

LES Enjeux DES Géo sciences

FICHE DE SYNTHÈSE SCIENTIFIQUE
N° 6 - Mars 2004

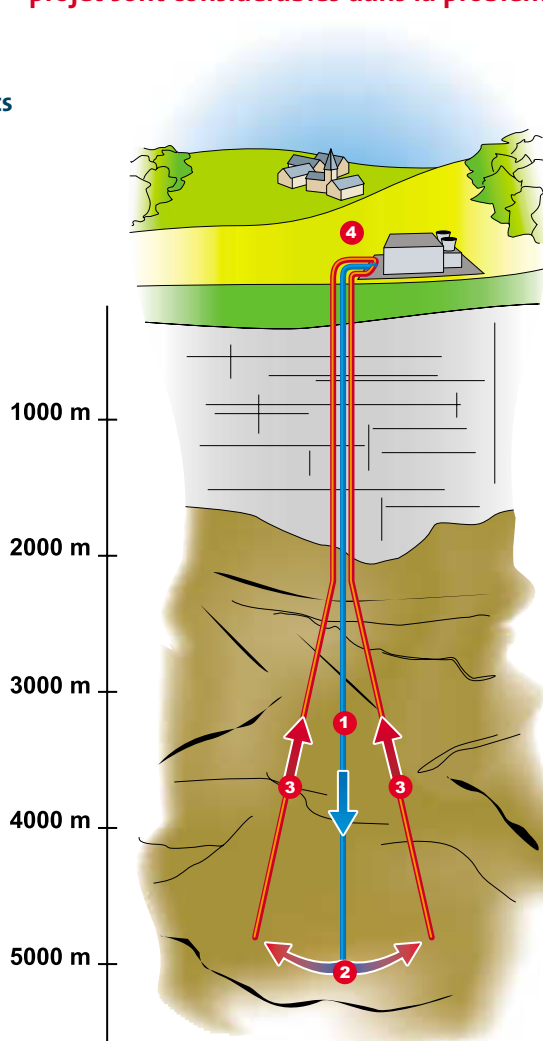
Géothermie profonde en Alsace

Un granite peut-il produire de l'électricité ?

Le BRGM est un des grands acteurs du projet européen de géothermie profonde à Soultz-sous-Forêts qui vise à produire de l'électricité grâce au potentiel énergétique des roches chaudes fissurées. Les retombées de ce projet sont considérables dans la problématique énergétique mondiale.

Le pilote scientifique de Soultz-sous-Forêts

- 1 Injection d'eau froide à 5 000 m de profondeur par le puits central
- 2 Circulation d'eau dans les fractures et réchauffement au contact de la roche chaude (200°C)
- 3 Extraction de l'eau réchauffée du sous-sol par deux puits de production
- 4 En surface, transformation par l'intermédiaire d'un échangeur thermique



© Brgm

À quelques kilomètres de profondeur, la chaleur du sous-sol constitue un stock d'énergie pratiquement inépuisable qui pourrait être mis en valeur par des unités de production géothermiques. Encore faut-il aller chercher cette énergie pour l'exploiter et la transformer. C'est l'objet du programme de recherche initié depuis 1987 à Soultz-sous-Forêts en Alsace dans le cadre d'un partenariat européen où le BRGM joue un rôle central. Ce site expérimental est notamment destiné à démontrer la faisabilité de la production d'électricité et de chaleur à partir de roches chaudes fracturées.

La géothermie des roches chaudes sèches ("Hot Dry Rock") est un concept né dans les années 70 aux Etats-Unis. Le principe consiste à fragmenter en profondeur des roches chaudes par injection d'eau sous pression et à créer un échangeur thermique profond. Par la suite, une boucle est établie et l'eau réchauffée au contact des roches chaudes cède son énergie à une unité de surface produisant de l'électricité.

Simple dans sa présentation, le concept est cependant extrêmement compliqué dans sa concrétisation : les divers programmes de recherches menés dans le monde ont d'ailleurs buté sur de nombreux problèmes techniques. Il faut en effet réaliser des forages à grande pro-

fondeur, fracturer la roche, réaliser un échangeur thermique performant (sans perte de chaleur ni d'eau entre la surface et l'échangeur) puis maintenir dans la durée la boucle d'eau chaude permettant de produire de l'électricité.

Pionnier dans les recherches géothermiques, le BRGM a été porteur de ce projet dès l'origine. **"Nous avons démontré la validité de nos études** explique Christian Fouillac, directeur de la recherche au BRGM. **Après les échecs initiaux, plusieurs nouveaux projets internationaux, notamment en Suisse et en Australie ont été lancés en s'appuyant fortement sur les acquis de Soultz".**

DES RÉSULTATS TRÈS PROMETTEURS



Forage GPK3 (Soultz-sous-Forêts). Vue sur les bacs de fabrication de la boue de forage (eau + sel)

À Soultz, les programmes de recherches et de travaux menés dès 1988 ont consisté à réaliser des forages et des tests qui ont notamment permis de valider les hypothèses initiales. **"Pour la première fois en 1997** insiste Laurent Le Bel, chargé de mission au BRGM, **nous avons réussi à entretenir de manière continue une circulation d'eau entre deux forages distants de 450 mètres avec un débit de 25 litres/seconde et une température supérieure à 140°C, sans perte d'eau et avec des puissances de pompage très modestes".** Cette réussite qui représentait une première mondiale autorisait

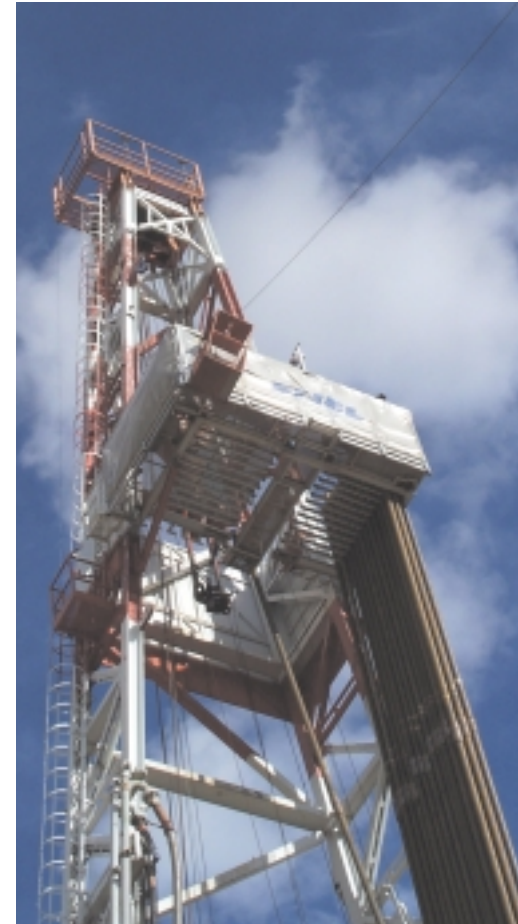
donc la poursuite du programme piloté par un Groupement Européen d'Intérêt Economique appelé "Exploitation Minière de la Chaleur".

En 2001, ce groupement a lancé les travaux de construction d'un "pilote scientifique" avec l'aide financière de l'Europe et le renfort de nombreuses équipes scientifiques françaises (BRGM, CNRS, universités) et allemandes, mais aussi suisses, anglaises, japonaises, américaines. Avec l'achèvement d'un troisième forage à 5 000 mètres, de nouveaux tests vont être réalisés pour obtenir une circulation en boucle avec un débit de 100 l/s réparti entre deux puits de production et un puit d'injection. En 2006 une autre étape devrait être franchie avec la mise en service d'une centrale à fluide binaire d'une capacité de 5 à 6 MW pouvant alimenter plusieurs milliers de personnes en électricité.

QUEL DÉVELOPPEMENT INDUSTRIEL ?

Cette production électrique devrait précéder l'industrialisation du procédé, mais pas avant 2010. D'ici là, des hypothèses, notamment financières, devront être validées. En effet, des incertitudes subsistent sur le coût des équipements à mettre en œuvre pour obtenir des prix de revient "compétitifs" par rapport aux énergies "traditionnelles". Le coût de production estimé de l'électricité produite à Soultz par le futur prototype industriel de 25 MW issu du programme de recherche pourrait approcher les 8 centimes d'euro par kWh. **"Aujourd'hui,** expliquent Christian Fouillac et Laurent Le Bel, **cette énergie est chère parce qu'elle nécessite des investissements lourds avec des forages profonds et compliqués. Mais l'objectif est d'amener ce prix à 5 centimes ou moins, soit un coût de production proche de celui des autres énergies".** L'avenir de cette énergie, parfaitement non polluante et ne générant

aucun déchet est donc conditionné à cette "rentabilité". Des perspectives considérables pourraient donc s'ouvrir, en France avec 30 000 km² de surfaces exploitables en Alsace, dans le Massif central ou le couloir rhodanien, mais aussi dans une grande partie du monde. **"C'est une ressource presque universelle** insiste Christian Fouillac et Laurent Le Bel. **C'est pourquoi l'expérience de Soultz intéresse les chercheurs du monde entier".**



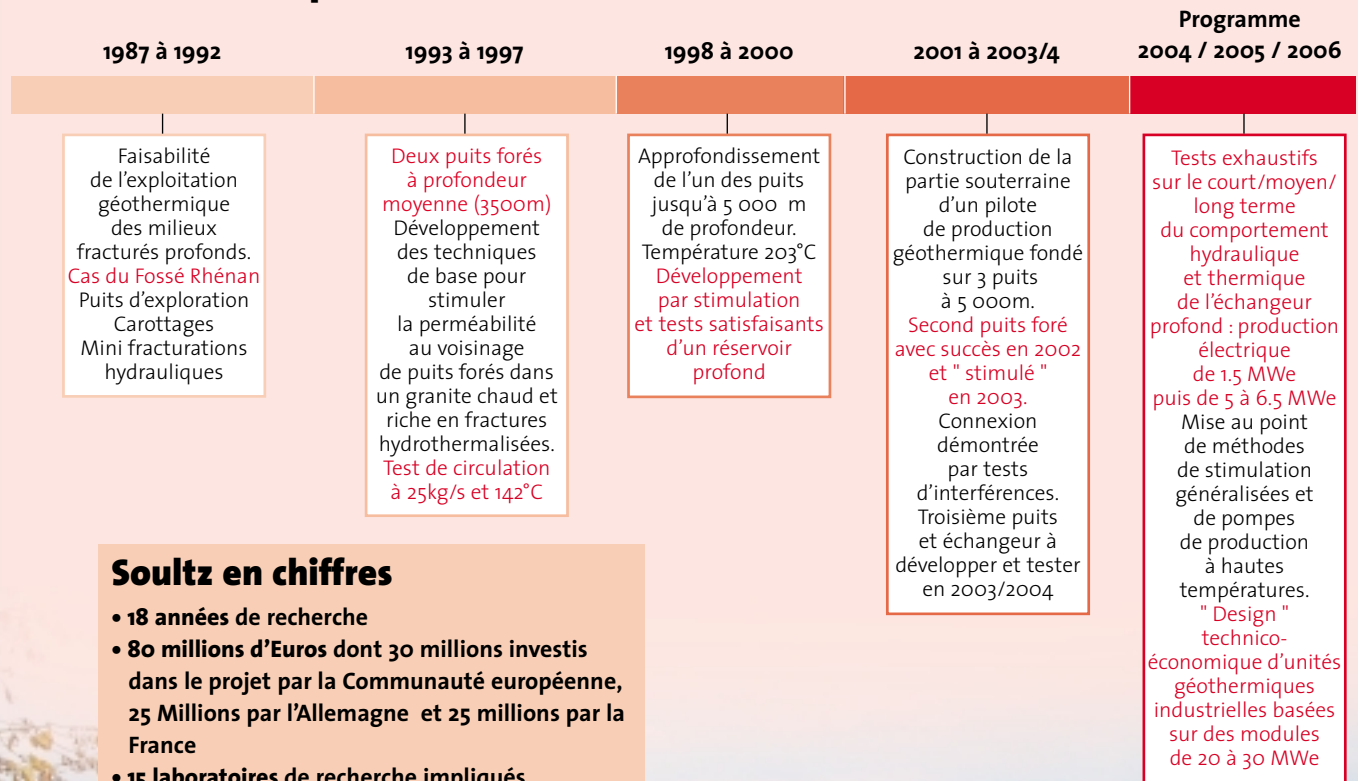
Le rig du forage GPK3 (Soultz-sous-Forêts)

Un apport décisif du BRGM

Le BRGM a joué un rôle déterminant dans ce programme : le site de Soultz a été sélectionné grâce aux informations de la Banque des Données du Sous-Sol du BRGM. Le BRGM a également été un élément moteur dans la création de l'EHDR (European Hot Dry Rock Association) présidée en alternance par Christian Fouillac, Directeur de la Recherche du BRGM.

Sur le plan scientifique et technique, le BRGM fait intervenir de nombreuses équipes sur ce programme : géologues (bâti des coupes prévisionnelles des forages, études pétrographiques et minéralogiques, modélisation du comportement du bâti rocheux lors de la création de l'échangeur), chimistes et géochimistes (étude des fluides profonds, recherches sur le traçage artificiel à l'aide de molécules organiques inertes, non thermodégradables), géophysiciens (travaux d'écoute micro-sismique lors des stimulations de fractures).

Les différentes étapes des travaux de recherche sur le site de SOULTZ-SOUS-FORÊTS



Soultz en chiffres

- **18 années de recherche**
- **80 millions d'Euros** dont 30 millions investis dans le projet par la Communauté européenne, 25 Millions par l'Allemagne et 25 millions par la France
- **15 laboratoires de recherche impliqués et plusieurs centaines d'entreprises sous-traitantes**
- **3 forages à 5000 m** (20 000 mètres forés, 60 000 m³ d'eau injectés en 6 grandes phases de stimulation des fractures)
En 1997, lors de la boucle réalisée pendant 4 mois, 250 000 m³ d'eau ont produit en surface 24 000 MWh thermiques.



Comparaison des coûts de production d'électricité à l'horizon 2015

Prix au kw/h

Nucléaire : 3 centimes d'Euro
Gaz : 4 centimes d'Euro
Charbon : 4,5 centimes d'Euro
Eolien : 4 centimes d'Euro

L'énergie géothermique produite à Soultz (avec très peu d'émissions de CO₂) pourrait approcher les 8 centimes d'Euro en 2015.

Ces chiffres proviennent d'une étude sur les prix de l'électricité produite par les différents moyens de production à l'horizon 2015 qui vient d'être réalisée par les services du ministère de l'économie.

Cette étude tient compte d'un taux d'actualisation de 8% des dépenses d'ici 2015, des charges d'investissements et des coûts liés à la production de CO₂

Géothermie profonde : les principaux programmes de recherche dans le monde

Aux Etats-Unis, des recherches ont été menées de 1977 à 1990, par le Los Alamos National Laboratory à Fenton Hill, en bordure de la Caldera de Valles.

Elles ont permis de réaliser une circulation en boucle entre deux puits, pendant plusieurs mois, sans déclin thermique excessif.

Au Japon, les projets de Hijori, à partir de 1984 et de Ogachi, depuis 1989, ont connu des succès partiels mais un bilan décevant. En dépit de conditions thermiques très favorables, 250 °C à moins de 2km, les pertes en eaux se sont révélées trop importantes malgré le faible espacement des puits dans le réservoir.

En Grande-Bretagne, les années 80 ont été consacrées à un programme ambitieux dans le granite de Camborne à Rosmanowes Quarry. Des prouesses techniques ont été réalisées dans les domaines du forage et du monitoring sismique de la fracturation.

L'expérience de Camborne a conduit à rechercher des sites avec un gradient géothermique favorable pour minimiser les coûts de forage.

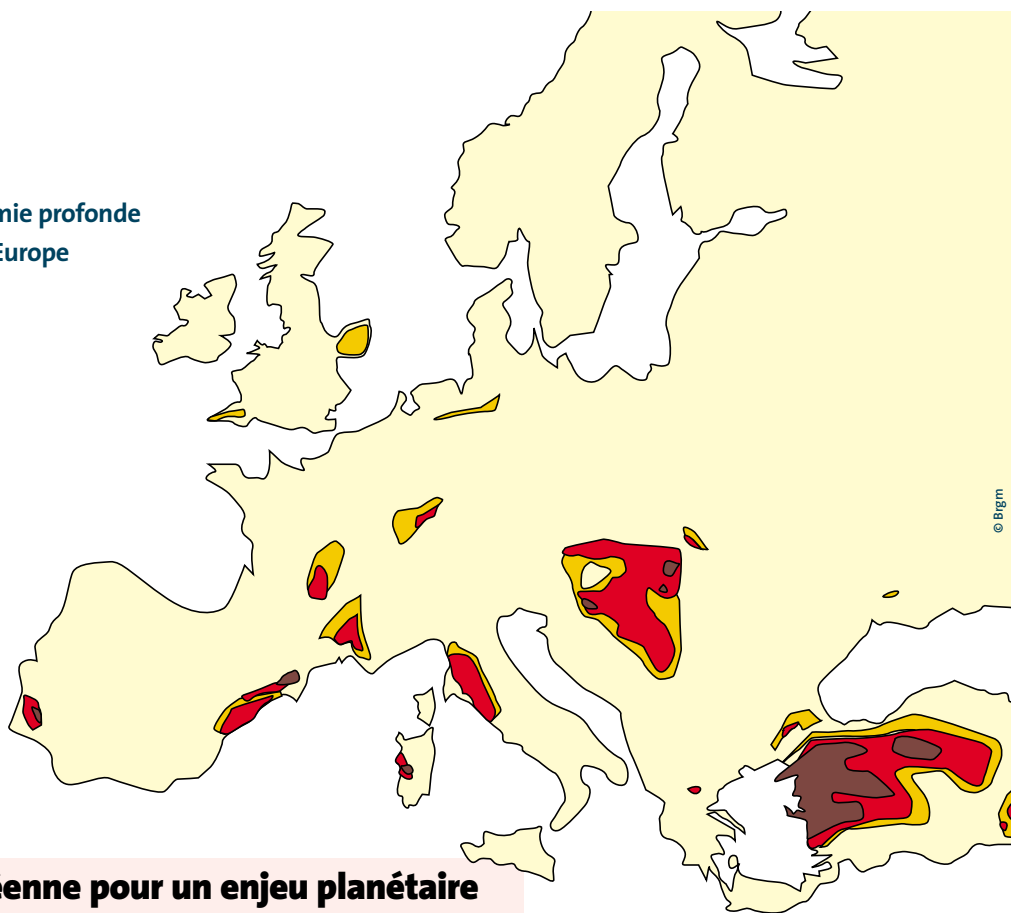
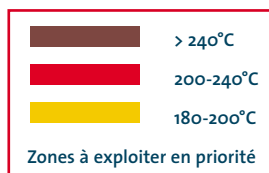
En Allemagne et en France, au début des années 80, des programmes de recherches ont été entrepris séparément sans succès.

En 1987, les deux pays ont uni leurs potentiels de recherche dans le programme de Soultz-sous-Forêts.

A ce jour, le programme européen de recherche de Soultz-sous-Forêts est le seul programme de recherche scientifique ayant abordé aussi complètement tous les aspects de la géothermie profonde.

Carte des potentialités de géothermie profonde pour la production d'électricité en Europe

Température de la roche à 5000 m de profondeur



Une coopération européenne pour un enjeu planétaire

De nombreuses équipes scientifiques, principalement françaises (BRGM, CNRS, universités), et allemandes (BGR, GGA, Mesy, GTC, Stadtwerke Bad Urach), mais aussi suisses, anglaises, japonaises et américaines et internationales («Shell geothermal energy team») sont regroupés au sein de l'association «European Hot Dry Rock Association» (EHDRA).

Les industriels ont, quant à eux, créé un **Groupement Européen d'Intérêt Economique (GEIE)** appelé «Exploitation Minière de la Chaleur» qui regroupe Electricité de Strasbourg, Pfalzwerke, EDF, ERGA/ENEL et Bestec GmbH.

Pour en savoir plus :

Christian Fouillac - Tél. 02 38 64 35 06.
Laurent Le Bel - Tél. 02 38 64 31 17.

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



Géosciences pour une Terre durable

brgm