

ADEME RECHERCHE

#39 JUIN 2022



SOMMAIRE

EXPOSÉ

La Recherche,
une composante
indispensable
au développement
de la géothermie

2

RÉSULTATS SIGNIFICATIFS

Transposer
les technologies
pétrolières vers
la géothermie

3

RENCONTRE

Structurer la filière
est aujourd'hui
une priorité

5



L'ÉDITO

Fabrice Boissier

Directeur général délégué

Depuis les premiers pas de la géothermie en France, dans les années 1980, la R-D a été un facteur de développement essentiel, pour identifier les ressources, mieux les exploiter, mettre en œuvre des solutions techniques performantes ou innover avec de nouvelles formes de géothermie.

Aujourd'hui, pour répondre à l'urgence climatique, il faut développer toutes les énergies renouvelables, au maximum de leur potentiel. Or la géothermie reste encore faiblement mobilisée. Il est urgent de lever les freins, par le transfert de technologies pétrolières par exemple, mais aussi par une meilleure connaissance et maîtrise du sous-sol qui offrent des

« Une meilleure connaissance et maîtrise du sous-sol offrent des perspectives de progrès. »

perspectives encore insoupçonnées. Si très tôt la R-D a mis sur le partenariat entre acteurs, il est indispensable de travailler à l'amélioration de l'organisation de la filière pour rendre les collaborations encore plus efficaces. C'est l'une des missions que l'ADEME s'est assignées en lançant cette année des travaux pour mettre en place une feuille de route géothermie très opérationnelle.

Les Journées de la géothermie des 9 et 10 juin organisées par l'AFPG à Aix-les-Bains seront ainsi l'occasion d'évoquer ces travaux, mais surtout de mettre en avant la filière française et en particulier la contribution de la R-D à sa promotion. •

LA R-D, INDISPENSABLE AU DÉVELOPPEMENT DE LA GÉOTHERMIE

Avec une approche innovante en matière de collaborations et de programmes, la recherche a été déterminante pour l'essor de la géothermie. La transition écologique lui offre aujourd'hui de nouvelles perspectives.

Au début des années 1980, les pouvoirs publics décident de soutenir massivement le développement de la géothermie profonde. La géothermie se développe ainsi principalement en régions parisienne et aquitaine. Près d'une centaine d'opérations de chauffage de logements via des réseaux de chaleur seront réalisées entre 1980 et 1986. Un accord-cadre, entre l'AFME (l'agence ayant précédé l'ADEME) et le BRGM se traduit en 1983 par la création à Orléans de l'Institut mixte de recherche en géothermie (IMRG), sur le site du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), avec une trentaine de chercheurs. Cet institut va jouer un rôle déterminant pour la pérennité de la filière géothermie. En effet, la plupart des opérations réalisées dans le Bassin parisien commencent à connaître, dès 1985, de sérieux problèmes de corrosion liés à l'agressivité du fluide géothermique exploité. Les recherches menées par l'IMRG vont permettre de concevoir des solutions techniques pour y remédier. Deux tiers des opérations seront ainsi sauvées grâce à la mise en place de dispositifs de prévention contre la corrosion ; ce qui permettra leur maintien en fonctionnement pendant plus d'une vingtaine d'années supplémentaires. Aujourd'hui, toutes ces anciennes opérations ont été réhabilitées et vont ainsi pouvoir être exploitées pendant encore une quarantaine d'années. Dans le même temps, de nouvelles opérations ont été réalisées, capitalisant tout le savoir-faire acquis. Sans la R-D, la géothermie profonde telle qu'elle existe aujourd'hui en France – la région parisienne est la région au monde qui présente la plus grande densité d'installations en fonctionnement – ne serait pas ce qu'elle est.

LE PROGRAMME EUROPÉEN DE GÉOTHERMIE PROFONDE : UN PROJET EXEMPLAIRE

L'activité de recherche en géothermie en France a permis également de développer de nouveaux concepts partagés au niveau international, notamment dans le domaine de la géothermie très profonde. En 1982, le projet de recherche ENERGEROC, s'inspirant des recherches menées par les Américains sur le site de Los Alamos au Nouveau-Mexique, consiste à montrer qu'on peut extraire cette énergie du sous-sol, n'importe où. Cependant, face à l'importance des dépenses à engager, le ministère de la Recherche propose en 1984 une alternative en demandant à l'AFME de conduire avec le BRGM un programme de recherche plus réduit dénommé GEOPROGE (pour Géothermie profonde généralisée), avec des expérimentations à réaliser dans le Massif central, pour mieux appréhender les problématiques posées. L'intérêt des premiers résultats amène la France à se rapprocher de l'Allemagne, également engagée sur ce type de recherches, pour mutualiser

les moyens nécessaires. Ainsi naît en 1987 le site d'expérimentation unique à Soultz-sous-Forêts, en Alsace du Nord. Le projet va devenir, à partir de 1989, le programme européen de géothermie profonde, financé à parité par la France, l'Allemagne et l'Europe et pour partie par les industriels. Il va durer vingt-cinq ans. Il mobilisera la communauté scientifique française et internationale ainsi que les industriels, préfigurant ainsi un mode de recherche collaborative original.

LA RECHERCHE EN GÉOTHERMIE AU SERVICE DES TERRITOIRES

Dans les DROM insulaires, la majeure partie de l'approvisionnement en électricité est réalisée par des centrales thermiques diesel. Le développement des énergies renouvelables en substitution à cette énergie fossile est donc un double enjeu, économique et environnemental. Parmi les énergies renouvelables, la géothermie est la seule qui peut, par sa disponibilité permanente, contribuer comme énergie de base au réseau électrique. Par ailleurs, le contexte volcanique de ces îles en fait une énergie adaptée, dont les coûts de revient sont compétitifs par rapport à ceux des énergies fossiles.

Une seule centrale est actuellement en fonctionnement, celle de Bouillante, en Guadeloupe. D'une puissance totale de 15 MW, elle assure 7 % de la production d'électricité de l'île. Grâce aux recherches menées pendant les années 2000 pour mieux comprendre le fonctionnement du réservoir géothermique exploité, le site, avec de nouveaux projets de centrales, pourrait fournir 20 à 30 % de l'électricité produite en Guadeloupe à l'horizon de dix ans.

LES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES POUR MIEUX APPRÉHENDER LE SOUS-SOL

En matière d'énergies renouvelables, l'intégration environnementale et sociale réussie des projets est un enjeu essentiel. La géothermie n'échappe pas à cette problématique, cela d'autant plus que le sous-sol dont elle exploite les ressources est un domaine largement méconnu du grand public. Cette méconnaissance peut constituer un obstacle au développement des projets. Le projet de R-D, GEFISS, cofinancé par l'ANR et l'ADEME, a pour ambition de lever ce frein. Rassemblant une équipe pluridisciplinaire composée d'experts en sciences humaines et sociales, en sciences de la terre, de spécialistes de la concertation, ainsi que de représentants de l'industrie, sa finalité est de proposer un ensemble de méthodes visant à favoriser l'engagement des parties prenantes, notamment les populations, dans un dialogue constructif autour de la réalisation des projets exploitant le sous-sol à des fins énergétiques (géothermie, stockage d'énergie, stockage du CO₂...) •

TRANSPOSER LES TECHNOLOGIES PÉTROLIÈRES VERS LA GÉOTHERMIE

Pour remplir pleinement son rôle dans la transition écologique, la géothermie peut bénéficier des transferts de technologies issues des secteurs pétrolier et parapétrolier.

Le principal écueil au développement de la géothermie réside dans l'identification, la caractérisation et la gestion des ressources géothermales. Une opportunité pour cette filière est de pouvoir bénéficier des savoir-faire acquis et des connaissances de pointe développées par le monde pétrolier depuis de très nombreuses années, notamment en matière d'exploration, d'instrumentation, de modélisation ou de forages. Les filières du sous-sol profond, c'est-à-dire l'exploration et la production pétrolière et gazière (E&P), le stockage géologique d'hydrocarbures, le stockage géologique de CO₂ et la géothermie profonde, regroupent plus de 66 000 salariés en France pour un chiffre d'affaires d'environ 36 milliards d'euros. Soumises aux mêmes types d'aléas géologiques et techniques, ces filières reposent sur des compétences et des technologies largement communes, mais disposent de degrés de maturité différents. Faciliter les transferts de technologies et de compétences des filières les plus matures vers les filières les plus jeunes (géothermie, stockage de CO₂) peut permettre d'accélérer le développement de ces dernières et apporter de nouvelles perspectives aux nombreux industriels français historiquement positionnés sur la filière pétrole et gaz. En géothermie, ces transferts sont aujourd'hui une réalité, ainsi que le montrent les projets de R-D présentés ci-après.

PRÉSERVER L'INTÉGRITÉ DES PUIITS GÉOTHERMIQUES CONTRE LA CORROSION

L'utilisation de matériaux composites pour le tubage des puits est une solution, bien développée dans le monde pétrolier et de plus en plus envisagée par les maîtres d'œuvre de géothermie. Ces matériaux offrent en effet une protection contre la corrosion bien supérieure à l'acier utilisé traditionnellement.

Le recours à cette solution a été proposé en 2015 par la société CFG Services pour le rechemisage des puits des opérations géothermiques de Chevilly-Larue et L'Haÿles-Roses. Mise en œuvre avec succès avec des tubes en fibre de verre, elle a permis de garantir le maintien durable d'un débit d'exploitation compatible avec les besoins importants du réseau de chaleur et de préserver pour les quinze à vingt ans à venir, l'intégrité des ouvrages. Cette opération a été renouvelée sur un nouveau puits géothermique réalisé à Bonneuil-sur-Marne en 2018.

LES FORAGES SUB-HORIZONTAUX OU LES FORAGES MULTI-DRAINS

À Cachan, la réalisation en 2017 par Dalkia du doublet avec forages sub-horizontaux – un chantier inédit pour

la géothermie – a permis d'augmenter la production du doublet jusqu'à 450 m³/h, soit une progression d'environ 50 % par rapport aux derniers doublets géothermiques réalisés classiquement en région parisienne. Cette augmentation de débit a été rendue possible grâce à une architecture innovante des puits, forés avec une déviation de 90°, au lieu des 40° traditionnels, améliorant ainsi les surfaces de drainage dans l'aquifère traversé et avec pour résultat une augmentation significative du débit et du potentiel de chaleur valorisable.

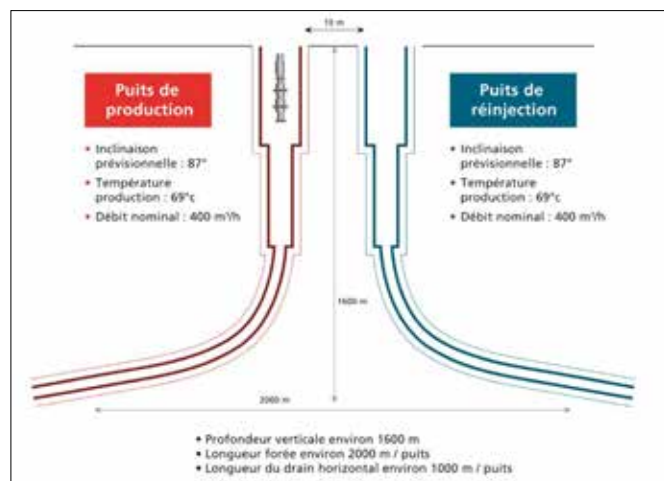


Schéma de principe du forage sub-horizontale de Cachan (Dalkia).

Plus récemment, en 2020, ENGIE Solutions a réalisé avec succès, sur l'un des puits du nouveau doublet de Vélizy-Villacoublay, un forage multi-drains composé de trois drains. Le forage traverse ainsi trois fois les niveaux producteurs et maximise de ce fait le volume de réservoir drainé naturellement. Les résultats attendus ont été largement confirmés puisque cette solution, bien développée dans le milieu pétrolier, a permis de porter le débit exploitable à 400 m³/h, soit 30 % de plus que le débit d'un doublet standard, avec un surcoût de 15 %. Ces différents projets ont bénéficié d'un financement du Fonds chaleur renouvelable.

MIEUX ESTIMER LES GISEMENTS EXPLOITABLES

En 2014, le projet GEOTREF, soumis à l'AMI Géothermie de l'ADEME, a été retenu pour un financement au titre des Investissements d'avenir. GEOTREF avait pour lieu de réalisation le sud de l'île de Basse-Terre, en Guadeloupe, et comme objectif celui de relever plusieurs défis,



ZOOM SUR ...

Une voie nouvelle pour la géothermie : l'extraction de lithium

Le sous-sol reste encore très méconnu et loin d'être maîtrisé. La R-D peut jouer un rôle essentiel pour ouvrir en géothermie de nouvelles perspectives et opportunités. À titre d'exemple, les forages géothermiques réalisés en Alsace ont permis de montrer que les eaux collectées y étaient riches en éléments susceptibles d'être valorisés, comme le lithium. Un objectif serait de créer, à moyen terme, une filière française de production de lithium issue de la géothermie. À cette fin, plusieurs projets de R-D sont actuellement en cours en France dans la perspective d'extraire commercialement ce composant essentiel des batteries, et dans des conditions d'extraction bien plus respectueuses de l'environnement que les techniques classiquement utilisées ailleurs dans le monde (exploitation des salars sud-américains ou exploitation minière).

en particulier celui de développer des compétences et des synergies sur tous les aspects méthodologiques de la modélisation de réservoir, en s'appuyant sur des méthodes et des outils appliqués couramment dans le domaine de l'exploration pétrolière et en les adaptant à la géothermie.

Le projet, qui a impliqué neuf laboratoires français à la pointe dans leur domaine et deux entreprises privées, a été conduit à son terme avec succès. À la suite des travaux menés un projet de centrale de production d'électricité géothermique est en cours d'étude sur la zone d'investigation de GEOTREF.

OPTER POUR LA GÉOTHERMIE DE SURFACE

Le projet Geotertiaire associe l'IFP Énergies nouvelles (IFPEN), Sorbonne Université, l'université Paris-Dauphine et Geosophy, une start-up de Schlumberger créée par

Alice Chougnat. La création en tant que telle de cette start-up témoigne de la motivation de sa dirigeante, après un début de carrière dans l'industrie pétrolière, de passer à la géothermie. Le projet, financé par l'ADEME, vise à développer un outil d'aide à la décision destiné aux entreprises foncières ou aux gestionnaires de parcs immobiliers. Il permettra d'évaluer le potentiel de valorisation immobilière du sous-sol pour le chauffage et le refroidissement de bâtiments tertiaires, via la géothermie de surface. Son intérêt est de diminuer à la fois les risques techniques et commerciaux liés à la réalisation d'une installation de géothermie de surface et d'inciter les cibles concernées à franchir le pas en optant pour cette solution. ●



ALBERT GENTER
Directeur général adjoint
d'Électricité de Strasbourg
(ES) Géothermie



PHILIPPE LAPLAIGE
Conseiller expert
au service Réseaux
et énergies renouvelables
de l'ADEME

« STRUCTURER LA FILIÈRE EST AUJOURD'HUI UNE PRIORITÉ »

La recherche permet de mieux comprendre la production géothermique profonde dans sa complexité et tout au long de son cycle de vie. Néanmoins, de nombreux sujets nécessitent encore d'être explorés, notamment si la France veut tenir les objectifs ambitieux fixés dans la PPE.



É lectricité de Strasbourg (ES) et l'ADEME travaillent ensemble de longue date sur la géothermie profonde. En quoi consiste cette collaboration ?

Albert Genter : Notre partenariat est historique et ma propre thèse a été financée par l'ADEME ! Cette longue collaboration nous a aidés à comprendre le cycle de vie d'une exploitation de géothermie, du concept jusqu'à son exploration. Chaque projet est conçu pour durer de vingt à vingt-cinq ans, d'où l'intérêt de questionner la vie longue du système. L'ADEME nous incite par ailleurs à prendre en compte les enjeux environnementaux, à quantifier les émissions de CO₂ générées par une centrale et, de façon plus générale, à penser l'installation dans sa globalité.

Nous avons également mené ensemble des études innovantes sur l'acceptabilité sociale de la géothermie en France à une époque (dès 2012) où ces questions n'étaient pas encore investiguées. Actuellement, nous travaillons sur un projet de recherche dont l'objectif est double : il vise à mieux comprendre la vie d'un réservoir géothermique (notamment afin de pérenniser notre ressource), mais aussi à établir si le lithium contenu dans les eaux que nous exploitons peut être extrait et devenir une ressource à part entière. L'ADEME nous accompagne donc sur des sujets géothermiques, mais également sur des questions connexes.

Selon vous, quels sont les prochains enjeux de recherche prioritaires à investiguer en géothermie ?

Philippe Laplaige : Il s'agit principalement de mieux appréhender les ressources géothermales, leur caractérisation, leur évolution dans le sous-sol, la façon dont y accède, leur gestion, etc. Dans le cadre de notre dernier APR, nous soutenons trois projets de recherche : l'un d'eux porte sur la mise en œuvre d'une méthode d'exploration innovante qui s'appuie sur des savoir-faire issus de l'industrie pétrolière ; un autre cherche les moyens d'optimiser la productivité d'un puits géothermique ; le troisième projet vise à développer des solutions pour réduire le colmatage de puits exploitant un certain type de ressource. Mais

les verrous à lever ne sont pas tous techniques. Nous travaillons également à améliorer l'organisation de la filière afin de permettre à ses acteurs (je pense notamment aux établissements publics de recherche, aux universités, aux opérateurs privés, aux sociétés d'ingénierie du sous-sol, etc.) de collaborer de façon plus efficace. Pour ce faire, nous lançons la révision d'une feuille de route qui abordera l'ensemble des thématiques liées à la géothermie.

A. G. : D'autres verrous sont liés aux nouvelles typologies de réservoirs : de son côté, ES s'intéresse à de nouvelles technologies et nous réfléchissons aux moyens de mieux connaître ces réservoirs innovants. Nos re-

BIO EXPRESS

Géologue minier de formation, docteur en géologie appliquée (sa thèse a été soutenue par l'ADEME entre 1986 et 1989), passé par le Bureau de recherches géologiques minières (BRGM) et ancien directeur scientifique du Projet européen de géothermie profonde de Soultz, Albert Genter est actuellement directeur général adjoint d'Électricité de Strasbourg (ES) Géothermie. À ce titre, il pilote plusieurs projets de recherche, notamment dans le cadre d'Horizon 2020, et des projets de recherche financés par l'ADEME ou l'ANR.

cherches sont en partie liées à des enjeux économiques : la demande énergétique étant appelée à augmenter, les opérateurs devront aller chercher la chaleur contenue dans des ressources moins profondes que celles que nous explorons actuellement (de l'ordre de 3 000 mètres de profondeur) afin de récupérer des calories utiles à de nouveaux usages. Ce sont donc toutes ces inconnues qu'il nous faut explorer.

Peut-on mesurer les impacts de la géothermie ?

A. G. : Nous avons quantifié les émissions de CO₂ de notre centrale et elles sont particulièrement faibles : la géothermie apparaît donc comme une solution énergétique favorable bas carbone. Outre l'impact environnemental, nous notons un impact lié aux usages : jusqu'à récemment, ES était le seul opérateur à travailler sur ce sujet en Alsace du Nord. Puis, d'autres entreprises ont posé des permis et nous évoluons donc dans un contexte concurrentiel. À l'avenir, nous devons donc procéder comme les opérateurs le font dans le Bassin parisien : nous devons nous assurer que chaque nouveau projet n'impacte pas celui d'une autre entreprise, nous devons surveiller les potentiels problèmes d'interférence hydrogéologique ou hydro-mécanique (par exemple, si un séisme se produit, nous devons être capables de dire quel acteur en est à l'origine, ce qui est déterminant en termes de responsabilité assurantielle); nous devons également être sûrs que la ressource exploitée n'est pas en interaction avec celle de nos concurrents.

Quelles opportunités l'Europe présente-t-elle pour la recherche ?

A. G. : ES coordonne actuellement un projet européen et nous avons l'habitude de travailler avec des partenaires hors de France (notamment dans le cadre du programme Horizon 2020 ou du dispositif Geothermica, dont l'ADEME était partie prenante). Ces projets européens nous permettent d'accéder à d'autres cas concrets, de travailler avec d'autres acteurs, d'avoir d'autres références, donc de monter en compétences. Et, bien sûr, travailler à l'échelle européenne permet à chaque pays de bénéficier de financements mutualisés intéressants.

Les transferts de technologies vers la géothermie vous semblent-ils pertinents ?

P. L. : Depuis quelques années, des sociétés issues du monde pétrolier s'intéressent à la géothermie, qu'elle soit profonde ou de surface. Ces sociétés peuvent apporter leurs compétences et savoir-faire développés dans leurs domaines (forages horizontaux ou multi-drains, emploi de matériaux composites, techniques d'exploration innovantes, modélisation...).

« Les modèles montrent que la géothermie a un vrai rôle à jouer dans la programmation pluriannuelle de l'énergie tant en métropole que dans les territoires ultramarins. »

A. G. : Les acteurs de l'intelligence artificielle investissent également la géothermie profonde où l'on doit gérer de gros volumes de données et d'informations; ils proposent des solutions pour gagner du temps mais aussi pour « dérisquer » les projets. Les acteurs de la fibre optique (qui mesurent les températures dans les puits, recherchent à caractériser les déformations, etc.), ceux qui développent des technologies à base d'arcs électriques (pour optimiser les vitesses de forages et réduire la durée de travaux par nature très coûteux) viennent également sur le champ de la géothermie, qui bénéficie alors de transferts technologiques pertinents.

La géothermie a-t-elle un rôle à jouer dans le cadre de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ?

P. L. : La PPE propose des objectifs ambitieux en matière de géothermie. Pour les tenir, nous estimons qu'en France métropolitaine, la production géothermique devra quasi-doubler d'ici cinq à dix ans. Par ailleurs, les territoires ultramarins devront être énergiquement autonomes d'ici quinze à vingt ans, et la géothermie peut largement y contribuer. Donc, oui, la géothermie a un vrai rôle à jouer dans le cadre de la PPE. Les travaux de recherche qui en découlent sont variés : il s'agit par exemple de mieux connaître les ressources profondes des nombreuses zones qui ne sont pas encore explorées, grâce à des techniques d'exploration plus performantes. Mais nous travaillons également à développer des outils financiers innovants comme les fonds de garantie pour indemniser un opérateur qui ne trouverait pas les ressources qu'il escomptait avoir à l'issue d'un forage. L'enjeu est ici d'inciter les industriels à développer des projets. •

