

CHIFFRES CLÉS

Site de géothermie profonde de Rittershoffen – Bas-Rhin (Grand Est).



Puissance installée fin 2016

17,2 MW

Production électrique en 2015

92 GWh

Objectif de la filière à 2018

8 MW

supplémentaires par rapport à la situation de 2015

53 MW

supplémentaires par rapport à la situation de 2015

Longtemps représenté par les deux seuls sites de Bouillante en Guadeloupe et de Soultz-sous-Forêts en Alsace, le paysage français de la géothermie électrique est en pleine évolution. Les essais des dernières années débouchent sur la création de nouvelles installations qui vont constituer la vitrine du savoir-faire français, dans une filière où le pays entend bien jouer un rôle international de premier plan.

89

FILIÈRE GÉOTHERMIE

Observ'ER

Le Baromètre 2016
des énergies renouvelables
électriques en France

DE NOUVEAUX HORIZONS POUR LA GÉOTHERMIE PROFONDE

La production d'électricité géothermique est une technologie mature qui se base sur l'exploitation de milieux fracturés à forte perméabilité, situés à plus de 1 000 m de profondeur, et dont la température varie entre 200 et 300 °C. Ce type de sites capables de fournir des débits de production de vapeur élevés est généralement localisé dans des zones volcaniques ou tectoniquement actives. Pour l'Europe, il s'agit principalement de la Toscane, de l'Islande, des Açores et de quelques îles grecques, auxquelles on peut ajouter des territoires d'outre-mer comme la Guadeloupe, la Martinique et la Réunion.

En France, la puissance installée à fin 2015 est de 17 MW. Réparti sur très peu de sites, ce chiffre a très peu évolué au cours des dernières années. Cependant, le pays a des ambitions pour la filière qui se sont exprimées dans la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) publiée fin octobre 2016. Le texte prévoit une hausse de la puissance installée de 8 MW d'ici fin 2018 et de 53 MW d'ici 2023 (en plus des 17 MW installés à fin 2015). L'objectif à 2018 devrait pouvoir être réalisé grâce au développement de l'unique centrale française de Bouillante en Guadeloupe et à l'optimisation du démonstrateur de Soultz-sous-Forêts en Alsace. Quant aux 53 MW supplémentaires prévus pour 2023, ils seront produits par des centrales situées principalement en Alsace, mais également par les premières centrales situées dans le Massif central, dans le couloir rhodanien et sur les contreforts du massif pyrénéen.

Les ambitions françaises ne se limitent pas au seul territoire national. Avec 12 GW de capacité de production électrique géothermique installée aujourd'hui dans le monde,

moins de 6 % du potentiel existant sont couverts. La marge de croissance est donc conséquente, et la France compte bien y prendre sa part. Dans les dix prochaines années, l'activité de la filière devrait doubler et générer un chiffre d'affaires potentiel de 3 à 4 milliards d'euros par an. L'objectif français est de se hisser aux premiers rangs et d'atteindre 10 % à 15 % de parts de marché.

BOUILLANTE PASSE SOUS PAVILLON AMÉRICAIN

En matière de production d'électricité géothermique française, les premiers forages ont été menés dans les années 70 sur le site de Bouillante en Guadeloupe. La centrale est basée sur un réservoir naturel d'eau très chaude (250 °C) enfoui à 1 000 mètres de profondeur dans la roche volcanique. Elle a longtemps été exploitée par Géothermie Bouillante, filiale du BRGM¹, sans cependant parvenir à l'équilibre économique, faute d'investissements suffisants. Depuis fin 2015, la société d'exploitation a vu l'arrivée d'un nouvel actionnaire majoritaire en la présence d'Ormat Technologies, développeur américain de projets géothermiques depuis 30 ans à travers le monde. Le nouvel acteur détient 60 % des parts du site, alors que le BRGM, actionnaire unique depuis le retrait d'EDF il y a quelques années, en conserve 20 % et la Caisse des dépôts, les 20 % restants. Ormat se dit prêt à mobiliser des moyens pour permettre à l'usine de valoriser enfin le potentiel énergétique local révélé dans les années 80. Cela implique l'investissement de 70 millions d'euros pour porter à 45 MW la capacité installée du site, contre 15 MW actuellement.

¹. Bureau de recherches géologiques et minières.

Aujourd'hui, faute de pression suffisante dans le réservoir géothermie, Bouillante ne tourne qu'à 10-11 MW de puissance effective. La première étape de son développement va donc être de rétablir la puissance initiale en réinjectant une plus grande partie des rejets de la centrale dans le réservoir géothermique, au lieu de les libérer en mer. Cela devrait être réalisé d'ici mi-2017. Actuellement, seuls 20 % de l'eau puisée dans le réservoir y sont réinjectés, et un travail de recherches cofinancé par le BRGM et l'Ademe doit déterminer les limites de faisabilité d'une augmentation de ces volumes. Point positif pour le compte d'exploitation du site, Bouillante va pouvoir bénéficier du coup de pouce tarifaire accordé par EDF et accepté par la Commission de régulation de l'énergie (CRE) au 1^{er} janvier 2016. Depuis cette date, le tarif d'achat de l'électricité se situe aux environs de 170 €/MWh, contre 135 €/MWh auparavant.

L'étape suivante, prévue pour 2020, doit permettre de porter la puissance électrique du site à 25 MW. Cela se fera grâce à un troisième forage de production, qui valorisera davantage le réservoir, et à une modification de l'alternateur pour optimiser la production d'électricité. Enfin, la troisième étape, à l'horizon 2021, va consister à exploiter un nouveau réservoir situé au nord de la baie de Bouillante pour porter à 45 MW la puissance installée.

L'ensemble de ces opérations s'inscrit dans un cadre plus large. Le conseil régional de Guadeloupe a voté en octobre 2015 une motion pour le développement de la géothermie en Guadeloupe et dans les Caraïbes, en vue d'atteindre un objectif de 20 % d'électricité issue de la géothermie à l'horizon 2020 (contre 6 % aujourd'hui grâce à Bouillante). Sa volonté est également de développer un centre d'excellence sur la filière, dont les missions et l'organisation

sont envisagées dans le cadre du projet Interreg Géothermie caraïbe phase 2, mené en partenariat avec l'Ademe.

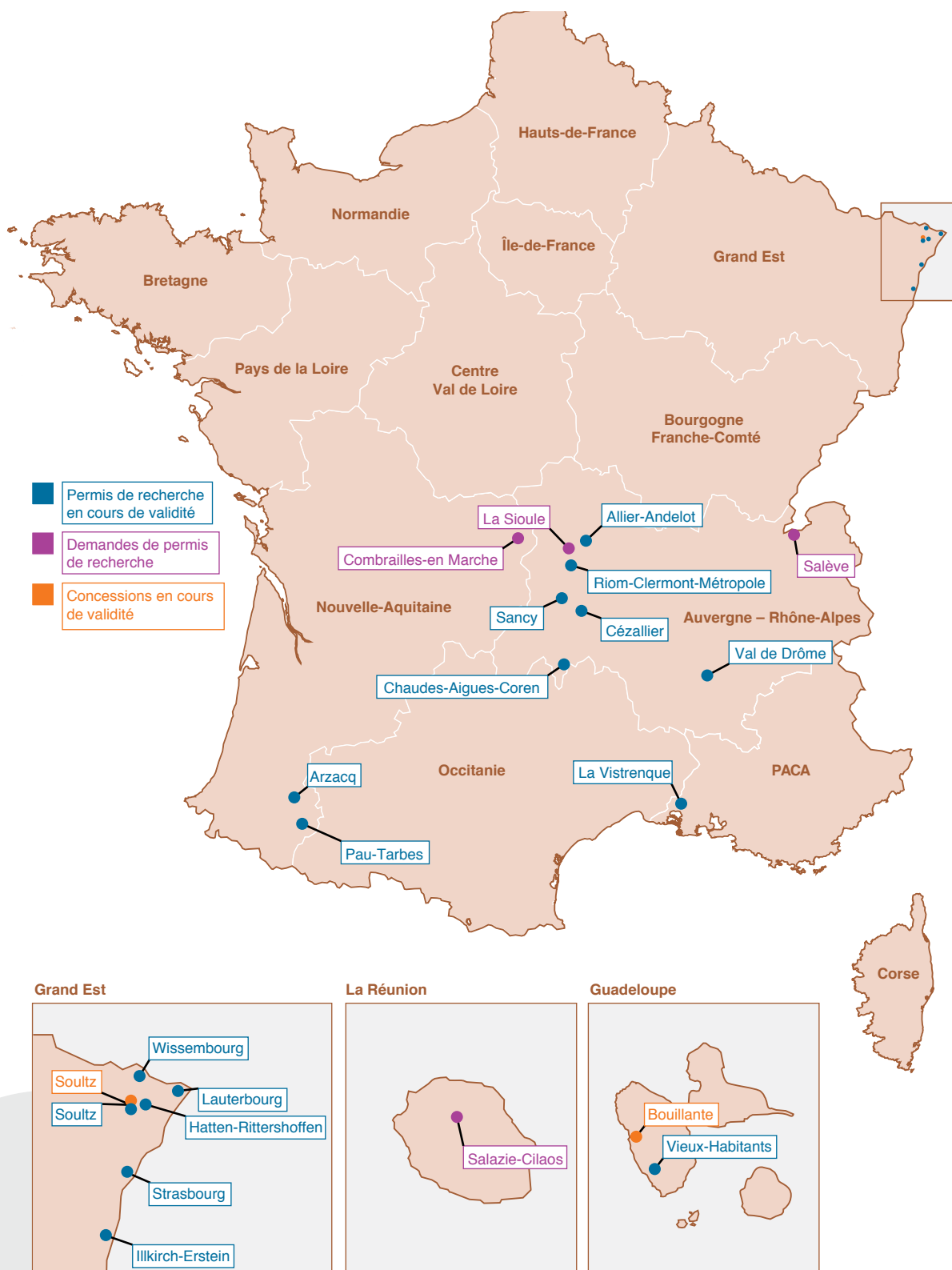
NOUVEAUX PROJETS DANS LES CARAÏBES

La géothermie dans les Caraïbes françaises ne se limite pas au seul site de Bouillante. Un peu plus au sud, sur la commune de Vieux-Habitants, la société guadeloupéenne Teranov a obtenu en mai 2016 un permis exclusif de recherche. Sur ce site sera construit le démonstrateur du projet Geotref, retenu dans le cadre des Investissements d'avenir, qui associe, autour de Teranov, trois PME et neuf laboratoires de recherche. Avec un budget de 43 M€, le projet doit permettre de modéliser les échanges thermiques et les écoulements dans les roches fracturées en capitalisant sur les travaux conduits dans le secteur pétrolier. Sur l'île de Saint-Kitts, au nord de la Guadeloupe, Teranov a par ailleurs conclu un partenariat public privé avec le fournisseur d'électricité local afin de réaliser une centrale. Les forages d'exploration sont prévus en 2017. Enfin, le BRGM a signé un partenariat avec la République dominicaine, via un financement de la Banque interaméricaine de développement (BID), pour une évaluation de la ressource. Il poursuit aussi ses travaux d'exploration à la Martinique avec des soutiens de l'Ademe et du conseil régional. En revanche, l'ambitieux programme envisagé sur l'île de la Dominique est au point mort. Sur ce territoire à la ressource géothermale abondante, l'objectif était d'aménager une première centrale électrique d'une dizaine de MW destinée au marché local, puis d'en développer plusieurs autres, pour une centaine

Carte n° 1

Carte des titres miniers de gîtes géothermiques à haute température

Source : Observ'ER d'après données DGEC



Cluster Geodeep, l'union fait la force

Dans sa volonté d'accroître son rôle dans le développement mondial du secteur de la géothermie, la France s'est dotée en 2014 d'un organisme représentant le fleuron de l'industrie nationale. Les acteurs de la filière, accompagnés de l'Ademe, de l'AFPG (Association française des professionnels de la géothermie) et du SER (Syndicat des énergies renouvelables), ont créé le cluster Geodeep, qui rassemble les principales entreprises pouvant intervenir à l'export sur des projets de production d'électricité géothermique (profil, expérience, références, marchés visés, besoins, etc.). Geodeep regroupe aujourd'hui 17 entreprises et ses objectifs sont de constituer un lieu d'échange, de fédérer les acteurs français dans leurs efforts à l'export et de représenter au mieux le savoir-faire national. Après avoir été présent à divers salons internationaux avec un "pavillon France", le cluster Geodeep a conclu un partenariat, en août 2015, avec son homologue islandais (Iceland Geothermal Cluster) pour répondre avec lui à des appels d'offres internationaux de centrales à forages profonds. La filière islandaise disposant d'une ingénierie renommée mais n'ayant pas d'industrie, la complémentarité était toute trouvée.

Parmi les régions ciblées par le cluster Geodeep, la première est le bassin pannonien (Europe de l'Est), dont les caractéristiques sont proches de celles du fossé rhénan. Dans les zones volcaniques, la France est déjà présente dans les Caraïbes et se positionne en Indonésie, dans le rift est-africain et dans la cordillère des Andes.

de MW, dont l'énergie aurait été dédiée à l'exportation par câbles sous-marins vers la Guadeloupe et la Martinique. Les abandons successifs des potentiels investisseurs qu'étaient EDF puis Engie ont stoppé toute poursuite du dossier.

GÉOTHERMIE DES ROCHES FISSURÉES : INNOVATION FRANÇAISE

L'autre site de production d'électricité géothermique français est celui de Soultz-sous-Forêts, dans le Bas-Rhin, initié en 1987. Là, un programme de recherche pionnier à l'échelle mondiale a démontré que la valorisation de la chaleur piégée dans des roches granitiques fissurées était aussi possible. Dans ce type de milieu, l'eau géothermale ne circule pas librement dans tout le réseau de failles que compose ce réservoir très particulier d'eau géothermale chaude.

Il faut donc, en fonction de la qualité de la connexion du puits au réservoir, rétablir sa circulation en libérant les failles de leurs dépôts minéraux (une sorte de détartrage). La méthode est aujourd'hui au point et son impact environnemental est négligeable. Le "détartrage" est réalisé en quelques jours, grâce à des injections à basse pression d'eau très légèrement acide, pour dissoudre les minéraux qui obstruent les failles et les faire revenir à leur état géologique initial. Cette technique n'a aucun impact sismique, contrairement à la fracturation hydraulique.

Un démonstrateur de 1,5 MWe relié à trois forages plongeant à 5 000 m (eau à 200 °C) a été mis en service en 2008 sous l'égide du groupement européen d'intérêt économique

Ecogi : vitrine de la géothermie des roches fissurées

Première mondiale à cette échelle, la centrale Ecogi a été inaugurée le 7 juin 2016 par Ségolène Royal. Cette centrale géothermique d'un nouveau genre a été construite à Rittershoffen conjointement par ÉS-Géothermie (Électricité de Strasbourg, filiale d'EDF) et la société Roquette frères, qui en utilise la chaleur. Sa particularité, unique au monde jusqu'à présent, est de puiser l'eau géothermale circulant dans les zones fissurées du granite et du grès, dont les failles ont été débarrassées de leurs sédiments pour booster la circulation de l'eau chaude. L'eau à 177 °C en fond de puits remonte ainsi dans un forage de production profond de 2 500 mètres ; puis elle cède ses calories via un échangeur de chaleur à l'eau d'une deuxième boucle. Cette eau propre est alors transportée par un réseau de chaleur sur 15 km jusqu'à l'usine Roquette. La perte de chaleur n'est que de 5 °C, grâce à l'utilisation de canalisations en double enveloppe avec une isolation par vide d'air. L'eau ressort de l'usine à 70 °C et parcourt les 15 autres kilomètres de la boucle reliant l'usine à la centrale géothermique. Elle se recharge en calories dans l'échangeur de chaleur en refroidissant l'eau géothermale, qui est alors réinjectée dans un second forage, dévié celui-ci pour s'éloigner du premier forage et ne pas refroidir le réservoir de production.

Cette centrale exemplaire aura demandé 11 ans pour aboutir, et un investissement de 55 M€ soutenu par l'Ademe (25 M€), qui a aussi apporté une aide de 5 M€ pour mettre à niveau la garantie du risque géologique. La Région Grand-Est est également intervenue, à hauteur de 2 M€, pour compléter cette garantie. La centrale est détenue par Roquette Frères (40 %), Électricité de Strasbourg (40 %) et la Caisse des dépôts (20 %). Avec Ecogi, la France dispose d'une superbe vitrine de son savoir-faire en géothermie profonde hors zone volcanique. L'objectif est de s'en servir comme effet de levier en France mais également à l'étranger (voir 3 questions à Jean-Jacques Graff, p. 97).

(GEIE) Exploitation minière de la chaleur. Cette structure se composait à l'origine de cinq partenaires industriels (EDF, Électricité de Strasbourg, les allemands EnBW, Evonik et Pfalzwerke), trois agences de financement publiques (Commission européenne, Ademe pour la France, BMU pour l'Allemagne), et huit partenaires scientifiques (dont le BRGM et le CNRS pour la France). Sa composition a évolué. Elle est aujourd'hui détenue par Électricité de Strasbourg (67 %) et EnBW (33 %).

Depuis son lancement, le site de Soultz a surtout été utilisé pour tester le compor-

tement des équipements de surface (résistance à la corrosion, colmatage, dépôts...), avant que son statut ne change en 2015, quand le GEIE a obtenu une "concession d'exploitation de gîtes" pour 25 ans, lui permettant d'élargir ses activités de recherche à l'ensemble de la chaîne de production (forage, pompage, production d'électricité...). Des travaux pourront être menés sur des activités complémentaires comme l'extraction du lithium de l'eau géothermale, présent à hauteur de 150 mg/l,

ou la valorisation de la basse température provenant de l'énergie fatale de la turbine ou de l'eau de réinjection. Après la mise en place d'une nouvelle pompe en matériaux plus résistants et d'un dispositif d'injection en continu d'inhibiteurs de dépôts, un nouveau cycle de production électrique a été lancé en juillet 2016. Le site a désormais une vocation industrielle, avec des objectifs précis de production d'énergie et de rentabilité. Par exemple, de 2015 à 2025, il s'est engagé à produire plus de 70 000 MWh/an de chaleur valorisés en 11 000 MWh/an d'électricité.

16 PERMIS EXCLUSIFS DE RECHERCHE

Les partenaires français du projet de Soultz n'ont cependant pas attendu cette nouvelle étape pour appliquer à une échelle industrielle les acquis scientifiques du pilote. Ainsi à Rittershoffen, la centrale géothermique Ecogi, financée par Électricité de Strasbourg, l'amidonnier Roquette Frères et la Caisse des dépôts, a été inaugurée fin 2016. L'eau, puisée à une profondeur de 2 500 mètres et à une température de 177 °C, transfère sa chaleur à une boucle d'eau propre, puis est transportée sur 15 kilomètres de réseau afin d'alimenter en vapeur l'usine Roquette de Beinheim (voir encadré p. 96). D'autres projets sont dans les starting-blocks. Au 1^{er} juillet 2016, on comptait en métropole et outre mer seize permis exclusifs de recherche attribués et quatre en procédure de demande (voir carte p. 94). Les plus avancés se situent dans le périmètre de l'Eurométropole de Strasbourg. Ils ont pour objectif d'alimenter en énergie verte les réseaux de chaleur de l'agglomération. Les besoins liés au développement des réseaux de chaleur y sont tellement forts qu'il y aurait de la place pour au moins quatre centrales géothermiques, ainsi

que pour des centrales valorisant d'autres EnR. À Vendenheim (zone du futur Ecoparc rhénan, au nord de Strasbourg), Fonroche prévoit le début des forages au printemps 2017. Ils iront à 4 000 mètres de profondeur, pour obtenir une eau à plus de 170 °C. La future centrale fonctionnera en cogénération, avec une capacité de 6 MW d'électricité et 20 MW thermiques. Selon un timing similaire, à Illkirch-Graffenstaden (sud de l'Eurométropole), Électricité de Strasbourg et sa filiale spécialisée ÉS-Géothermie réaliseront deux forages à 3 000 mètres pour obtenir cette fois une eau à 150 °C environ. La centrale fournira essentiellement de la chaleur (20 MWth) au réseau de transport de chaleur de l'agglomération.

8 CENTRALES GÉOTHERMIQUES EN ALSACE

Au second semestre 2017, c'est à Eckbolsheim (ouest de Strasbourg) que Fonroche réalisera les forages de la troisième centrale de l'agglomération de Strasbourg. Elle alimentera en direct le réseau de chaleur de Hautepierre. À la même échéance, Électricité de Strasbourg reviendra dans la région de Soultz-sous-Forêts pour forer à Wissembourg et construire une centrale en cogénération avec valorisation de la chaleur en agriculture. Puis, l'énergéticien strasbourgeois prévoit de forer plus à l'est, dans la zone de Lauterbourg. De son côté, Fonroche dispose d'un permis jusqu'à Haguenau, au nord de Strasbourg. En revanche, les deux permis de recherche qui avaient été attribués à Moore Géothermie ont été abandonnés, car l'industriel n'a pas réalisé les investissements prévus en exploration.

À l'horizon 2020, le Bas-Rhin devrait donc compter huit centrales géothermiques

profondes, pour une puissance totale de 20 à 30 MWe et 150 MWth en fonctionnement ou en construction (y compris le site de Soultz).

Dans les autres régions françaises, le projet le plus avancé est celui de Fonroche, à Valence (Drôme), dont les forages à 4 500 mètres démarreront fin 2017, pour alimenter une cogénération dont l'énergie thermique sera exploitée au sein du réseau de chaleur de la ville. Ensuite, l'entreprise compte forer du côté de Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme), où elle possède un permis avec Electerre de France. Enfin, le premier forage du projet de Pau (Pyrénées-Atlantiques) est prévu pour 2018. Retenu dans le cadre des Investissement d'avenir, ce projet nommé Fongeosec doit permettre d'améliorer les échanges de chaleur dans des roches sédimentaires non fracturées. Alors que les travaux scientifiques conduits à Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin) visaient à optimiser la circulation d'eau chaude dans les roches naturellement fissurées, le projet Fongeosec vise lui à améliorer les transferts de chaleur "à sec" dans les roches sédimentaires peu perméables (les plus fréquentes à la surface du globe). Fongeosec réunit de nombreux partenaires autour de Fonroche Géothermie (Enertime, Flodim, Enesol Géothermie, Operantis, Foragelec, Armines, l'Ensegid, le BRGM et le Latep). Cette opération de 82 M€ est soutenue à hauteur de 27 M€ dans le cadre des Investissements d'avenir.

Parmi ces projets, ceux qui produisent de l'électricité bénéficieront du complément de rémunération dont le mécanisme a été validé par Bruxelles le 12 décembre 2016. Le tarif spécifique réservé aux centrales géothermales de métropole sera en moyenne de 260 €/MWh sur 20 ans, un niveau suffisant pour sécuriser les premiers projets, mais qui baisserait avec la réduction future des coûts. De plus, pour faciliter la réalisation de ces opérations, un fonds de garantie sera mis en place mi-2017. Il est doté de 50 M€ : 50 % Ademe, 20 % Caisse des dépôts et 30 % associés de Geodeep SAS (Électricité de Strasbourg, Electerre, Fonroche). Il devrait conduire à l'émergence de 10 centrales à l'horizon 2025. ●

Quelques sites pour aller plus loin :

- ✓ Les pages dédiées à la filière sur le site de l'Ademe : www.ademe.fr
- ✓ www.geothermie-perspectives.fr
- ✓ www.geotref.org
- ✓ www.brgm.fr
- ✓ www.afpg.asso.fr
- ✓ www.geothermie-soultz.fr
- ✓ www.geodeep.fr
- ✓ www.es-geothermie.fr



3 QUESTIONS

de l'Observatoire
des énergies renouvelables



à **Jean-Jacques Graff**, directeur général d'ES-Géothermie et président de l'Association française des professionnels de la géothermie

1 L'année 2016 marque-t-elle un tournant pour la géothermie française ?

Oui, après une dizaine d'années de recherche et développement, la centrale de Rittershoffen, la première installation de géothermie EGS² dans un réservoir de roches granitiques fissurées, a été inaugurée par la ministre Ségolène Royal le 7 juin dernier. À Soultz-sous-Forêts, le démonstrateur qui a permis de mettre au point cette technologie est désormais passé à l'échelle industrielle. Nous avons fait visiter ces sites aux participants du Congrès européen de la géothermie en septembre dernier. Nous étions attendus au tournant par la communauté géothermique mondiale ! Mais le fait de montrer des choses concrètes change complètement la donne. La France était déjà reconnue pour son expertise sur la valorisation de la chaleur géothermale en direct dans les réseaux de chaleur (dans le Bassin parisien notamment), maintenant c'est aussi le cas pour les roches fissurées, qui sont les réservoirs les plus compliqués.

2 Quel est le potentiel en France pour cette nouvelle géothermie ?

En Alsace, deux projets de 20 MW thermiques chacun vont démarrer en 2017, un en cogénération, un en chaleur seule. Pour démarrer les forages, il ne leur manque que la notification européenne du nouveau complément de rémunération et la mise en place de la garantie du risque géologique, qui ne sauraient tarder. Ensuite, trois ou quatre projets devraient être mis en route dans les deux ou trois prochaines années. Au total, 15 permis ont été déposés en métropole : en Alsace, dans le Massif central, dans les Pyrénées et dans le couloir rhodanien. L'objectif est de fournir 50 MW électriques en 2023 et 300 MW en tenant compte de la chaleur (cogénération et chaleur seule).

3 Dans les Caraïbes, la France conserve-t-elle une position forte, malgré la prise de contrôle américaine de la centrale de Bouillante ?

Certes, l'américain Ormat est maintenant majoritaire dans Géothermie Bouillante. Mais les entreprises françaises réunies dans le cluster Geodeep ont, quant à elles, toujours des ambitions de développement dans les Caraïbes. Par exemple, Teranov dispose d'un permis de recherche à Vieux-Habitants (Guadeloupe), dans le cadre du programme de recherche Geotref, et elle dispose d'un projet à Saint-Kitts. Par ailleurs, la Région Guadeloupe, l'Ademe et le cluster Geodeep souhaitent développer un centre d'excellence sur la géothermie. Il fédérerait les différentes expertises françaises : EGS (avec le modèle de l'Alsace), géothermie en chaleur directe (Bassin parisien) et géothermie des zones volcaniques (Guadeloupe). ●

2. Enhanced geothermal system.