

CHIFFRES CLÉS

Puissance installée fin 2017

16,5 MW

Production électrique en 2016

84 GWh

Objectif de la filière à 2018

8 MW

supplémentaires par rapport
à la situation de 2015

Objectif de la filière à 2023

53 MW

supplémentaires par rapport
à la situation de 2015

*Chiffre d'affaires dans la filière à fin 2016
(toutes valorisations énergétiques)*

368

millions d'euros

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

David Queyrel

Pionnière de la géothermie profonde dans les roches granitiques fissurées (hors zones volcaniques), la France multiplie les projets en Alsace et prépare l'essaimage dans la vallée du Rhône et le Massif central. Même si l'essentiel du développement interviendra à l'export.

77

FILIÈRE GÉOTHERMIE

Observ'ER

Le Baromètre 2017
des énergies renouvelables
électriques en France

LA FILIÈRE ATTEND UN DISPOSITIF DE GARANTIE

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 sont généralement localisés 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 métropolitaine, plusieurs zones existent également : le bassin rhénan, la vallée du Rhône ou la vallée de la Limagne (Puy-de-Dôme). La vapeur d'eau puisée par forage est turbinée directement pour générer de l'électricité, puis réinjectée dans le réservoir naturel. Quand l'eau géothermale est trop agressive ou quand elle est inférieure à 200 °C, on passe par un fluide de travail organique qui sera chargé d'actionner la turbine.

Fin 2017, en France, la puissance installée reste à 16,5 MW répartis sur deux sites : la centrale de Bouillante en Guadeloupe (15 MW) et le démonstrateur de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin, 1,5 MW). En matière de développement de la filière, la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) prévoit une hausse de la puissance installée de 8 MW d'ici fin 2018 et de 53 MW d'ici 2023. L'objectif à fin 2018 devrait être réalisé grâce au développement annoncé de la centrale de Bouillante par son actionnaire majoritaire, l'américain Ormat. Quant aux 53 MW supplémentaires prévus pour 2023, ils devraient être atteints par les projets de centrales actuellement en développement qui se situent principalement dans le bassin rhénan, près de Strasbourg, mais

aussi dans le couloir rhodanien, les Pyrénées et le Massif central. Au 1^{er} juillet 2017, la métropole et l'outre-mer totalisaient ainsi 17 permis exclusifs de recherche attribués et trois en procédure de demande (voir carte n° 1). Cependant, le potentiel national reste modeste puisqu'il est évalué à 100 MW pour les vingt prochaines années.

Comme l'ensemble des filières renouvelables de production d'électricité, la géothermie émerge désormais au mécanisme de complément de rémunération. La grille des tarifs affiche un niveau moyen de 246 €/MWh en métropole et de 170 €/MWh dans les zones volcaniques depuis le 1^{er} janvier 2016. En parallèle, la filière a travaillé à la mise en place d'un dispositif de couverture du risque géologique comportant deux volets : un pour les projets en métropole et un autre pour les projets de production d'électricité en milieu volcanique pour les territoires ultramarins et pour l'export. Pour le premier volet, un fonds de garantie est en cours de notification auprès de l'Europe. Le budget devrait être de 30 millions d'euros apportés par les quatre actionnaires de la SAS constituée pour gérer le fonds (Caisse des Dépôts, Électricité de Strasbourg, Fonroche et Electerre de France) et par l'Ademe sous la forme d'avances remboursables (20 millions d'euros maximum). Pour le volet volcanique, les travaux ont pris un peu de retard mais le fonds devrait être opérationnel en 2018.

60 MW DE POTENTIEL EN GUADELOUPE

Dans les Caraïbes, les premiers forages ont été réalisés dans les années 1970 sur le site de Bouillante en Guadeloupe. Des quatre forages réalisés initialement, un seul s'est avéré exploitable. Le site a longtemps eu

le Bureau des recherches géologiques et minières (BRGM) comme société majoritaire puis actionnaire unique pour son exploitation. Cependant, l'organisme public n'étant pas voué à gérer commercialement un site de production, il a naturellement cédé 60 % de ses parts, fin 2015, à Ormat Technologies, développeur américain de projets géothermiques, et 20 % à la Caisse des dépôts. L'entreprise américaine a des ambitions pour le site de Bouillante. En effet, elle prévoit un investissement de 70 millions d'euros pour atteindre une capacité de 45 MW. Le site a déjà vu sa puissance étendue à 15 MW en 2017 contre 10 MW en 2015, grâce à la réinjection partielle des rejets de la centrale dans le réservoir géothermique et non dans la mer, comme c'était le cas auparavant. L'étape suivante, prévue pour 2020, doit permettre de porter la puissance électrique du site à 25 MW grâce à l'installation d'une nouvelle unité de production nécessitant la réalisation de forages supplémentaires. Enfin, la troisième étape va consister à exploiter un nouveau réservoir situé au nord de la baie de Bouillante pour porter à 45 MW la puissance installée à l'horizon 2021.

Plus au sud, sur la commune de Vieux-Habitants, un autre projet pourrait permettre d'augmenter de 15 MW supplémentaires la production d'électricité géothermique de l'île. La société guadeloupéenne Teranov dispose d'un permis exclusif de recherche et compte commencer les forages exploratoires en 2019 (la recherche d'investisseurs est en cours) pour une mise en service de la centrale d'ici à 2022. Le site accueillera 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. 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. L'objectif du conseil régional de Guadeloupe est également de développer un centre d'excellence sur la filière, dont les missions et l'organisation sont envisagées dans le cadre d'un projet Interreg Caraïbe, mené en partenariat avec l'Ademe.

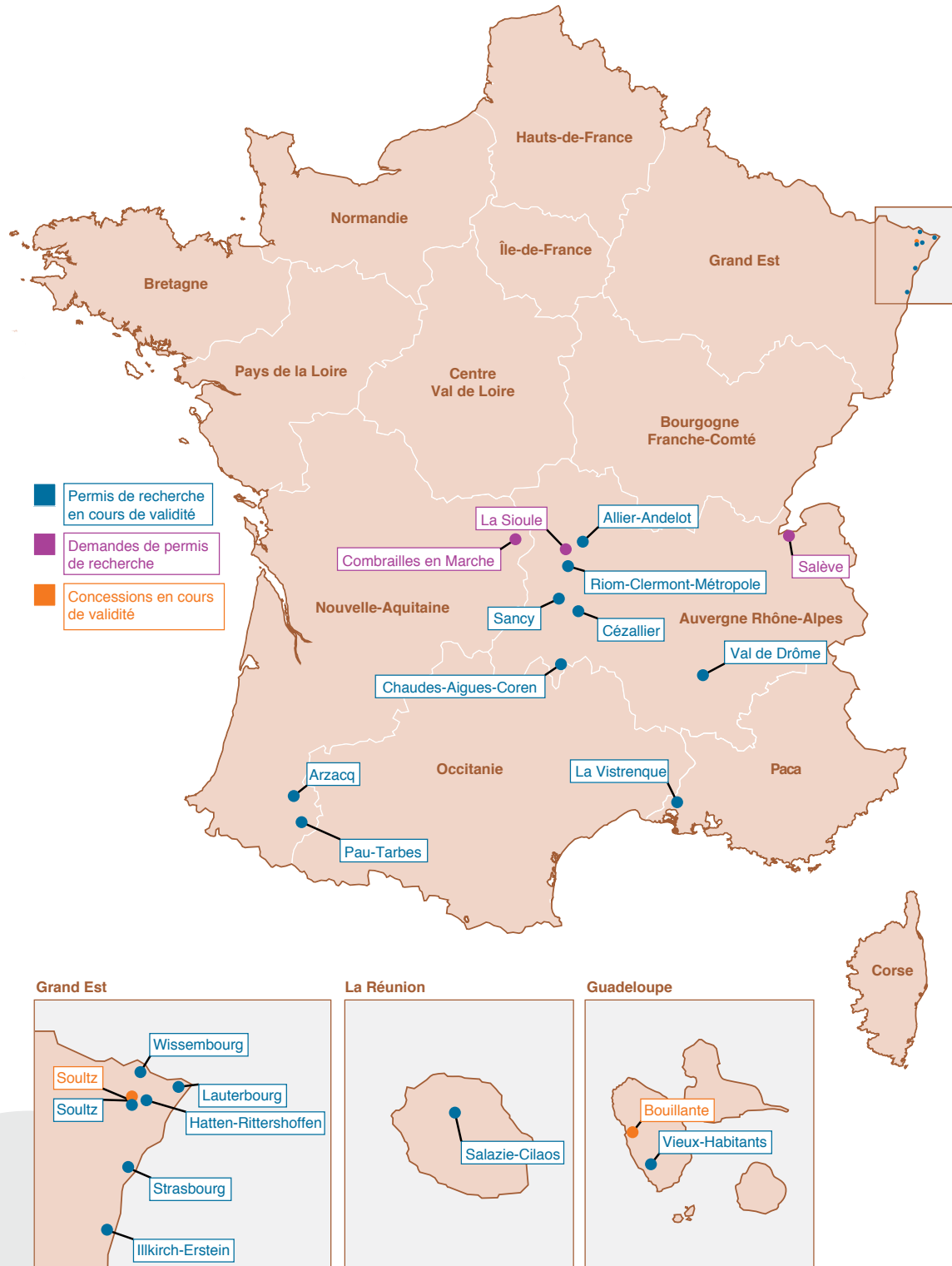
GÉOTHERMIE DES ROCHES FISSURÉES : ÉNERGIE ET LITHIUM

Le second site de production d'électricité géothermique français est celui de Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin), où 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 (géothermie de type EGS enhanced geothermal system). Dans ce type de milieu, l'eau géothermale ne circule pas librement dans tout le réseau de failles. 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 faible. Elle a été développée sur le site de Soultz-sous-Forêts avec un pilote scientifique qui a fait l'objet de travaux de recherche pendant une vingtaine d'années (de 1987 à 2007). Ce pilote a été converti en un démonstrateur de 1,5 MWe relié à trois forages plongeant à 5 000 m (eau à 200 °C) ; il a été mis en service en 2008 sous l'égide du groupement européen d'intérêt économique (GEIE) Exploitation minière de la chaleur, aujourd'hui détenu par Électricité de Strasbourg (67 %) et l'allemand EnBW (33 %). En 2015, différents travaux de modernisation des installations ont été réalisés pour améliorer la rentabilité

Carte n° 1

Carte des titres miniers de gîtes géothermiques à haute température

Source : Observ'ER d'après la DGEC



Cluster Geodeep, les premiers projets arrivent

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 son industrie en la matière. Les acteurs de la filière, accompagnés de l'Ademe, de l'Association française des professionnels de la géothermie (AFPG) et du Syndicat des énergies renouvelables (SER) 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 15 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.

Aujourd'hui, le cluster Geodeep commence à concrétiser ses premiers projets dans différentes zones ciblées. Ainsi, Engie est en train de construire une centrale de 80 MWe en Indonésie, qui entrera en fonctionnement en 2019. ES Géothermie travaille au développement de trois centrales sur le modèle d'Ecogi dans le nord de la Serbie, une région au profil géologique similaire à celui du bassin rhénan. Des projets sont à l'étude en Turquie pour EDF et ES Géothermie, ainsi qu'en Amérique du Sud pour CFG, Clemessy et Teranov.

de la production électrique. En 2018, le GEIE compte étudier, sur le site existant, l'extraction de lithium de l'eau géothermale, car elle en contient de fortes concentrations (150 à 200 mg/l). La valorisation de cet élément pourrait alors modifier radicalement le modèle économique de la géothermie EGS grâce à la vente de lithium pour le stockage d'électricité notamment.

L'objectif est désormais d'essayer ailleurs sur le territoire français les technologies développées depuis vingt-cinq ans sur le site alsacien. Une vingtaine de permis exclusifs de recherche ont ainsi été octroyés. L'objectif de ces permis est de constituer la première étape, celle des forages exploratoires, qui doit mener à terme à l'installation de futurs sites d'exploitation de production d'électricité et/ou de chaleur à partir de chaleur souterraine. Détentrice d'un de ces permis exclusif, Ecogi est la première centrale uti-

lisant la géothermie des roches fissurées à l'échelle industrielle. Elle se trouve à Ritterhoffen, à 7 km seulement de Soultz. Financée à hauteur de 55 millions d'euros par Électricité de Strasbourg (40 %), l'amidonnier Roquette Frères (40 %) et la Caisse des Dépôts (20 %), avec un soutien de l'Ademe et de la Région Grand-Est, elle fonctionne depuis la mi-2016. Grâce à un réseau de chaleur de 15 km, la chaleur issue de l'eau géothermale (à plus de 170 °C) puisée à 2 500 mètres de profondeur est acheminée à l'usine Roquette pour alimenter son process en vapeur (24 MW thermiques). Régulièrement visitée par des opérateurs étrangers, Ecogi constitue une vitrine du savoir-faire de la filière de la géothermie profonde hors zone volcanique pour réaliser d'autres centrales (chaleur seule ou cogénération) en France ou à l'étranger.

Fongosec : vers une géothermie profonde des roches sèches

Retenu dans le cadre des Investissements d'avenir, le projet Fongosec doit permettre d'améliorer les échanges de chaleur dans des roches sédimentaires non fracturées. À la différence des travaux conduits à Soultz-sous-Forêts (Bas-Rhin), qui visaient à optimiser la circulation d'eau chaude dans les roches naturellement fissurées, le projet Fongosec vise à améliorer les transferts de chaleur "à sec" dans les roches sédimentaires peu perméables (les plus fréquentes à la surface du globe). Fongosec 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 millions d'euros est soutenue à hauteur de 27 millions d'euros dans le cadre des Investissements d'avenir.

6 CENTRALES AUTOUR DE STRASBOURG EN 2020

Deux projets situés dans l'Eurométropole de Strasbourg sont en phase de construction. Ils bénéficient chacun d'une avance remboursable de l'Ademe de 5 millions d'euros car le fonds de garantie du risque géothermique n'est pas encore opérationnel. À Vendenheim (zone du futur Ecoparc rhénan, au nord de Strasbourg), Fonroche termine le premier forage d'exploration (5 000 mètres). Si les tests de quantification de la ressource sont concluants, le second forage sera réalisé au premier trimestre 2018. La mise en route de la centrale de 6 MWe de capacité aurait lieu début 2019. Dans un premier temps, la valorisation énergétique sera seulement électrique, mais l'alimentation du grand réseau de chaleur du nord de l'Eurométropole (2022) ou le chauffage de serres pourrait intervenir par la suite.

Au sud de l'Eurométropole, à Illkirch-Graffenstaden, Électricité de Strasbourg et sa filiale spécialisée ES-Géothermie réaliseront un premier forage d'exploration en mars-avril 2018 (3 000 mètres). À compter de 2020, la centrale fournira de la chaleur (20 MWth) au réseau de transport de chaleur de l'agglomé-

ration. Au second semestre 2018, Fonroche réalisera les forages de ses deuxième et troisième centrales. Celle d'Eckbolsheim (6 MWe et 20 MWth) alimentera le réseau de chaleur de Haute-pierre. Celle de Hurtigheim (mêmes puissances) pourrait fournir de la chaleur à des projets agricoles. À Haguenau, Fonroche va attendre 2019 avant de commencer la prospection. De même, Électricité de Strasbourg, qui dispose de deux autres permis de recherche exclusifs à Wissembourg et Lauterbourg préfère étudier encore la zone avant de forer.

À l'horizon 2020, le Bas-Rhin devrait donc compter six centrales géothermiques profondes, pour une puissance totale d'environ 20 MWe et 100 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 5 000 mètres démarreront en avril 2018, pour faire tourner une cogénération (5 MWe) dont l'énergie thermique alimentera le réseau de chaleur de la ville. Puis, en 2020, l'entreprise compte forer à Riom (Puy-de-Dôme), où elle possède un permis avec Electerre de France, ainsi qu'à Pau (Pyrénées-Atlantiques). ●



3 QUESTIONS

de l'Observatoire
des énergies renouvelables



à **Jean-Philippe Soulé**, directeur général de Fonroche Géothermie

1 Alors que vous réalisez les forages de votre première centrale, quel est votre programme de développement sur la géothermie profonde ?

Notre stratégie prévoit de construire une centrale tous les ans pendant dix ans. Cela signifie 10 centrales à 70 millions d'euros, soit un investissement de 700 millions d'euros jusqu'en 2027-2030 ! Nous engageons d'abord nos fonds propres et, progressivement, nous comptons sur les revenus des centrales existantes et sur le refinancement par des partenaires bancaires pour investir dans les suivantes. Nous avons débuté les forages à Vendenheim (Bas-Rhin) avec un an de retard en raison de la complexité de ce type de projets, mais maintenant le développement est enclenché.

2 Pourquoi avez-vous choisi la France métropolitaine pour construire vos centrales et non les zones volcaniques comme les Caraïbes ?

Nous avons opté pour les plateaux continentaux, et non pour les îles volcaniques, car c'est là que se trouve la plus forte demande énergétique et donc le plus

fort potentiel de développement. Nous commençons par réaliser des centrales en France qui nous serviront de vitrines reproductibles en Europe dans des régions géologiquement similaires.

3 Où en est le projet Fongosec, près de Pau, qui vise à améliorer les échanges de chaleur dans les roches non fissurées ?

Ce projet de recherche retenu dans le cadre des Investissements d'avenir est conduit par un consortium² que nous coordonnons. Le travail de recherche est beaucoup plus lourd car les débits d'eau au sein de ce type de roches sont bien plus faibles que dans les roches granitiques des bassins rhénan ou rhodanien. Nous terminons actuellement l'interprétation de l'étude géologique réalisée en 2016 afin de caler le modèle de fonctionnement du réservoir. Pour réaliser ces modélisations complexes, nous travaillons avec les universités de Bordeaux et de Pau, avec le BRGM ainsi que Mines Paris Tech. Les forages sont envisagés pour 2019 ; ils iront au-delà des 5 000 mètres nécessaires en Alsace ou dans la vallée du Rhône. ●

2. Enertime, Flodim, Enesol Géothermie, Operantis, Foragelec, Armines, l'Ensegid, le BRGM et le Latep.

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