



**HAL**  
open science

## Les EGS : une méthode d'exploitation géothermique généralisée pour les températures de 130 à 180 °C

Sylvie Gentier

► **To cite this version:**

Sylvie Gentier. Les EGS : une méthode d'exploitation géothermique généralisée pour les températures de 130 à 180 °C. Géosciences, 2013, 16, pp.54-63. hal-01061106

**HAL Id: hal-01061106**

**<https://brgm.hal.science/hal-01061106>**

Submitted on 5 Sep 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



# Les EGS : une méthode d'exploitation géothermique généralisée pour les températures de 130 à 180 °C

L'exploitation généralisée des températures supérieures à 130 °C à des fins de production d'électricité et/ou d'usage direct de la chaleur géothermique constitue un enjeu majeur pour le futur mix énergétique. Elle nécessite le développement de méthodes d'exploitation permettant de rendre accessibles des ressources hors des zones privilégiées comme les arcs volcaniques et des niveaux naturellement très perméables. Cette approche, qualifiée d'EGS [*Enhanced (ou Engineered) Geothermal System*], est présentée dans cet article, qui en expose les concepts, les contextes d'application et les liens avec la géothermie plus conventionnelle.



**Sylvie Gentier**

RESPONSABLE DU PROGRAMME « GÉOTHERMIE PROFONDE DE NOUVELLE GÉNÉRATION »  
BRGM  
s.gentier@brgm.fr

▲  
**Tête du puits d'injection de la centrale géothermique de Landau (Allemagne).**

Head of the injection well, Landau geothermal power plant, Germany.

© GEOX Geothermische Energie.

À ce jour, la production d'énergie électrique d'origine géothermique est essentiellement développée dans des zones géographiques limitées, en lien avec des contextes volcaniques actifs. En matière de chaleur géothermique profonde s'ajoute la contribution des aquifères sédimentaires actuellement exploités, d'une température typiquement comprise entre 60 et 80 °C en France, pour l'alimentation principalement des réseaux de chaleur. Aujourd'hui, les objectifs ambitieux de réduction des émissions des gaz à effet de serre nécessitent tout au moins une maîtrise des consommations d'énergies d'origine carbonée, aussi bien en termes de production électrique que de production de chaleur, et une augmentation de la production énergétique à partir d'énergies renouvelables. Dans cette perspective, une contribution très significative de l'énergie géothermique n'est possible que si une exploitation plus généralisée de la chaleur terrestre est développée, incluant les zones *a priori* moins favorables en termes de ressources. L'exploitation de températures plus élevées dans ces zones géographiques permettra de rapprocher la production correspondante des lieux de consommation et

“  
L'exploitation des températures du sous-sol comprises entre 130 °C et 180 °C est un enjeu majeur pour la décennie à venir.”

“ Héritier des différentes expériences menées dans le monde, le pilote scientifique de Soultz-sous-Forêts est le premier site au monde dit EGS à avoir été raccordé au réseau électrique. ”

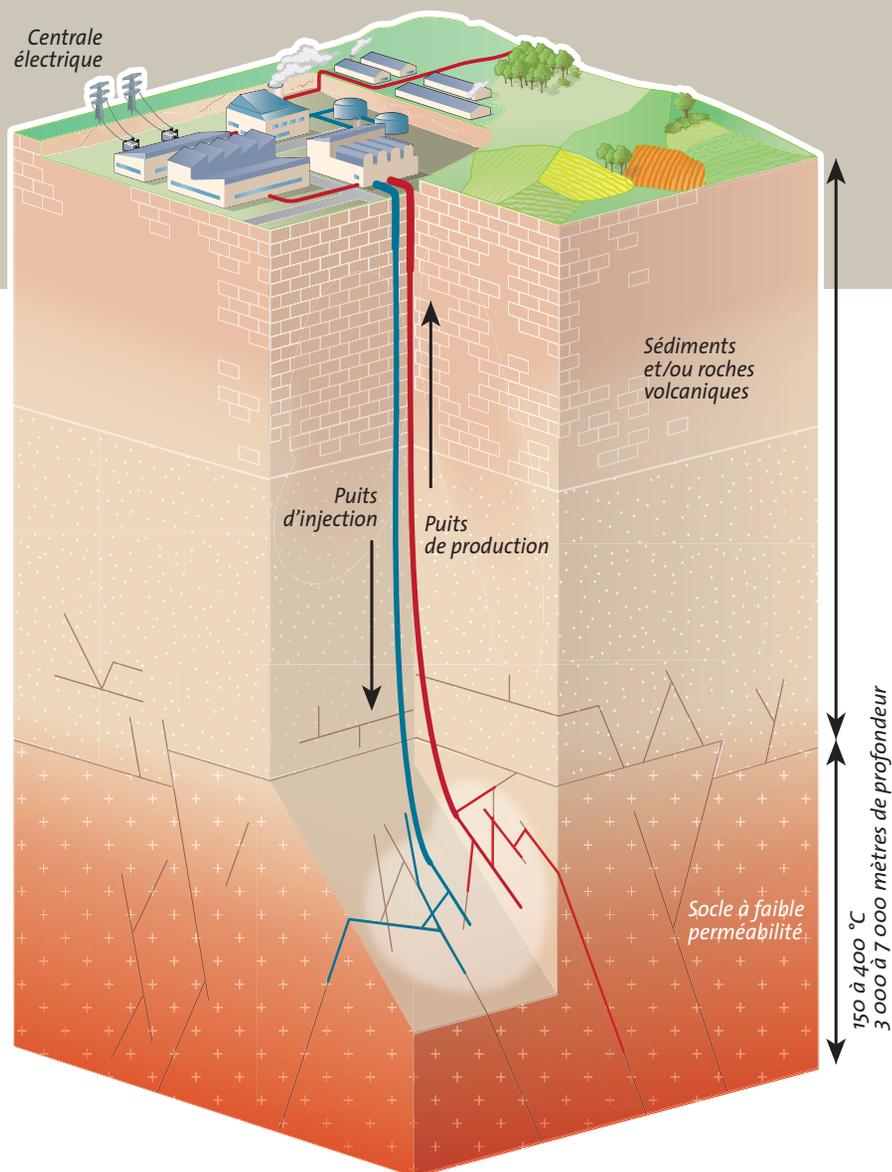
d'insérer la chaleur géothermique dans des réseaux de chaleur fonctionnant à température élevée (eau surchauffée, vapeur) et dans les procédés industriels. Pour toutes ces raisons, l'exploitation généralisée des températures du sous-sol comprises entre 130 °C et 180 °C est un enjeu majeur pour la décennie à venir.

D'une manière générale, les températures visées ici sont localisées à des profondeurs importantes : entre 4 et 6 km pour un gradient géothermique moyen de 0,03 °C/m. Cependant, l'existence d'anomalies thermiques positives, liées à des contextes géologiques spécifiques, permet d'envisager leur exploitation à des profondeurs inférieures et en conséquence à des coûts de forage moins importants et des risques moindres.

Les capacités à développer cette exploitation reposent notamment sur les concepts créés depuis une trentaine d'années et sur les expériences qui ont été menées avec plus ou moins de succès en Europe et dans le monde (figure 1).

### Le pilote scientifique de Soultz-sous-Forêts : contexte géologique et développement de l'échangeur

Héritier des différentes expériences menées dans le monde (Fenton Hill, Rosemanowes...) suite au développement initial du concept Hot Dry Rock (HDR), le pilote scientifique de Soultz-sous-Forêts (Alsace, France) est le premier site au monde dit EGS (*Enhanced Geothermal System*) à avoir été raccordé au réseau électrique (septembre 2010). Lancé au début des années 1990 avec la perspective de développer une production massive d'électricité, le site pilote a permis de mieux comprendre les conditions géologiques et hydrauliques profondes en contexte de socle et les méthodes à mettre en œuvre pour le développement de tels sites.



▲ **Fig. 1 : Représentation schématique du concept « Enhanced Geothermal System ».**

Fig. 1: Block diagram of the “Enhanced Geothermal System” concept.

© BRGM – Art presse  
D'après MIT « The future of Geothermal energy » 2006.  
Schlumberger Water Resources.

Quatre forages profonds (entre 3 600 et 5 000 mètres) ont été réalisés dans un bâti granitique sous couverture dans le fossé rhénan. Ils interceptent, dans leurs parties ouvertes, un réseau de failles et de fractures pour la plupart héritées d'une histoire tectonique complexe, antérieures à la phase de *rifting* et ayant joué au cours de la mise en place du rift. Les fractures naturelles sont à l'origine d'une perméabilité du bâti profond qui permet la circulation d'un fluide (saumure à 100 g/l) dont la température est comprise entre 180 °C et 200 °C pour les profondeurs explorées. L'existence de fluides chauds dans les structures tectoniques du socle, non anticipée dans l'approche initiale (HDR), constitue un « réservoir géothermique faillé/fracturé ». La structure du réservoir présente une hétérogénéité des circulations de fluide qui limite, dans les conditions naturelles, l'injectivité et la productivité initiales des puits, globalement inférieures à celles nécessaires pour une exploitation économique. Celles-ci sont de plus variables d'un puits à l'autre et

fortement dépendantes de l'aléa « géologique » [Gentier *et al.* (2012)].

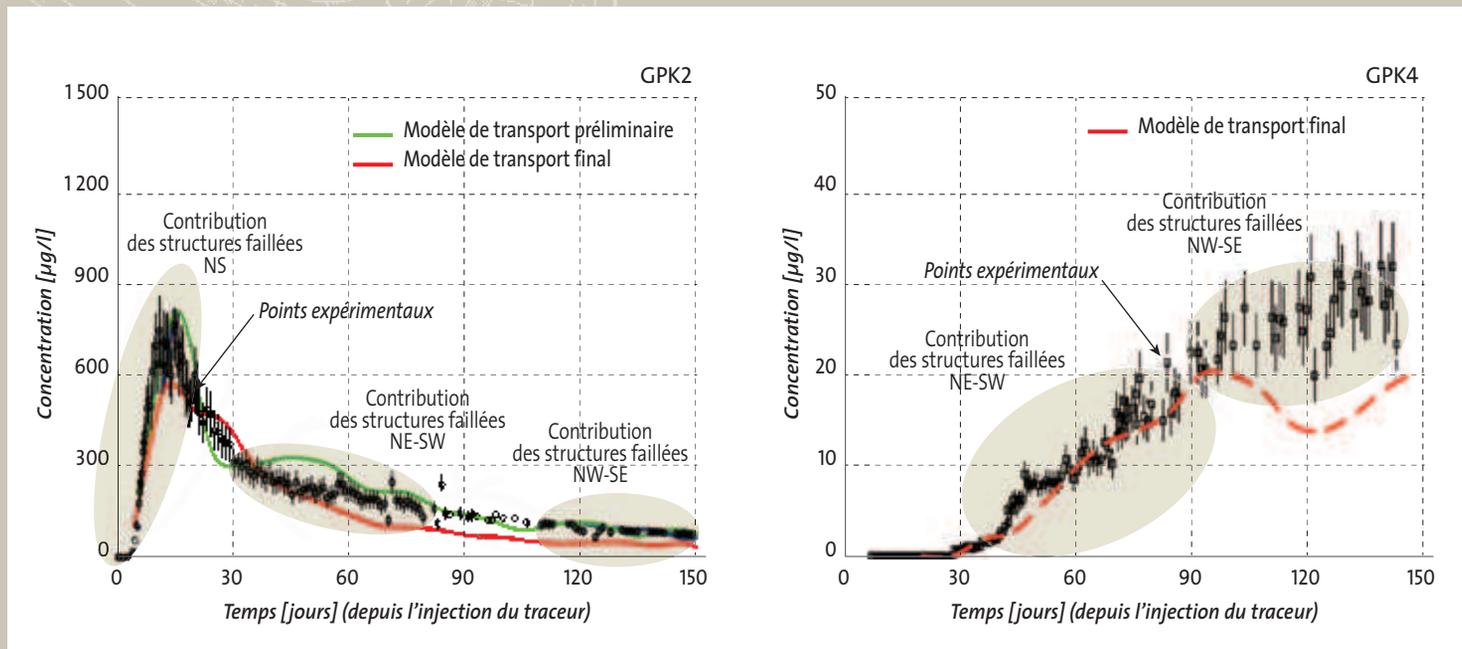
L'exploitation géothermique de ces fluides nécessitant des débits plus conséquents, une phase de développement du site a été nécessaire en vue d'améliorer la perméabilité locale autour des puits et leur connectivité aux réseaux de failles/fractures naturels. Les méthodes développées au cours des différentes phases du projet reposent sur le principe de la stimulation hydraulique et/ou chimique. Appliquées dans un milieu faillé/fracturé, elles visent deux objectifs : rouvrir les structures existantes par l'injection sous pression d'un fluide de stimulation (eau douce), puis « élargir » ces ouvertures par dissolution des remplissages et altérations hydrothermales (injection de stimulants chimiques). À la suite de ces opérations de stimulation, les gains de productivité et d'injectivité restent variables d'un puits à l'autre et dépendantes du schéma de fracturation au puits et dans son voisinage.

**La centrale géothermique de Soultz-sous-Forêts exploite la chaleur profonde des granites sous le graben du Rhin ; cette chaleur est apportée par les fluides chauds circulant dans le granite fracturé.**

*The Soultz geothermal plant taps the heat from granite deep beneath the Rhine graben; this heat is drawn from hot fluids flowing through the fractured granite.*

© GEIE Exploitation de la chaleur.





## Le pilote scientifique de Soultz-sous-Forêts : de la faisabilité à la démonstration

À l'issue des différentes phases de stimulation des puits, les tests de circulation entre puits ont montré la faisabilité d'une boucle continue entre des puits de production (1 à 2) et un puits d'injection distants de 600 à 700 m au niveau de leurs parties ouvertes. Entre 3 500 m et 3 900 m de profondeur, les débits obtenus (250 m<sup>3</sup>/h) et la température en tête de puits (160 °C) ont confirmé la faisabilité d'un tel système. À plus grande profondeur (entre 4 500 m et 5 000 m), les débits exploitables (60 m<sup>3</sup>/h) à une température de 165 °C sont limités par l'injectivité du puits d'injection. Bien que le débit imposé lors des circulations ne soit pas au niveau espéré, il a pu être maintenu en boucle fermée sans perte, c'est-à-dire sans recharge externe. Seuls 25 à 30 % du fluide réinjecté a été produit, mettant en évidence la connexion à un « réservoir naturel ». La circulation en continu la plus longue jamais réalisée a pu être maintenue durant 324 jours.

La recherche de traceurs adaptés au contexte géothermique (résistants à la température) et la mise au point de méthodes analytiques ont permis d'élaborer un modèle hydraulique du réservoir faillé cohérent avec l'ensemble

des données acquises (figure 2) et de comprendre les chemins de circulation des fluides naturels profonds [Gentier *et al.* (2010)].

Sur la base de ces résultats, un premier module de conversion de 1,5 MWe est installé fin 2007 et la production électrique débute en avril 2008. La chaleur produite est transférée dans un circuit secondaire. La technologie retenue est celle de l'ORC (*Organic Rankine Cycle*), avec un fluide organique de type isobutane et un système de refroidissement par air.

La pérennité d'un tel système est en cours de démonstration, mais se heurte encore à des problèmes technologiques (pompes). Sur la base des essais réalisés à des profondeurs de 3 500 mètres à 3 900 mètres (1997), les premiers calculs montrent que la chute de température associée à une circulation de longue durée (environ vingt ans) serait extrêmement lente pour les débits considérés (de l'ordre de 2 °C en douze ans) pour devenir ensuite quasi linéaire avec une perte de 0,1 °C par an.

“ Un premier module de 1,5 MWe a été installé fin 2007 et la production électrique a débuté en avril 2008. ”

▲  
**Fig. 2 : Courbes de restitution du traceur au cours du test de 2005 GPK2 et GPK4 : données expérimentales et modèles de transport.**

*Fig. 2: Restitution curves for the tracer during tests 2005 GPK2 and GPK4: experimental data and transport models.*

© BRGM.

### Les risques et les avantages

Les mécanismes mis en jeu lors des stimulations hydrauliques modifient localement les contraintes pouvant être à l'origine de déformations/glissements qui, dans leur plus grande majorité, correspondent à une libération locale d'énergie très faible. La microsismicité associée [Cuenot *et al.* (2011)] est inhérente à ces techniques de stimulations (figures 3a et 3b). À un degré moindre, notamment en nombre d'événements, une microsismicité peut être rencontrée pendant la phase d'exploitation, en lien avec les pressions de réinjection, les changements brutaux de débits d'exploitation, l'évolution des contraintes thermiques ou l'évolution des propriétés des fractures. Tous ces événements sont si faibles que les populations ne peuvent en général pas les ressentir : à Soultz, sur 45 000 microséismes localisés, seulement 0,3 % de ceux-ci présentait une magnitude comprise entre 1,8 et 2,0, et 0,02 % une magnitude comprise entre 2,0 et 2,9. Parmi ceux-ci, seuls quelques-uns ont été ressentis

“  
Les microséismes induits  
sont si faibles que les populations  
ne peuvent en général pas les ressentir.”  
”

très localement (en raison, sans doute, d'amplification par effet de site), sans provoquer de dommages. Cependant, le projet de géothermie profonde de Bâle (Suisse) a été arrêté en raison d'un événement sismique de magnitude 3,4 ayant provoqué quelques dommages (fissures) sur des bâtiments en décembre 2006.

Les séismes induits par l'activité humaine ne sont pas spécifiques à la technologie EGS, ils surviennent également dans le domaine pétrolier conventionnel, la construction de barrages, les opérations minières et le stockage souterrain de CO<sub>2</sub>. Un projet de recherche européen est d'ailleurs actuellement dédié à l'étude de cette microsismicité afin d'éviter autant que possible l'apparition d'événements majeurs lors de l'exploitation des futurs sites. La question est de savoir s'ils peuvent être évités tout en garantissant une amélioration suffisante de la perméabilité.

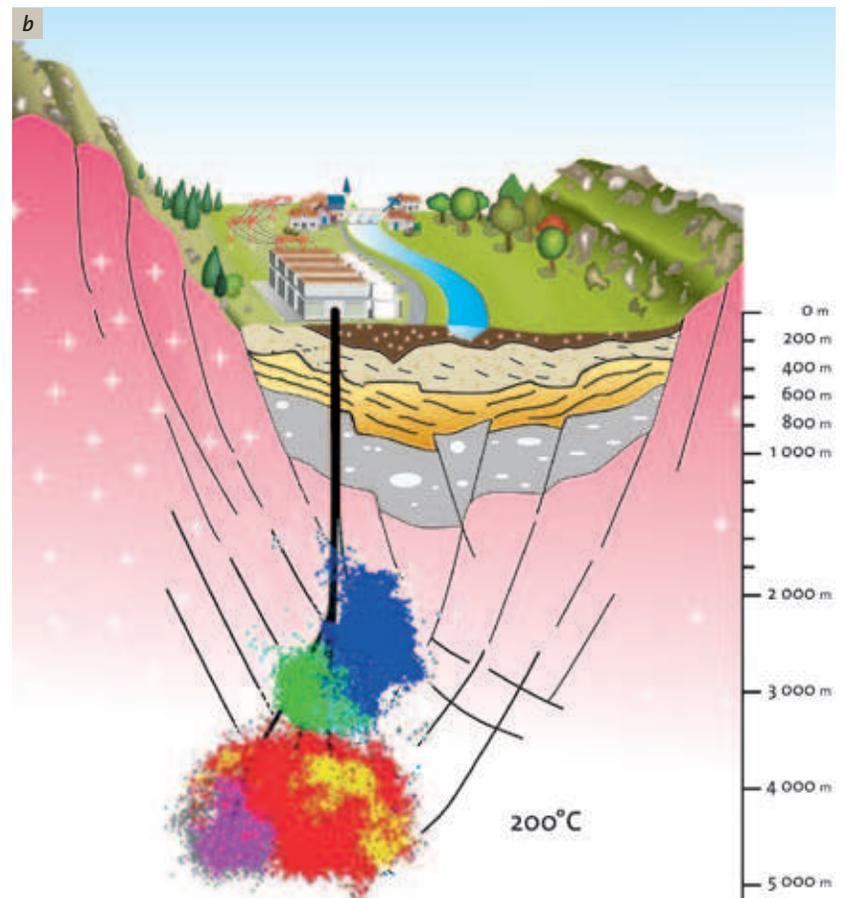
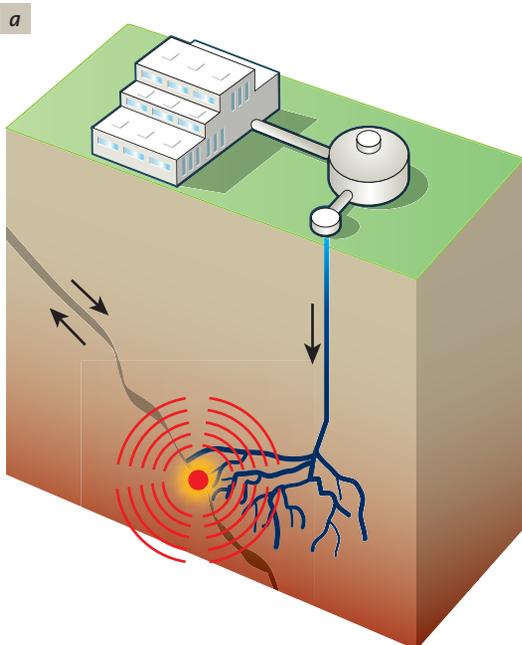
**Fig. 3 : (a) Schéma de principe du déclenchement d'un événement microsismique.**

**(b) Représentation des nuages microsismiques associés aux stimulations sur le site de Soultz.**

*Fig. 3: (a) Schematic diagram of the trigger mechanism of a microseismic event.*

*(b) Representation of the microseismic swarms associated with stimulations on the Soultz site.*

© BRGM.



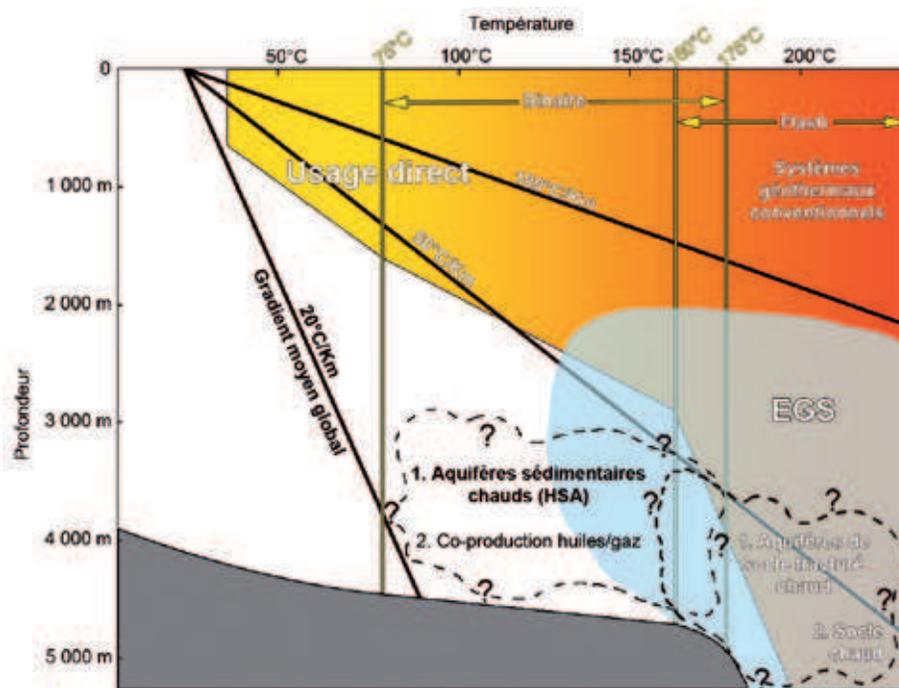
L'injection associée à la production et la circulation en boucle fermée en surface réduit considérablement les impacts environnementaux des exploitations géothermiques conventionnelles (rejet des fluides géothermaux). Restent de possibles nuisances sonores et la concentration d'éléments chimiques dans les filtres de la boucle de surface qui peut nécessiter des traitements spécifiques. La partie ORC peut être refroidie par air, ce qui limite l'impact sur l'environnement en évitant le recours au refroidissement par eau.

### Les EGS : vers une méthode de développement et d'exploitation généralisée de la chaleur

Les EGS recouvrent tous les systèmes géothermiques où le développement du site repose sur des techniques visant à augmenter la perméabilité d'un volume de sous-sol par l'injection et la récupération de fluides afin d'améliorer la récupération de l'énergie d'une source de chaleur profonde. Ceci peut être atteint par diverses approches, comme la stimulation thermique, la stimulation hydraulique et ou chimique, voire la fracturation hydraulique.

Ces développements s'adressent à des contextes géologiques spécifiques (perméabilité naturelle insuffisante ou partiellement insuffisante pour une exploitation économique) que l'on rencontre à des profondeurs « économiquement raisonnables » et pour des gammes de température de 130 °C à 180 °C (figure 4).

Sur la base des résultats acquis à Soultz-sous-Forêts, des projets industriels ont vu le jour depuis quelques années et sont en cours de développement dans le fossé rhénan : Landau (Allemagne) vise une production combinée d'électricité et de chaleur et ECOGI (France) vise la production de chaleur industrielle. Ces deux projets prévoient d'exploiter la chaleur (températures de 140 °C à 160 °C) de fluides chauds présents au toit du socle granitique et/ou et dans les grès du Buntsandstein, à l'interface socle-couverture. Il s'agit, comme à Soultz-sous-Forêts, d'exploiter des réservoirs géothermiques faillés/fracturés, mais à des profondeurs plus faibles (2 000 à 3 500 mètres). À Landau, les deux puits forés atteignent des débits de 230 à 290 m<sup>3</sup>/h, à une température de 158 °C. Pour l'un des puits, le débit a été atteint sans développement local de la perméabilité, alors que pour l'autre, une stimulation hydraulique et chimique a été nécessaire.



▲ Fig. 4 : Positionnement des potentialités d'application des EGS dans une représentation schématique de l'évolution de la température en fonction de la profondeur pour les ressources géothermiques.

Fig. 4: Plotting application potentialities for EGS against the background of a diagram of temperature evolution versus depth for geothermal resources.

© EGS, Inc.

En Allemagne, des contextes sédimentaires sont également en cours de développement au moyen de méthodes de stimulation hydraulique. Près de Berlin (Groß Schönebeck), les puits atteignent un réservoir sédimentaire hétérogène (grès, conglomérats et roches volcaniques) caractérisé par une porosité de matrice et de fractures élevée (jusqu'à 10 %) et une température de 150 °C. En raison de sa représentativité à l'échelle de l'Europe de l'Ouest et de l'Europe centrale, il constitue un site expérimental intéressant. Dans un autre contexte, pour la première fois, il est prévu de stimuler un réservoir à 4 000 mètres de profondeur dans les carbonates imperméables du Malm (Jurassique supérieur) situé dans le bassin molassique (Mauerstetten, Bavière).

Des projets visant la production massive d'électricité à partir de l'exploitation de la chaleur du socle ont également vu le jour en Australie depuis une dizaine d'années. Les températures sont de 200 °C à des profondeurs de 4 000 à 5 000 mètres (jusqu'à 270 °C à 4 900 mètres dans le Copper Basin). Ces systèmes géothermiques,

qualifiés de HDR, de HFR (*Hot Fractured Rocks*) et au final de « roches chaudes » en général (sans préjuger de leur perméabilité initiale) nécessitent le recours à des méthodes de création et/ou d'amélioration de la perméabilité.

En parallèle depuis quelques années, des études sont menées aux États-Unis pour développer cette technologie dans différents contextes géologiques, principalement à la périphérie de champs géothermiques conventionnels (Coso, Desert Peak, Geysers), avec diverses finalités : production complémentaire, recharge d'un réservoir en exploitation...

## Les perspectives

L'expérience issue des pilotes scientifiques menés depuis une trentaine d'années porte essentiellement sur la connaissance du sous-sol profond peu perméable, jusque-là peu exploré, et sur la compréhension de mécanismes physiques en lien avec les circulations des fluides et l'amélioration locale de la perméabilité dans ces milieux. Cette expérience, associée à l'amélioration du rendement de conversion thermoélectrique, ouvre une perspective raisonnable quant à l'exploitation généralisée des températures comprises entre 130 °C et 180 °C, soit pour un usage direct de la chaleur, soit pour une cogénération électricité/chaleur (figure 5).

▲  
Vue panoramique  
du projet Eden  
en Cornouaille,  
Royaume-Uni.

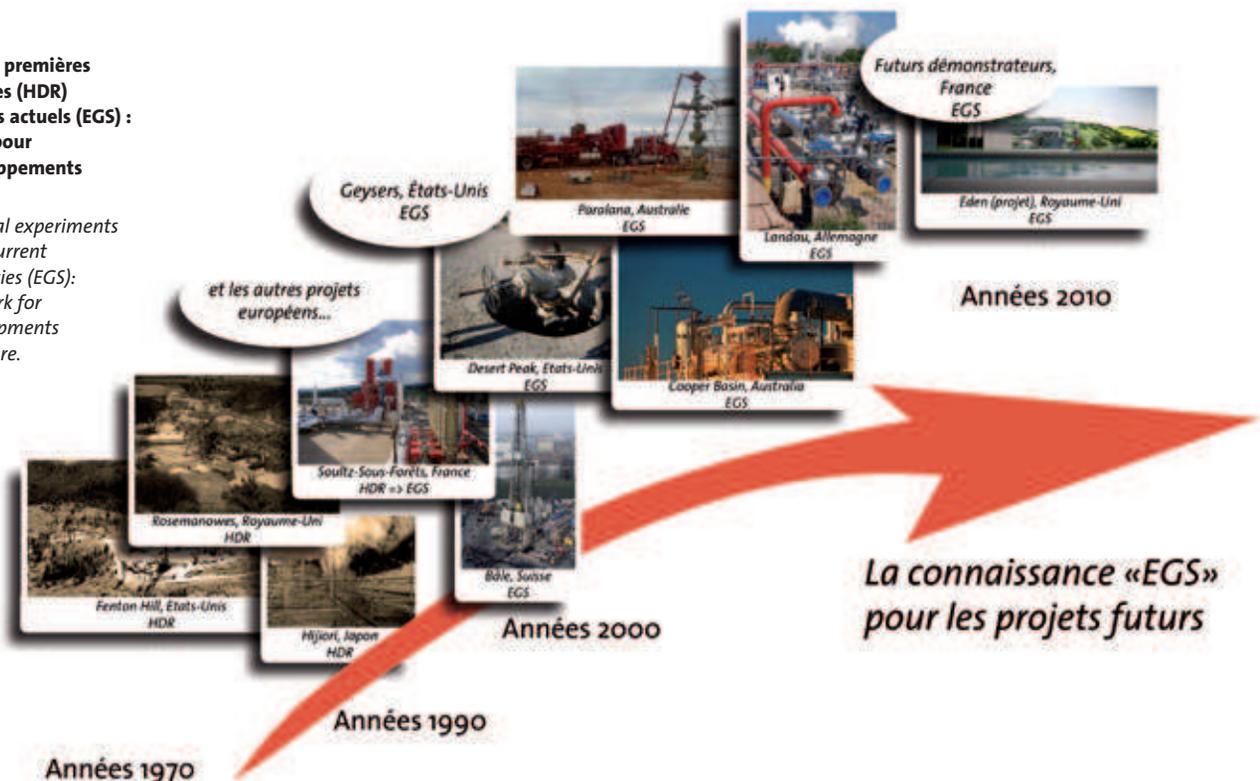
Panoramic view  
of the Eden Project  
in Cornwall, UK.

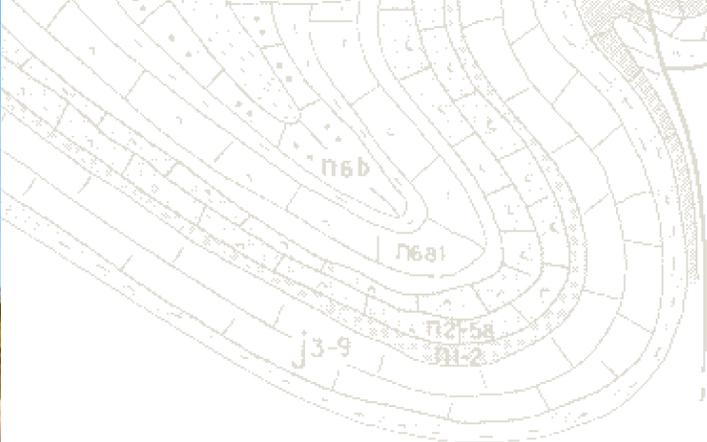
© Ennor.

**Fig. 5 : Des premières expériences (HDR) aux pilotes actuels (EGS) : une base pour les développements futurs.**

Fig. 5: Initial experiments (HDR) to current pilot facilities (EGS): groundwork for the developments of the future.

© BRGM.





Aux États-Unis, les premières cibles « haute température » visées sont des sites d'opportunité à la périphérie des systèmes hydrothermaux existants et dans les champs pétroliers présentant des anomalies thermiques. En complément, des méthodes de stimulation sont envisagées dans d'autres contextes géologiques : profondeur plus grande, bassins sédimentaires chauds (Louisiane, Texas et Oklahoma). En Australie, en l'absence de géothermie conventionnelle haute température et compte tenu des contextes géologiques les plus fréquents (socles sous couverture et grands bassins sédimentaires flexuraux), les cibles visées sont, conjointement, les socles sous couverture et les aquifères sédimentaires chauds et profonds (*Hot Sedimentary Aquifers* : HSA).

“  
*En France, les perspectives de développement de cette technologie reposent sur les démonstrateurs qui devraient voir le jour dès 2013.*  
 ”

En Allemagne, les projets se caractérisent par une grande variété des contextes géologiques et un objectif d'adaptation des techniques à ces contextes. En Espagne, les EGS constituent un des deux objectifs à moyen terme pour la future génération d'électricité d'origine géothermique et la production industrielle de chaleur, en complément de celle exploitée à partir des aquifères sédimentaires profonds, en lien notamment avec des investissements australiens.

En France, les perspectives de développement de cette technologie dans un but de production d'énergie combinée électricité-chaleur et d'usage direct de la chaleur reposent pour beaucoup sur les démonstrateurs qui devraient voir le jour dès 2013. Leurs cibles privilégiées sont le fossé rhénan (toit de socle et fond de bassin) et les réservoirs sédimentaires profonds (Bassin aquitain).

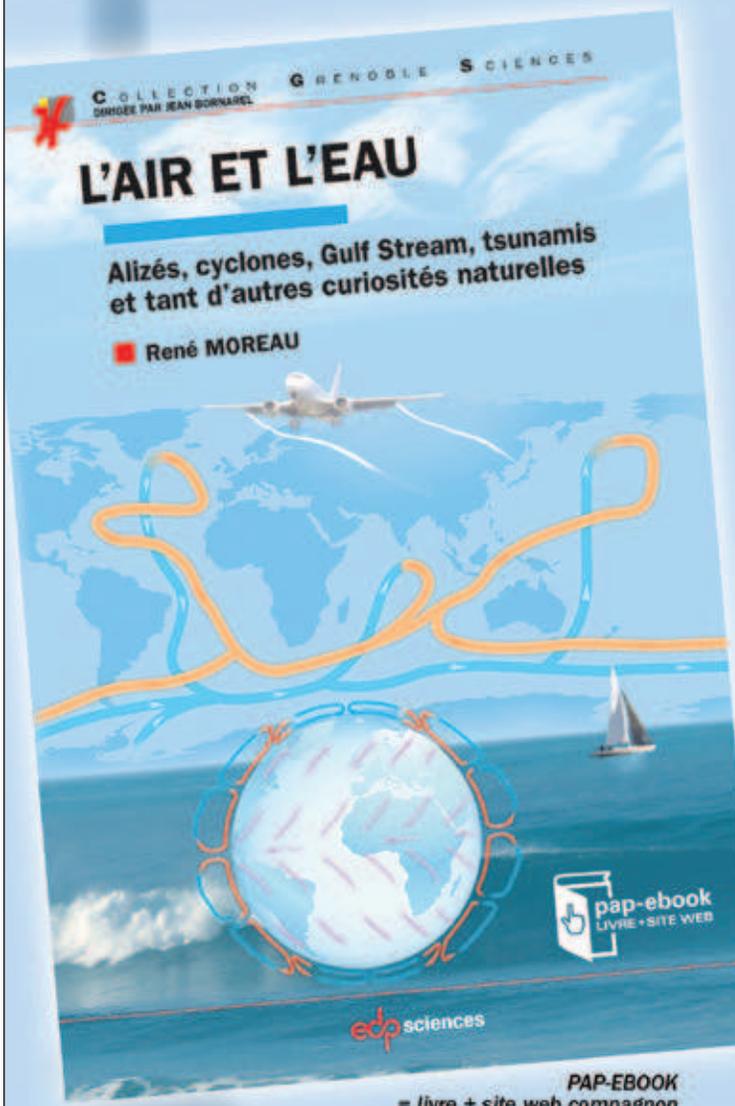
Publicité

# GRENOBLE SCIENCES

NOUVEAUTÉ

## L'AIR ET L'EAU de René Moreau

Cet ouvrage en couleur propose une promenade sur Terre pour connaître et comprendre les phénomènes observables dans l'air et dans l'eau.



**PAP-EBOOK**  
 = livre + site web compagnon  
 en libre accès

### LE LABEL DE GRENOBLE SCIENCES

est attribué à des ouvrages originaux sur des critères de clarté des objectifs et de qualités pédagogique et scientifique. Depuis quelques années, la collection de *Grenoble Sciences* s'est enrichie de titres labellisés en Sciences de la Terre, tels que **Les Roches, mémoire du temps** de Georges Mascle et **Hydrothermalisme** de M. Chenevoy et M. Piboule.

### POUR COMMANDER

Ces ouvrages sont en vente dans le rayon Sciences des librairies ou sur internet : <http://www.grenoble-sciences.com>  
<http://www.edition-sciences.com>

Grenoble Sciences, Université Joseph Fourier,  
 Bât. B de Physique, 230 rue de la Physique  
 BP 53, 38041 Grenoble cedex 9  
 Tél. (33)4 76 51 46 95  
 Email : [Grenoble.Sciences@ujf-grenoble.fr](mailto:Grenoble.Sciences@ujf-grenoble.fr)  
<http://www.grenoble-sciences.com>



rhôneAlpes

### Des Enhanced Geothermal Systems aux Engineered Geothermal Systems

L'évolution actuelle et à venir des concepts et technologies développés depuis une trentaine d'années sous les différents vocables de HDR, HFR et EGS conduit à définir de façon beaucoup plus large les EGS, tant en termes de finalité que de cibles géologiques. Si les ressources hydrothermales « haute température » conventionnelles présentent un gradient thermique moyen élevé, une perméabilité et une porosité des roches élevées, des fluides en place en quantité suffisante et une recharge en fluide adéquate, les ressources EGS présentent au moins une lacune dans ces caractéristiques. En conséquence, leurs développements nécessitent des technologies adaptées [MIT led interdisciplinary panel, (2006)] au niveau :

- du réservoir : stratégies de stimulation, réduction de l'énergie nécessaire pour réinjecter le fluide produit, modèles permettant l'exploitation et le suivi du réservoir ;
- du forage : complétion des forages, optimisation de la profondeur de forage, nouvelles technologies de forage ;

- de la conversion thermodynamique : optimisation de la technologie de conversion pour la production d'électricité, le but principal étant de parvenir à une plus grande efficacité avec des températures plus basses ;
- des impacts environnementaux : limitation des impacts et risques associés.

Les projets en cours ou à venir, en couvrant des contextes géologiques variés, vont amener à considérer une fenêtre de températures exploitables indépendamment de la nature même des « réservoirs » (de la partie supérieure du socle aux séries sédimentaires de la partie inférieure des bassins) et en réduisant le risque pris sur le couple température-perméabilité grâce au relâchement de la contrainte sur la perméabilité initiale. Cette nouvelle approche conduira à repenser la notion de ressource géothermique et à redéfinir l'exploration à mener, en la basant sur la compréhension globale des systèmes et l'identification des structures géologiques les plus favorables pour atteindre les températures visées aux profondeurs optimales.

**Fig. 6: Des « Enhanced Geothermal Systems » aux « Engineered Geothermal Systems ».**

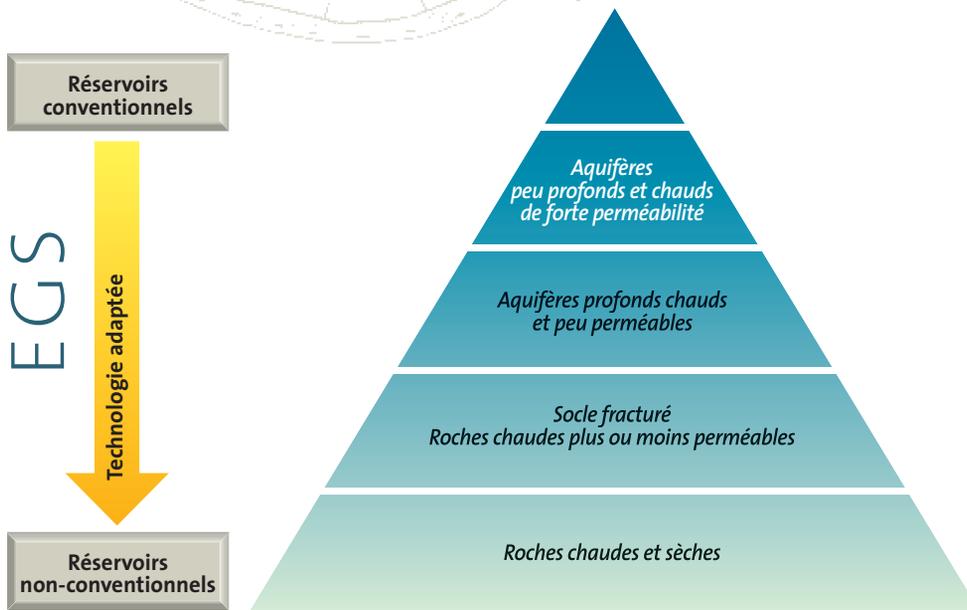
*Fig. 6: Moving ahead from "Enhanced Geothermal Systems" to "Engineered Geothermal Systems".*  
Adapté d'après MIT, After MIT.

		Chaleur	Fluide	Perméabilité	Solutions		
Systèmes géothermiques conventionnels		Acceptable	Acceptable	Acceptable	Pas nécessaires		
Application de technologies issues du génie géothermique	Enhanced Geothermal Systems	Systèmes géothermiques améliorés	Trop basse	Acceptable	Acceptable	Développement de technologies de conversion énergétique basse température ou approfondissement des forages	
			Acceptable	Insuffisant	Acceptable	Réinjection et/ou injection de fluide externe	
		Systèmes géothermiques stimulés	Acceptable	Acceptable	Trop basse	Stimulation des fractures de la formation rocheuse	
	Engineered Geothermal Systems	Systèmes géothermiques aménagés		Acceptable	Insuffisant	Trop basse	Introduction d'un fluide « de travail » et stimulation des fractures de la formation
				Acceptable	Insuffisant	Trop haute	Scellement des fractures
				Trop haute	Insuffisant	Trop basse	Développement d'outils haute température, introduction d'un fluide de « travail » et stimulation des fractures de la formation
				Trop basse	Insuffisant	Trop basse	Développement de technologies de conversion énergétique basse température, introduction d'un fluide de « travail » et stimulation des fractures



**EGS: a generalized method to exploit geothermal energy for temperatures ranging from 130 to 180 °C**

An outgrowth of experiments conducted in various parts of the world, the scientific pilot at Soultz-sous-Forêts (Alsace, France) is the very first Enhanced Geothermal System facility ever connected to a power grid (September 2010). The development of this site, launched in the early 1990's with the aim to produce large quantities of electricity, has afforded a better understanding of the geological and hydraulic conditions prevailing at significant depths in a basement context, thereby allowing methods to be devised to develop such sites. Scientific and technical insights gained via the first generation of experimental sites henceforth open up the perspective of transitioning from the current concept of Enhanced Geothermal System to an expanded exploitation of the earth's heat over wider geographical zones and shallower depths (with temperatures ranging between 130 and 180 °C) and accommodating a variety of geological contexts (basement and sedimentary) and a lower initial natural permeability than that currently required for conventional exploitation. This evolution is already in progress, with a new generation of projects springing up in Europe, Australia and the United States. Adapting existing technologies and achieving the additional developments needed to contend with the different contexts encountered whilst ensuring economic viability will lead on into a more general concept, that of the "Engineered Geothermal System". Furthermore, these new types of exploitation, which aim at producing not only electricity but also heat for industrial purposes (a process known as "co-generation"), will be able to be sited in closer proximity to potential consumers.



**Fig. 7 : Un continuum pour une exploitation optimisée de l'ensemble des ressources géothermiques.**

Fig. 7: A continuum for optimized exploitation of all geothermal resources.

© BRGM.

Au-delà de l'amélioration locale des conditions naturelles, l'intégration des développements au niveau des puits et de systèmes de conversion conduit à des systèmes géothermiques qui ne sont plus seulement « stimulés » (*enhanced*) mais plutôt « aménagés » (*engineered*) (figures 6 et 7). On peut d'ailleurs noter que les deux significations coexistent dans le sigle EGS, suivant les auteurs, ce qui est révélateur.

Après les événements microsismiques à Bâle (2006) et à Landau (2009), l'amélioration de la perception sociale de la production d'énergie sur la base de technologie EGS est indispensable et incontournable. De nouvelles stratégies de stimulation et de gestion avancée des réservoirs géothermiques apporteront des solutions techniques à la maîtrise du risque sismique; l'acceptation des projets nécessitera par ailleurs des actions approfondies d'information et de concertation, chacun ayant sa propre représentation du sous-sol et ses propres sensibilités en matière d'environnement et de risques. La mise en perspective de ces projets avec les inconvénients des autres techniques de production d'énergie est nécessairement à prendre en compte. ■

**Bibliographie :** Cuenot N., Dorbath C. and L. Dorbath (2011) – Analysis of the Microseismicity Induced by Fluid Injections at the EGS Site of Soultz-sous-Forêts (Alsace, France): Implications for the Characterization of the Geothermal Reservoir Properties. (2008) – In Pure and Applied Geophysics, 165 (2008) 797–828, Birkhauser Verlag, Basel. Gentier S., Rachez X., Blaisonneau A., Peter-Borie M. (2012) – « Influence de l'aléa géologique sur la stimulation hydraulique de puits géothermiques » dans Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur- JNGG2012, Université de Bordeaux 1, Bordeaux, 4-6 juillet, Vol.2, pp. 821-828. Gentier S., Genter A. (2010) – « Le pilote scientifique de Soultz-Sous-Forêts (Bas-Rhin), enjeux et perspectives » dans Géochronique, La Géothermie, coéd. SGF-BRGM, juin 2010, chap. 3-2, pp. 40-44. The Future of Geothermal Energy, Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century, MIT led interdisciplinary panel, Massachusetts Institute of Technology, Boston (2006). [http://www.eere.energy.gov/geothermal/egs\\_technology.html](http://www.eere.energy.gov/geothermal/egs_technology.html)