

## LA GÉOTHERMIE

### Une énergie d'avenir

Renouvelable, constante, non-polluante... la géothermie (la chaleur de la terre), dont l'exploitation est aussi vieille que l'humanité, ouvre aujourd'hui de vastes perspectives en matière d'énergies renouvelables.

Quel rapport entre les thermes des îles Lipari (- 2000 avt J.-C.) et le système énergétique du nouveau Reichstag de Berlin ? L'exploitation de la chaleur de la terre, autrement dit de la géothermie.

Depuis l'aube de l'humanité, l'homme a toujours su tirer parti de cette énergie dont geysers, sources chaudes et éruptions volcaniques lui manifestaient l'existence. Mais la découverte d'énergies plus facilement mobilisables (charbon, pétrole) n'a guère encouragé son développement. Aujourd'hui, la donne change. L'épuisement programmé des réserves d'énergies fossiles, la nécessité de préserver l'environnement et le réchauffement climatique dû à l'effet de serre imposent de faire toute leur place aux énergies renouvelables. La géothermie est de celles-ci.

#### Chaleur et électricité

La chaleur de la terre provient de la désintégration d'éléments radioactifs présents dans les roches et du noyau terrestre qui génèrent un flux de chaleur vers la surface. Plus la profondeur est grande, plus la chaleur est élevée, augmentant en moyenne de 3°C tous les 100 mètres. Mais ce gradient géothermique peut être beaucoup plus élevé dans certaines configurations géologiques particulières.

L'extraction de cette chaleur nécessite un fluide. Certaines formations géologiques du sous-sol recèlent naturellement des aquifères dont les eaux (et/ou la vapeur selon les conditions de température et de pression) sont le vecteur de l'énergie thermique.

« On distingue plusieurs types de géothermie, explique Laurent Le Bel, chargé de mission à la Direction de la recherche du BRGM. La géothermie très basse énergie exploite des réservoirs situés à moins de 100 mètres et dont les eaux ont une température inférieure à 30°C. On l'utilise pour le chauffage et/ou la climatisation, via une pompe à chaleur. La géothermie basse énergie s'appuie, elle, sur des aquifères à des températures comprises entre 30° et 100°C. On l'exploite dans des réseaux de chaleur pour le chauffage urbain ou dans le cadre de procédés industriels, par exemple. La géothermie moyenne énergie et haute énergie (jusqu'à 250°C) est utilisée pour produire de l'électricité, au moyen de turbines. » (cf. schéma p.2/3)

#### Une nouvelle mobilisation

En France métropolitaine, l'exploitation industrielle de la géothermie (basse énergie) a débuté dans les années 60, culminant au début des années 80. Mais la baisse brutale du prix du pétrole en 1986 a fortement freiné son développement. Un regain d'intérêt s'est fait jour récemment avec l'avènement du concept de développement durable et la volonté de lutter contre l'effet de serre.

Une directive européenne prévoit d'ailleurs qu'au moins 21 % de la production d'électricité de l'U.E. provienne d'énergies renouvelables d'ici 2010...

« La géothermie, poursuit Laurent Le Bel, est la seule source d'énergie renouvelable qui s'adresse aux deux grandes filières énergétiques : production d'électricité et production de chaleur. Elle est régulière, avec une disponibilité moyenne de 80 %, et non-polluante. Et elle a atteint un niveau de maturité technique et commerciale qui lui permet de rivaliser sans complexe avec les autres énergies renouvelables. Mais elle souffre encore d'un déficit de notoriété. » Pourtant, les ressources sont considérables et, en certains points du monde (îles volcaniques notamment), facilement mobilisables.

Quant aux coûts de production d'énergie (dans le cas de l'électricité plus élevés qu'avec les énergies fossiles – sauf exception, cf. article Bouillante), un fort développement de la géothermie, gage d'acquis scientifiques et techniques, permettrait de les réduire, tout en limitant les risques encourus par les investisseurs. « Par ailleurs, précise Laurent Le Bel, l'intégration prévisible au prix du kwh d'un supplément de coût lié aux émissions de CO<sub>2</sub> (gaz à effet de serre) devrait engendrer un renchérissement de l'électricité issue des énergies fossiles, ce qui tendra à rapprocher les coûts de production des différentes filières. »

#### Plus 4 % par an

Vieille comme le monde, la géothermie s'affirme bien comme une énergie d'avenir. Le BRGM, qui en fut l'un des pionniers tant sur le plan de l'identification des ressources que de la mise au point de méthodologies d'exploitation, est aujourd'hui impliqué dans plusieurs projets (voir articles). Il a également créé un Centre d'information technique sur l'énergie géothermique (CITEG), dans le cadre de sa mission de service public.

Partout sur le globe, des projets se développent : les Philippines produisent d'ores et déjà 21 % de leur électricité par géothermie. Un siècle après sa mise en exploitation, le site géothermique de Larderello, en Italie, atteint une production de 800 MW, couvrant 30 % des besoins électriques de la Toscane...

De nombreuses innovations montrent que le champ est encore vaste. Des centrales à cycle binaire permettant de produire de l'électricité à partir d'aquifères faiblement énergétiques (95° à 110°C) sont ainsi en démonstration en Allemagne et en Autriche. Leur principe repose sur un échange de chaleur entre un fluide géothermal et un fluide secondaire qui vient à ébullition à basse température. Cette technique ouvre des perspectives nouvelles de production d'électricité à partir de fluides géothermaux hier uniquement dédiés aux réseaux de chaleur (cas français).

Ces cinq dernières années, la production d'énergie issue de la géothermie a progressé de 4 % par an dans le monde...

- L'épuisement prévisible des énergies fossiles, la nécessité de lutter contre l'effet de serre, un meilleur respect de l'environnement et

■ finalement l'intégration du concept de développement durable dans les politiques publiques... ont placé les énergies renouvelables au cœur d'un enjeu fondamental pour l'avenir.

Mais si l'éolien et le solaire ont acquis leur légitimité, la géothermie demeure largement méconnue et inexploitée.

La chaleur de la terre est pourtant la seule source d'énergie qui s'adresse aux deux grandes filières énergétiques, la production de chaleur et d'électricité. Inépuisable, elle offre un taux de disponibilité très supérieur à d'autres énergies renouvelables. Non-polluante, elle est économiquement viable et promise à l'être plus encore au fur et à mesure de son développement.

Les équipes du BRGM furent parmi les premières à s'y intéresser à partir des années soixante, suscitant et accompagnant l'essor de cette énergie après le premier choc pétrolier.

Depuis la recherche et l'identification des ressources jusqu'au développement de procédés d'exploitation, le BRGM est aujourd'hui impliqué sur toute la gamme des applications géothermiques, de la très basse-énergie pour le chauffage domestique jusqu'à la production d'électricité à partir de la géothermie profonde.

Depuis la recherche et l'identification des ressources jusqu'au développement de procédés d'exploitation, le BRGM est aujourd'hui impliqué sur toute la gamme des applications géothermiques, de la très basse-énergie pour le chauffage domestique jusqu'à la production d'électricité à partir de la géothermie profonde.



En images

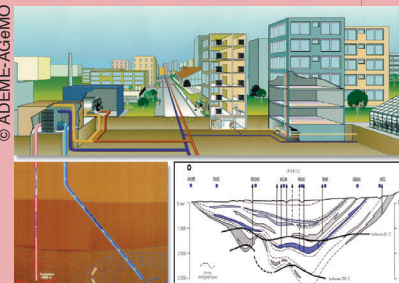
La géothermie source de chaleur...



Source thermale - Chaudes Aigues.



... pour l'habitat individuel et le tertiaire avec les Pompes à chaleur...



...pour l'habitat collectif grâce aux Réseaux de chaleur.

La géothermie source d'électricité...



Geyser en activité (Islande).



Bouillante, la première centrale géothermique française productrice d'électricité.

## TRÈS BASSE ÉNERGIE

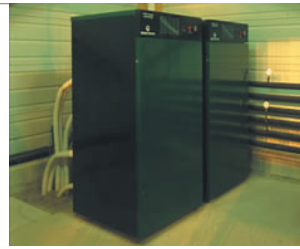
# Les pompes à chaleur ou la géothermie « domestique »...

Chauffer sa maison en prélevant seulement quelques degrés à une eau située à faible profondeur. C'est tout l'intérêt des pompes à chaleur, dont les potentialités demeurent trop peu exploitées en France.

Lorsque la température d'un aquifère est inférieure à 30°C, on parle de géothermie très basse énergie. L'intérêt énergétique peut paraître a priori assez limité, mais la faible profondeur des réservoirs concernés (moins de 100 mètres) est un véritable atout. La technologie des **pompes à chaleur géothermales** permet de tirer parti avec profit de cette ressource...

Le principe en est assez simple : on pompe de l'eau dans l'aquifère, après passage dans un échangeur, le fluide de travail (fluide frigorigène) de la pompe à chaleur en extrait de l'énergie en se vaporisant (quelques degrés), puis un compresseur\* concentre celle-ci avant qu'elle ne soit libérée par un détendeur et récupérée au profit du circuit de chauffage. À titre d'exemple, une eau captée à 13°C dont on prélèvera 3°C avant de la réinjecter dans le sol (à 10°C) peut permettre de maintenir des planchers chauffant à une température de 35°C.

Le coefficient de performance (rapport énergie électrique consommée par la pompe/énergie calorifique délivrée) est de l'ordre de cinq : 1 kWh électrique consommé permet de produire 5 kWh thermiques. À comparer, par exemple, avec un convecteur électrique : coefficient 1 ! D'autres techniques existent, fondées non sur la température de l'eau mais sur celle du sous-sol. C'est le principe, notamment, des **sondes géothermales**, sortes d'épingles plantées dans le sous-sol et où circule en circuit fermé un fluide qui récupère par contact (conduction) l'énergie thermique du sol avant qu'elle ne soit traitée par la pompe à chaleur. Pour des raisons de coût et de conditions d'installation, le créneau de la très basse énergie est aujourd'hui essentiellement celui des constructions neuves, voire de la rénovation. Beaucoup de pays du Nord s'y sont fortement engagés : en Suède, la plupart des nouveaux bâtiments sont dotés de pompes à chaleur.



© AVENIR ÉNERGIE

Ce chiffre est de l'ordre de 5 % en France pour un nombre de logements construits d'environ 300 000 (chiffres 2003). La technologie des pompes à chaleur a pourtant fait ses preuves et les potentialités n'ont pas encore été toutes explorées. En témoigne, en Europe, le développement croissant de systèmes hybrides couplant par exemple énergie géothermique et énergie solaire, pompes à chaleur et chaudières traditionnelles, pour des besoins à plus grande échelle.

\* Il existe également des pompes à chaleur dites à absorption, généralement utilisées pour produire du froid.

### Chiffres clés

- Nombre de pompes à chaleur installées en France : 50 000 (évaluation 2002)
- Ventes annuelles de pompes à chaleur en France : 16 600 (évaluation 2002)
- Répartition en fonction du type de source froide :
  - 7 700 géothermiques : capteurs enterrés (essentiellement) et aquifères
  - 4 400 air/eau
  - 4 500 air/air

Source AFPAC (Association Française pour les pompes à chaleur)

## RÉSEAUX DE CHALEUR

# Se chauffer grâce à la géothermie

L'utilisation de la géothermie basse énergie\* pour le chauffage de bâtiments – dont la France fut une pionnière dans les années 70-80 – connaît un regain d'intérêt. Le BRGM, opérateur « historique » de cette filière, est l'un des acteurs de ce renouveau.

En 1969, la mise au point du concept de « doublet » géothermique à Melun était une première française. Cette innovation faisait suite à un constat, issu de travaux géologiques, hydrogéologiques et d'exploration pétrolière : les bassins sédimentaires possèdent des aquifères dont la température peut atteindre jusqu'à 85°C, ce qui est le cas du Dogger en Ile-de-France. Elle répondait également à la nécessité de réinjecter l'eau, trop salée pour être rejetée en surface ce qui maintient la productivité de l'aquifère. L'exploitation de ce réservoir pour la réalisation de réseaux de chaleur destinés à l'habitat collectif débuta à la fin des années 70. Cinquante-deux doublets alimentant autant de réseaux de chaleur furent alors réalisés. Trente-quatre d'entre eux chauffent aujourd'hui l'équivalent de 140 000 logements.

### Pompage et réinjection

« La Géothermie basse énergie, explique Alain Desplan, responsable du CITEG\*\*, repose sur l'utilisation directe de la chaleur de l'eau d'un aquifère. En fonction de sa température, elle peut être utilisée pour la pisciculture, la balnéothérapie, l'alimentation de piscines, le chauffage de serres. Quand sa température atteint des niveaux suffisamment élevés, l'eau chaude peut être utilisée pour alimenter un réseau de chaleur. Comme elle est souvent salée et chargée en sulfures, donc très corrosive, il est impossible de l'injecter directement dans le circuit de chauffage. Après pompage, elle passe donc dans un échangeur où elle transfère son énergie à l'eau d'un circuit secondaire. Puis le fluide géothermal est réinjecté. » On fore généralement les puits de réinjection à 1 500 ou 2 000 mètres de

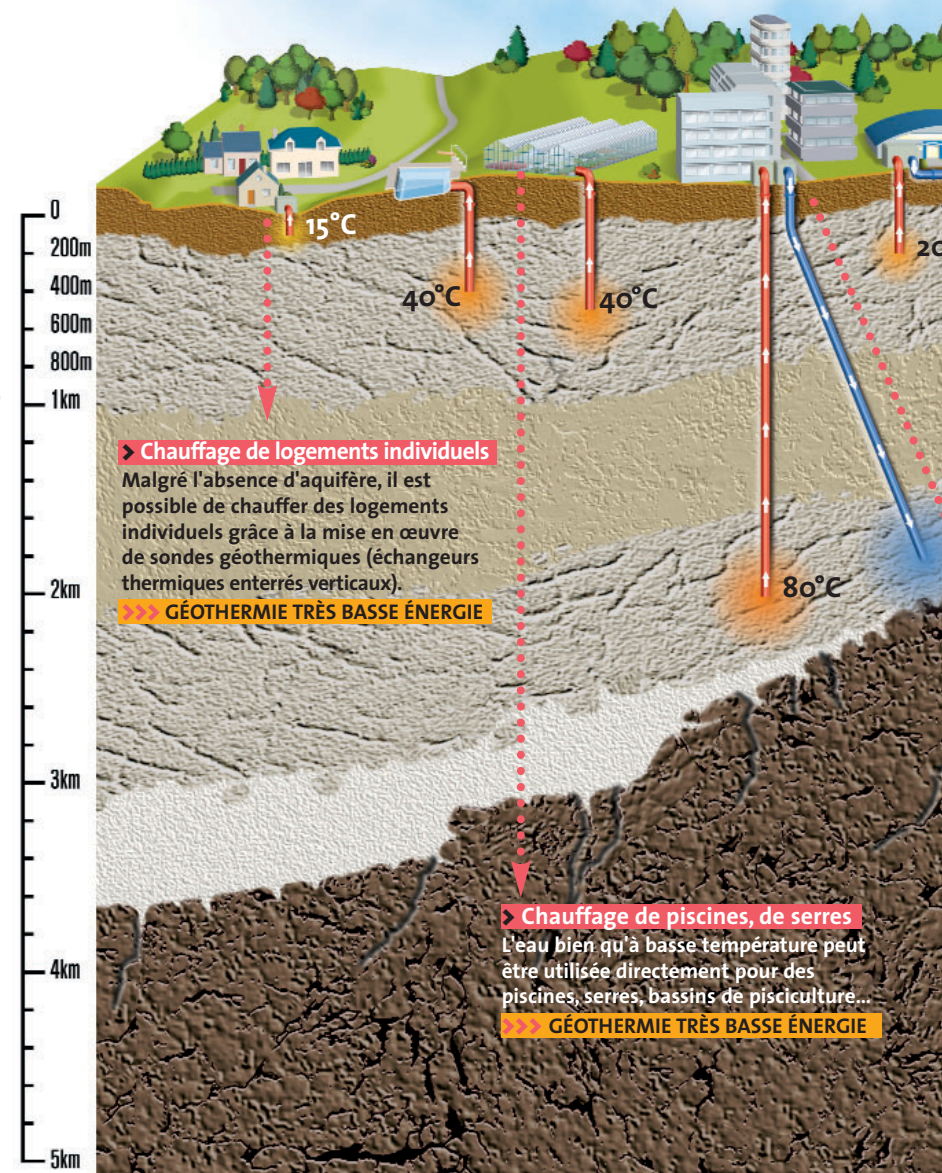
puits de pompage afin que le recyclage de l'eau refroidie ne soit pas trop rapide et ne provoque pas une baisse de la température de l'eau produite en surface.

### Bientôt un site internet d'information

Le BRGM fut l'un des principaux opérateurs de la géothermie basse énergie entre le choc pétrolier de 1973 et le milieu des années 80 : inventaires géothermiques, recherches thermiques, études de faisabilité, pilotage des forages géothermiques, modélisation du comportement des réservoirs, élaboration de techniques de maintenance de la « boucle géothermale »... jusqu'à l'implication dans des organismes dédiés (Géochaleur, avec l'AFME, future ADEME). La Compagnie Française de Géothermie (devenue CFG Services), filiale du BRGM, assure encore la maintenance de nombreux réseaux.

Si aucune opération nouvelle n'a plus été menée depuis 1987 (après la chute du prix du pétrole), le BRGM est de nouveau très impliqué depuis 2000. Le contexte est favorable : « L'éolien et le solaire, explique A. Desplan, ne permettent pas d'atteindre les objectifs européens en matière de limitation de production de gaz à effet de serre. La géothermie, disponible, constante, adaptée aux opérations à grande comme à petite échelle et qui ne pollue pas (ni rejets atmosphériques, ni bruit, ni pollution esthétique – puisque les puits sont enterrés) est par définition l'énergie du développement durable. » Le CITEG en accompagnant l'ADEME entend bien porter cette bonne parole auprès du grand public et des opérateurs. Courant 2004, un site Internet\*\*\* commun avec l'ADEME devrait voir le jour. « Nous le voulons très concret, insiste A. Desplan, pour

## Exploiter la chaleur de la terre



être un outil efficace d'aide à la décision, tant des acteurs politiques que des maîtres d'ouvrages potentiels, particuliers, industriels ou collectivités. Au fur et à mesure de sa réalisation, le site présentera en particulier des cartes multicritères d'appréciation des potentiels géothermiques régionaux - données qu'il sera possible de croiser avec les besoins thermiques en surface et les projets urbanistiques dans une approche prospective de la géothermie basse énergie. »

\* Températures entre 50° et 100°C.

\*\* Le Centre d'information technique sur l'énergie géothermique (CITEG), créé par le BRGM dans le cadre de sa mission de service public, vise à promouvoir la géothermie auprès du grand public et des maîtres d'ouvrage.

\*\*\* [www.geothermie-perspectives.net](http://www.geothermie-perspectives.net)

Sous ces demies sphères translucides se trouvent 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 - Seine et Marne.

**GÉOTHERMIE PROFONDE**

# En Alsace, un projet européen de dimension mondiale

À Soultz-sous-Forêts, le BRGM et une vingtaine d'équipes européennes et internationales sont associés dans le plus grand projet mondial de géothermie profonde. Objectif : exploiter la chaleur des roches chaudes fracturées situées à 5 000 m de profondeur, afin de produire de l'électricité.

Les recherches sur la géothermie profonde ont été lancées en 1987 en Alsace dans le cadre d'un projet européen. Depuis, plusieurs équipes scientifiques et des opérateurs énergétiques du monde entier se sont associés à la démarche. Elle vise à mettre au point un procédé d'extraction de l'énergie contenue dans les roches profondes naturellement fracturées, de nombreuses régions du monde (zones de graben, tel le fossé rhénan) présentant ces conditions géologiques favorables (30 000 km<sup>2</sup> en France). L'enjeu est de taille, tant la ressource semble

infinie. On a calculé qu'un prélèvement de chaleur qui ferait seulement baisser de 20°C la température d'un bloc rocheux de 1 km<sup>3</sup>, correspondrait à l'énergie thermique libérée par 1,3 millions de tonnes de pétrole...

**Une boucle de circulation**

« Le principe de la géothermie profonde, explique Sylvie Gentier, chef de projet au BRGM, est d'extraire la chaleur en faisant circuler un fluide dans un échangeur profond constitué de fractures naturelles. On injecte de l'eau froide par un puits

**SOULTZ en chiffres**

- > 18 années de recherche
- > 80 millions d'euros investis (30 millions par la communauté européenne, 25 par l'Allemagne et 25 par la France)
- > 15 laboratoires de recherches impliqués, plusieurs centaines d'entreprises sous-traitantes
- > 3 forages à 5000 m (20 000 mètres forés, 60 000 m<sup>3</sup> d'eau injectés en 6 grandes phases de stimulation des fractures)

En 1997, pendant la boucle réalisée durant 4 mois, 250 000 m<sup>3</sup> d'eau ont produit en surface 24 000 MWh thermiques.

d'injection, eau que l'on récupère via un puits d'extraction après qu'elle a transité dans les fractures de la roche, constituant une boucle de circulation ». En surface, un échangeur thermique transforme en vapeur un fluide réchauffé au contact du fluide géothermique, laquelle entraîne une turbine produisant de l'électricité.

À Soultz, la zone concernée est un socle granitique où les températures atteignent 200°C à 5 000 m, un gradient géothermique élevé qui rend ce type de formation très intéressant.

« La maîtrise du réseau de fractures est le problème numéro un, poursuit S. Gentier. Elles ne sont pas homogènes, nous rencontrons des problèmes de pression, de pertes de fluide... d'où des recherches approfondies sur le comportement hydromécanique de ces formations. Nous avons ainsi mis au point des techniques de stimulation des fractures en injectant de l'eau sous pression pour augmenter la perméabilité du milieu et favoriser la boucle de circulation du fluide géothermique entre les puits. » En 1997, des tests de plusieurs mois sur des forages à 3 400 et 3 900 m, distants de 500 m, ont permis d'estimer une production de 10 MWe thermiques à partir d'une eau à 140°C en sortie de puits.

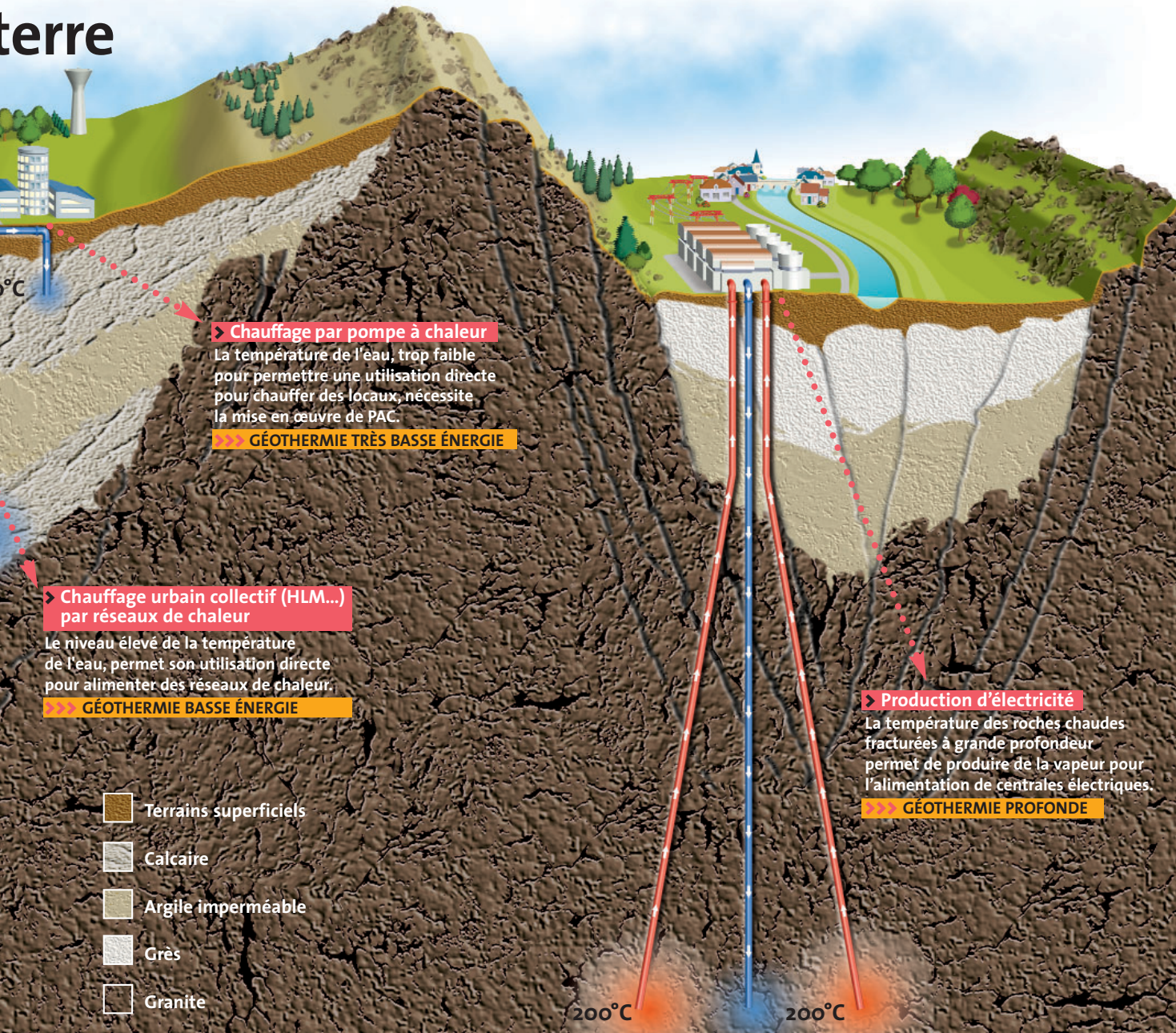
**Un prototype de 25 MWe**

Les travaux actuels (2002-2006) visent l'élaboration d'un pilote scientifique. Ils reposent sur le principe d'un triplet géothermique, soit trois puits en circuit fermé : un puits central d'injection, à 5 000 mètres, et deux puits d'extraction de part et d'autre, qui récupèrent le fluide réchauffé, lequel, après passage dans l'échangeur de surface, est réinjecté. Le fluide géothermique est constitué de la saumure naturelle extraite du massif profond, les granites fracturés n'étant pas un milieu sec. Des tests de traçage ont montré que la boucle de circulation pouvait fonctionner sans réinjection en surface du fait du recyclage d'une partie du fluide et d'une recharge naturelle « par le fond ». C'est un atout supplémentaire : compte tenu des pertes – inévitables – de fluide entre les puits, des quantités considérables de saumure devraient être mobilisées si aucune recharge ne venait soutenir le circuit, ce qui poserait des problèmes de ressource. Tests de circulation du fluide, estimation des performances hydrauliques et thermiques du système, tests de la centrale électrique, évaluations économiques... les prochaines années seront déterminantes.

Le pilote scientifique sera en effet le véritable « juge de paix » pour de futures applications industrielles. Censé produire 5 à 6 MWe électriques, il sera suivi de très près par le Groupement Européen d'Intérêt Économique « Exploitation minière de la chaleur » qui réunit autour du projet les grands opérateurs électriques français et allemands.

Son succès devrait entraîner la création d'un prototype de 25 MWe à partir de neuf puits. Le potentiel européen de la géothermie profonde est estimé à 110 000 MWe, l'équivalent de la capacité de production électrique de la France. Le BRGM travaille déjà, pour le compte de l'Europe, à l'identification des sites similaires à celui de Soultz...

terre



Source BRGM

© BRGM IM@GÉ

**DES MULTIPLES USAGES DE LA GÉOTHERMIE...**

L'une des utilisations les plus simples et les plus répandues de la géothermie s'appuie sur les ressources géothermiques dites très basse énergie (températures inférieures à 30°C). Via des pompes à chaleur (à compression ou absorption), on produit de la chaleur ou du froid, pour chauffer – ou climatiser – des habitations. Selon les besoins, ces pompes à chaleur peuvent être couplées à d'autres types de matériels utilisant des sources d'énergie différentes.

La technologie des pompes à chaleur, outre les besoins en chauffage et climatisation, permet également de satisfaire des besoins en eau chaude sanitaire, notamment. En cas de températures comprises entre 30° et 100°C, on parle de géothermie basse énergie. Les ressources géothermales concernées sont exploitées pour le chauffage urbain (réseaux de chaleur), le chauffage de serres, la pisciculture, le thermalisme, le chauffage de piscines... Les réseaux de chaleur installés dans le

bassin parisien et en Aquitaine sont un exemple réussi d'exploitation de la basse énergie. La géothermie moyenne et haute énergie (températures jusqu'à 250°C) est utilisée pour la production d'électricité. En 2000, 49 TWh ont été produits dans le monde par cette filière, qui occupe ainsi le 3<sup>e</sup> rang des sources d'énergies renouvelables derrière l'hydraulique et la biomasse, et connaît un développement régulier.

## HAUTE ÉNERGIE

# De l'électricité géothermique en Guadeloupe

Dans les îles volcaniques, la production d'électricité à partir de la géothermie haute énergie est d'ores et déjà compétitive. Le projet de Bouillante 2 doit le confirmer. En Guadeloupe, seule centrale géothermique productrice d'électricité en France, Bouillante 1 et Bouillante 2 sont en passe de fournir près de 10 % des besoins électriques de l'île.

La Guadeloupe, comme toutes les îles des Caraïbes, ne recèle pas d'énergies fossiles (charbon, pétrole...) susceptibles de répondre à ses besoins en électricité. Région de volcanisme récent, elle bénéficie en revanche des conditions favorables à une exploitation de la géothermie haute-énergie (eau et/ou vapeur à partir de 200°C). Dès les années 70, des forages furent ainsi réalisés dans la région de Bouillante, où de nombreuses sources chaudes et fumerolles étaient autant d'indices de l'existence d'un champ géothermique. Le BRGM participa à ces travaux menés sur l'initiative de la Société de production et de distribution de l'électricité en Guadeloupe. Quarante ans après, il est devenu l'un des acteurs majeurs de cette démarche scientifique et technique pleine de promesses.

centrale pilote, des recherches géophysiques et quatre forages à différentes profondeurs avaient d'abord confirmé l'existence de températures élevées. « *Un seul forage, toutefois, profond de 350 m, précise Yves Horel, pdg de CFG Services\*, offrait une température (250°C) et un potentiel de production de vapeur (30 tonnes/heure) intéressants.* »

Sur la base de ce puits unique, EDF fit fonctionner la centrale de Bouillante 1 de 1986 à 1992, avant qu'elle ne soit réhabilitée en 1995 par Géothermie Bouillante\* (avec le concours de l'ADEME, de la Communauté européenne, de la Région Guadeloupe). Ceci dans un objectif d'exploitation sur des bases industrielles. Actuellement, elle contribue à hauteur de 3 % à la consommation électrique de l'île.

Parallèlement, le BRGM et EDF – les actionnaires de Géothermie Bouillante – lançaient à la fin des années 90 un nouveau programme de recherche en vue d'une exploitation plus large de la ressource. Des travaux géologiques, géochimiques, géophysiques – combinés à la « stimulation » d'un des anciens puits par injection d'eau de mer – allaient permettre de préciser l'origine de la chaleur, de mieux comprendre la circulation des fluides et de localiser l'implantation de nouveaux forages.

### Un réservoir exceptionnel

La centrale de Bouillante 2, mise en service en 2004, résulte de ces travaux. Ses trois puits ont été forés de janvier à juin 2001, avec le concours financier de la région Guadeloupe, de l'ADEME

et d'EDF. Situés entre 1 000 et 1 150 mètres (température 250°C), ils délivrent la quantité de vapeur requise pour une production de 16 MWe. « *D'après les connaissances acquises, et notamment le résultat de tests de traçage géochimiques dans les puits, commente Hervé Traineau, le réservoir de Bouillante semble être de taille importante. L'exploitation du forage ancien BO-2 et plus récemment de deux nouveaux puits (BO-5 et BO-6) n'a ainsi montré aucun signe de déclin du débit ou de la pression du réservoir.* »

Les points forts de la géothermie à Bouillante sont nombreux. Ainsi, le taux de disponibilité de 90 % de cette énergie renouvelable est très élevé car elle n'est pas soumise aux aléas climatiques. Sur le plan environnemental, la quasi absence de rejets atmosphériques (ni vapeur, puisque le fluide géothermique est rejeté à la mer après refroidissement, ni CO<sub>2</sub>, ni aucun des gaz et poussières produits par les centrales diesel) est également un atout majeur.

Côté économique, enfin, la performance est réelle : **le kWh d'électricité produit est vendu 8 centimes d'euro** à EDF, contre un prix de revient de production dans l'île (filiale classique) de l'ordre de 14 centimes d'euro. Alors, une étude a été engagée pour préparer un projet appelé « Bouillante 3 », qui serait situé au nord de la baie.

\* La Compagnie Française de Géothermie-Services est une filiale de SAGEOS (Groupe BRGM). Les actionnaires de Géothermie Bouillante, exploitant du site guadeloupéen, sont SAGEOS et EDEV (Groupe EDF).

La centrale de Bouillante.

## BOUILLANTE, CHIFFRES-CLÉS

- **Bouillante 1**
  - Profondeur du puits : 350 m
  - Température : 250 °C
- **Bouillante 2**
  - Profondeur des puits : entre 1 000 et 1 150 m
  - Température : 250 °C
- **Bouillante 1 et 2**
  - Contribution énergétique globale : 9 % de la consommation électrique de la Guadeloupe
  - Bouillante 1 : 30 GWh
  - Bouillante 2 : 72 GWh
  - Taux de disponibilité : de l'ordre de 90 %
  - Prix de cession du kWh à EDF : 0,08 € (à comparer avec le prix de revient EDF du kWh en Guadeloupe, toutes énergies confondues).



Le sécheur de Bouillante 2.

**1986, une centrale pilote**  
« *La géothermie dans cette zone, explique Hervé Traineau, géologue du volcanisme, est liée à une activité volcanique récente (moins de 1 000 000 d'années). L'eau de mer et l'eau de pluie s'infiltrent en profondeur dans le sol, circulent dans les fractures de la roche et se réchauffent à son contact avant de remonter vers la surface.* »  
Avant la construction par EDF d'une



La turbine de Bouillante 2.

## RESSOURCES

# L'inventaire national des potentialités géothermiques

Depuis fin 2002, le BRGM et l'ADEME\* sont associés au sein d'un projet méthodologique d'inventaire des potentialités géothermiques du territoire métropolitain.

Inventorier les ressources géothermiques de la France n'est pas une idée nouvelle. Il y a vingt-ans, accompagnant le véritable « boom » de la géothermie, des campagnes d'inventaires avaient déjà été menées par le BRGM notamment dans les bassins sédimentaires (Alsace, Provence, Aquitaine, Bassin parisien...) et dans le Massif Central. Visant l'identification des ressources basse à moyenne énergie (jusqu'à 100°C environ), ces travaux avaient pour perspective première la constitution de réseaux de chaleur (voir article).

Ainsi furent publiés de véritables atlas régionaux, sous formes de cartes géographiques, géologiques, géothermiques... accompagnées de descriptions des

réservoirs aquifères (extension, épaisseur, température, débit, profondeur, salinité...). Aujourd'hui, une nouvelle démarche a été engagée. Elle réunit le BRGM et l'Ademe sur un projet commun, Copgen, littéralement « Compilation du potentiel géothermique national ». « *Ce travail, explique Albert Genter, chef de projet, a pour objectif la mise au point d'une méthodologie nouvelle d'inventaire. Car si les données n'ont pas changé, la connaissance, elle, a beaucoup évolué dans les domaines de la dynamique des bassins, de l'analyse géochimique des fluides, de la géophysique, de la modélisation 3D... Nous réactualisons puis réinterprétons aujourd'hui les données des anciens inventaires à la lumière des concepts nouveaux et grâce à de nouvelles techniques.* »

### L'étude des Limagnes d'Auvergne

Pour la mise au point d'une application pilote d'inventaire, le BRGM et l'Ademe ont

concentré leurs travaux sur les Limagnes de Loire et d'Allier, en Auvergne. Ces fossés d'effondrement remplis de sédiments (graben) datant de l'Oligocène sont de véritables pièges à fluides, et présentent un fort gradient géothermique : « *On trouve, explique A. Genter, une température de 100°C à 1 500 mètres, soit presque le double de la moyenne des bassins sédimentaires.* » Sur ces territoires, les équipes de Copgen ont engagé un vaste travail de compilation, de réinterprétation et de mise en cohérence des données pour réaliser une synthèse géoscientifique pluridisciplinaire : géologique (sur 400 forages décrits dans la banque de données du sous-sol), thermique, géophysique (sismique, gravimétrie, magnétique...), hydrogéologique, géochimique (analyse des fluides). Ils ont également intégré la dimension socio-économique. « *Notre objectif est de délimiter les zones qui semblent les plus favorables pour l'implantation de forages géothermiques,*

poursuit A. Genter, *non seulement en fonction de critères scientifiques mais en tenant étroitement compte des besoins en énergie, car notre mission s'inscrit dans la politique nationale de relance des énergies renouvelables.* » À terme, les acquis du projet Copgen pourraient ainsi déboucher, en Auvergne, sur des préconisations de recherches plus pointues dans certaines zones (forages d'exploration, profils sismiques...), en fonction de besoins en chauffage identifiés : création d'un équipement public (hôpital, caserne de pompier...), d'une zone d'habitat collectif... Mais la méthodologie mise au point a aussi vocation à être transposée. « *Elle pourra, à terme, s'appliquer aux autres grabens français, conclut A. Genter, tels le fossé rhénan ou la Bresse.* »

\* Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie.