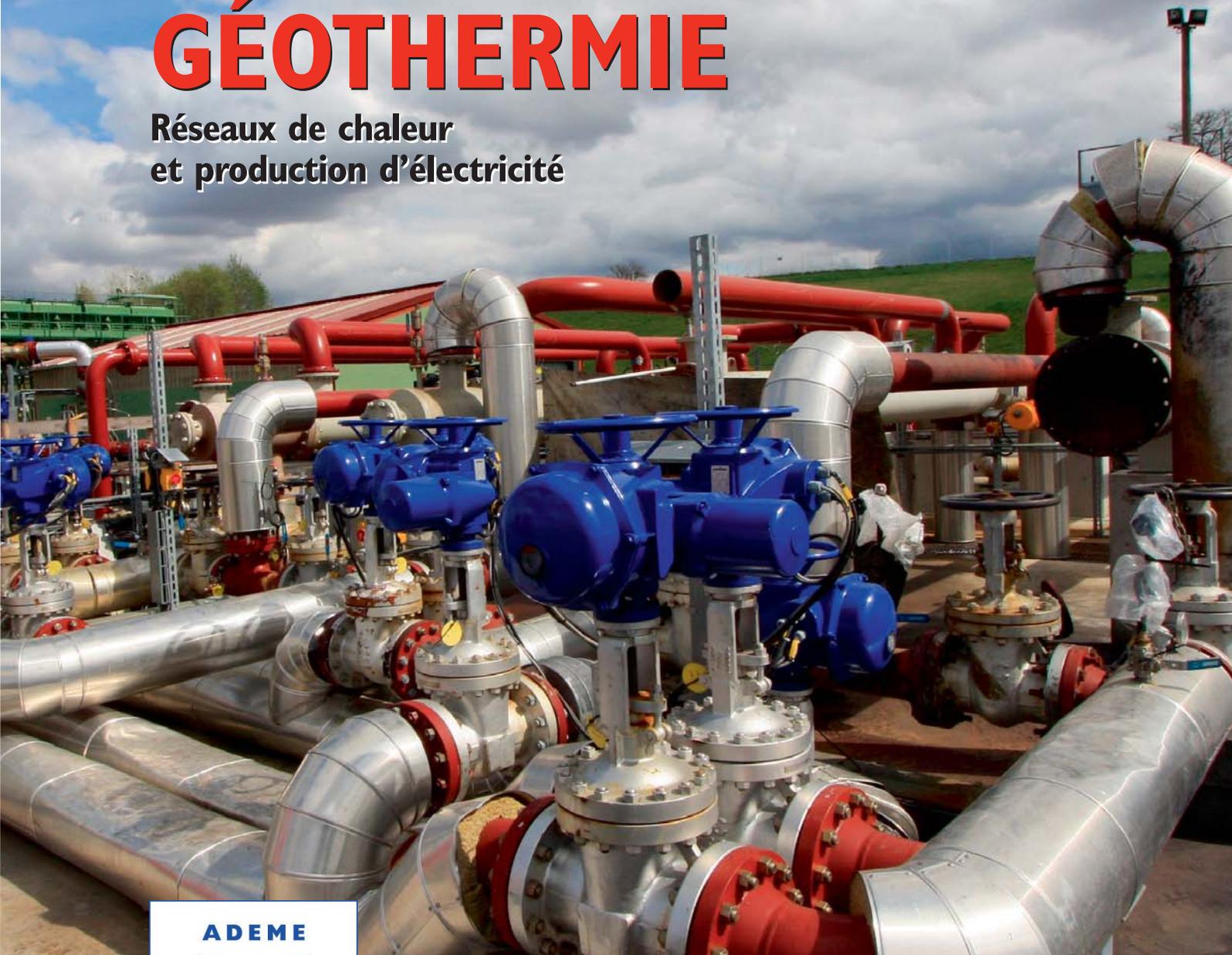


Le savoir-faire français  
dans le domaine de la

# GÉOTHERMIE

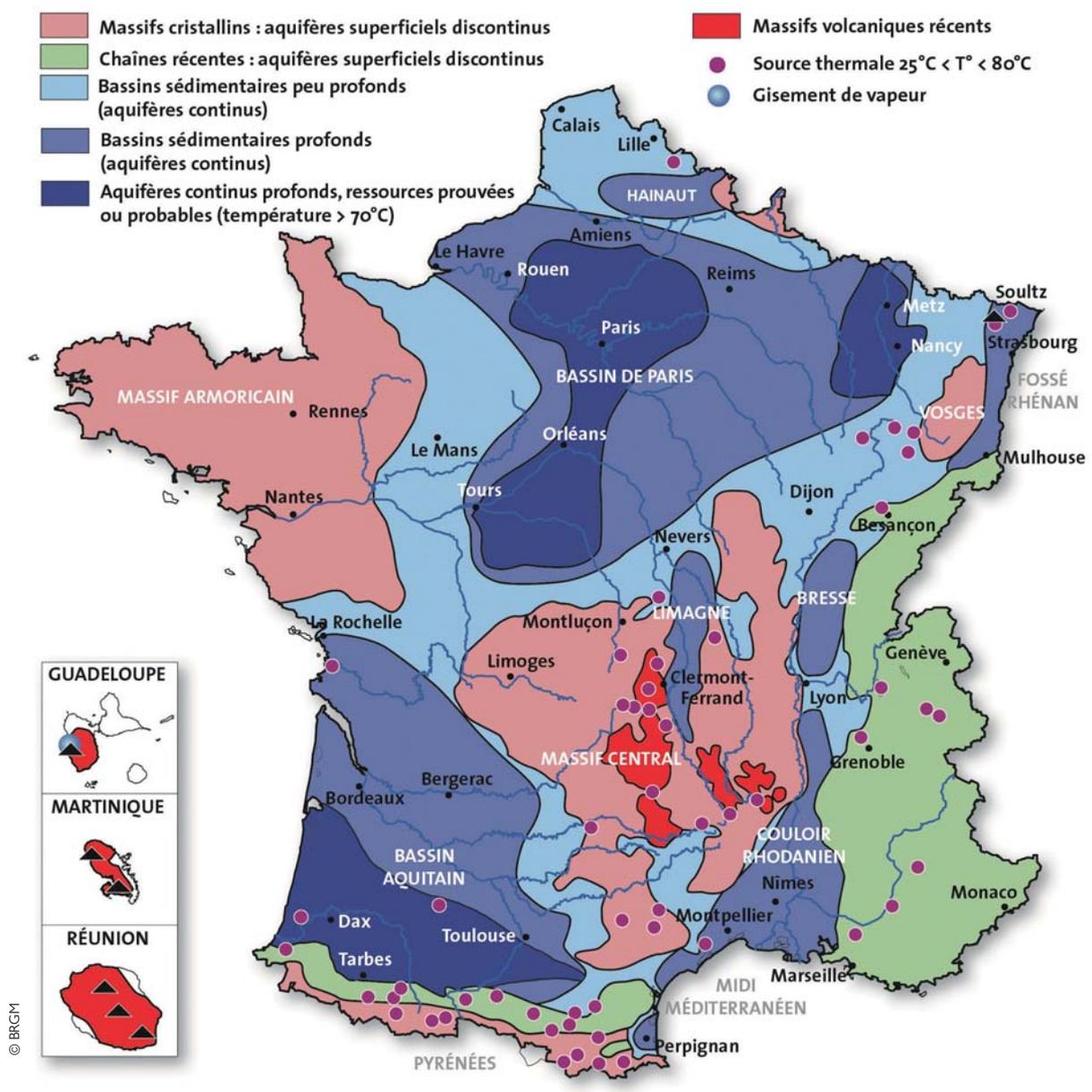
Réseaux de chaleur  
et production d'électricité



**ADEME**



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Energie



Carte des ressources géothermiques en France.

**Photo de Couverture**

Échangeurs thermiques – Site pilote de géothermie profonde à Soutz-sous-Forêts.  
 © Christian WEISS – ADEME

Cette brochure a pour objectif de présenter à l'international les savoir-faire français, publics et privés, dans le secteur de la géothermie (réseaux de chaleur et production d'électricité).

**Disponibles dans la même collection**

- Le savoir-faire français dans le domaine des énergies renouvelables
  - Le savoir-faire français dans le domaine de l'efficacité énergétique des bâtiments
  - Le savoir-faire français dans le domaine de la prévention de la pollution de l'air
  - Le savoir-faire français dans le domaine de la dépollution des sols et des eaux souterraines
- [www.ademe.fr/](http://www.ademe.fr/) Médiathèque / publications ADEME



© Joëlle Arnaud, Pierre-Grégoire Scholl

# Contexte

**Du grec géo (terre) et thermos (chaud), la géothermie désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe ainsi que les processus industriels qui visent à l'exploiter, pour produire de l'électricité et/ou de la chaleur.**

La géothermie repose sur l'exploitation de la chaleur présente dans le sous-sol. Cette chaleur provient pour l'essentiel de la désintégration des éléments radioactifs constitutifs de la croûte terrestre et de la dissipation de l'énergie primitive. Ses manifestations les plus visibles en surface sont bien connues (volcans, geysers, sources chaudes...) et sa présence peut s'appréhender aisément grâce à la notion de gradient géothermique, c'est-à-dire, l'augmentation de la température avec la profondeur.

Le gradient géothermique sur la planète est en moyenne de 33 °C par kilomètre, comme en France par exemple, mais sa valeur peut être nettement supérieure, notamment dans les zones de volcanisme actif ou récent où il peut atteindre plusieurs dizaines de °C par 100 mètres.

À faible profondeur, la chaleur du sous-sol peut être valorisée pour produire de la chaleur ou du froid si elle est assistée par une pompe à chaleur. Au delà de quelques centaines de mètres, la chaleur peut être utilisée directement pour des usages thermiques (chauffage de bâtiments, utilisation dans des process industriels, applications agricoles...) ou pour produire de l'électricité.

## **Une énergie écologique, renouvelable, disponible partout**

Actuellement, plus de 35 pays ont recours à la géothermie pour produire de l'électricité pour une puissance mondiale installée de 11 GW. La production de chaleur par géothermie est présente dans 79 pays avec un total de 43 GW installés.

Située au 3<sup>e</sup> rang européen en terme de capacité, la France joue un rôle important dans le développement de cette énergie. Le Grenelle de l'Environnement prévoit ainsi qu'entre 2006 et 2020, la contribution de la chaleur géothermique au mix énergétique français sera multipliée par 6 pour représenter 1,3 million de tonnes équivalent pétrole substituées. La produc-

tion d'électricité géothermique pour la France doit quant à elle passer de 15 à 80 MW, pour un potentiel à long terme estimé à 200 MW.

## **Un savoir-faire français reconnu**

Après une phase de développement important au début des années 80, en raison du prix élevé des hydrocarbures, suivie d'une phase de repli dans les années 90, le marché de la géothermie est actuellement en plein renouveau en France du fait de politiques favorables aux énergies renouvelables.

La filière française peut notamment s'appuyer sur l'expérience acquise dans le bassin parisien, qui concentre **la plus grande densité au monde d'opérations de géothermie basse énergie en fonctionnement exploitant le même aquifère.**

Ce dynamisme est notamment lié à la politique de soutien mise en place par les pouvoirs publics depuis quelques années et à la présence d'une offre professionnelle active.

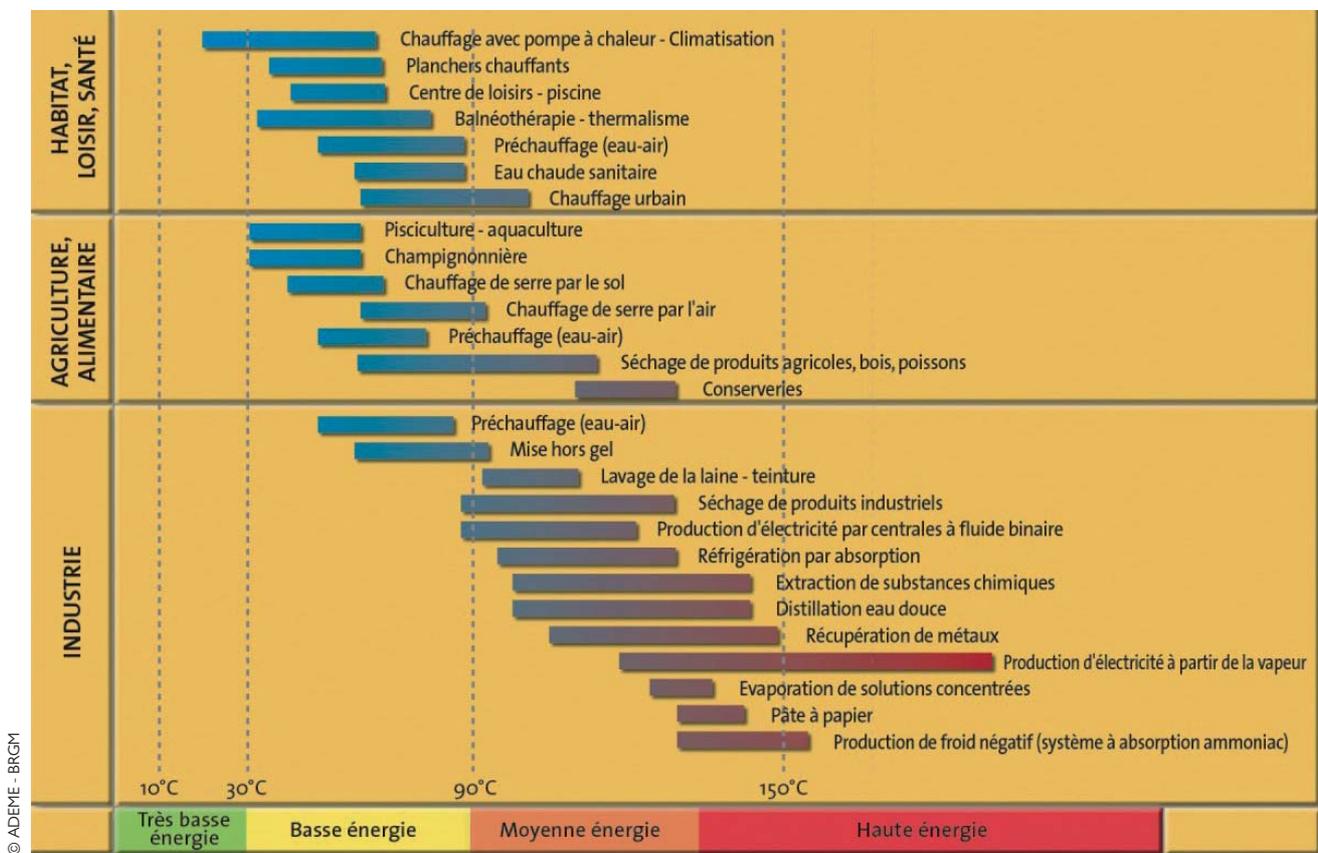
La France dispose en effet de tout le tissu industriel nécessaire pour produire les composants des boucles géothermiques et des installations de surface (tubes de forages, échangeurs, vannes, turbines, alternateurs, systèmes de régulation, systèmes de traitement contre la corrosion, centrales binaires, etc.) pour la production d'électricité ou de chaleur.

À cela s'ajoutent de solides compétences en matière d'exploitation d'installations énergétiques, d'ingénierie sous-sol, ainsi qu'un savoir faire reconnu de sociétés aptes à réaliser les forages les plus complexes à grande profondeur.

Forage de géothermie profonde à Paris – CPCU.



© Jacques Le Goff – ADEME



Principales utilisations de la géothermie en fonction des températures.

### Des technologies matures

**Les géothermies moyenne et haute énergie** (température supérieure à 90 °C) ciblent majoritairement la production d'électricité. Les gisements se rencontrent généralement – à une profondeur comprise entre 500 et 1 500 m de profondeur – dans les zones de volcanisme actif ou récent, aux frontières des plaques tectoniques. En France, les ressources sont présentes dans les Départements d'Outre-Mer insulaires (Guadeloupe, Martinique, Réunion, Mayotte).

Dans le cas des gisements haute énergie, l'électricité est produite dans des centrales à vapeur d'eau ; la vapeur géothermale à plus de 150 °C sortant directement des puits géothermiques est envoyée dans une turbine couplée à un alternateur.

Dans le cas des gisements de moyenne énergie (température comprise entre 100 °C et 150 °C), on utilise des centrales binaires fonctionnant avec un fluide organique volatil

(isobutane, isopentane...) évoluant en circuit fermé (technologie ORC).

Ces centrales peuvent aussi fonctionner en cogénération électricité-chaaleur pour des applications de chauffage ou de froid.

C'est également le cas des centrales géothermiques EGS (*Enhanced Geothermal Systems*) qui s'adressent à des réservoirs à faible perméabilité (bassins d'effondrement, zones périphériques des champs géothermiques de haute énergie), fracturés naturellement, profonds de plusieurs milliers de mètres, et qu'il est nécessaire de stimuler par voie hydraulique ou chimique pour en augmenter la perméabilité.

**La géothermie basse énergie** (température entre 30 et 100 °C) valorise directement la chaleur de ressources que l'on rencontre dans des formations sédimentaires profondes de hautes porosité et perméabilité, situées entre 500 et 2 500 m de profondeur.

C'est ce type de ressources que l'on trouve en France par exemple dans le Bassin Parisien ou le Bassin Aquitain. Elles sont couramment exploitées pour le chauffage urbain, le chauffage des serres, de piscines et d'établissements thermaux, l'aquaculture et le séchage. Des pompes à chaleur peuvent également être couplées afin d'optimiser la valorisation de la ressource géothermale.

**La géothermie très basse énergie** (température inférieure à 30 °C) nécessite la mise en œuvre de pompes à chaleur pour élever la température de la chaleur prélevée dans le sous-sol à un niveau compatible avec l'utilisation que l'on veut en faire (généralement le chauffage de bâtiments). Ce type de géothermie vise principalement le chauffage et le rafraîchissement de maisons individuelles, de bâtiments tertiaires ou résidentiels collectifs.



# Des dispositifs innovants pour soutenir la filière géothermique

## Des objectifs ambitieux de développement de la géothermie

Ces dernières années, la France s'est fixé l'objectif de multiplier par 6 la contribution de la chaleur géothermique au mix énergétique français pour atteindre d'ici à 2020, 1,3 million de tonnes équivalent pétrole substituées. La production d'électricité géothermique pour la France devrait quant à elle passer de 15 à 80 MW.

Ces objectifs s'inscrivent dans une politique générale pour la France, déterminée dans le cadre de négociations au niveau de l'Union européenne, et qui vise à porter à 23 % la part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie d'ici à 2020 (50 % pour les Départements français d'Outre Mer).

Ils ont été fixés dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, vaste processus de concertation initié en 2007 avec l'ambition de préparer de manière participative des décisions à long terme en matière d'environnement et de développement durable en France.

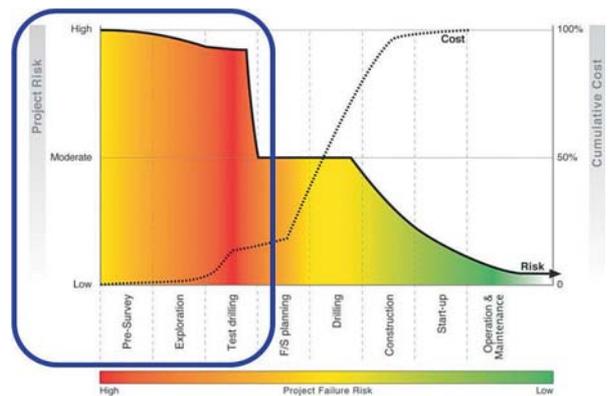
## La France – pays pionnier pour la couverture des risques géologiques en géothermie

L'un des freins importants au développement des projets de géothermie est



Campagne de communication de l'ADEME sur le fonds chaleur.

ce que l'on appelle le **risque géologique**. Ce risque est lié au fait que la ressource exploitable en géothermie ne peut être connue précisément qu'après la réalisation de forages – opération coûteuse qui peut se solder par un échec (absence de ressources, température ou débit exploitable insuffisants par rapport aux prévisions, fluide géothermique inexploitable car trop acide par exemple).



Le risque « géologique » en géothermie.

Pour lever ce type de risque et permettre la réalisation effective de projets de géothermie, la France a mis en place au début des années 80, un dispositif original constitué d'un système assurantiel couvrant le risque géologique piloté par l'ADEME et la SAF Environnement (filiale de la Caisse des Dépôts et Consignations), et d'aides financières pour la réalisation des projets.

Ce dispositif a permis la réalisation en France métropolitaine de plusieurs dizaines d'installations de réseaux de chaleur géothermiques assurant le chauffage de plus de 200 000 équivalents-logements, en région parisienne et en Aquitaine, pour l'essentiel.

Dans la continuité de cette expérience, des démarches ont été entreprises en 2011 pour créer un dispositif de soutien à l'export, à la fois financier et de couverture du risque géologique, pour la filière française de géothermie.

## Le fonds chaleur renouvelable

Le fonds chaleur, doté d'un budget de 1,2 milliard d'euros sur la période 2009-2013, permet de financer des projets utilisant la chaleur renouvelable dans les secteurs de l'habitat collectif, du tertiaire et de l'industrie. Sa gestion a été confiée à l'ADEME.

Son objectif principal est de permettre aux installations produisant de la chaleur à partir d'énergies renouvelables d'être éco-

nomiquement compétitives par rapport à des installations couvrant les mêmes besoins énergétiques, mais fonctionnant avec des énergies conventionnelles.

Concernant la géothermie, les opérations éligibles sont les installations de géothermie profonde avec ou sans réseau de chaleur, les installations avec pompes à chaleur sur aquifères superficiels ou sur champ de sondes, mais également celles avec récupération d'énergie sur les eaux usées ou sur l'eau de mer.

Le fonds chaleur peut être sollicité dès la phase amont des projets pour la réalisation d'études de faisabilité, de tests de réponse thermique ou de forages d'essais.

**182 projets de géothermie, permettant de valoriser plus de 50 000 Tep/an, ont été financés en France par le fonds chaleur depuis la création du dispositif en 2009.**

À noter par ailleurs qu'en complément des aides apportées par le fonds chaleur renouvelable, les réseaux de chaleur valorisant plus de 50 % d'énergies renouvelables et de récupération, dont la géothermie, bénéficient en France d'un taux de TVA réduit (5,5 %) appliqué à la chaleur qu'ils distribuent.



# Soutenir la R&D et l'innovation

**Les acteurs français de la géothermie sont mobilisés dans de nombreux projets visant à améliorer les technologies actuelles ou à développer de nouvelles technologies.**

**La R&D et l'innovation en matière de géothermie peuvent bénéficier des différents dispositifs de soutien à la recherche mis en œuvre au niveau national ou européen, au rang desquels on peut citer :**

- **les financements européens (FP7, programme Énergie intelligente pour l'Europe...),**
- **le Fonds unique interministériel des pôles de compétitivité**
- **les financements de l'agence nationale de la recherche (ANR), de l'ADEME, d'OSEO...,**
- **les financements régionaux et autres financements associés (Fonds européen de développement régional).**

## Le Programme Européen de Géothermie Profonde à Soultz-sous-Forêts (Alsace)

Le concept des « Enhanced Geothermal Systems » (EGS) vise l'extraction en profondeur d'eau chaude présente naturellement dans des zones fracturées où la perméabilité est localement augmentée, permettant ainsi à la saumure géothermale de circuler via des boucles de convection.

Initiées à Los Alamos dans les années 70, les recherches au plan international se sont focalisées depuis 1987 sur le site de Soultz-sous-Forêts en Alsace où un pilote scientifique cofinancé par l'Europe, l'Allemagne et la France, est opérationnel depuis trois ans.

Ce pilote scientifique, qui reste à ce jour le plus avancé au plan mondial en termes de faisabilité et d'acquis scientifiques et techniques, est constitué de quatre puits ayant une profondeur comprise entre 3 600 et 5 000 m.

Une circulation d'eau géothermale activée entre les puits par un système de pompage permet de récupérer environ 40 litres d'eau par seconde à 200 °C en fond de puits et de produire 1,5 MW d'électricité grâce à une unité de conversion thermo-électrique de type ORC (Cycle Organique de Rankine).

## Le développement de projets de démonstration

Dans le cadre d'un grand emprunt national visant à relancer l'industrie française (les « Investissements d'Avenir »), un vaste programme d'un montant de 1,35 milliard d'euros est consacré à la mise en œuvre de projets de « démonstration » dans le domaine des énergies renouvelables et décarbonées. Ce programme court sur la période 2010-2014.

Les projets de démonstration, qu'il s'agisse de « démonstrateurs » ou de plate-formes technologiques, visent l'expérimentation préindustrielle de technologies « de rupture ». Ils permettent en particulier aux entreprises d'assumer une prise de risque technologique et financière entre la phase de recherche et l'industrialisation de nouvelles éco-technologies.

Sur la base des besoins identifiés par des « feuilles de route stratégiques », des appels à manifestation d'intérêt (AMI) sont ensuite lancés et les meilleurs projets proposés sont alors sélectionnés. Pour la géothermie, un AMI a été lancé fin 2011. Il couvre plusieurs volets :

1. La production d'électricité de type EGS ou sur réservoirs conventionnels, avec la réalisation : de démonstrateurs ou de programmes d'actions concernant à la fois les composants et les techniques et la connaissance des ressources géothermiques et leur exploitation,

2. La production de chaleur avec :

- la mise en œuvre de plate-formes technologiques pour la géothermie très basse énergie,
- la réalisation de démonstrateurs de géothermie profonde.

Le soutien financier des projets prend la forme de subventions, d'avances remboursables ou de prises de participation dans les entreprises. La gestion de ce programme a été confiée à l'ADEME.

## Les pôles de compétitivité : clusters français pour la croissance et l'emploi

Pilier de la politique publique française en matière d'innovation et de R&D, les pôles de compétitivité regroupent des entreprises (PME/PMI et grands groupes), des laboratoires de recherche et des établissements de l'enseignement supérieur sur un même site et sur l'ensemble de la

© Cofely



Centrale géothermique de Sucs-en-Brie – chaufferie.

### Le pôle de compétitivité Avenia

Basé en région Aquitaine, Avenia a pour but de développer des projets innovants pour fédérer les acteurs de la recherche et de l'industrie dans le domaine des géosciences (géothermie industrielle, stockage souterrain des énergies intermittentes, développement responsable des énergies fossiles et stockage géologique du CO<sub>2</sub>). Les activités d'Avenia en matière de géothermie portent en particulier sur la géothermie des réseaux de chaleur.

chaîne de valeur, unissant ainsi les capacités d'innovation publiques et privées autour de projets à fort potentiel.

Afin de stimuler l'émergence de projets, des appels d'offres sont lancés par les pouvoirs publics. Ceux-ci ont représenté 1,5 milliard d'euros de financements pour la période 2009-2011. En complément, les collectivités territoriales françaises apportent leur soutien et les pôles bénéficient d'un régime fiscal spécifique.

La France compte une dizaine de pôles actifs dans le domaine des énergies renouvelables, parmi lesquels le pôle Avenia, dédié aux géosciences.

### Les instituts et Laboratoires d'excellence

En complément des démonstrateurs évoqués ci-avant, la R&D et l'innovation en géothermie sont également soutenus dans le cadre des Investissements d'avenir par le biais d'autres outils, comme les Instituts et les Laboratoires d'excellence.

#### L'Institut d'Excellence Geodenergies (géotechnologies, Orléans)

Les Instituts d'excellence dans le domaine des énergies décarbonées (IEED) sont des instituts thématiques qui, au travers d'un partenariat stratégique public-privé, pilotent des programmes de recherche couplés à des plates-formes technologiques, effectuent des travaux de recherche et de développement expérimental orientés vers les besoins des marchés, contribuent à l'ingénierie des formations initiale et continue et veillent à la valorisation socio-économique des résultats obtenus.

L'IEED Géodenergies (Géotechnologies pour décarboner les énergies) a été labellisé en mars 2012. Il a pour objectif de

développer des briques technologiques favorisant l'émergence de trois filières industrielles liées au sous-sol : le stockage de CO<sub>2</sub>, le stockage d'énergie et la géothermie (chaleur et électricité). Porté par le BRGM à Orléans, Geodenergies associe 22 entreprises et 11 établissements publics de recherche.

#### Le laboratoire d'excellence G-eau-thermie profonde (Strasbourg)

Au travers de l'appel à projets Laboratoire d'Excellence (LabEx) lancé en 2011, des laboratoires ayant une visibilité internationale ont la possibilité d'être dotés de moyens significatifs leur permettant de faire jeu égal avec leurs homologues étrangers, d'attirer des chercheurs et des enseignants-chercheurs de renommée internationale, et de construire une politique intégrée de recherche, de formation

et de valorisation de haut niveau. 171 laboratoires d'excellence ont ainsi été sélectionnés pour un financement sur une période suffisamment longue leur permettant de déployer une stratégie scientifique de grande ampleur.

Situé en Alsace, le laboratoire d'excellence G-eau-thermie profonde a été labellisé en mars 2012. Il vise le développement de l'utilisation de la géothermie profonde grâce à une meilleure connaissance des réservoirs géothermiques profonds et grâce au développement de nouvelles technologies permettant de les exploiter. Il associe les compétences académiques de l'Université de Strasbourg et les compétences industrielles du groupe Électricité de Strasbourg. Il s'inscrit sur le moyen terme (8 ans) et il a été doté d'un financement ministériel de 3 millions d'euros.

### Exemples de projets de R&D/innovation

#### Mise au point d'une machine à cycle organique de Rankine adaptée à la géothermie – Enertime

La société Enertime a développé, avec sa gamme ORCHID<sup>®</sup>, une expertise en conception, fabrication et mise en œuvre de modules à Cycle Organique de Rankine (ORC) de taille industrielle (gamme de 500 kW à 5 MW) et utilisant des fluides non-toxiques, non-inflammables pour des températures supérieures à 120 °C. La société travaille également au développement de nouveaux modules permettant de valoriser des ressources géothermales à partir de 80 °C.

Enertime maîtrise entièrement la conception de ses modules et est donc capable d'offrir des solutions optimisées pour les projets pour lesquels la société est consultée.

Enertime a levé 1,5 M€ de capitaux en début d'année 2011 auprès de fonds d'investissement et a obtenu une aide de 1,8 M€ de la société TOTAL pour mener à bien le développement du module ORCHID<sup>®</sup> de 1 MW. Ce module a été mis en service en septembre 2012 pour une application de récupération de chaleur industrielle en Pays de Loire.

#### Le projet GEOSTOCAL : stockage intersaisonnier de chaleur fatale en aquifère profond

Le projet ANR GEOSTOCAL (2008 – 2011) coordonné par le BRGM a rassemblé plusieurs partenaires académiques et industriels. Il a démontré d'une manière théorique la faisabilité technico-économique d'un stockage intersaisonnier de chaleur de forte puissance en aquifère profond, raccordé à un réseau de chaleur urbain et valorisant la chaleur excédentaire fatale produite en saison estivale.

Les aspects techniques, économiques ou écologiques de différentes configurations de stockage ont été étudiés, dont certaines, particulièrement innovantes, permettent une combinaison adaptative de la géothermie conventionnelle, de type minier, et du stockage de chaleur.

Convaincu par ces résultats, CPCU, l'industriel partenaire du projet ANR, porte aujourd'hui un projet de démonstration industrielle de l'une de ces configurations. L'accompagnement scientifique de cette réalisation, si elle se concrétise, devrait apporter de nouveaux éléments sur l'aquifère profond du Dogger bénéficiant directement aux opérations de géothermie conventionnelles actuelles et aux futures opérations de stockage.



# Technologies et développement industriel

## LA GÉOTHERMIE BASSE ET MOYENNE ÉNERGIE POUR L'ALIMENTATION DE RÉSEAUX DE CHALEUR

**La géothermie des aquifères profonds, qualifiée de « basse énergie », concerne l'exploitation des aquifères d'une profondeur supérieure à plusieurs centaines de mètres. Compte tenu de l'importance des investissements qu'elle nécessite – lorsque les aquifères valorisés sont très profonds – on l'associe généralement aux réseaux de chaleur. Des réseaux qui sont aptes à desservir plusieurs milliers de logements et permettent ainsi de répartir sur un plus grand nombre de postes de consommation la charge des investissements sous-sol de production géothermique.**

### Une technologie éprouvée

Alimentés principalement à partir d'un forage ou d'un doublet géothermique, les réseaux de chaleur géothermique transportent de la chaleur sous forme d'eau chaude dans des canalisations enterrées

pour le chauffage de logements, de bâtiments publics et industriels et la fourniture d'eau chaude sanitaire.

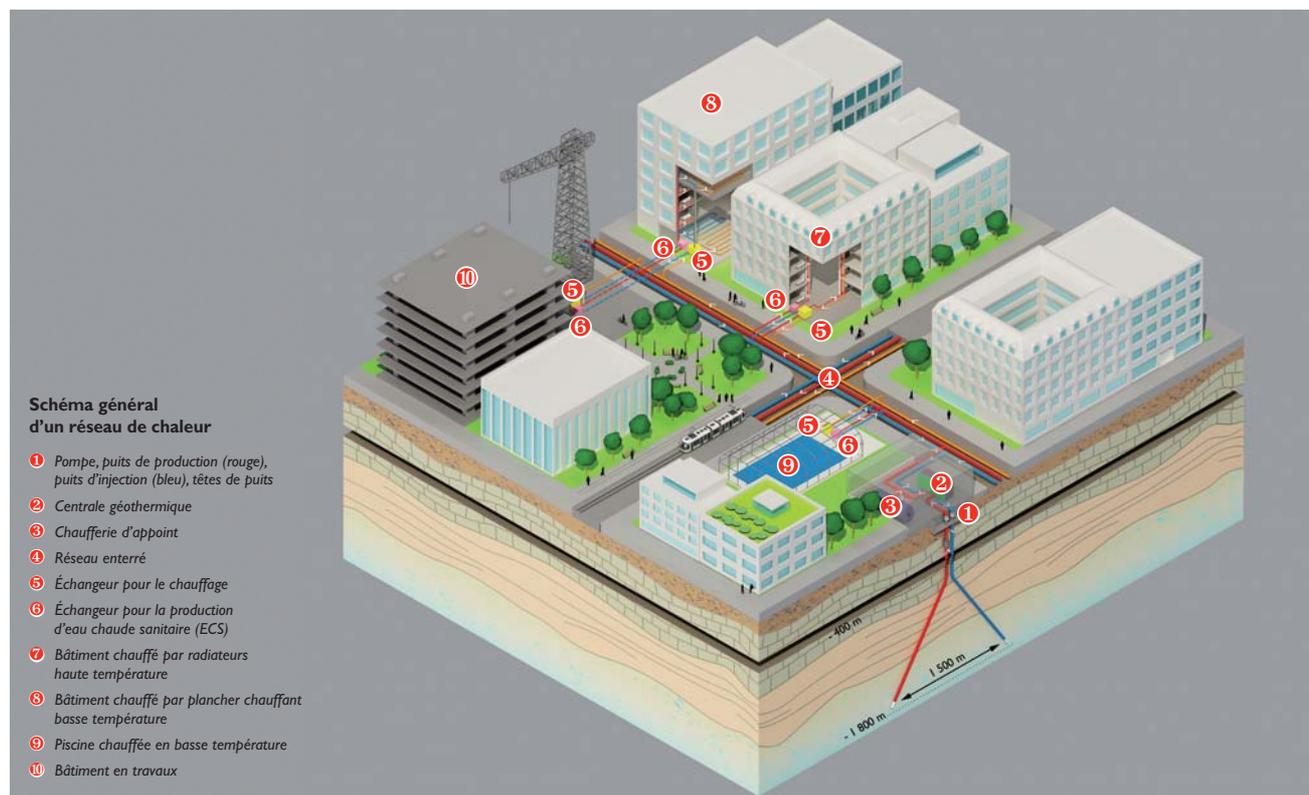
Les ressources exploitées doivent avoir une température suffisante (entre 30 et 90 °C) pour être utilisées. Selon les cas, la production peut se faire soit via un puits unique associé à un échangeur thermique, soit plus fréquemment via un doublet géothermique assorti d'un échangeur.

Un doublet géothermique comprend un forage de production et un forage de réinjection. L'eau géothermale est amenée à la surface grâce à une pompe de production et celle-ci, après avoir cédé son énergie calorifique, est réinjectée dans son aquifère d'origine par un forage identique. Les deux forages sont suffisamment éloignés l'un de l'autre pour que les eaux refroidies ne soient pas recyclées au forage de production. Réinjecter l'eau après prélèvement des calories évite de polluer

la surface si l'eau est salée, ou de la gaspiller si elle est faiblement minéralisée et donc susceptible d'un usage domestique ou industriel. Cette configuration présente plusieurs avantages : absence de rejets dans l'environnement (circuit en boucle fermée), pérennité du débit hydraulique et stabilité des pressions d'exploitation.

En France, la réalisation d'un réseau de chaleur nécessite l'intervention de nombreux partenaires : pouvoirs publics gestionnaires d'immeubles et d'équipements, usagers et habitants du quartier, ainsi que les professionnels de la géothermie, constitués de sociétés d'exploitation et de sociétés de service (sous-sol et surface).

Afin de rentabiliser le coût des forages et des investissements de surface, l'énergie produite doit permettre d'alimenter 3 à 4 000 équivalents-logements, si possible regroupés dans un rayon de moins de 3 à 4 km, soit au moins 40 à 45 000 MWh/an.





Eaux thermales bains publics à Budapest.

### Le Bassin Parisien : un modèle d'exploitation de la géothermie basse énergie

Le Bassin Parisien présente la particularité d'offrir une très bonne coïncidence entre les ressources géothermales et la demande de chauffage, puisque de nombreuses agglomérations sont situées au droit d'aquifères continus. Sur les quelques 200 000 équivalents-logements chauffés en France par des réseaux de chaleur géothermique, environ 170 000 sont situés en région parisienne.

Ce bassin sédimentaire comprend cinq grands aquifères, dont le Dogger qui comporte le plus grand nombre d'opérations de géothermie basse énergie au monde, avec 36 exploitations recensées actuellement, destinées au chauffage collectif. Pour fixer un ordre de grandeur, **une opération-type de la région parisienne permet de chauffer environ 4 000 à 5 000 logements.**

Le Dogger s'étend sur plus de 150 000 km<sup>2</sup> avec une température mesurée au droit de la région parisienne variant de 56 à 85°C en fonction de la profondeur du réservoir (entre 1 600 et 1 800 m).

Les réseaux de chaleur alimentés par la ressource géothermale du Dogger,

### L'aéroport Paris-Orly chauffé à la géothermie ADP / CFG Services

Depuis la fin 2010, les deux terminaux Sud et Ouest de l'aéroport de Paris-Orly sont chauffés en partie par la géothermie. Un tiers de la chaleur fournie est en effet d'origine géothermique et provient d'un doublet de forages captant de l'eau naturellement chaude à 74 °C, puisée à 1 750 mètres de profondeur dans le Dogger.

Aéroports de Paris a investi 12,7 millions d'euros dans cette installation, pour laquelle l'ADEME et la Région Île-de-France ont apporté des subventions à hauteur de 30 % du coût total de l'investissement. La maîtrise d'ouvrage de ce projet a été conduite par les équipes techniques d'Aéroports de Paris, avec en appui des compétences externes apportées par CFG Services pour les opérations de sous-sol (études, supervision forage, mise en œuvre du doublet géothermique). Outre de substantielles économies de gaz, la géothermie évite à Aéroports de Paris de rejeter 9 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an dans l'atmosphère.

### Extension du réseau de distribution de chaleur de Sucy-en-Brie – Cofely GDF SUEZ

Sucy-en-Brie est un parfait exemple de la maîtrise acquise par Cofely GDF SUEZ en matière d'énergies renouvelables. Il démontre que l'on peut développer l'utilisation de la ressource géothermale, tout en garantissant sa pérennité, et accroître le nombre de bénéficiaires à travers une extension du réseau de distribution de chaleur.

En réalisant le forage d'un nouveau puits de production et en reconvertissant les deux puits existants en puits de réinjection, Cofely GDF SUEZ a constitué le premier « triplet » géothermique en Île-de-France. Les travaux, complétés par une extension du réseau de distribution de chaleur (de 3 à 4 km) ont permis d'augmenter la puissance (de 7 à 11 MW) de la nouvelle centrale de production ainsi que le nombre d'équivalents-logements alimentés (de 2 350 à 2 900).

essentiellement exploités par des sociétés privées comme **Dalkia, Cofely, IDEX Energie, Coriance a2a** mais également par des sociétés d'économie mixte (SEM)

locales, fonctionnent depuis près de trente ans et sont donc largement amortis avec, aujourd'hui encore, un taux de disponibilité moyen proche de 95 %. La plus ancienne de ces installations est celle de Melun l'Almont. Mise en service en 1969, elle est toujours en fonctionnement.

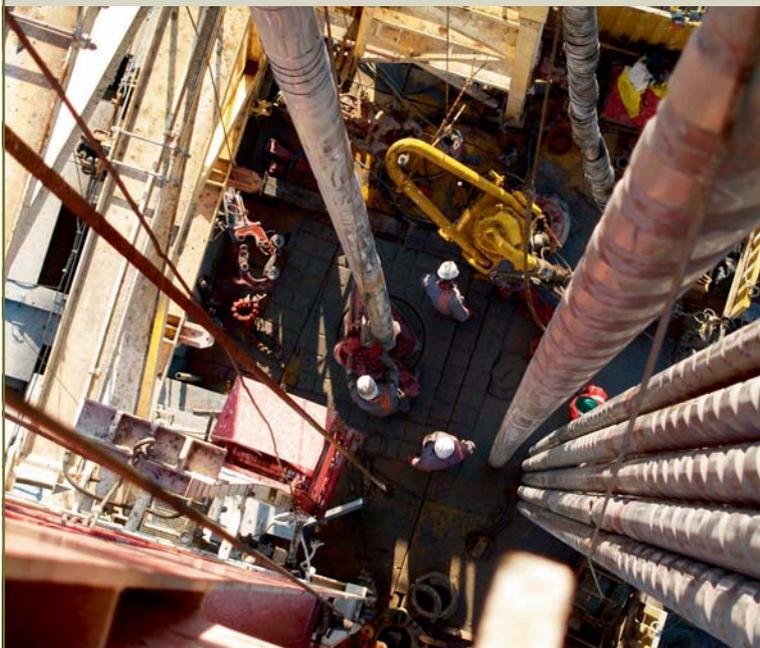


© Laurent Mignaux – METL - MEDDE

Extracteur géothermique Usine de géothermie à Melun.



© Antea



### Un nouveau doublet géothermique pour la ville d'Orly – Antea/COFOR

Depuis février 2008, Valophis Habitat dispose d'un nouveau doublet de forages géothermiques connecté à son réseau de chaleur d'Orly – Choisy-le-Roi. Ce doublet géothermique en aquifère profond (1 700 mètres) produit plus de 300 m<sup>3</sup>/h d'eau à 76 °C. Avec ces volumes d'eaux chaudes prélevés, Valophis assure un taux de couverture de 86 % par la géothermie de son réseau de chaleur. Long de 18 km aller/retour, le réseau de chaleur associé permet d'alimenter en chauffage 8 000 équivalents-logements y compris des bâtiments communaux de la ville d'Orly (collège, lycée etc.).

Antea Group a été en charge de la maîtrise d'œuvre de la conception et des travaux de ce projet, accompagnée de COFOR comme entreprise principale.

Cette opération permet d'éviter chaque année l'émission de 15 000 tonnes de CO<sub>2</sub>, en comparaison avec une solution au gaz, et de réaliser des économies significatives. Un MW équivaut à 27 euros au lieu de 35 à 40 euros pour le gaz. Cela revient à une économie annuelle de 150 à 200 euros pour une famille de 4 personnes vivant dans un appartement de 4 pièces.

*Opération d'Orly Choisy : les tiges de forage sont assemblées les unes aux autres au fur et à mesure de l'avancement du forage.*

### Développement de la géothermie dans la ville de Meaux – Coriance

Le Syndicat Mixte de la Géothermie de Meaux et son délégataire Energie Meaux, filiale de Coriance, ont conclu, sous l'impulsion de la Ville de Meaux, un accord visant à développer la géothermie : 26 millions d'euros d'investissements sont prévus.

Trois doublets existants seront transformés en triplets : de nouveaux puits de production seront forés alors que les puits actuels, rechemisés, seront utilisés pour la réinjection. Le quatrième doublet sera conservé. L'installation de pompes d'exhaure permettra d'atteindre un débit total de 885m<sup>3</sup>/h. Une pompe à chaleur (4 MW) optimisera la récupération d'énergie sur le sous-sol.

La capacité géothermale de Meaux sera ainsi doublée : 60 % de la chaleur des réseaux sera produite à partir de cette ressource renouvelable, sûre, locale. À terme, près de 12 000 équivalents-logements seront alimentés, en évitant l'émission de 30 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an !

*Centrale géothermique de Meaux – Coriance.*

© Cédric Heislly – Photothèque Coriance





### Le renouvellement des exploitations

La pérennisation des réseaux de chaleur géothermiques les plus anciens passe aujourd'hui par un renouvellement des dispositifs. Selon les cas, les dispositifs existants évoluent en triplet de forages (forage d'un puits de production après réhabilitation des deux forages existants sous la forme de puits d'injection de plus faible diamètre) ou sont abandonnés et remplacés par un nouveau doublet. Depuis 2007, 4 exploitations ont ainsi été renouvelées pour les communes d'Orly, Sucy-en-Brie, La Courneuve et Coulommiers. Dans le même temps, 3 nouvelles exploitations (doublets) ont été créées : Paris Nord Est, site aéroportuaire d'Orly, Lognes.

Ces opérations récentes témoignent de la relance de la géothermie profonde en Île-de-France qui va se poursuivre dans les prochaines années (7 renouvellements planifiés pour 2012 / 2013).

### Un important potentiel de développement

Les perspectives de développement de la géothermie basse température sont multiples en France métropolitaine. Dans le Bassin Parisien, l'attention se porte sur les aquifères de l'Albien/Néocomien, du Lusitanien et du Trias, qui présentent des potentialités intéressantes, notamment là où le Dogger s'avère moins favorable ou déjà fortement exploité.

Dans le Bassin Aquitain, une douzaine de forages, principalement localisés en Gironde, exploitent les ressources géothermales depuis une trentaine d'années. Le contexte diffère nettement de celui du Bassin Parisien dans la mesure où toutes les exploitations fonctionnent en puits unique, c'est-à-dire sans réinjection du fluide.

L'Alsace et le Fossé rhénan présentent un potentiel géothermique déjà exploité en Allemagne (site de Bruchsal au nord-est de Karlsruhe). Un forage profond (de l'ordre de 2 000 mètres) dans la région de Rittershoffen, près de Strasbourg, permettra de le vérifier sur le territoire national.

Au niveau international, le schéma d'exploitation réussi du Dogger dans le Bassin Parisien pourrait servir d'exemple pour les pays d'Europe centrale et orientale, bien pourvus en ressources géothermales de basse et moyenne température. On pense notamment au Bassin pannonicien, au bassin de Podhale et au bassin des Carpates.

### La géothermie pour un écoquartier – Dalkia

Dalkia, leader mondial des services énergétiques, finance, conçoit et exploite de nombreuses installations géothermiques sur sondes sèches ou aquifères de quelques mètres à plusieurs milliers de mètres de profondeur. Dalkia, gère par exemple 17 doublets géothermiques sur les 36 installations opérationnelles en Île-de-France.

Dalkia réalise et exploitera pendant vingt-cinq ans, au fort d'Issy-Les-Moulineaux, le premier réseau de chaleur géothermique sur boucle d'eau tempérée (27 °C) alimentant un écoquartier. À partir du premier janvier 2013, deux puits géothermiques creusés à 600 mètres de profondeur pour atteindre la nappe de l'Albien (28 °C), desserviront 1 600 logements, 2 écoles, une piscine et des commerces en chauffage et eau chaude sanitaire. Les pompes à chaleur installées en pieds d'immeuble permettront de chauffer et rafraîchir les logements et commerces.

Dernier projet mis en route : la conception, la réalisation et le financement sur 25 ans du doublet au Dogger (2 000 m - 71 °C) qui alimente le réseau de chaleur de Lognes (Île-de-France). Autres projets en cours : Arcus en Norvège (90 sondes sèches à 300 m), Le Plessis-Robinson en Île-de-France (deux forages à 900 m dans le Néocomien – 38 °C), Chine...

### Cartographie des « bulles froides » dans les départements de Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne après 30 ans d'exploitation géothermique

À la suite de la relance de la géothermie profonde en Île-de-France au début des années 2000, il est apparu nécessaire à l'ADEME et au BRGM de gérer efficacement les « bulles froides » qui se sont développées autour des puits injecteurs depuis le démarrage des exploitations, soit pour la plupart entre 1980 et 1985.

Sur les 36 doublets actuellement en exploitation dans la région parisienne, 27 sont localisés en Val-de-Marne et Seine-Saint-Denis. Depuis 2009, un modèle de gestion de la ressource a été mis en place à l'échelle de ces départements afin, d'une part, de mieux connaître l'amplitude des zones refroidies en vue d'optimiser l'implantation des nouveaux forages dans le cadre d'opérations nouvelles ou de réhabilitations et, d'autre part, de prédire le début de refroidissement aux puits producteurs. Ce modèle, mis en place par le BRGM, est alimenté via la base de données DOGGER, créée en 2001 en lien avec les bureaux d'étude sous-sol, qui capitalise l'ensemble des informations relatives au fonctionnement des opérations.



Filtere de la centrale géothermique de Lognes (DALKIA).



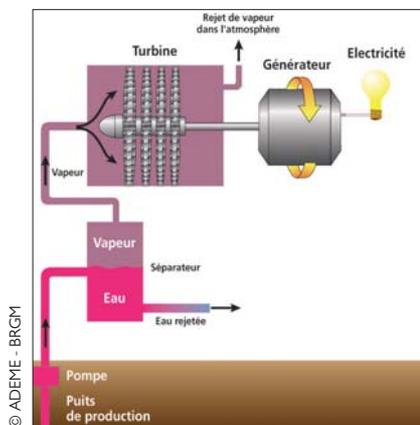
## LA GÉOTHERMIE HAUTE ÉNERGIE POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

**Connue depuis un siècle, la production d'électricité à partir de la géothermie est devenue significative à partir des années 1970 et représente aujourd'hui près de 11 000 MW dans le monde.**

**Les technologies actuelles permettent la production électrique à partir de températures de plus en plus basses. Par ailleurs, les systèmes géothermiques stimulés dits EGS, offrent des perspectives prometteuses.**

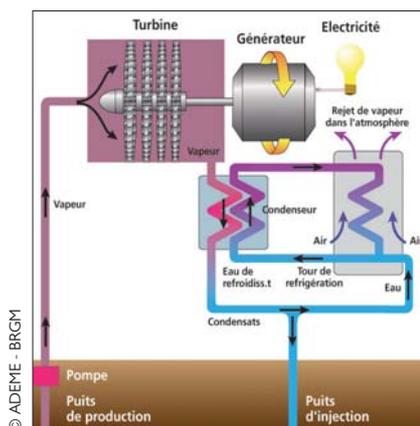
### La production d'électricité en zone volcanique

La production d'électricité géothermique est fondée sur l'exploitation, dans les régions de volcanisme actif, de gisements renfermant des ressources dont la température est comprise entre 100 et 350 °C. Sur ces sites, la vapeur produite en tête du forage alimente une turbine et un alternateur qui produit de l'électricité. Le fluide condensé est ensuite réinjecté dans le gisement afin d'en optimiser la durée d'exploitation.



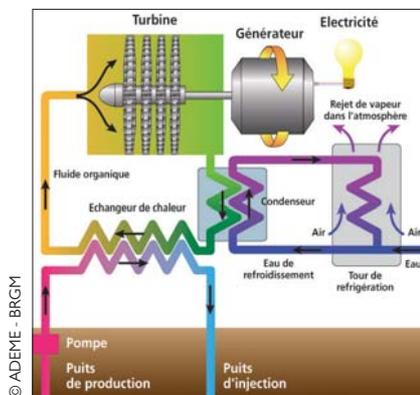
© ADEME - BRGM

**Centrale à échappement libre ou à contre-pression :** après séparation de la phase liquide, la vapeur obtenue est détendue dans une turbine et rejetée dans l'atmosphère.



© ADEME - BRGM

**Centrale à condensation :** la vapeur obtenue en tête du puits de production alimente la turbine. En sortie de turbine, elle est ensuite condensée.



© ADEME - BRGM

**Centrale géothermique à fluide binaire :** le fluide géothermal cède sa chaleur dans un échangeur à un fluide organique qui se vaporise à basse température et se détend dans la turbine.

### Centrale géothermique de Los Azufres II au Mexique – Alstom

Alstom est un leader mondial dans les infrastructures de production et de transmission d'électricité, ainsi que dans celles du transport ferroviaire. Pionnier de l'exploitation d'énergie géothermique, Alstom fournit l'ingénierie, l'équipement et la construction de solutions géothermiques, depuis la fourniture de turbines jusqu'à la construction et la maintenance de la centrale électrique. Le groupe a installé plus de 380 MW d'électricité géothermique dans le monde. Entre autres réalisations, on peut citer les centrales de Los Hornos (Mexique, 2009), Los Azufres (Mexique, 2000), Las tres virgenenes (Mexique, 1998), Lahendong (Indonésie, 1995), Bouillante (Antilles françaises, 1980) et Wairakei (Nouvelle Zélande, 1958). Commissionnée en 2000 par le gouvernement mexicain, la centrale géothermique de Los Azufres fournit l'une des sources d'énergie les plus rentables à l'heure actuelle au Mexique. À travers un projet clé en main, Alstom a assuré l'ensemble des services d'ingénierie, d'approvisionnement et de construction, et a fourni notamment la turbine à vapeur, ainsi que le système de contrôle commande des quatre unités de 25 MW. L'extraction de la vapeur est faite à travers un forage allant jusqu'au réservoir géothermique situé à une profondeur de 4 500 mètres. La centrale a débuté les opérations commerciales en 2003, l'ensemble des unités combinées alimente le réseau mexicain avec plus de 800 GWh d'électricité par an en électricité propre et fiable.

Centrale géothermique de Los Azufres au Mexique – Alstom.



© Alstom



## Projet de développement géothermique de la Dominique Groupe BRGM/CFG Services

L'île de la Dominique aux Antilles possède un potentiel géothermique important pour la production d'électricité, reconnu lors des premiers travaux d'exploration du champ de Wotten-Waven réalisés par le BRGM dans les années 1980.

Dans le cadre de projets financés entre 2005 et 2010 par l'Organisation des États Américains (Projet « Geo-Caraïbes ») et par l'Union Européenne (Projet « Géothermie Caraïbes », coordonné par la Région Guadeloupe), CFG Services et le BRGM, associés à l'ADEME, ont réalisé l'étude de préfaisabilité d'un projet de centrale géothermique d'une capacité de 120 MW visant à couvrir les besoins en électricité de la Dominique et à exporter les excédents vers la Guadeloupe et la Martinique via des câbles sous-marins.

L'étude incluait notamment des travaux d'exploration géologiques, géochimiques et géophysiques, l'élaboration d'un modèle préliminaire de champ et la sélection de sites favorables pour trois forages d'exploration, le design préliminaire des unités de production, une actualisation du bilan économique incluant le coût de l'interconnexion et une étude de préfaisabilité environnementale.

Ce projet offre des perspectives remarquables du point de vue environnemental ainsi que de larges possibilités de coopération régionale et de développement économique pour ces îles de la Caraïbe, d'autant plus que les trois forages d'exploration réalisés fin 2011 et début 2012 sous la conduite de l'AFD ont validé les travaux antérieurs et la présence d'une ressource haute température.

Un nouveau projet intitulé « **Géothermie Caraïbe – Phase 2** » porté par la Région Guadeloupe et l'ADEME et associant la région Martinique, le BRGM, l'AFD, la Caisse des Dépôts et Consignations et Électricité de Strasbourg, est actuellement en cours de lancement. Son ambition est de préparer à l'échelle de la Caraïbe – pour créer l'effet de masse nécessaire – un plan de développement de la géothermie.

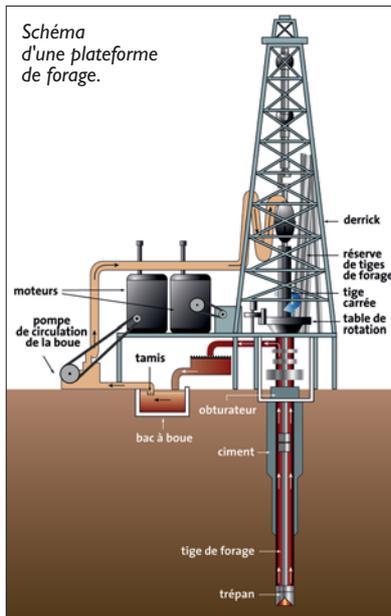


Schéma  
d'une plateforme  
de forage.

© ADEME - BRGM

On peut également produire de l'électricité avec des ressources dont la température est comprise entre 100 et 160 °C. Dans ce cas, le fluide géothermique transmet ses calories dans un échangeur à un liquide organique à bas point de vaporisation dont la vapeur actionne une turbine ; le liquide organique évolue en circuit fermé entre l'échangeur géothermique et un condenseur. Cette technologie est appelée technologie à fluide binaire ou ORC (pour Organic Rankine Cycle).

### Les étapes de développement d'un projet

La mise en œuvre d'un projet générique de développement d'une ressource géothermique pour la production d'électricité comprend les étapes suivantes :

- 1 - Reconnaissance préliminaire** : il s'agit, à partir de données géologiques, de sélectionner sur un territoire donné des zones favorables à l'existence de gisements géothermiques ;
- 2 - Réalisation d'études de préfaisabilité** : leur finalité est de mettre en évidence l'existence de gisements géothermiques dans les zones reconnues a priori comme favorables ;
- 3 - la réalisation de forages d'exploration** : les forages d'exploration ont pour objet de confirmer l'existence d'un réservoir

### Adapter les techniques pétrolières d'exploration les plus récentes à la géothermie haute énergie – Teranov

Depuis fin 2010, Teranov est engagé dans un programme de recherche opérationnelle consistant à adapter les techniques pétrolières d'exploration les plus récentes à la géothermie haute énergie. L'objectif est de proposer une offre de services pour des développeurs publics ou privés grâce à la mise au point d'un outil intégré permettant d'optimiser les coûts d'exploration et d'apprécier plus finement le risque financier associé. Cet outil devrait être mis à disposition dans un format et avec une précision équivalents à ceux des outils couramment utilisés par les investisseurs des mines et industries.

Pour mener à bien ce programme de recherche, Teranov travaille en étroite collaboration avec des sociétés de services parapétroliers les plus reconnues. Cette offre de service doit permettre à Teranov d'accéder aux marchés en plein développement de la géothermie haute énergie dans la zone caraïbe et en Amérique Latine.

géothermique et d'en apprécier les caractéristiques (profondeur, étendue, perméabilité, propriétés du fluide géothermique existant). Faute de résultats positifs, le projet peut être abandonné à ce stade ;

- 4 - l'exploitation du réservoir géothermique** avec la réalisation du projet de production d'électricité proprement dit (étude de faisabilité, réalisation de forages d'exploitation et construction des équipements de surface, dont la centrale).



### Expertise pour le projet « Joint Geophysical Imaging » de géothermie haute énergie au Kenya – CabENR

Parmi ses missions courantes, le Cabinet Alain Boisdet a réalisé une expertise du projet « Joint Geophysical Imaging » (JGI) au Kenya pour le compte du PNUE. JGI vise à accroître l'efficacité de la prospection géothermique, par une localisation optimisée des puits. Il est notamment utilisé au Kenya dans le cadre de l'augmentation de la puissance installée de 115 MW à plus de 1 000 MW d'ici 2020. Il constituera un procédé de référence pour les autres pays du programme ARGEO. JGI intègre une méthodologie novatrice d'imagerie 3D des données issues de différents capteurs géophysiques.

Alain Boisdet a procédé à une expertise technique et organisationnelle du projet pour en identifier les forces et les faiblesses et émettre des recommandations d'amélioration. Cette mission illustre l'expertise internationale reconnue du CabENR, fondée sur son excellente connaissance de la filière géothermique et la pertinence de ses analyses.

© CabENR



Centrale géothermique d'Olkaria 2 (Kenya).

### Projet pilote haute enthalpie en France métropolitaine – Fonroche Géothermie

Conscient des enjeux importants de la filière, la société Fonroche Géothermie travaille activement à la mise en place d'un projet pilote haute enthalpie sur la commune de Lons dans les Pyrénées Atlantiques. La technologie novatrice développée par le groupement d'entreprises expertes dans le domaine permettrait de mettre en valeur des gites géothermiques jusqu'alors inexploitable. Couplée à des systèmes thermodynamiques sur mesure, innovants et performants, une unité de cogénération géothermique permettra la production de 5,5 MW d'électricité et jusqu'à 20 MW de chaleur valorisés par des réseaux de distribution thermique, sous forme de vapeur, d'eau chaude et d'eau glacée, pour le chauffage et le refroidissement de bâtiments résidentiels et tertiaires situés à proximité de la centrale. Fonroche Géothermie investit significativement sur les impacts sociaux, sociétaux et environnementaux de son activité au travers notamment de larges campagnes de communication.

### Centrale géothermie de Bouillante en Guadeloupe – BRGM / EDF

Cette centrale, située aux Antilles, est la première capacité de production d'électricité géothermique conventionnelle en France. Constituée initialement d'une unité Bouillante 1 d'une puissance de 4 MW, mise en service par EDF dans les années 1980, elle a été complétée par une unité Bouillante 2 de 11 MW suite à la stimulation thermique d'un puits existant par le groupe BRGM en 1998 et au forage de trois nouveaux puits au début des années 2000.

La société Géothermie Bouillante, filiale des groupes BRGM et EDF, exploite la centrale et développe de nouveaux projets à l'échelle de la concession géothermique dont elle est titulaire. L'ingénierie et la maintenance de la boucle sous-sol est réalisée par CFG Services et la concession est le siège de travaux de R&D menés par le BRGM et l'Université Antilles-Guyane.

© Bernard Sanjuan – BRGM



Centrale géothermique de Bouillante, à Bouillante, en Guadeloupe.

## Une filière française dynamique

En France, les ressources pour produire de l'électricité géothermique (gisements de haute énergie) se situent dans les départements d'Outre-mer; en particulier dans les Antilles (Guadeloupe et Martinique) et dans l'Océan Indien (Île de la Réunion, Mayotte).

Site pionnier pour les Caraïbes, la centrale de Bouillante fournit ainsi 6 % de l'électricité consommée en Guadeloupe. Par ailleurs des programmes d'exploration de surface sont lancés en Martinique et sont en cours de montage pour la Réunion et la Guadeloupe. Ils s'accompagnent à chaque fois de la création d'un comité de pilotage associant l'ensemble des parties prenantes afin de prendre en compte les attentes de tous les acteurs.

De nombreuses entreprises françaises interviennent dans le domaine de la production d'électricité géothermique, des PME aux grands groupes. **Alstom** dispose ainsi de plusieurs références importantes à son actif, en Indonésie, au Mexique ou en Nouvelle Zélande notamment. **GDF-Suez** est impliqué dans le lancement de plusieurs centrales en Indonésie, via sa filiale **International Power**.

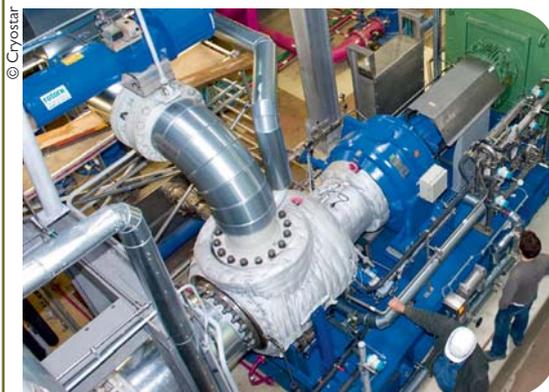
Des opérateurs pétroliers français et des ingénieries spécialisées disposent également des compétences permettant d'assurer la réalisation d'un projet, de l'étude de faisabilité à l'exploitation, en passant par la réalisation de forages complexes à grande profondeur. Ces entreprises sont fédérées au sein de l'AFPG, Association française des professionnels de la géothermie ([www.afpg.asso.fr](http://www.afpg.asso.fr)).

*Centrale géothermique de Lahendong (production d'électricité) en Indonésie CFG Services. Mise en service en 2001 puissance de 20 MW.*

## Fourniture d'équipements et ORC pour la géothermie haute énergie – Cryostar

Cryostar est une société internationale spécialisée dans la fabrication et la fourniture de turbomachines, pompes, turbines, compresseurs, turbocompresseurs, turbogénérateurs et de procédés, unités de vaporisation, unités de liquéfaction et ORC (Organic Rankine Cycle).

Depuis les années 2000, Cryostar a développé des solutions spécifiques à la géothermie haute énergie. Cryostar a fourni en 2007 les turbogénérateurs des centrales géothermiques de Soultz-sous-Forêts (France) – puissance 2,5 MW – et d'Unterhaching



*Géothermie Unterhaching GmbH & Co KG Turbogénérateur Cryostar de 3,7 MW.*

(Allemagne) – puissance 3,7 MW. Soultz-sous-Forêts est le projet EGS le plus avancé au monde et Unterhaching la seule centrale de géothermie de type Kalina opérationnelle. Plus récemment, Cryostar a été retenue pour la fourniture d'une centrale clé-en-main pour le site de Kirchweidach en Allemagne. L'ORC développé et défini par Cryostar est de type supercritique et est d'une puissance nominale de 8 MW. Il est en phase de construction et sera opérationnel dans le courant de l'année 2013. Il s'agira du premier projet commercial de type supercritique en Europe.



### Soultz-sous-Forêts : un site pilote de premier plan pour l'expérimentation de la technologie EGS

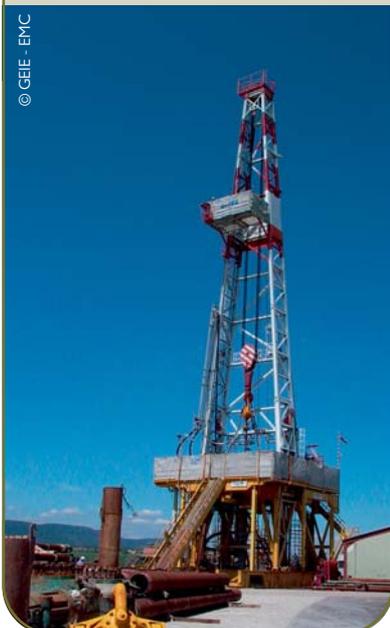
Le GEIE-EMC exploite un site en géothermie profonde de type EGS (Enhanced Geothermal System) situé dans le fossé rhénan à Soultz-sous-Forêts/Kutzenhausen. Il est géré par un groupement d'énergéticiens franco-allemands (ES, EDF, EnBW, Plafwerke, Steag, Bestec).

Le site est composé de 4 puits géothermiques de profondeurs comprises entre 3 600 et 5 000 m qui recoupent un granite fracturé. La centrale électrique de type ORC d'une puissance nette de 1,5 MWe est alimentée par un fluide géothermal (saumure – 100 g/L) à ~170 °C et ~40 l/s au global.

Le site dispose d'un encadrement scientifique (50 PhD, 235 publications, 700 conférences, 400 technical reports) et d'une infrastructure technique permettant de réaliser des tests/expérimentations dans les domaines des équipements de surface (pompes de production, échangeurs, dépôts, corrosion) et de la connaissance du sous-sol (modélisation de réservoir, traçage).

[www.geothermie-soultz.fr](http://www.geothermie-soultz.fr)

Rig de forage de Soultz – GEIE EMC.



## LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PAR LA TECHNOLOGIE EGS

**Plusieurs projets sont actuellement menés dans le monde pour développer des centrales géothermiques selon la technologie dite des Systèmes Géothermiques Stimulés (EGS – Enhanced Geothermal Systems), fondée sur la stimulation de roches chaudes naturellement fracturées.**

**La France, avec le pilote scientifique de Soultz-sous-Forêts, a été pionnière dans ce domaine.**

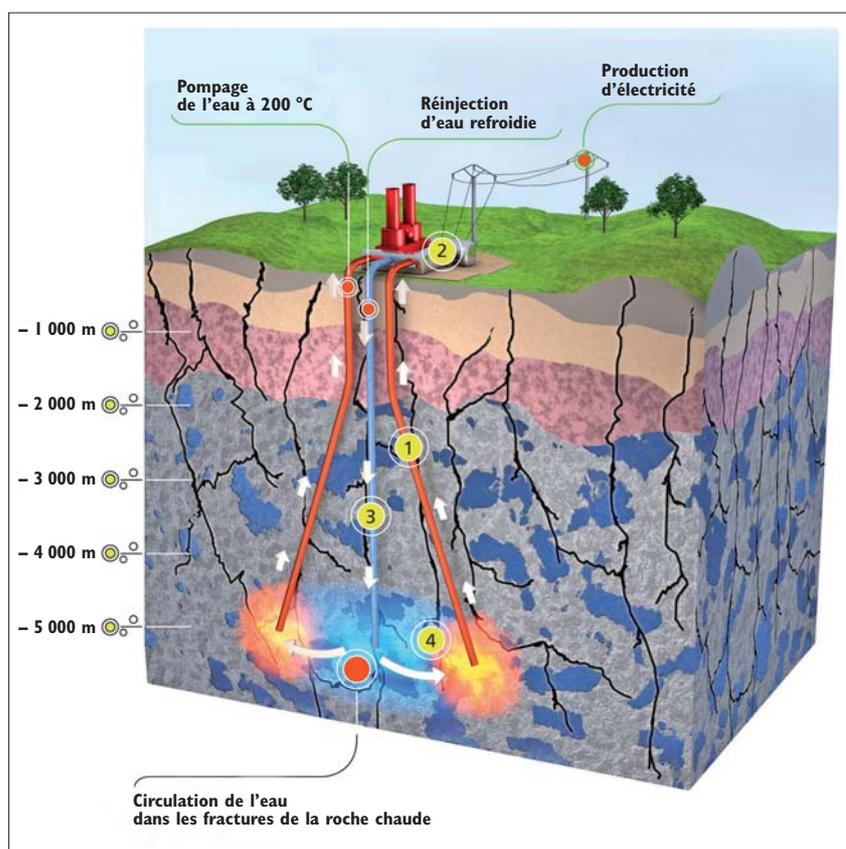
### Une technologie d'avant-garde

En géothermie classique, les opérations sont réalisées sur des réservoirs de forte perméabilité capables de fournir des débits élevés de production de fluide géothermique.

Les technologies de type EGS s'attachent à améliorer les performances hydrauliques d'un milieu plus ou moins fracturé (roches de socle ou roches sédimentaires de bassins compacts) possédant des caractéristiques de porosité et de perméabilité trop faibles pour être exploitables avec des méthodes traditionnelles.

L'extraction de chaleur dans ces formations devient donc possible à condition de stimuler (hydrauliquement ou chimiquement) ces milieux pour favoriser la circulation du fluide et les échanges thermiques.

Principe des systèmes EGS – Schéma de la centrale de Soultz-sous-Forêts.





Le Piton de la Fournaise en éruption.

Ces technologies permettent une exploitation plus complète des champs hydrothermaux classiques et la réalisation de productions géothermales en dehors de tout contexte volcanique. Les cibles potentielles, constituées de granites profonds sous une épaisse couverture sédimentaire, sont particulièrement nombreux sur les continents.

Le projet le plus avancé en matière de technologie EGS a démarré en 1987, en France, dans le cadre d'une collaboration franco allemande avec le support de l'Union européenne. Basé dans le département du Bas-Rhin à Sultz-sous-Forêts, ce projet a permis de franchir de nombreux obstacles permettant à terme, un déploiement à plus grande échelle de cette technologie.

### Études de pré-faisabilité sur la géothermie profonde en milieu fracturé – ES-Géothermie

Dans la continuité des innovations et projets pilotes menés en France sur la technologie EGS, la société **ES-Géothermie** a réalisé plusieurs études de pré-faisabilité dans la région Alsace sur la thématique des roches chaudes fracturées.

Menées pour le compte d'industriels (sucrierie Cristal Union d'Erstein, brasserie Kronenbourg d'Obernai) ou de collectivités (commune d'Illkirch-Graffenstaden, Wissembourg), ces études avaient pour objectif d'examiner dans quelle mesure et sous quelles conditions le potentiel géothermique profond susceptible d'être exploité en milieu fracturé serait économiquement exploitable.

### Le projet ECOGI : première exploitation géothermique industrielle d'un gisement en milieu fracturé – ES-Géothermie

ECOGI (Exploitation de la Chaleur d'Origine Géothermique pour l'Industrie) est une joint-venture associant le Groupe ES, Roquette Frères et la Caisse des Dépôts dans le projet de production d'énergie thermique par géothermie profonde pour alimenter le site industriel de Roquette situé à Beinheim.

Destinée à produire 24 MW thermiques sur les 90 MW consommés par le site de Roquette à partir de deux puits (2,5 à 3 km de profondeur), cette centrale constituera un projet ambitieux utilisant une énergie renouvelable pour alimenter le site industriel de Roquette situé à 15 km des puits, initiant ainsi une réponse durable et responsable aux besoins énergétiques des groupes industriels. ES-Géothermie s'inscrit en tant qu'assistant à maîtrise d'ouvrage dans ce projet.

© IPR/METL - MEDDE

Centrale de Sultz-sous-Forêts.



© GBE Exploitation minière de la chaleur

# L'aide et l'expertise française à l'international

**À travers des initiatives et instruments de financements dédiés, la France apporte à l'international un soutien à de nombreux projets de développement et de transferts de technologies dans le secteur des énergies renouvelables.**

## **Le fonds FASEP Études et FASEP Innovation Verte pour les pays émergents**

Le FASEP est un instrument de don pour le bénéficiaire local (gouvernement central, gouvernement provincial, municipalité, agence technique, etc.), d'un montant moyen d'environ 400 000 euros. Il permet le financement de prestations de services qui répondent à une demande du bénéficiaire local, et qui se situent en amont de projets de développement, susceptibles de faire appel au savoir-faire des entreprises françaises (ingénierie, équipementiers, exploitants), dont le financement est identifié (public ou privé, bilatéral ou multilatéral). Les énergies renouvelables font parties des secteurs concernés par le FASEP. Sont notamment soutenus les types d'intervention suivants : études de préparation de projets de construction et/ou d'exploitation d'infrastructures ; études de faisabilité, avant-projets sommaires, avant-projets détaillés, etc. ; assistance technique à la préparation ou à la réalisation de projets ; coopération institutionnelle à finalité économique.

Le FASEP « innovation verte » permet quant à lui de financer des projets pilotes de démonstration de technologie verte française et innovante dans les pays émergents.

## **La Réserve Pays Émergents (RPE)**

La RPE est un instrument de prêt intergouvernemental avec garantie souveraine, en vue de financer des projets (principalement d'infrastructures) répondant aux objectifs de développement du pays bénéficiaire. Le financement des projets est envisagé projet par projet et s'applique au financement essentiellement des biens et services français.

Les énergies renouvelables et les projets entrant dans les mécanismes prévus par le protocole de Kyoto font partie des priorités ciblées par la RPE. Le dispositif est limité à un certain nombre de pays et les conditions de financement sont encadrées par les règles de l'OCDE.

## **Les projets de l'Agence Française de Développement (AFD)**

Présente sur le terrain dans plus de 50 pays, l'AFD finance des projets de développement économique et social dans de nombreux pays en tant qu'opérateur pivot du dispositif français d'aide publique au développement. Grâce à une large gamme d'instruments financiers (prêts, subventions, garanties...) l'AFD soutient les pouvoirs publics, le secteur privé et les réseaux associatifs locaux pour la mise en œuvre de projets économiques et sociaux très divers.

L'AFD intervient également sur les thématiques de la protection de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. Les montants engagés par l'AFD en 2010 dans les pays en développement ont permis l'économie de quelques 5 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> (soit l'équivalent des émissions produites par 1,8 million de véhicules).

## **Les projets du Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM)**

Le FFEM est un fonds public bilatéral créé en 1994 par le Gouvernement français à la suite du Sommet de Rio. Instrument de la politique française de coopération et de développement, limité à un montant maximum de 50 % du montant total du projet.

Les cofinancements du FFEM ont pour objectif de soutenir les partenariats multi-acteurs et s'inscrivent dans les priorités stratégiques de l'aide française. Il a pour vocation de lier la protection de l'environnement mondial et le développement local via des projets de développement durable sur les thématiques suivantes : la biodiversité, la lutte contre le changement climatique, la gestion des eaux internationales, la lutte contre la dégradation des terres, le traitement des polluants organiques persistants...

## **Le programme France export : se développer sur les marchés export**

Avec ses partenaires de l'équipe de France de l'export, UBIFRANCE s'appuie sur son réseau d'experts Énergie – Environnement déployés dans 56 pays pour proposer aux entreprises françaises un programme d'actions ciblées sur les marchés à potentiel. Ce programme compte en 2012 une soixantaine d'actions en particulier sur les pays émergents. Ces actions vont de la participation à un salon professionnel à l'organisation de programmes de rendez-vous « B to B » sur mesure en passant par des colloques de promotion du savoir-faire français ou encore l'organisation de « Vendre à » avec les donneurs d'ordre étrangers.

UBIFRANCE propose par ailleurs une large gamme de services d'information, de conseil et de mise en relation avec les décideurs étrangers pour aider les entreprises françaises à percer sur les marchés export.



Turbine vapeur  
Centrale de Los Humeros (Mexique) – Alstom.

# Contacts

## INSTITUTIONS PUBLIQUES

### Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Prépare et met en œuvre la politique du Gouvernement dans les domaines du développement durable, de l'environnement, du climat et de l'énergie. Il est notamment responsable de la politique en matière d'énergies renouvelables et de la diminution de la consommation énergétique.

[www.developpement-durable.gouv.fr](http://www.developpement-durable.gouv.fr)

### ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie)

L'ADEME est le principal établissement public français pour la mise en œuvre des politiques publiques de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie. L'agence suscite, anime, coordonne, facilite ou réalise des opérations dans les domaines suivants : gestion des déchets, préservation des sols, efficacité énergétique et énergies renouvelables, qualité de l'air et lutte contre le bruit. L'agence met à disposition des entreprises, collectivités locales, pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Dans le domaine de la géothermie, l'ADEME joue un rôle important pour fédérer l'ensemble des acteurs français, définir et orienter les politiques de soutien et d'innovation (fonds chaleur renouvelable, feuille de route géothermie, AMI Géothermie, programmes de R&D...).

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

### Club ADEME International

Le Club ADEME International est un réseau composé d'une centaine d'éco-entreprises françaises innovantes et actives sur le marché mondial du développement durable. Le club accompagne ses adhérents dans le développement de projets innovants et de partenariats à l'international.

[www.clubinternational.ademe.fr](http://www.clubinternational.ademe.fr)

### Géothermie perspectives

L'ADEME, en partenariat avec le BRGM, a développé un site Internet dédié à la géothermie :

[www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr)

### AFD (Agence Française de Développement)

Opérateur pivot de l'aide publique au développement, l'AFD est un établissement public chargé du financement de projets de développement économique et social dans de nombreux pays en développement. L'AFD intervient dans le domaine de la géothermie dans plusieurs pays (Kenya, Indonésie, Dominique...).

[www.afd.fr](http://www.afd.fr)

### BRGM

Le BRGM est l'établissement public français de référence dans le domaine des applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol. Ses actions s'articulent autour de trois missions : recherche scientifique, appui aux politiques publiques et coopération internationale. La division géothermie du BRGM participe au développement et à la promotion de cette source d'énergie, en France et à l'international en partenariat avec l'ADEME. Les recherches du BRGM en la matière concernent toutes les formes de géothermie et sont définies selon les axes suivants : développer la connaissance de la ressource géothermale superficielle et profonde, optimiser ses modalités d'exploitation et intégrer la géothermie au bâtiment (pompes à chaleur, réseaux de chaleur).

[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

### UBIFRANCE et les Missions Économiques

UBIFRANCE, l'Agence française pour le développement international des entreprises, est un établissement public industriel et commercial placé sous la tutelle du ministre de l'Économie et des Finances, du ministre du Commerce Extérieur et de la direction générale du Trésor. Forte d'un réseau de 80 bureaux répartis dans 60 pays, elle propose une gamme complète de produits et de services d'accompagnement pour les entreprises françaises dans leur développement sur les marchés étrangers : des produits d'information, de conseil et de veille pour l'élaboration de leur stratégie de développement à l'international et des actions de promotion pour favoriser les partenariats avec les entreprises étrangères.

[www.ubifrance.com](http://www.ubifrance.com)

## INSTITUTIONS PRIVÉES

### AFPG - Association française des Professionnels de la géothermie

L'AFPG regroupe 85 adhérents représentatifs des différents métiers de l'énergie géothermique en France : foreurs, fabricants et installateurs de pompes à chaleur, turbineurs, gestionnaires de réseaux de chaleur, bureaux d'études, etc. Elle est organisée en 3 principales filières : haute énergie, usages directs de la chaleur et géothermie assistée par pompe à chaleur.

Ses missions concernent trois axes majeurs :

- représenter et fédérer les professionnels de la filière en France,
- informer les collectivités, les industriels et les particuliers des ressources et de la diversité de l'offre géothermique,
- accompagner les pouvoirs publics en matière de réglementation, de législation et de démarche qualité.

[www.afpg.asso.fr](http://www.afpg.asso.fr)

### SER (Syndicat des Énergies Renouvelables)

Créé en 1993, le Syndicat des énergies renouvelables est l'organisation industrielle française des énergies renouvelables et regroupe l'ensemble des secteurs : biomasse (France Biomasse Énergie), bois énergie, biocarburants, énergies marines, éolien, géothermie, hydroélectricité, pompes à chaleur, solaire photovoltaïque (SOLER), solaire thermique et thermodynamique.

Le SER a pour vocation de promouvoir les intérêts des industriels et des professionnels des énergies renouvelables auprès des pouvoirs publics, du Parlement et de toutes les instances en charge de l'énergie, de l'industrie, de l'emploi et de la recherche.

[www.enr.fr](http://www.enr.fr)

### PEXE

L'association des éco-entreprises de France vise la promotion et le développement international des éco-entreprises en renforçant leur compétitivité individuelle et collective.

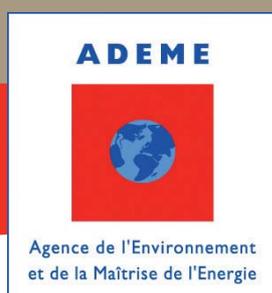
L'association fédère 40 réseaux d'éco-entreprises français, représentant quelque 5 000 éco-entreprises.

[www.pexe.fr](http://www.pexe.fr)

## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche.



En partenariat avec :



ADEME  
20, avenue du Grésillé  
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

