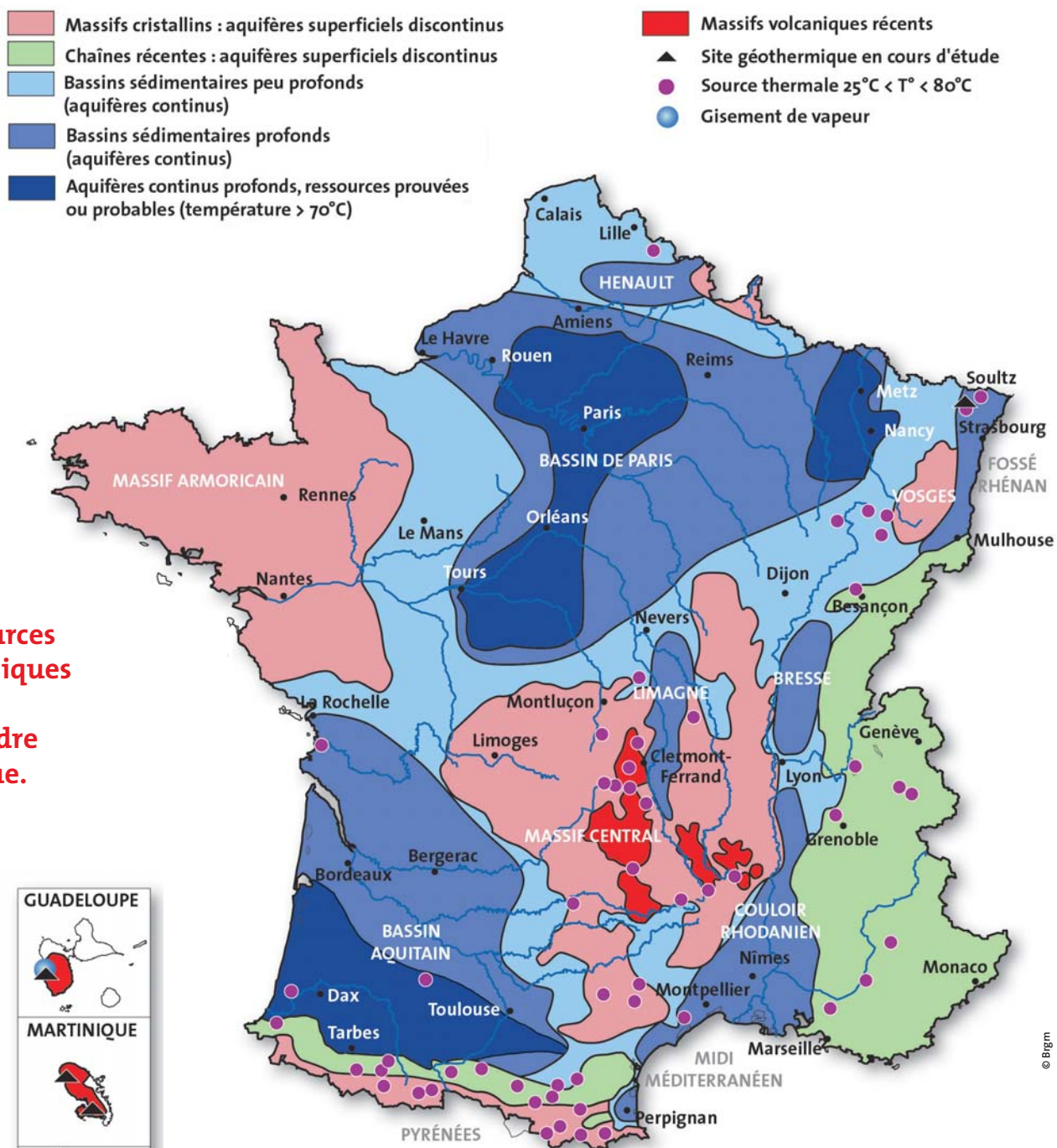
UNE RESSOURCE POTENTIELLE CONSIDÉRABLE

La France recèle dans son sous-sol un véritable trésor géothermique dont une infime partie est inexploitée. Les deux grands bassins sédimentaires (Bassin parisien et Bassin aquitain) sont les régions les plus propices à l'exploitation de l'eau chaude. Ainsi le Bassin parisien recense cinq grands réservoirs géothermiques dans différentes formations géo-

logiques sédimentaires avec notamment le Dogger qui offre des températures de 56 à 85°C. Dans une vaste région allant d'Angers à Metz et d'Amiens à la Sologne, ces réservoirs atteignent une température de 60 à 100°C à des profondeurs comprises entre 1000 et 3000 mètres. Dans le Bassin aquitain deux zones très favorables sont répertoriées, l'une au nord et au nord-est de Bordeaux, l'autre vers le pays basque et au pied des Pyrénées.

D'autres réservoirs, plus petits, sont potentiellement exploitables en Limagne, Bresse, Couloir Rhodanien et Hainaut. Outre ces zones favorables pour l'exploitation des eaux chaudes profondes, les autres régions offrent des potentiels pour l'exploitation par PAC (aquifères ou sondes géothermales).

Les ressources géothermiques en France et leur cadre géologique.



Pour en savoir plus :
Grégory Delobelle - Tél. 02 38 64 46 68

Collaboration rédactionnelle :
Jean-Jacques Talpin

Centre scientifique et technique
BRGM - 3, avenue Claude-Guillemin - BP 6009
45060 Orléans Cedex 2 - Tél. 02 38 64 34 34
www.brgm.fr

UN DÉVELOPPEMENT À GRANDE ÉCHELLE

L'ADEME et le BRGM entendent favoriser le développement de la géothermie en France. Ces équipes ont été renforcées afin d'anticiper la relance, tandis que la filiale du BRGM CFG-Services continue d'assurer la maintenance des installations. C'est ainsi qu'une dizaine de sites favorables en Ile-de-France ont été identifiés avec l'objectif de relancer trois opérations par an entre 2006 et 2010. Là encore, l'atout environnemental sera mis en avant car les opérations en région parisienne économisent en moyenne 400 000 tonnes de CO₂ par an.

Le développement de la géothermie sera donc indispensable pour que la France atteigne ses objectifs fixés à Kyoto et réduise ses rejets de gaz à effet de serre de 4 % par an. Pour cela, un incitateur va également être mis en œuvre : la loi d'orientation sur l'énergie avec des "certificats d'économie d'énergie" qui pénaliseront les réseaux de chaleur polluants et favoriseront les plus propres. La géothermie pourrait alors bénéficier de retombées financières substantielles indispensables à son développement à grande échelle.

Quelques définitions

- **Gradient géothermique** : accroissement de la température de la Terre en fonction de la profondeur, en moyenne 3,3°C tous les 100 mètres.
- **Géothermie très basse énergie** : concerne des aquifères peu profonds d'une température inférieure à 30°C pouvant être utilisée pour le chauffage et la climatisation avec ajout d'une pompe à chaleur.
- **Géothermie basse énergie ou basse enthalpie** : extraction d'une eau à moins de 90°C dans des gisements situés entre 1500 et 2500 m de profondeur pour le chauffage et certaines applications industrielles.
- **Géothermie moyenne énergie ou moyenne enthalpie** : eau chaude ou vapeur humide, à une température comprise entre 90 et 150°C, contenue dans des bassins sédimentaires à des profondeurs allant de 2000 à 4000 m.
- **Géothermie haute énergie ou haute enthalpie** : concerne des fluides, contenus dans des réservoirs localisés entre 1500 et 3000 m de profondeur, à des températures supérieures à 150°C captés sous forme de vapeur pour la production d'électricité.
- **Géothermie profonde** : capte la température des roches situées de 3 à 5 km de profondeur afin de produire de la vapeur pour l'alimentation des centrales électriques.

Privilégier l'information

- Le site Internet (www.geothermie-perspectives.fr) qui propose une information complète à destination des professionnels et du grand public. Ouverture printemps 2005.
- Une brochure "Enjeux des géosciences : la géothermie" disponible aux Editions du BRGM (www.editions.brgm.fr), au prix public de 9 Euros.
- Un congrès national sur la géothermie à l'automne 2006 à Paris.



© BRGM

Disponible aux Editions du BRGM (www.editions.brgm.fr), au prix public de 9 euros.

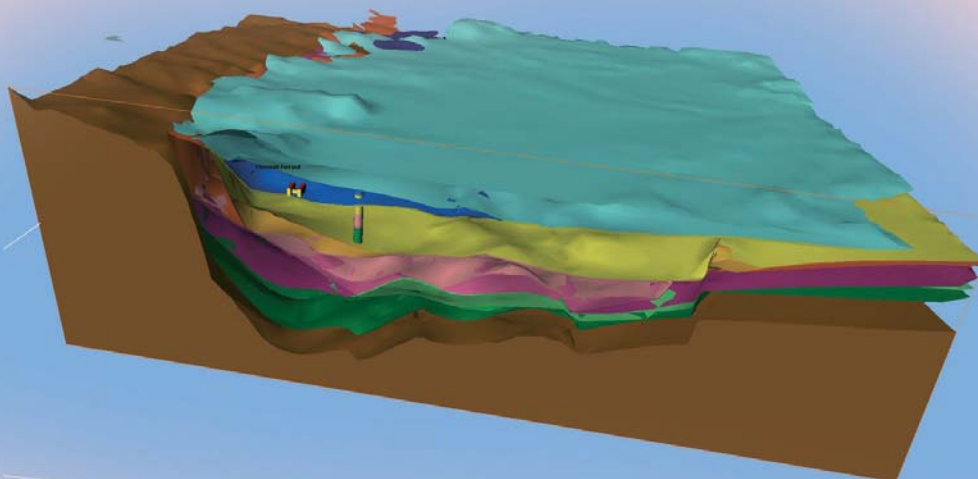


Page d'accueil du Site Internet (www.geothermie-perspectives.fr)

- Un "Guide d'aide à la décision pour l'installation de pompes à chaleur sur nappe en région Ile-de-France". En instance de publication, il présentera les étapes et démarches pour installer une PAC, depuis le forage jusqu'à la maintenance. Il contiendra des éléments précis sur la nature des aquifères disponibles jusqu'à 100 m de profondeur : cartes d'exploitabilité répertoriant les zones géographiques. Ces cartes seront ensuite disponibles via un SIG (système d'information géographique) sur CD ROM. D'autres régions suivront ensuite (Centre, Alsace, Lorraine...).

Contact : G. Delobelle - Tél. 02 38 64 46 68

Mieux connaître le potentiel géothermique : l'exemple de la Limagne d'Allier



© Brgm

Cette représentation en 3D du fossé de la Limagne d'Allier permet de visualiser les zones aquifères potentielles. Cette méthodologie mise au point dans le cadre du projet COPGEN conduit par l'ADEME et le BRGM, peut être appliquée aux autres fossés d'effondrement (grabens) comme le fossé rhénan ou la Bresse.

Le développement de la géothermie suppose de connaître parfaitement le potentiel du sous-sol français. C'est pourquoi une étude pilote vient de s'achever sous la conduite du BRGM et de l'ADEME sur la région de la Limagne d'Allier, dans le nord du Massif Central. L'objectif de COPGEN (COmpilation du Potentiel Géothermique National) était de " revisiter " des études anciennes et de les éclairer à la lumière de nouvelles techniques ou de recherches récentes pour aboutir à une nouvelle méthodologie d'inventaire. L'étude s'est focalisée sur ce fossé d'effondrement (graben) où des roches sédimentaires poreuses (grès, sables) sont susceptibles d'avoir emprisonné des eaux chaudes (90 à 100°C à 1500 mètres de profondeur) et donc d'être très favorable à la géothermie. Pour cela, près de 400 sondages anciens ont été réinterprétés, des données sismiques, géophysiques ont été réintroduites dans l'étude pour aboutir à une modélisation 3D des réservoirs géothermiques. Copgen a ainsi permis de définir les zones potentielles les plus favorables aux forages ou à une exploitation géothermale. Mais l'étude s'appuyait également sur des données socio-économiques afin de coupler le potentiel avec les demandeurs éventuels. C'est ainsi que des études et scénarios du potentiel géothermal ont été établis pour le projet de construction du nouvel hôpital de Clermont-Ferrand en 2008. Cet inventaire aujourd'hui achevé en Limagne pourra être dupliqué sur d'autres fossés d'effondrement : Alsace, Bresse, couloir rhodanien, régions géologiquement favorables mais où la géothermie est encore peu présente voire totalement absente.

Quelques adresses utiles

- ADEME Direction des Energies Renouvelables, des Réseaux et des Marchés Energétiques
Centre de Sophia Antipolis
500, route des Lucioles
06560 Valbonne
Tél. 04 93 95 79 00
- Compagnie Française de Géothermie (CFG)
3, avenue Claude Guillemin BP 6429
45060 Orléans cedex 2
Tél. 02 38 64 31 22
- ARENE Ile-de-France
94, bis avenue de Suffren
75015 Paris
Tél. 01 40 65 90 41
- Association Française des Pompes à Chaleur (AFPAQ)
22, rue de la Pépinière
75008 Paris
Tél. 01 45 22 33 55
- Association des Maîtres d'Ouvrage en Géothermie (AGEMO)
11, rue de la Gare
94230 Cachan
Tél. 01 46 64 53 43
- BRGM - Unité Géo-énergie
Tél. 02 38 64 39 61