

Les géothermies, leur soutien par l'ADEME et les nouvelles technologies

La géothermie, fondée sur l'utilisation de la chaleur contenue dans le sol, à plus ou moins grande profondeur, pour produire de la chaleur ou de l'électricité, connaît aujourd'hui un fort regain d'intérêt dans de nombreux pays. En France, un ensemble de dispositifs d'accompagnement du développement industriel a été mis en place pour relancer l'utilisation de la géothermie tant au niveau des réseaux de chaleur et de la production d'électricité, que des applications de chauffage collectives ou individuelles. Cette note dresse le bilan de l'action de l'ADEME, et propose une analyse plus poussée de certains impacts potentiels de l'une des technologies les plus récentes.

1. LA GEOTHERMIE...DES GEOTHERMIES

La géothermie peut être utilisée différemment selon les usages énergétiques et les contextes géologiques. Elle se segmente selon la technologie utilisée (principalement liée à la profondeur et à la température de la ressource) ou selon l'usage (chaleur ou production d'électricité). On distingue ainsi plusieurs types de géothermie :

→ La géothermie **très basse énergie** (température inférieure à 30°C)

Elle concerne des horizons géologiques superficiels (profondeur < 400m, typiquement **100 à 200 m**), dans lesquels la température n'est pas suffisante pour valoriser directement la chaleur présente. On recourt donc à des pompes à chaleur pour relever le niveau de température. Plusieurs techniques sont possibles : l'exploitation d'aquifères par **doublet de forages** (pompage et réinjection) ou - en l'absence d'aquifères - l'exploitation de la chaleur des terrains grâce à des **capteurs enterrés (verticaux ou horizontaux)** dans lesquels circule en circuit fermé de l'eau glycolée. Ce type de géothermie vise principalement le chauffage et le refroidissement de bâtiments : maisons individuelles, immeubles de logements collectifs, bâtiments tertiaires de tous types. D'autres techniques existent comme les **puits canadiens ou provençaux** ou les **fondations géothermiques**.

Aujourd'hui ces opérations permettent la valorisation d'environ 200 ktep/an. Ce chiffre pourrait atteindre 800 ktep en 2020, et 2 100 ktep en 2030.

→ La géothermie **basse énergie** (température entre 30 et 90°C)

La géothermie basse énergie valorise directement la chaleur de ressources que l'on rencontre dans des aquifères situés entre **400 et 2 500 m** de profondeur. La température des eaux de ces gisements y est typiquement comprise entre 30 et 90°C. C'est ce type de ressources que l'on rencontre en France dans le Bassin Parisien ou le Bassin Aquitain. Elles sont couramment utilisées pour le chauffage urbain, le chauffage des serres, de piscines et d'établissements thermaux, l'aquaculture et le séchage. C'est en région parisienne que l'on rencontre la plus grande densité au monde de réseaux de chaleur géothermique avec **36 opérations** en fonctionnement alimentant plus de 170 000 équivalents logements. Actuellement environ 150 ktep/an sont valorisés en France avec ces technologies. On peut envisager d'atteindre une production annuelle de l'ordre de 500 ktep d'ici 2020, et de 700 ktep d'ici 2030.

→ La géothermie **moyenne et haute énergie** (température de 90°C à 250°C).

Les ressources se rencontrent dans des réservoirs naturels fortement fracturés présents dans des **zones de volcanisme actif ou récent**, aux frontières des plaques tectoniques (**500-1500 m** de profondeur). En France, les principales ressources sont potentiellement présentes dans les DOM insulaires. L'eau qui circule librement dans le réservoir provient des infiltrations en surface. Cette eau, prélevée par un puits, arrive en surface sous forme d'un mélange eau – vapeur, qui est séparé puis turbiné pour produire de l'électricité dans des **centrales à vapeur d'eau** (10-50 MW). Lorsque la température de la ressource est plus faible (90-150°C) on utilise des **centrales binaires** (0,25-5 MW) dans lesquelles l'eau géothermale cède sa chaleur à un fluide plus volatil qui est ensuite turbiné.

Actuellement, la capacité électrique installée en France est de seulement 15 MW (centrale de Bouillante). À l'horizon 2020, on peut envisager d'atteindre une capacité de 80 MW, puis 200 MW en 2030.

→ La géothermie **des EGS**

Les centrales géothermiques **EGS (Enhanced Geothermal Systems)** s'adressent à des réservoirs à faible perméabilité (bassins d'effondrement, zones périphériques des champs géothermiques de haute énergie...), fracturés naturellement, profonds de quelques milliers de mètres ; il est généralement nécessaire de les stimuler par voie hydraulique ou chimique pour en augmenter la perméabilité sans créer de nouvelles fractures artificielles. Il est important de ne pas confondre ces techniques avec ce qui est réalisé dans le domaine des hydrocarbures non-conventionnels (cf plus loin). Les centrales produisent de l'électricité ou de la chaleur ou les deux (fonctionnement en cogénération). Ces solutions sont encore partout dans le monde au stade du développement et la France est pionnière dans le domaine (cf plus loin : projets Soultz et ECOGI). L'Agence Internationale de l'Énergie, dans un scénario optimiste, prévoit d'atteindre une capacité mondiale EGS installée de 500 MW en 2020 ; en France, on pourrait atteindre environ 20 MW à cette échéance.

2. LA POLITIQUE DE SOUTIEN DE L'ADEME

Pour encourager le développement de la géothermie, l'ADEME intervient à plusieurs niveaux : aides aux investissements et aux études, soutien à la structuration de la filière et à la R&D, gestion de fonds de garantie pour couvrir le risque géologique, communication et sensibilisation à la géothermie, formation et offre professionnelle, soutien à l'international.

L'aide aux investissements passe par deux dispositifs principaux : le **crédit d'impôt aux particuliers** (l'ADEME travaille en lien avec les ministères pour en définir les critères d'éligibilité) - environ 9 000 installations de pompes à chaleur sur capteurs enterrés ont ainsi bénéficié du crédit d'impôt en 2012 – et le **fonds chaleur renouvelable**. Ce dispositif, géré par l'ADEME, s'adresse aux installations collectives ou industrielles de production de chaleur : entre 2009 et 2011, plus de 80 opérations de pompes à chaleur sur aquifère superficiel ou sur champ de sondes, et 15 opérations sur aquifères profonds avec réseaux de chaleur ont bénéficié d'un accompagnement, soit pour la réalisation de nouvelles opérations (ADP Orly, Lognes,..), soit pour des réhabilitations (Coulommiers, Sucy, ...).

Pour soutenir les opérations sur aquifères superficiels ou profonds, l'ADEME gère à travers la SAF Environnement (une filiale de la Caisse des Dépôts et Consignations) deux fonds de garantie : le **fonds AQUAPAC** (réservé aux opérations dans les premiers 100 m de profondeur) et le **fonds de garantie géothermie** (pour les opérations plus profondes). Il s'agit de deux **dispositifs assurantiels** publics qui permettent de couvrir les porteurs de projets vis-à-vis du risque qu'ils prennent de ne pas trouver la ressource géothermique escomptée après forage. La France, via l'ADEME, a été pionnière dans la mise en place de ces dispositifs qui datent des années 1980.

En matière de soutien à la R&D l'ADEME accompagne, à travers des conventions de R&D avec des acteurs publics, des actions concernant essentiellement la caractérisation des ressources géothermiques profondes ou la modélisation des réservoirs (BRGM, Universités - Strasbourg, Antilles Guyane, Nancy, Poitiers, Nice...-, CNRS, Mines de Paris, ENS) ainsi que l'intégration des systèmes géothermiques superficiels aux bâtiments (CSTB, BRGM). L'ADEME soutient également les travaux portant sur les technologies **EGS** via le financement du **pilote scientifique de Soultz-sous-Forêts**, aux côtés de l'Allemagne et de l'Union Européenne. Ce premier pilote au monde à être raccordé au réseau électrique est constitué de 3 puits profonds de 5 000 m, avec un programme de R&D parmi les plus avancés au monde en termes d'acquis scientifiques. De plus, une première opération mondiale d'exploitation d'une centrale EGS pour approvisionner en vapeur un procédé industriel d'amidonnerie est en cours de forage à Beinhem (67) pour le projet « Roquette ECOGI ». Cette opération a bénéficié du soutien de l'ADEME à travers le Fonds Chaleur. Enfin l'ADEME, avec un groupe d'experts, a élaboré en 2011 **une feuille de route stratégique** qui définit les axes de recherche prioritaires en géothermie pour les 20 à 30 ans à venir. Cette feuille de route a conduit au lancement d'un **AMI géothermie** dans le cadre des **investissements d'avenir**. Sept dossiers sont en cours d'instruction à l'ADEME.

Concernant le soutien à la filière professionnelle, l'ADEME a soutenu en 2010 la création de l'**AFPG** (Association Française des Professionnels de la Géothermie) qui regroupe aujourd'hui une centaine d'adhérents du secteur et permet de structurer leur action en travaillant sur la communication, la sensibilisation des publics et la certification). Le soutien à la filière professionnelle passe aussi par le **développement d'une offre de service de qualité**. L'ADEME a ainsi collaboré à la mise en place en 2007 de la démarche qualité **Qualipac** destinée aux installateurs de pompes à chaleur et du référentiel **NF PAC** qui concerne le matériel. Avec le BRGM, l'ADEME a également mis en place en 2002, la charte qualité **Qualiforage** qui s'adresse aux foreurs pour les opérations chez les particuliers. Ces actions vers les professionnels s'accompagnent aussi du **montage de modules de formation**.

Dans le domaine de la **communication**, plusieurs actions sont conduites en collaboration avec le BRGM: site Web www.géothermie-perspectives.fr, veille, publications, guides techniques... **À l'international**, l'ADEME met en place des actions visant à soutenir la filière française de la géothermie pour des projets à l'export. En particulier, elle est fortement impliquée dans un projet ambitieux visant le développement de la géothermie sur l'Arc Caraïbe en lien avec les états concernés (projet **INTERREG Géothermie Caraïbe Phase 2**).

3. FOCUS SUR LA GEOTHERMIE PROFONDE UTILISANT LA STIMULATION HYDRAULIQUE

L'interdiction récente de la fracturation hydraulique pour l'exploitation des gaz de schiste pose la question de la similitude et des différences entre cette technique et celles qui sont utilisées dans le domaine de la géothermie, principalement pour les centrales EGS, visant à produire de l'électricité et de la chaleur (projet « Soultz », projet ECOGI). Ces techniques ne sont jamais utilisées pour la géothermie très basse énergie mais le recours à l'injection d'acides est parfois nécessaire lors de la mise en service d'opérations de géothermie basse énergie, de type Bassin parisien, de même qu'il l'est pour certains forages d'eau potable en zone calcaire.

Le tableau suivant résume les aspects clé qui différencient les **méthodes de stimulation** utilisées en géothermie profonde et les **méthodes de fracturation** utilisées dans le domaine du gaz non conventionnel qui correspondent à **des objectifs et à des sollicitations différentes du milieu souterrain** :

Géothermie profonde: La stimulation hydraulique vise à faciliter la circulation d'eau géothermale à travers les fractures naturelles préexistantes en augmentant leur ouverture de façon mesurée pour conserver un maximum d'échange thermique. La pression est de l'ordre de 100-150 bars.

Gaz non conventionnel: L'objectif est de fracturer au maximum la roche-mère, imperméable, pour libérer le gaz piégé dans cette roche. L'injection d'eau sous pression (500-1000 bars) crée des fractures artificielles qui vont permettre au gaz de s'échapper et de s'acheminer vers le puits de forage où il sera récupéré.

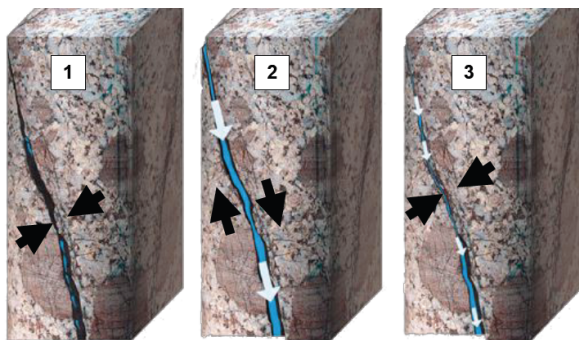
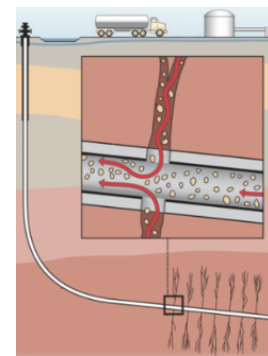


Figure : A gauche: principe de stimulation hydraulique en géothermie : à la fin de l'injection (3), la faille se referme mais la présence d'aspérités offre l'avantage d'espaces et crée des zones de perméabilité. À droite: schématisation du cheminement du gaz de roche-mère à travers les fractures artificielles vers le puits d'extraction



Des ordres de grandeur différents :

Géothermie profonde:	Gaz non conventionnel:
<p><u>Deux ou trois forages</u> (ayants une durée de vie d'environ 30 ans) sont suffisants pour une exploitation rentable d'une centrale géothermique de production de chaleur / électricité (le nombre de forages est minimisé pour des raisons économiques)</p>	<p>Produire des quantités commerciales nécessite une activité industrielle soutenue : une campagne d'extraction comporte normalement la réalisation de <u>plusieurs milliers</u> de puits (un puits a une bonne productivité pour seulement 4-5 ans). Dans le Jonah Field aux USA, on peut trouver par exemple 1500 puits sur 85km² soit 17 puits/km².</p>
<p>En général, la stimulation des puits est effectuée <u>une seule fois</u> avant l'exploitation de la ressource.</p>	<p>Pour conserver la productivité, chaque puits doit subir <u>plusieurs campagnes de fracturation</u> durant son exploitation.</p>
<p>Les produits chimiques injectés sont des acides en quantité limitée (environ <u>10 m³ d'acide</u> pur injecté à Soultz, par exemple).</p>	<p><u>Environ 350 m³</u> de composants chimiques (Acides, agents de soutènement, anti-bactéricides, gélifiants et autres produits soumis au secret commercial) sont injectés à chaque stimulation d'un puits.</p>
<p>Il est nécessaire d'injecter entre 5 000 à 15 000 m³ d'eau par puits lors de l'étape de stimulation. En phase d'exploitation, le fluide géothermique pompé est réinjecté, sans nécessiter de traitement particulier.</p>	<p>Les quantités d'eau par puits et par campagne sont similaires à celles utilisées pour la stimulation. L'enjeu provient de la quantité de produits chimiques utilisés, du grand nombre de puits, de la nécessité de plusieurs campagnes par puits, et du fait que 60% de l'eau injectée remonte en surface. Cette eau très chargée en produits chimiques doit être traitée.</p>

Des défis environnementaux prioritaires différents :

Géothermie profonde:
Le principal risque est celui de la sismicité induite causé par les phénomènes de cisaillement induits dans le sous-sol. Ce risque est maîtrisable dès lors que la stratégie de stimulation et de réinjection est bien définie.

Gaz non conventionnel:
Le principal risque est celui des fuites de gaz et de composants chimiques vers les couches superficielles (via des défauts des puits) : ceci est un risque intrinsèque des forages, mais il est amplifié par la réalisation de milliers de puits (effet d'échelle) ayant une faible durée de vie.

En conclusion, on peut noter qu'au-delà des différences de techniques (pressions, composants chimiques), les principales différences d'impacts et de risques sont liés aux effets d'échelle. On pourrait relativiser les chiffres évoqués plus haut en les rapportant à l'énergie produite, plus importante dans le cas des gaz de roche-mère ; toutefois l'exploitation de ceux-ci, pour être rentable économiquement, nécessite une forte concentration des puits dans les zones de gisement ; à contrario les puissances unitaires visées à moyen terme pour les centrales EGS sont

Conseil d'Administration de l'ADEME – mars 2013

limitées (5 MW) et correspondent plutôt à un déploiement décentralisé, avec un usage local de la chaleur, limitant ainsi fortement les impacts locaux.

Au-delà de ces aspects, rappelons que les impacts environnementaux générés par la géothermie EGS visent à exploiter une énergie renouvelable et non pas une source fossile. Le bilan des émissions de CO₂ prenant en compte le cycle de vie de ces moyens de production est largement en faveur de la géothermie EGS (30 gCO₂ eq/kWh contre 750 gCO₂ eq/kWh pour le gaz non conventionnel).