

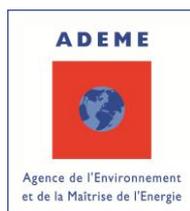
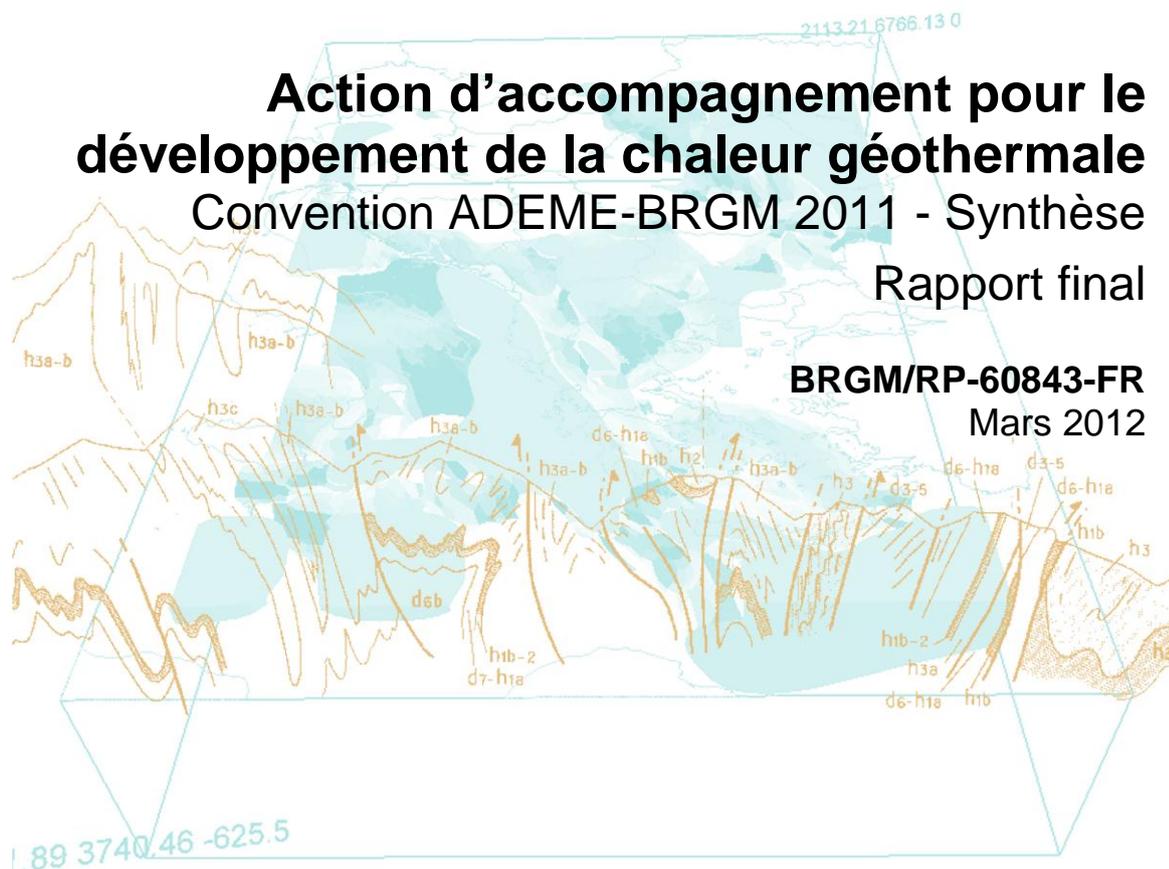


Action d'accompagnement pour le développement de la chaleur géothermale

Convention ADEME-BRGM 2011 - Synthèse

Rapport final

BRGM/RP-60843-FR
Mars 2012



Action d'accompagnement pour le développement de la chaleur géothermale

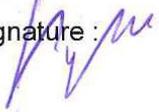
Convention ADEME-BRGM 2011 - Synthèse

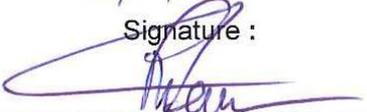
Rapport final

BRGM/RP-60843-FR
Mars 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM et de la convention ADEME-BRGM
n° 09 05 C 0119

**J.-C. Martin, M. Chartier, C. Chéry, A. Desplan, P. Monnot, S. Bézégues-Courtade,
P. Durst, H. Lesueur, A. Poux, O. Goyeneche, V. Hamm, M. Le Brun, C. Maragna**

| |
|---|
| Vérificateur : |
| Nom : Alain Desplan |
| Date : 23/05/12 |
| Signature :  |

| |
|---|
| Approbateur : |
| Nom : Romain Vernier |
| Date : 24/05/12 |
| Signature :  |

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.



Mots clés : Géothermie, ADEME, KIT, QUALIFORAGE, BD géothermie, IMPAC Lyon, IMPAC Strasbourg, PAC, SGV, Réglementation, Économie, Géothermie BE, DOGGER

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Martin J.C., Chartier M., Chéry C., Desplan A., Monnot P., Bézégues-Courtade S., Duret P., Lesueur H., Poux A., Goyénèche O., Hamm V., Le Brun V., Maragna C. (2012) – Action d’accompagnement pour le développement de la chaleur géothermale. Convention ADEME-BRGM 2011 – Synthèse. Rapport final. BRGM/RP-60843-FR. 77 p.

© BRGM, 2012, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l’autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Le BRGM a réalisé une série de travaux dans le cadre d'un Appui à l'ADEME pour le développement de la chaleur géothermale, qui a fait l'objet d'une convention ADEME-BRGM n° 09 05 C 0119, notifiée le 16 mai 2011.

Les conventions de collaboration entre l'ADEME et le BRGM, n° 08 05 C0038 pour l'année 2009 et n° 09 05 C0016 pour l'année 2010, ont permis de rassembler et de structurer les actions communes BRGM/ADEME, qui ont débuté en 2001, mais dont la plupart faisait l'objet d'une convention particulière. Ce regroupement des actions en une convention unique, et annuelle et le suivi de son déroulement lors de réunions périodiques, ont permis d'améliorer la cohérence de la démarche entreprise et de ses résultats.

Les travaux de cette convention sont organisés en 22 projets BRGM, répartis en trois axes d'action : Communication, Animation et Structuration de la Filière Géothermie, et le Centre technique.

Le programme d'appui à l'ADEME pour 2011 est basé sur trois axes, comprenant chacun plusieurs rubriques. Chaque rubrique fait l'objet d'un projet. Ces projets sont décrits et argumentés ci-dessous.

Aux rubriques propres des trois axes d'action, il est apparu nécessaire d'identifier une rubrique particulière qui réponde aux besoins de pilotage et d'animation de la convention. Cette rubrique constitue un projet à part entière.

Le premier axe concerne « la Communication »

Cette thématique avait été identifiée initialement comme étant l'un des leviers majeurs pour le développement de la géothermie. L'objectif de cet axe est de pallier la faible visibilité physique des opérations de géothermie - qu'est-il de plus discret qu'une installation géothermique dont les éléments originaux sont enterrés-, la difficulté d'appréhender cette technique complexe produisant différents types d'énergie, et enfin de l'absence de filière constituée qui contribuerait à la communication. C'est pour cela qu'ont été mis en œuvre ces projets dès la relance du partenariat ADEME-BRGM en 2001, confirmés par la feuille de route stratégique Géothermie 2008.

Cet axe est organisé autour de quatre projets :

- Veille thématique et Fonds documentaire géothermie ;
- Site Internet « Géothermie Perspectives » ;
- Bulletin « La Géothermie en France » ;
- Participation à des manifestations communes ADEME/BRGM.

Le deuxième axe concerne « l'Animation et la Structuration de la Filière Géothermie »

L'animation et la structuration de la filière sont considérées comme prioritaires. Cet axe, se faisant en étroite collaboration avec la profession telle que l'Association Française des Professionnels de la Géothermie (AFPG) en particulier, inclut les actions visant à l'encadrement du développement de la géothermie afin d'obtenir la maîtrise de ce développement. Des expériences antérieures, que ce soit dans le domaine des réseaux de chaleur géothermiques ou dans le domaine des pompes à chaleur géothermiques, ont montré l'impact négatif de contre-références sur le développement de la géothermie. Cette action a pour but de se développer aussi bien à un niveau national que régional.

Cet axe est organisé autour de 9 projets :

- Appui au Siège, participation à des organisations ;
- Appui aux directions régionales de l'ADEME ;
- QUALIFORAGE : démarche « Engagement qualité » des entreprises de forages de sondes géothermiques ;
- Comité technique AQUAPAC et valorisation des données des dossiers ;
- Accompagnement de l'évolution de la réglementation dans le domaine géothermique superficiel ;
- Rédaction de guides techniques et de normes concernant le matériel mis en place dans les sondes géothermiques et la cimentation ;
- Évaluation de l'impact environnemental dû aux modifications thermiques induites par les PAC sur aquifères superficiels ;
- Évolution des performances d'opération de PAC géothermiques sur plusieurs années d'exploitation, instrumentation et comparaison des modèles de dimensionnement ;
- Élaboration d'une base de données (BD) géothermie, à l'intention des gestionnaires et exploitants des ressources du sous-sol (eau et température) ;
- ImPAC - Lyon, année 2 (Evaluation de l'impact environnemental dû aux modifications thermiques induites par les PAC sur aquifères superficiels) ;
- ImPAC - Strasbourg, année 1 (Evaluation de l'impact environnemental dû aux modifications thermiques induites par les PAC sur aquifères superficiels) ;
- Analyse des coûts de la géothermie ;
- Planification territoriale, aménagement durable et géothermie.

Le troisième axe concerne « le Centre technique »

Le Centre technique Géothermie a été créé pour répondre à une demande des professionnels des réseaux de chaleur géothermiques en Ile-de-France. Il s'agit d'identifier et de mettre en œuvre les projets nécessaires à l'accompagnement du fonctionnement de la géothermie basse énergie en Ile-de-France et, depuis peu, de l'accompagnement de la relance de nouvelles opérations ainsi que de la réhabilitation des opérations anciennes. Ce travail se faisant en étroite collaboration avec la profession, il « anime » la filière réseaux de chaleur géothermiques en Ile-de-France, en recherchant notamment des solutions pour parfaire la connaissance d'aquifères susceptibles de suppléer le Dogger surexploité. Cela concerne les aquifères plus profonds destinés à alimenter des réseaux de chaleur à forte consommation, ou moins profonds pour les réseaux faibles consommateurs ou les micro-réseaux. Il participe en outre à l'élaboration de Plans de développement de la Géothermie dans le cadre des Schémas régionaux Climat Air Energie (SRCAE) et des Plans Climat-Energie Territoriaux (PCET).

Cet axe est organisé principalement autour de quatre projets :

- Orientation du centre technique ;
- Gestion de la ressource géothermale du DOGGER en Ile-de-France - Année 2011 ;
- Etude de sensibilité sur le comportement des puits à l'échelle de l'ouvrage et du réservoir par interprétation de test de puits et de modélisation ;
- Méthodologie de reconversion des forages profonds en échangeurs géothermiques.

| Les projets de la convention 2011 | |
|---|--|
| 1 | Pilotage et animation convention 2011 |
| AXE COMMUNICATION | |
| 2 | Veille thématique et fonds documentaire Géothermie |
| 3 | Site Internet « Géothermie Perspectives » |
| 4 | Bulletin « La Géothermie en France » |
| 5 | Participation à des manifestations avec le stand Géothermie ADEME BRGM |
| 6 | Kit Accueil |
| AXE ANIMATION ET STRUCTURATION DE LA FILIERE | |
| 7 | Appui au Siège, participation à des organisations |
| 8 | Appui aux délégations régionales de l'ADEME |
| 9 | QUALIFORAGE 2011 : Démarche « Engagement qualité » des entreprises de forages de sondes géothermiques |
| 10 | Rédaction de guides techniques et de normes concernant le matériel mis en place dans les sondes géothermiques et la cimentation |
| 11 | Evolution des performances d'opérations de PAC géothermiques sur plusieurs années d'exploitation - Instrumentation et comparaison des modèles de dimensionnement |
| 12 | Comité technique AQUAPAC et valorisation des données des dossiers |
| 13 | Elaboration d'une BD géothermie à l'attention des gestionnaires et exploitants des ressources du sous-sol (eau et température) |
| 14 | ImPAC - Lyon (Evaluation de l'impact environnemental dû aux modifications thermiques induites par les PAC sur aquifères superficiels) - année 2 (2011) |
| 15 | ImPAC - Strasbourg année 1 (Evaluation de l'impact environnemental dû aux modifications thermiques induites par les PAC sur aquifères superficiels) - année 1 (2011) |
| 16 | Accompagnement de l'évolution de la réglementation dans le domaine du forage géothermique superficiel |
| 17 | Analyse des coûts de la géothermie |
| 18 | Planification territoriale, aménagement durable et géothermie |
| AXE CENTRE TECHNIQUE GEOTHERMIE | |
| 19 | Orientation du Centre Technique Géothermie 2011 |
| 20 | Gestion de la ressource géothermale du Dogger en Ile-de-France (année 2011) |
| 21 | Etude de sensibilité du comportement des puits à l'échelle de l'ouvrage et du réservoir par interprétation de tests de puits et de modélisation |
| 22 | Méthodologie de reconversion des forages profonds en échangeurs géothermiques |

Les axes d'action et les projets de la convention ADEME-BRGM n° 09 05 C0119.

➤ Les rapports des travaux des projets de la convention

| Titre simplifié des projets | N° PROJET | N° rapport | Titre du rapport |
|-----------------------------|------------|------------------|--|
| 1 - Pilotage | PSP11GTH01 | BRGM/RP-60843-FR | Action d'accompagnement pour le développement de la chaleur géothermale - Convention ADEME-BRGM 2011 - Rapport de synthèse |
| 2 - Veille thématique | PSP11GTH02 | BRGM/RP-60554-FR | Veille thématique et fonds documentaire Géothermie |
| 3 - Site internet | PSP11GTH03 | BRGM/RP-60148-FR | Refonte du site internet www.geothermie-perspectives.fr |
| 5 - Manifestation | PSP11GTH05 | BRGM/RP-60903-FR | Participation à des manifestations avec le stand Géothermie |
| 7 - Appui au siège | PSP11GTH07 | Note GTH/DMCG | Appui à l'ADEME pour l'animation et la structuration de la filière géothermie |
| 8 - Appui aux délégations | PSP11GTH08 | 61/12 AD/AL | |
| 9 - QUALIFORAGE | PSP11GTH09 | BRGM/RP-60593-FR | QUALIFORAGE - Engagement qualité des entreprises de forage de sondes géothermiques verticales |
| 10 - Guides techniques | PSP11GTH10 | BRGM/RP-60814-FR | Guides techniques et normes appliqués à la géothermie très basse énergie |
| | | BRGM/RP-60816-FR | Protocole de test de réponse thermique |
| 11 - Performances PAC | PSP11GTH11 | BRGM/RP-60815-FR | Etat de l'art à l'échelle internationale des méthodes de pré-dimensionnement de sondes géothermiques verticales |
| 12 - AQUAPAC | PSP11GTH12 | BRGM/RP-60382-FR | Garantie AQUAPAC. Expertises 2011 et valorisation des dossiers de demande de garantie |
| 13 - BD GTH | PSP11GTH13 | BRGM/RP-60523-FR | Eléments de réflexion pour la création d'un système d'information dédié à la géothermie |
| 14 - IMPAC Lyon | PSP11GTH14 | BRGM/RP-60786-FR | ImPAC Lyon - Evaluation de l'impact environnemental dû aux modifications thermiques induites par les PAC sur aquifères superficiels |
| 15 - IMPAC Strasbourg | PSP11GTH15 | BRGM/RP-60759-FR | ImPAC Strasbourg - Évaluation des impacts environnementaux induits par les PAC sur aquifères superficiels |
| 16 - Réglementation | PSP11GTH16 | BRGM/RP-60195-FR | Synthèse de la réglementation française codifiant la recherche et l'exploitation de l'énergie géothermique |
| 17 - Analyse des coûts | PSP11GTH17 | BRGM/RP-60754-FR | Géothermie Très Basse Energie - Modèles simplifiées dans une optique macroéconomique |
| 18 - Planification | PSP11GTH18 | BRGM/RP-60967-FR | La géothermie dans les documents de planification énergétique |
| 20 - DOGGER IDF | PSP11GTH20 | BRGM/RP-60399-FR | Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile de France - Rapport intermédiaire |
| | | BRGM/RP-60996-FR | Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile de France |
| 21 - Test hydro | PSP11GTH21 | BRGM/RP-60774-FR | Etude de sensibilité du comportement des puits au Dogger à l'échelle de l'ouvrage et du réservoir par modélisation et tests hydrogéologiques |
| 22 - Reconversion forages | PSP11GTH22 | BRGM/RP-60685-FR | Etude technico-économique de la reconversion de forages profonds en échangeurs géothermiques en boucle fermée |

Liste des rapports de la convention ADEME-BRGM n° 09 05 C0119.

Ces rapports sont des rapports publics qui peuvent être téléchargés gratuitement depuis le site internet <http://www.brgm.fr/>. Pour accéder aux rapports : saisir dans la cellule RECHERCHE RAPIDE de la rubrique Publication, le n° du rapport (exemple : 60382). Le rapport sélectionné peut ensuite être téléchargé dans un format PDF.

Le budget de la convention

Le budget de la convention s'élève à 2 108 335 € HT. Les participations respectives du BRGM et de l'ADEME au financement de la convention représentent chacune 50 % du montant total des dépenses :

- part ADEME : 1 054 168 € HT
- part BRGM : 1 054 168 € HT
- total du budget de la convention : 2 108 335 € HT

• Calcul de la subvention de l'ADEME

Les dépenses admissibles (dépenses éligibles), prises en compte pour le calcul de l'aide de l'ADEME, s'élèvent à 1 728 143,64 €.

Par rapport aux dépenses admissibles, le plan de financement du projet pour l'ADEME est le suivant :

ADEME : 1 054 167,62 (61 % de l'opération),

Autofinancement : 673 976,02 € (39 %)

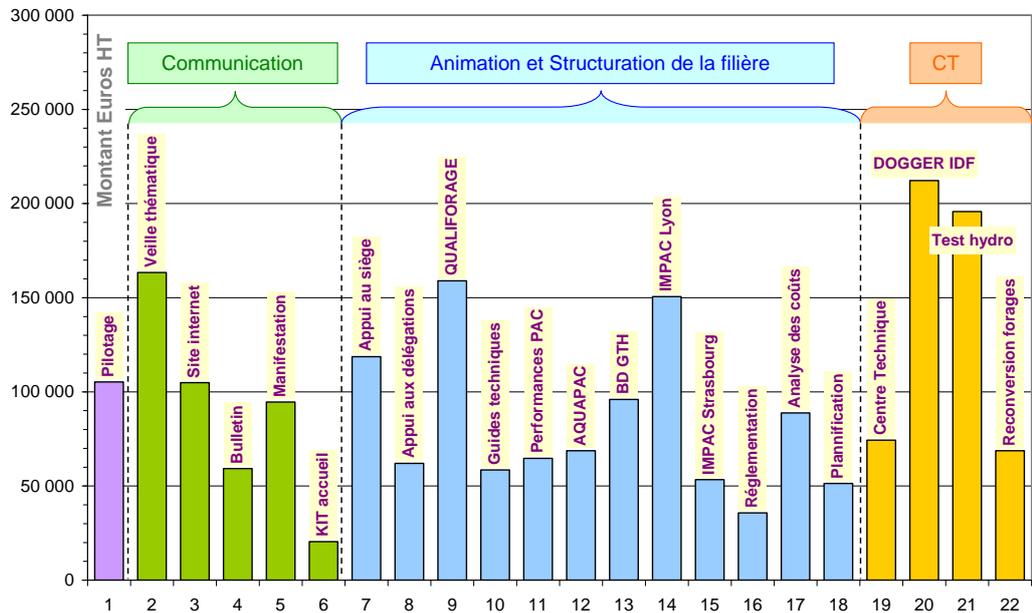
Total dépenses admissibles : 1 728 143,64 €.

L'aide apportée par l'ADEME, égale à 61 % des dépenses éligibles, est une subvention d'un montant maximum de 1 054 168 € qui représente 50 % du barème BRGM, augmentée de la TVA au taux de 19,6 %, soit un total de 1 260 784 €.

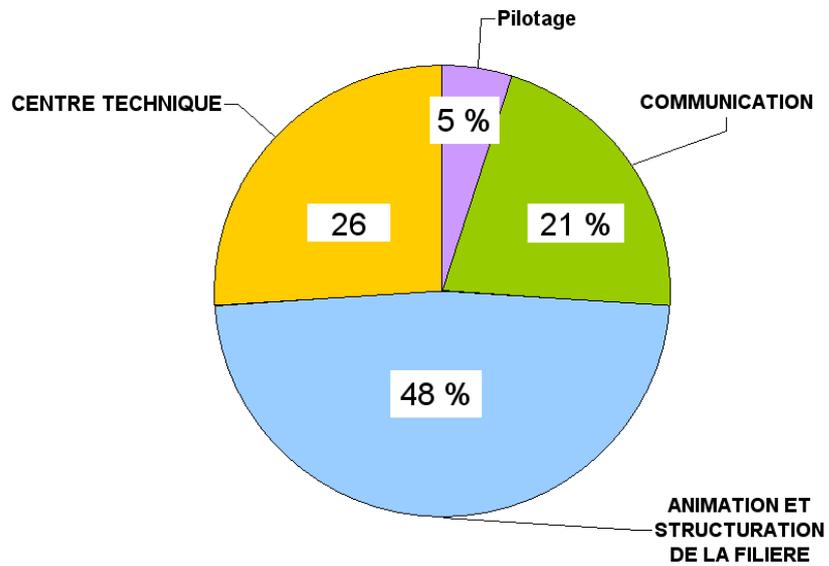
On présente sur l'illustration 1 le montant de chaque projet de la convention, exprimé en HT, barème BRGM, sur l'illustration 2 la répartition du budget.

Calendrier du déroulement de la convention

- Demande d'aide : 22 décembre 2010
- Notification : 16 mai 2011
- Fin de la convention : 16 mai 2012



Montant de chaque projet de la convention ADEME-BRGM, exprimé en HT, barème BRGM.



Répartition du budget par axe d'action de la convention.

Sommaire

| | |
|---|----|
| Synthèse | 3 |
| Introduction | 13 |
| PROJET 1 : PILOTAGE ET ANIMATION CONVENTION 2011 | 14 |
| PROJET 2 : VEILLE THÉMATIQUE ET FONDS DOCUMENTAIRE GÉOTHERMIE | 16 |
| PROJET 3 : SITE INTERNET « GÉOTHERMIE PERSPECTIVES » | 17 |
| PROJET 4 : BULLETIN « LA GÉOTHERMIE EN FRANCE » | 19 |
| PROJET 5 : PARTICIPATION À DES MANIFESTATIONS AVEC LE STAND GÉOTHERMIE ADEME-BRGM | 22 |
| PROJET 6 : KIT ACCUEIL | 23 |
| PROJET 7 : APPUI AU SIÈGE, PARTICIPATION À DES ORGANISATIONS | 26 |
| PROJET 8 : APPUI AUX DÉLÉGATIONS RÉGIONALES DE L'ADEME | 26 |
| PROJET 9 : QUALIFORAGE 2011 - DÉMARCHE « ENGAGEMENT QUALITÉ » DES ENTREPRISES DE FORAGES DE SONDES GÉOTHERMIQUES | 28 |
| PROJET 10 : RÉDACTION DE GUIDES TECHNIQUES ET DE NORMES CONCERNANT LE MATÉRIEL MIS EN PLACE DANS LES SONDES GÉOTHERMIQUES ET LA CIMENTATION | 31 |
| PROJET 11 : ÉVOLUTION DES PERFORMANCES D'OPÉRATIONS DE PAC GÉOTHERMIQUES SUR PLUSIEURS ANNÉES D'EXPLOITATION - INSTRUMENTATION ET COMPARAISON DES MODÈLES DE DIMENSIONNEMENT | 34 |
| PROJET 12 : COMITÉ TECHNIQUE AQUAPAC ET VALORISATION DES DONNÉES DES DOSSIERS | 36 |
| PROJET 13 : ÉLABORATION D'UNE BD GÉOTHERMIE À L'ATTENTION DES GESTIONNAIRES ET EXPLOITANTS DES RESSOURCES DU SOUS-SOL | 38 |
| PROJET 14 : IMPAC - LYON - ÉVALUATION DE L'IMPACT ENVIRON- NEMENTAL DÛ AUX MODIFICATIONS THERMIQUES INDUITES PAR LES PAC SUR AQUIFÈRES SUPERFICIELS - ANNÉE 2 (2011) | 42 |

| | |
|--|----|
| PROJET 15 : IMPAC – STRASBOURG - ÉVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DÛ AUX MODIFICATIONS THERMIQUES INDUITES PAR LES PAC SUR AQUIFÈRES SUPERFICIELS - 2011 | 48 |
| PROJET 16 : ACCOMPAGNEMENT DE L'ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION DANS LE DOMAINE DU FORAGE GÉOTHERMIQUE SUPERFICIEL..... | 50 |
| PROJET 17 : ANALYSE DES COÛTS DE LA GÉOTHERMIE | 52 |
| PROJET 18 : PLANIFICATION TERRITORIALE, AMÉNAGEMENT DURABLE ET GÉOTHERMIE..... | 55 |
| PROJET 19 : ORIENTATION DU CENTRE TECHNIQUE GÉOTHERMIE 2011 | 57 |
| PROJET 20 : GESTION DE LA RESSOURCE GÉOTHERMALE DU DOGGER EN ÎLE-DE-FRANCE | 57 |
| PROJET 21 : ÉTUDE DE SENSIBILITÉ SUR LE COMPORTEMENT DES PUIITS À L'ÉCHELLE DE L'OUVRAGE ET DU RÉSERVOIR PAR INTERPRÉTATION DE TESTS DE PUIITS ET DE MODÉLISATION..... | 64 |
| PROJET 22 : MÉTHODOLOGIE DE RECONVERSION DES FORAGES PROFONDS EN ÉCHANGEURS GÉOTHERMIQUES..... | 70 |
| Conclusion | 73 |

Introduction

Ce rapport présente la synthèse des résultats des travaux réalisés par le Département Géothermie du BRGM dans le cadre de la convention d'appui à l'ADEME pour le développement de la chaleur géothermale, convention n° 09 05 C 0119, qui porte sur l'année 2011.

Les travaux de la convention sont organisés en 22 projets BRGM, répartis en trois axes d'action : Communication, Animation et Structuration de la Filière Géothermie et le Centre technique.

Les résultats de ces projets ont tous fait l'objet d'un rapport d'étude téléchargeable en PDF depuis le site internet <http://www.brgm.fr/>.

PROJET 1 : PILOTAGE ET ANIMATION CONVENTION 2011

Projet de Service public : PSP11GTH01

Chef de projet et équipe de projet : Jean-Claude Martin, les Chefs de projet de la convention.

Rapport réalisé : Action d'accompagnement pour le développement de la chaleur géothermale - Convention ADEME-BRGM 2011 - Rapport de synthèse (BRGM/RP-60843-FR).

Objectifs : Assurer l'animation technique et financière des projets de la convention.

➤ Les projets et les chefs de projet de la convention

Les 22 projets de la convention ADEME-BRGM sont pilotés par 12 chefs de projet indiqués ci-dessous.

| Projet - Titre simplifié | Chef De Projet | N° PROJET |
|---------------------------|-------------------|------------|
| 1 – Pilotage | JC Martin | PSP11GTH01 |
| 2 - Veille thématique | Marilyne Chartier | PSP11GTH02 |
| 3 - Site internet | Cécile Chéry | PSP11GTH03 |
| 4 - Bulletin | Cécile Chéry | PSP11GTH04 |
| 5 - Manifestation | Cécile Chéry | PSP11GTH05 |
| 6 - KIT accueil | JC Martin | PSP11GTH06 |
| 7 - Appui au siège | Alain Desplan | PSP11GTH07 |
| 8 - Appui aux délégations | Alain Desplan | PSP11GTH08 |
| 9 - QUALIFORAGE | Pascal Monnot | PSP11GTH09 |
| 10 - Guides techniques | Pascal Monnot | PSP11GTH10 |
| 11 - Performances PAC | Pascal Monnot | PSP11GTH11 |
| 12 - AQUAPAC | JC Martin | PSP11GTH12 |
| 13 - BD GTH | JC Martin | PSP11GTH13 |
| 14 - IMPAC Lyon | Pierre Durst (*) | PSP11GTH14 |
| 15 - IMPAC Strasbourg | Pierre Durst (*) | PSP11GTH15 |
| 16 - Réglementation | JC Martin | PSP11GTH16 |
| 17 - Analyse des coûts | Hervé Lesueur | PSP11GTH17 |
| 18 - Planification | Adeline Poux | PSP11GTH18 |
| 19 - Centre Technique | Olivier Goyeneche | PSP11GTH19 |
| 20 - DOGGER IDF | Virginie Hamm | PSP11GTH20 |
| 21 -Test hydro | Morgane Le Brun | PSP11GTH21 |
| 22 - Reconversion forages | Charles Maragna | PSP11GTH22 |

(*) Projet commencé par Sophie Bézèlgués-Courtade

- **Les membres du comité de pilotage**
 - ADEME : Philippe Laplaige, Norbert Bommensatt, Astrid Cardona-Maestro ;
 - BRGM : Romain Vernier, Alain Desplan, Jean-Claude Martin.

- **Dates des réunions du comité de pilotage de la convention**
 - Réunion de lancement de la convention : le 14 janvier 2011 à Orléans ;
 - COPIL n° 1 : le 20 avril 2011 à Valbonne ;
 - COPIL n° 2 : le 19 juillet 2011 à Orléans ;
 - COPIL n° 3 : les 26 et 27 octobre 2011 à Valbonne ;
 - COPIL n° 4 : le 31 janvier 2012 à Orléans.

Chaque réunion du comité de pilotage, à l'exception de la réunion de lancement du 14 janvier 2011, a fait l'objet d'un rapport d'avancement, envoyé une dizaine de jours avant la réunion aux membres du comité, suivi d'un compte-rendu de réunion dont les références sont indiqués ci-dessous.

| Objet | Rapport d'avancement | Compte-rendu |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Réunion de lancement | - | GTH/DMCG n° 04/11 JCM/EO |
| COPIL n° 1 | GTH/DMCG n° 63/11 JCM/EO | GTH/DMCG n° 85/11 JCM/EO |
| COPIL n° 2 | GTH/DMCG n° 156/11 JCM/MP | GTH/DMCG n° 157/11 JCM/PM |
| COPIL n° 3 | GTH/DMCG n° 219/11 JCM/MP | GTH/DMCG n° 229/11 JCM-AL |
| COPIL n° 4 | GTH/DMCG n° 15/12 JCM/AL | GTH/DMCG n° 19/12 JCM-AL |

PROJET 2 : VEILLE THÉMATIQUE ET FONDS DOCUMENTAIRE GÉOTHERMIE

Projet de Service public : PSP11GTH02

Chef de projet et équipe de projet : Maryline Chartier

Rapport : Veille thématique et fonds documentaire Géothermie (BRGM/RP-60554-FR)

Objectifs : La veille consiste à recueillir et à mettre disposition des informations relative à la filière Géothermie. Elle comprend la diffusion de la newsletter Géothermie et des alertes diffusées au fil de l'actualité. Le projet intègre aussi la gestion du fonds documentaire issu notamment de cette veille.

Synthèse :

La veille est réalisée à partir d'informations issues d'un panorama de presse (abonnement à l'ARGUS de la Presse), de newsletters électroniques spécifiques, d'alertes Google et collectées à l'aide d'un logiciel de veille de pages web.

Les informations reçues sont ensuite analysées et sélectionnées puis diffusées sous forme d'alertes ou de newsletters géothermie.

L'activité veille a produit en 2011 :

- 75 alertes envoyées par mail à 152 destinataires ;
- 7 newsletters géothermie envoyées en février mars, avril, juin, juillet, août, novembre à 371 destinataires partenaires, et 195 autres destinataires.

Ces supports d'information diffusés font le point sur l'actualité de la géothermie. On y trouve l'actualité politique, les opérations en cours, les projets en régions et à l'étranger, l'actualité concernant les normes, la réglementation ainsi que l'actualité scientifique.

Il est possible de télécharger, s'abonner ou se désabonner aux numéros de la newsletter géothermie à partir du site internet <http://www.geothermie-perspectives.fr>.

Le projet gère également le fonds documentaire du Département Géothermie qui comprend un fonds documentaire général avec près de 300 documents et 200 ouvrages, et un fonds technique constitué de 700 rapports.

PROJET 3 : SITE INTERNET « GÉOTHERMIE PERSPECTIVES »

Projet de Service public : PSP11GTH03

Chef de projet et équipe de projet : Cécile Chéry

Rapport : Refonte du site internet www.geothermie-perspectives.fr (BRGM/RP-60148-FR)

Objectifs : Projet de gestion et de mise à jour de l'outil de communication par excellence de l'activité Géothermie, à savoir le site internet Géothermie-Perspectives. Refonte du site internet prévu en 2011.

Maintenance du site www.geothermie-perspectives.fr (palliatif) : reprise en cours, attente de validation pour la reprise des pages je chauffe ma maison; mise en ligne des SIG nord Pas de Calais et Franche Comté, Rhône-Alpes et PACA prévus pour février.

Refonte du site www.geothermie-perspectives.fr, proposition technique et arborescence du nouveau contenu seront présentés à la prochaine réunion du Comité de Pilotage ADEME-BRGM le 16 février 2012 à Paris.

Synthèse :

Créé en 2005 pour répondre à une forte demande d'informations de la part des porteurs de projets, le site internet www.geothermie-perspectives.fr doit aujourd'hui se renouveler pour intégrer les nouvelles évolutions et possibilités des technologies du web tout en restant le site de référence indépendant de l'information géothermique sur la toile. D'ici à fin 2012, le site www.geothermie-perspectives.fr sera intégralement repris au niveau des fonctionnalités et du contenu pour rester pertinent quant à l'information proposée.

Le livrable 2011 correspond à la première phase du projet de refonte du site www.geothermie-perspectives.fr. Celui-ci comprend un cahier des charges fonctionnel, qui ambitionne d'être une juste perception par le concepteur-réalisateur du besoin exprimé par le demandeur en termes de services rendus, ainsi que l'arborescence du contenu du prochain site.

Ce travail a permis de mettre en évidence les besoins attendus pour ce site : une information personnalisée, une information de proximité mais également un renforcement du sentiment communautaire pour les acteurs de la filière. Pour répondre à ces besoins, le site reposera sur trois outils essentiels :

- **un configurateur de projet** qui proposera, suivant les contraintes et attentes du porteur de projet, les techniques possibles, la nécessité d'appoint et/ou d'isolation. Objectif : préparer un projet (personnalisation de l'information) ;
- **un simulateur de projet**. En partant des techniques possibles, le système va permettre de donner les informations disponibles sur le sous-sol, les contacts de proximité (DREAL, Espace Info Energie-EIE, relais AFPG, professionnels en démarche qualité), les opérations exemplaires, le coût d'exploitation, la

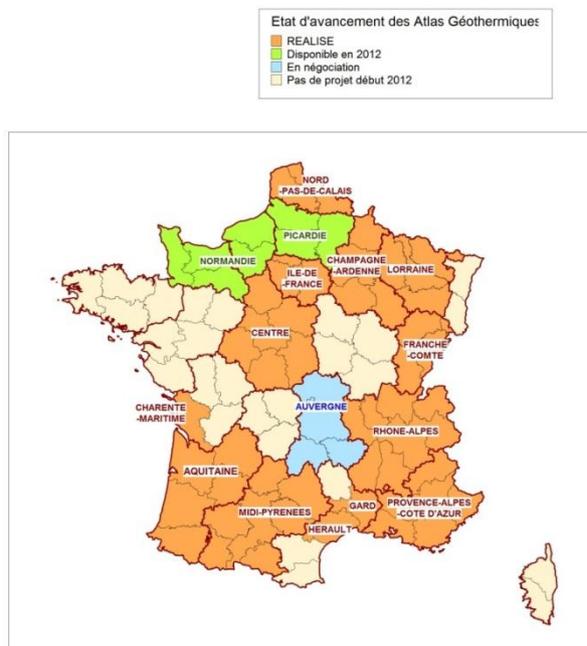
maintenance, les aides financières, les projets en cours à proximité, des fiches régionales, la réglementation régionale. Objectif : réaliser son projet (information de proximité) ;

- **un espace restreint fonctionnant comme un réseau social.** Destiné aux acteurs de la filière, cet espace ambitionne de donner l'information utile à chaque acteur selon son profil (actualité et agenda le concernant, données et documents d'appui téléchargeables, annuaire-contacts de la filière...) Objectif : renforcer la structuration de la filière par un moyen d'échange et de partage de l'information (développement du sentiment communautaire).

De la même façon, le contenu du site proposera trois types de parcours :

- le premier que l'on pourrait qualifier de **parcours théorique** ;
- le second, un **parcours pratique** ;
- et enfin une **approche géographique** des données géothermiques.

Pour permettre au site de proposer ses fonctionnalités, plusieurs phases vont s'enchaîner en 2012 : un développement informatique des fonctions techniques sera mené en parallèle de l'écriture des différentes pages. Néanmoins, avant de lancer ces travaux, il sera important de proposer une charte éditoriale qui donnera le cadre ainsi que l'homogénéité au texte.



État d'avancement des atlas régionaux au premier trimestre 2012.

PROJET 4 : BULLETIN « LA GÉOTHERMIE EN FRANCE »

Projet de Service public : PSP11GTH04

Chef de projet et équipe de projet : Cécile Chéry, le Comité Editorial

Objectifs : Réalisation des bulletins « La Géothermie en France ».

Ce bulletin « La Géothermie en France » existe dans sa formule actuelle depuis juillet 2007. Il est dédié au développement de la géothermie en France. Sa création résulte de la nécessité de faire part d'informations et d'expériences particulières sur la géothermie en donnant la parole à des maîtres d'ouvrage et des professionnels dans ce domaine.

Chaque bulletin fait le point sur les faits marquants de l'actualité de la géothermie nationale. Il comprend un éditorial et une série d'articles techniques rédigés par des acteurs de la géothermie. Ses principaux objectifs : communiquer une information adaptée aux spécificités de la géothermie en France, contribuer à l'établissement de liens directs entre les acteurs de la filière.

Le bulletin est diffusé gratuitement par courrier à plus de 2 800 acteurs de la géothermie en France et à l'étranger, dont les collectivités locales (conseils régionaux, conseils généraux, communes), des établissements publics, l'administration, les syndicats professionnels de l'énergie et de l'habitat, des bureaux d'étude, des journalistes.

Total imprimé : 3 500 exemplaires, 2 800 envoyés et 700 distribués à l'occasion de colloques ou autres manifestations

Il est possible de télécharger les numéros du bulletin depuis le site internet <http://www.geothermie-perspectives.fr>.

La réalisation du bulletin est assurée par le Comité de rédaction du bulletin, dont la composition est indiquée ci-dessous :

Directeur de la publication : Ph. Laplaige (ADEME)

Rédacteur en chef : A. Desplan (BRGM)

Comité de rédaction : C. Mayot (DRIEE Ile-de-France), C. Brun (Conseil Régional Ile-de-France), J.-L. Nicaise (AGEMO), N. Bommensatt (ADEME), A. Cardona-Maestro (ADEME), G. Perrin (ADEME IDF), V. Schmidlé (AFPG)

Secrétaire de rédaction : C. Chéry, M. Chartier (BRGM)

Le programme de la convention 2011 comprend la réalisation et la diffusion des numéros 9, 10 et 11, dont on présente ci-dessous les sommaires.

Bulletin n° 9 (juillet 2011)

Édito : Une nouvelle dynamique et des objectifs ambitieux pour développer de façon pérenne toutes les formes de géothermie, par Christian Oeser chargé de mission au Ministère de Développement Durable.

- Le centre d'hébergement et de gériatrie de Rochefort-sur-Mer, par F. Wintzer et E. Huriaux, Direction des Services Techniques du Centre hospitalier de Rochefort.
- Le Pôle de Santé d'Aiglemont, par Philippe Decobert (maire d'Aiglemont), N. Frechin (Saunier & Associés), F. Perrin (entreprise Chasac), S. Maes (ADEME Champagne-Ardenne).
- Le Pôle culturel d'Alforville, par René Rouquet (député maire d'Alforville).
- Maisons-Alfort : les bâtiments de SANOFI, raccordés au réseau de chaleur, un choix local et compétitif, par Th. Marin (Sanofi-Aventis).
- La salle de concert d'Auxerre, par Ph. Sogny (Directeur des Services Techniques de la ville d'Auxerre).
- Le fonds chaleur, par A. Cardona-Maestro (ADEME).

Bulletin n° 10 (novembre 2011)

Édito : Les investissements d'avenir, une opportunité pour la géothermie (Rémi Chabrilat, ADEME).

- Val Maubuée : le forage reprend en Île-de-France, par C. Carole (Agglomération de Marne-la-Vallée / Val Maubuée), S. Teulle (Dalkia).
- Le Centre Technique Géothermie, gérer les ressources, par O. Goyeneche (BRGM, Département Géothermie).
- La Maison de Radio France fait peau neuve, par C. Dumont (Radio France).
- La géothermie profonde trouve de nouvelles applications en Alsace, par C. Chéry (BRGM, Département Géothermie).
- NF X10_970 : une nouvelle norme pour encadre la géothermie, par P. Monnot (BRGM, Département Géothermie).
- Échangeurs géothermiques de subsurface, comportement en fonction de la profondeur d'implantation, par A. Vrain et C. Becmeur (BRGM, Département Géothermie).
- Journée régionale de sensibilisation à la géothermie en Bourgogne, par A. Cardona-Maestro (ADEME).
- Les journées de la géothermie des 13,14 et 15 décembre 2011 à Paris, par C. Chéry (BRGM, Département Géothermie).

Bulletin n° 11 (mars 2012)

Édito : La réforme du code minier par Arnaud Gossement.

- Focus sur une opération : la Courneuve par les partenaires, suivi d'un article sur les schémas régionaux climat air énergie, par Adeline Poux du BRGM en charge de la réalisation du SRCAE IDF.
- Opérations exemplaires : l'Usine L'Oréal de Vichy, par EDF/L'Oréal et l'Observatoire océanographique de Banyuls-sur-Mer par Patrick Da Costa en charge des travaux.
- Les métiers : Patrick Masson, Assureur-Expert en énergies renouvelables.
- Les acteurs de la filière : la commission géothermie du SER, par Romain Vernier, vice-président de la commission.
- Innovations : Les fondations thermoactives, par Jean-Baptiste Bernard de ECOME.

PROJET 5 : PARTICIPATION À DES MANIFESTATIONS AVEC LE STAND GÉOTHERMIE ADEME-BRGM

Projet de Service public : PSP11GTH05

Chef de projet et équipe de projet : Cécile Chéry

Rapport : Participation à des manifestations avec le stand Géothermie (BRGM/RP-60903-FR)

Objectifs : Participation à des salons

Le très net regain observé pour la géothermie se traduit aujourd'hui par une volonté politique via le Grenelle de l'Environnement et notamment une de ces applications directes : le Fonds chaleur Renouvelable. Cette volonté ambitieuse d'augmenter la production de chaleur par énergies renouvelables de 10 MTep supplémentaire d'ici 2020 entraîne la nécessité de faire émerger de nouveaux projets exploitant la géothermie.

Dans le cadre de ce contexte, l'ADEME et le BRGM ont entrepris depuis près de 5 ans un travail important d'information-communication sur la géothermie. C'est pourquoi l'ADEME et le BRGM, continue de conjuguer leurs efforts pour faire connaître et promouvoir cette filière en participant à des salons destinés à un public varié.

Le présent rapport porte sur la présence et l'animation d'un stand consacré à la géothermie pour le Salon des Maires et des Collectivités Locales regroupant les décideurs locaux du 22 au 24 novembre 2011 et pour le salon Journées de la Géothermie dédié aux professionnels de la filière, les 14 et 15 décembre 2011.

PROJET 6 : KIT ACCUEIL

Projet de Service public : PSP11GTH06

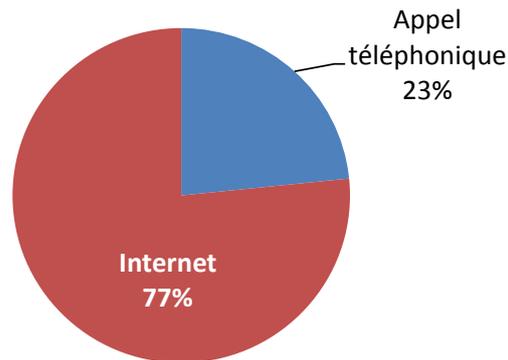
Chef de projet et équipe de projet : Jean-Claude Martin, Cécile Chéry

Objectif : Accueil et réponses aux questions relatives à la géothermie. Mise en ligne d'un FAQ sur le site internet géothermie-perspectives. Réalisation et diffusion d'une mallette de documents sur la géothermie.

ACCUEIL : le département Géothermie du BRGM a reçu de très nombreux appels pour des questions sur la géothermie, soit par téléphone, soit par la messagerie du site internet géothermie-perspectives.fr. On présente ci-après les statistiques sur le nombre d'appel et la typologie des questions posées.

Période janvier 2011 à février 2012 : 124 contacts

Type contact (total 124)



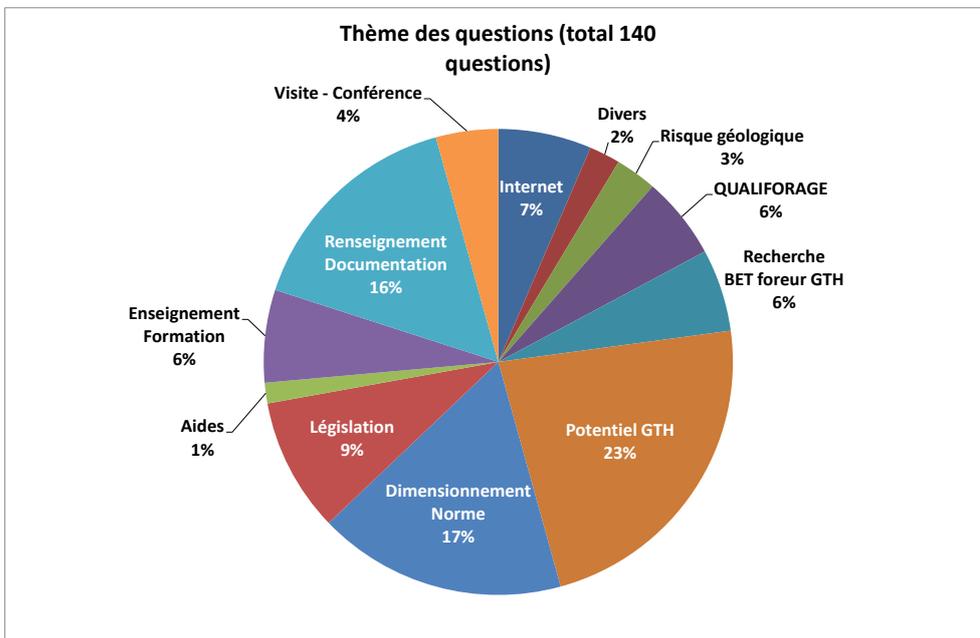
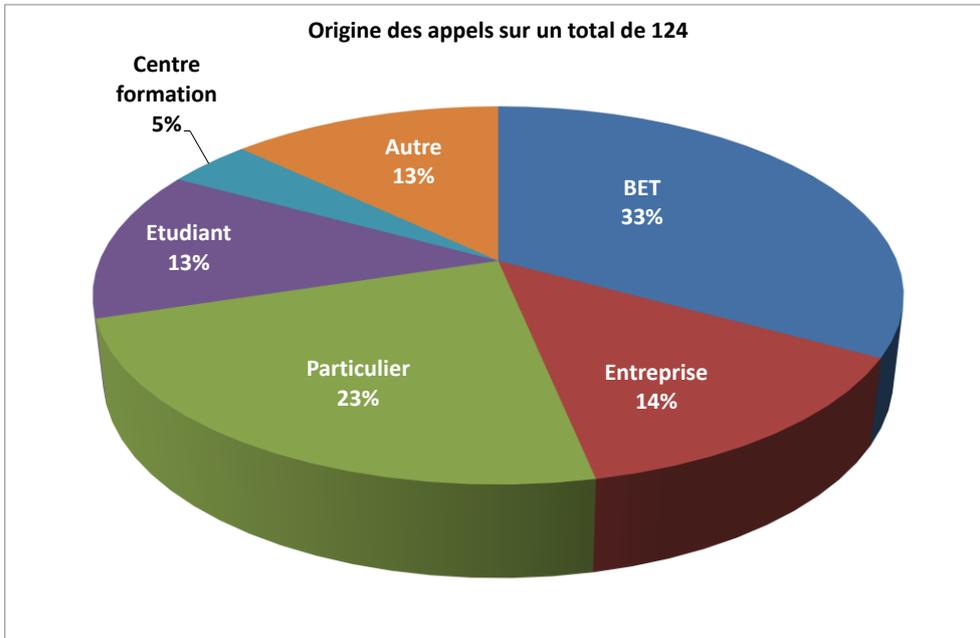
Mise en ligne d'un FAQ sur le site internet géothermie-perspectives.

Un FAQ de 42 questions/réponses sur la géothermie a été mis en ligne sur le site internet géothermie-perspectives. Celles-ci concernent tous les thèmes indiqués dans la typologie des questions posées sur la géothermie du schéma précédent : les risques géologiques, QUALIFORAGE, la recherche de bureaux d'études et de foreurs spécialisés, le potentiel de la ressource géothermale en France, le dimensionnement des installations et les normes françaises, les aspects législatifs, les aides financières possibles, la documentation en général.

Réalisation et diffusion d'une mallette de documents sur la géothermie.

Un KIT Communication a été élaboré et diffusé sous forme de mallettes contenant une série de 22 documents relatifs à la géothermie (voir liste ci-après). Celles-ci ont été

diffusées en 77 exemplaires aux Directions Régionales de l'ADEME (44), au Siège de l'ADEME (6), au 22 Services Géologiques Régionaux du BRGM (22 SGR), au Département Géothermie du BRGM (5).



Origine et typologie des questions posées sur le site internet géothermie-perspectives.fr.

| N° | Titre | Commentaire |
|----|---|----------------|
| 1 | La géothermie. Quelles technologies pour quels usages ? Collection « les enjeux des Géosciences » ADEME-BRGM. | 1 exemplaire |
| 2 | Bon de commande La géothermie. | 10 exemplaires |
| 3 | Guide technique. Pompe à chaleur géothermique sur aquifère. Conception et mise en œuvre. Collection Scientifique et Technique. ADEME-ARENE. Editions du BRGM. | 1 exemplaire |
| 4 | Bon de commande. Guide technique PAC. | 10 exemplaires |
| 5 | Guide technique. La géothermie et les réseaux de chaleur. Guide du Maître d'Ouvrage. Collection Scientifique et Technique. ADEME. Editions du BRGM. | 1 exemplaire |
| 6 | Bon de commande. Réseau de chaleur. | 10 exemplaires |
| 7 | Flyers le site internet http://www.geothermie-perspectives.fr/ | 20 flyers |
| 8 | Qualiforage. L'engagement du foreur de sondes géothermiques : plaquette EDF - ADEME - BRGM. | 20 flyers |
| 9 | Les pompes à chaleur : plaquette ADEME. | 2 exemplaires |
| 10 | Pompes à chaleur à usage principal de chauffage : plaquette AQC. | 2 exemplaires |
| 11 | Les aides financières (ADEME). | 2 exemplaires |
| 12 | Bulletin « La géothermie en France » : n° 4, 6, 7, 8. | 4 n° |
| 13 | Géorama, plaquette n° 20 (mars 2009) : production de chaleur par géothermie. | 1 exemplaire |
| 14 | La géothermie : une solution pour la rénovation du résidentiel individuel. | 1 exemplaire |
| 15 | La géothermie : une solution pour la rénovation du résidentiel collectif et du tertiaire. | 1 exemplaire |
| 16 | L'Association Française pour la Géothermie (AFPG). | 1 exemplaire |
| 17 | Pompe à chaleur géothermique. | 2 exemplaires |
| 18 | La plaquette AQUAPAC. | 1 exemplaire |
| 19 | Dossier de demande de garantie. | 1 exemplaire |
| 20 | Formation - PAC GTH en collectif et tertiaire : montage de projet. | 1 exemplaire |
| 21 | Formation - Introduction à la géothermie. | 1 exemplaire |

Contenu de la mallette Kit Communication Géothermie 2011.

PROJET 7 : APPUI AU SIÈGE, PARTICIPATION À DES ORGANISATIONS

Projet de Service public : PSP11GTH07

Chef de projet et équipe de projet : Alain Desplan, Florence Jaudin, Olivier Goyénèche, Adeline Poux

Rapport : Appui à l'ADEME pour l'animation et la structuration de la filière géothermie (Note GTH/DMCG-61/12)

Objectifs : Le BRGM accompagne l'ADEME dans sa stratégie de développement de la géothermie sous toutes ses formes.

PROJET 8 : APPUI AUX DÉLÉGATIONS RÉGIONALES DE L'ADEME

Projet de Service public : PSP11GTH08

Chef de projet et équipe de projet : Alain Desplan, Florence Jaudin, Olivier Goyénèche, Adeline Poux

Rapport : Appui à l'ADEME pour l'animation et la structuration de la filière géothermie (Note GTH/DMCG-61/12)

Objectifs : Le présent projet concerne la mise en place de contacts permettant d'une part d'accompagner les délégations régionales de l'ADEME pour le développement d'actions spécifiques et d'autre part, d'élaborer s'il y a lieu un partenariat régional spécifique entre DR/ADEME et SGR.

Synthèse des projets n° 7 et 8 :

L'animation et la structuration de la filière Géothermie pour la production de chaleur a constitué une démarche constante depuis la décision de l'Ademe et du BRGM de relancer la géothermie au début des années 2000.

En effet, il a été mis en évidence par différentes réflexions ou travaux, et confirmé par la feuille de route ADEME-BRGM rédigée en 2008, que l'absence de filière géothermique structurée, d'outils de développement de la géothermie, de mécanismes financiers ainsi que de dispositifs de contrôle et de maîtrise de ce développement, nécessitait la mise en place d'un projet dédié à l'animation et à la structuration de la filière géothermique.

À côté d'autres projets qui constituent la convention 09 05 C0119 pour l'année 2011, l'ADEME et le BRGM ont souhaité regrouper dans le présent projet une série d'actions ayant trait à l'animation et la structuration de la filière, soit parce qu'elles correspondent à des appuis à l'ADEME dans des domaines politiques et stratégiques, soit parce qu'elles sont trop diffuses pour qu'elles puissent justifier la constitution d'un projet à part entière.

Après l'année 2010, qui a été une année déterminante par ses résultats concrets provenant d'actions menées dans le cadre du partenariat ADEME-BRGM, résultats dont a bénéficié la filière 'Chaleur Géothermique' :

- la création de l'Association des professionnels de la Géothermie (AFPG),
- l'accompagnement de la création du Comité National de Géothermie (CNG),
- la première journée nationale sur la géothermie (JNG),
- la participation au congrès mondial de géothermie,
- la publication du Guide du maître d'ouvrage pour les réseaux de chaleur,
- les appuis au MEDDTL, notamment la participation active au Groupe de travail du Plan Bâtiment Grenelle qui a abouti à la remise d'un rapport d'étape, ainsi que la rédaction des fiches techniques pour les instructions fiscales de l'année 2010,
- la mise en place de nouvelles formations spécifiques à la géothermie : « Introduction à la géothermie », ainsi que la poursuite de la formation sur la mise en œuvre des pompes à chaleur,
- l'année 2011 aura vu la mise en place de relations tripartites liant l'Ademe, le BRGM, et l'AFPG, avec des actions communes, comme les journées de la Géothermie au *Parc floral de Vincennes*, la mise en place de « Journées Régionales de Sensibilisation à la Géothermie », munie d'une session test faite en Bourgogne, qui a connu vif succès avec une centaine de participants régionaux.

Par ailleurs, le BRGM a participé à de nombreuses réunions en région pour contribuer à l'émergence de nouveaux projets régionaux, comme les Schéma Régionaux Climats Air Energie (SRCAE).

Enfin, une situation actualisée du contexte de la géothermie a été tenue à jour dans le cadre de ces projets.

PROJET 9 : QUALIFORAGE 2011 - DÉMARCHE « ENGAGEMENT QUALITÉ » DES ENTREPRISES DE FORAGES DE SONDES GÉOTHERMIQUES

Projet de Service public : PSP11GTH09

Chef de projet et équipe de projet : Pascal Monnot, Frédéric Touchard

Rapport : QUALIFORAGE - Engagement qualité des entreprises de forage de sondes géothermiques verticales (BRGM/RP-60593-FR)

Objectifs : Cette démarche, mise en place depuis 2001, vise à un développement maîtrisé du marché des pompes à chaleur sur sondes géothermiques verticales en France grâce à la mise en place d'un « standard de qualité » formalisé par une norme AFNOR NF X10-970.

Synthèse :

La démarche d'engagement de qualité des entreprises de forages de sondes géothermiques verticales (QUALIFORAGE) a été lancée en début 2001. Depuis 2005, le BRGM en assure le pilotage pour le compte d'EDF et de l'ADEME. Depuis 2009, cette démarche n'est plus portée par EDF.

Le principal objectif de QUALIFORAGE est d'assurer le suivi du dispositif engagement qualité foreurs visant à développer une offre de qualité pour la mise en œuvre de sondes géothermiques verticales.

À la fin de l'année 2011, on compte **236 foreurs** qui ont déjà été enregistrés dans la base de données QUALIFOREURS depuis 2001. Ce chiffre est significatif du déploiement de QUALIFORAGE au niveau national et de la communication associée. Les quatre régions qui dénombrent le plus de foreurs enregistrés (tous statuts confondus) sont : **PACA, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, Pays de la Loire.**

À la fin de l'année 2011, **93 foreurs** sont qualifiés, soit **~40 %** du total des foreurs enregistrés dans la base de données. Le nombre de foreurs qualifiés est toutefois en léger retrait par rapport à l'année précédente : on en dénombrait 96 en décembre 2010, soit une baisse de **3 %** (annexe 2). On note une diminution marquée du nombre de foreurs qualifiés en Poitou-Charentes, ce qui s'explique par les contrôles de chantier réalisés ou l'instruction des dossiers (non-paiement de la cotisation).

On note également que le nombre de **foreurs résiliés en 2011 a été important**, soit 15 foreurs, ce qui représente une progression de **54 %** par rapport au total cumulé sur la période 2001- 2010. Les deux régions qui recensent le plus grand nombre de foreurs déjà résiliés sont la Lorraine et PACA ; viennent ensuite Pays de la Loire, Poitou-Charentes, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon.

Le léger recul du nombre de foreurs qualifié peut s'expliquer par la crise économique particulièrement ressentie en 2011 dans le secteur du bâtiment. La tension du Marché est visible sur les prix pratiqués par les entreprises de forage pour réaliser des opérations sur sondes géothermiques : **on s'aperçoit d'une baisse des prix**

minimums¹, en particulier dans les régions Auvergne, Rhône-Alpes, Franche-Comté, PACA (annexe 6). La tendance s'inverse parfois pour les prix moyens⁸, notamment pour Rhône-Alpes où la progression est des plus élevée en 2011. Il n'est cependant pas possible de connaître les prix réellement pratiqués vis-à-vis du client.

L'amélioration continue de la qualité reste le fil conducteur de la démarche et la crédibilité de la démarche repose essentiellement sur les contrôles de terrain (chantier ou atelier) : près de **140 forages** ont déjà été contrôlés par le BRGM dans le cadre de QUALIFORAGE depuis 2001. On note que la plus forte progression du nombre de contrôles réalisés est en 2011 (**56 contrôles**), soit une progression de **68 %** par rapport à 2010 (annexe 8). On dénombre à fin 2011 14 foreurs agréés qui n'ont pas encore été contrôlés, soit 15 % du total de foreurs qualifiés (ces derniers seront contrôlés prioritairement en 2012). Pour comparaison, on en comptait à fin 2010 38, soit une diminution en 2011 de 63 % (annexe 9).

D'un point de vue technique, on peut remarquer que l'utilisation des coulis spécialement conçus pour la géothermie n'est pas encore systématique (annexe 10), bien que recommandée dans la NF X10-970. Le Thermocem² est par exemple utilisé dans sept régions et le Prestobent³ dans douze régions, bien que ce dernier soit thermiquement moins efficace. Les deux techniques de forage les plus utilisées sont le marteau fond de trou (MFT) et le rotary.

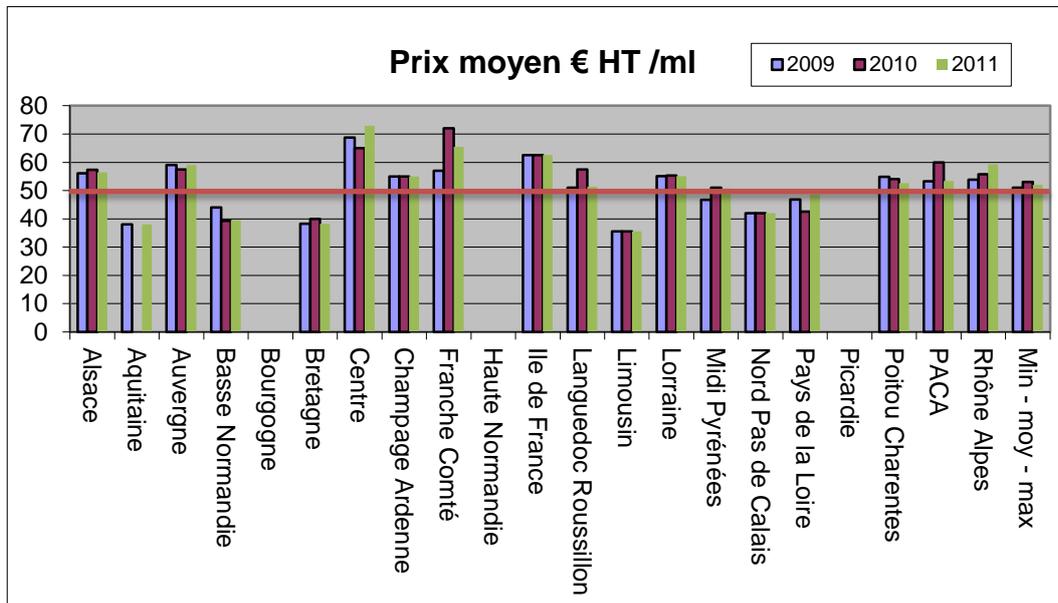
À la fin 2011, **91 foreurs** ont réglé leur **cotisation** 2011 (97 %), ce qui témoigne la conviction générale des foreurs agréés à poursuivre leur adhésion.

Les principales actions proposées pour faire évoluer QUALIFORAGE en 2012 sont la mise en place d'un nouveau comité de pilotage étendu, la formalisation du nouveau règlement intérieur (convention d'adhésion - charte) et de mener une réflexion sur les implications d'une certification.

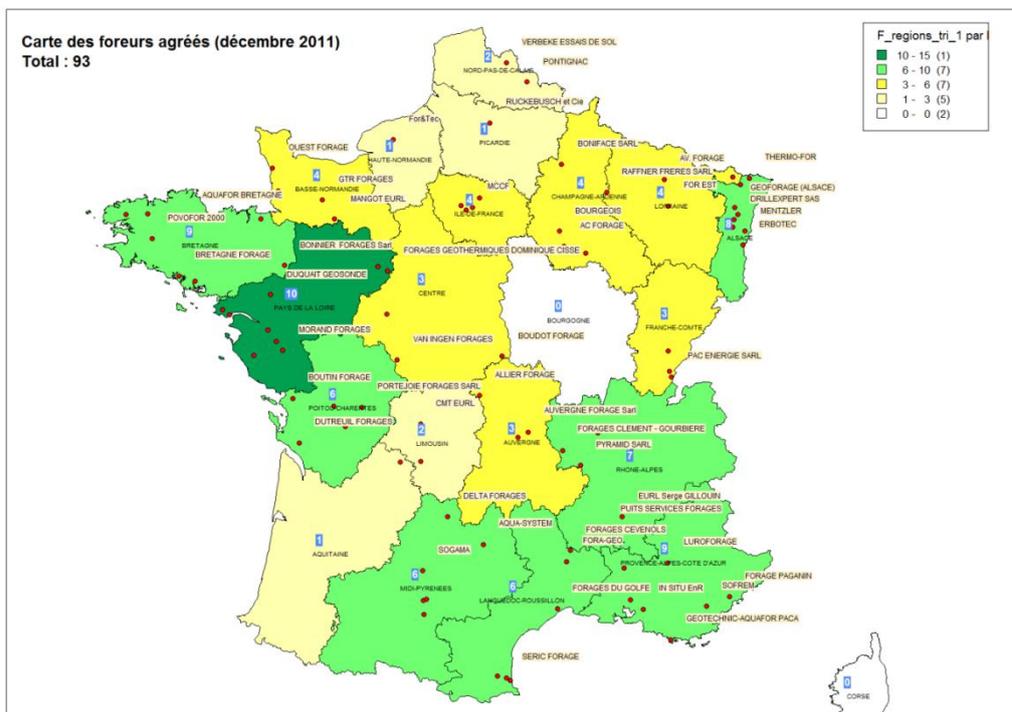
¹ Prix annoncés par les foreurs qui sont enregistrés dans la base de données QUALIFOREURS : montants HT, par mètre linéaire de sonde posée et cimentée.

² Conductivité thermique affichée par le constructeur : 2.0 W/m.k.

³ Conductivité thermique non affichée par le constructeur, mais probablement de : 0.6 W/m.k.



Comparaison par région des prix moyens HT par mètre linéaire de SGV posée et cimentée.



Nombre de foreurs agréés QUALIFORAGE par région administrative (total 93) - Situation à décembre 2011.

PROJET 10 : RÉDACTION DE GUIDES TECHNIQUES ET DE NORMES CONCERNANT LE MATÉRIEL MIS EN PLACE DANS LES SONDES GÉOTHERMIQUES ET LA CIMENTATION

Projet de Service public : PSP11GTH10

Chef de projet et équipe de projet : Pascal Monnot, C. Reiss (Ventilone), collaboration C. Maragna

Rapports : Guides techniques et normes appliqués à la géothermie très basse énergie (BRGM/RP-60814-FR) et Protocole de test de réponse thermique (BRGM/RP-60816-FR)

Objectifs : Établir des groupes de travail spécialisés dans chaque domaine technique avec pour objectif, la rédaction des guides techniques. Établir à terme des normes avec comme base rédactionnelle, les guides techniques. Mettre en cohérence les normes nationales avec les futures directives européennes

Synthèse rapport Guides Techniques et Normes (BRGM/RP-60814-FR) :

La géothermie très basse énergie, c'est-à-dire qui nécessite l'utilisation d'une pompe à chaleur, se présente aujourd'hui sous différentes techniques : accès à la ressource par forage vertical ou incliné (sondes géothermiques verticales, champ de sondes, forages d'eau) ; par excavation des terrains superficiels (corbeilles géothermiques) ou par décapage (capteurs horizontaux).

Les solutions techniques sont plus ou moins bien maîtrisées. En revanche, on constate qu'un vide normatif existe pour l'ensemble des techniques susmentionnées. Vu l'ampleur du développement des sondes géothermiques verticales et les remontées des contrôles de chantiers réalisés dans le cadre du projet QUALIFORAGE, le BRGM a lancé courant 2007, en collaboration avec le SFE, une démarche de normalisation sur la mise en œuvre de la sonde géothermique verticale (norme NF X 10-970 homologuée le 30/08/10). Dans la poursuite de cette action, une démarche visant la normalisation produit sur la boucle de sonde (tube) a été mise en route fin 2009 avec pour objectif, d'aboutir à une norme AFNOR prNF X10-960 pour fin 2012.

Au niveau européen, des travaux sont en cours dans ce domaine, notamment en ce qui concerne la normalisation des tests de réponse thermique (TRT) ainsi que sur la mise en œuvre des capteurs géothermiques.

Le présent rapport synthétise les actions qui ont été menées en 2011 dans le cadre des travaux de normalisation (boucle de sondes, coulis géothermique), ainsi que dans la rédaction de guides (guides techniques relatifs aux pompes à chaleur géothermiques sur aquifères et sur champ de sondes) ou de protocoles (protocole de réalisation des TRT).

Protocole de test de réponse thermique (BRGM/RP-60816-FR) :

Le test de réponse thermique, nécessaire en préambule au dimensionnement des champs de sondes géothermiques verticales (SGV), est une opération simple dans le

principe mais qui nécessite d'être rigoureusement menée pour produire des résultats fiables et réellement représentatifs du contexte géologique.

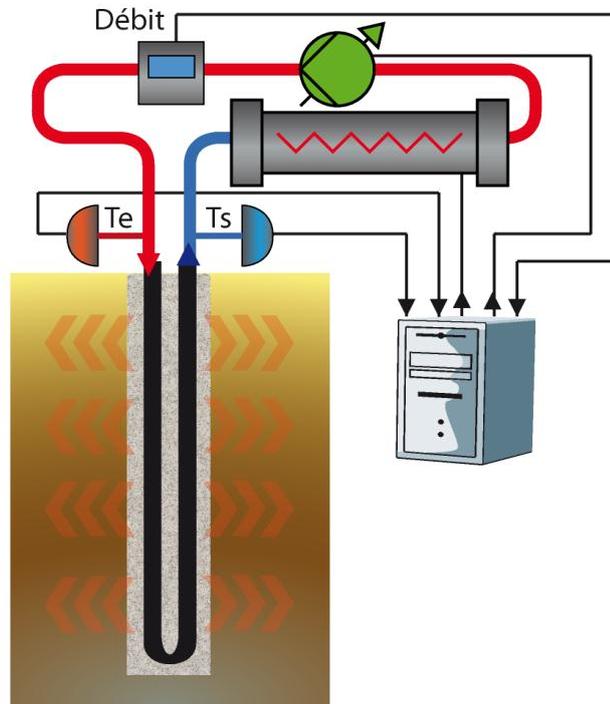
Le but du présent document est d'accompagner le lecteur dans la compréhension des techniques mises en œuvre, et de lui permettre d'exercer un œil critique quant à l'analyse de prestations effectuées en la matière. Parallèlement, et en l'état actuel de la normalisation, ce document tente de constituer une base d'information aussi complète que possible sur les pratiques de mise en œuvre. Celles-ci devraient idéalement être respectées par les prestataires, afin que les résultats produits le soit en toute transparence et puissent être recoupés par un homme de l'art.

En première partie du document, on présente quelques **définitions**, en particulier sur le test de réponse thermique (TRT) lui-même, la température stabilisée du sol, la conductivité, la chaleur spécifique et la résistance thermique de la sonde. Ces définitions ont pour objectif de bien caler la terminologie et fixer les postulats de base sur lesquels sont fondés les TRT.

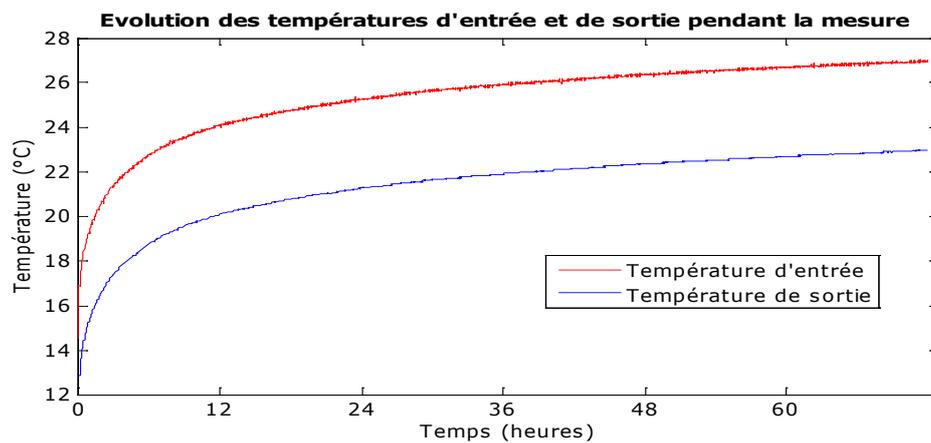
Dans une deuxième partie, on présente plus spécifiquement le **protocole de réalisation du TRT**, le principe général mais également les mesures réalisées in-situ et les paramètres déterminés numériquement. Le protocole consiste à déterminer, dans un premier temps, la **température initiale** du sous-sol (deux méthodes décrites : le relevé du Log thermique, et la mesure par circulation), puis de déterminer la **conductivité thermique** moyenne des terrains au droit de la sonde et la **résistance thermique** moyenne de la sonde. Deux méthodes sont présentées : la première la plus simple et la plus couramment utilisée est la détermination de la conductivité par application de la théorie de la source linéaire infinie (LSI) de chaleur ; la seconde étant la détermination de la conductivité par modélisation thermique en deux ou trois dimensions de la SGV et de son environnement. Cette seconde méthode exige le recours à un logiciel de calcul scientifique ou à un modèle numérique dédié au dimensionnement des SGV. On termine cette partie par un exemple d'application concret, avec des valeurs typiques, permettant de retracer la procédure d'analyse des données et de calcul des paramètres de dimensionnement.

En troisième partie du document, on décrit les **différents composants** d'un TRT : la sonde test, la présentation d'un appareil type pour réchauffer le sous-sol ainsi que les **principes de mise en œuvre** (délai entre la pose de la sonde et la mesure des températures, choix des paramètres du test, durée du test).

À la fin du document, on décrit le contenu d'un rapport type et on donne l'ordre de grandeur des principaux résultats que l'on devrait retrouver à l'issue de la réalisation d'un TRT : conductivité thermique, capacité calorifique, résistance thermique de la sonde et influence de la présence d'un aquifère si tel est le cas.



Principe d'un appareil de Test de Réponse Thermique (TRT).



Évolution des températures d'entrée T_e et de sortie T_s pendant la mesure.

PROJET 11 : ÉVOLUTION DES PERFORMANCES D'OPÉRATIONS DE PAC GÉOTHERMIQUES SUR PLUSIEURS ANNÉES D'EXPLOITATION - INSTRUMENTATION ET COMPARAISON DES MODÈLES DE DIMENSIONNEMENT

Projet de Service public : PSP11GTH11

Chef de projet et équipe de projet : Pascal Monnot, Charles Maragna, Mikael Philippe

Rapport : État de l'art à l'échelle internationale des méthodes de pré-dimensionnement de sondes géothermiques verticales (BRGM/RP-60815-FR).

Objectifs : Mettre en place l'organisation et le protocole d'instrumentation de nouvelles opérations de PAC géothermique. Comparer les méthodologies de dimensionnement actuelles et développer de nouveaux ratios de dimensionnement.

Synthèse :

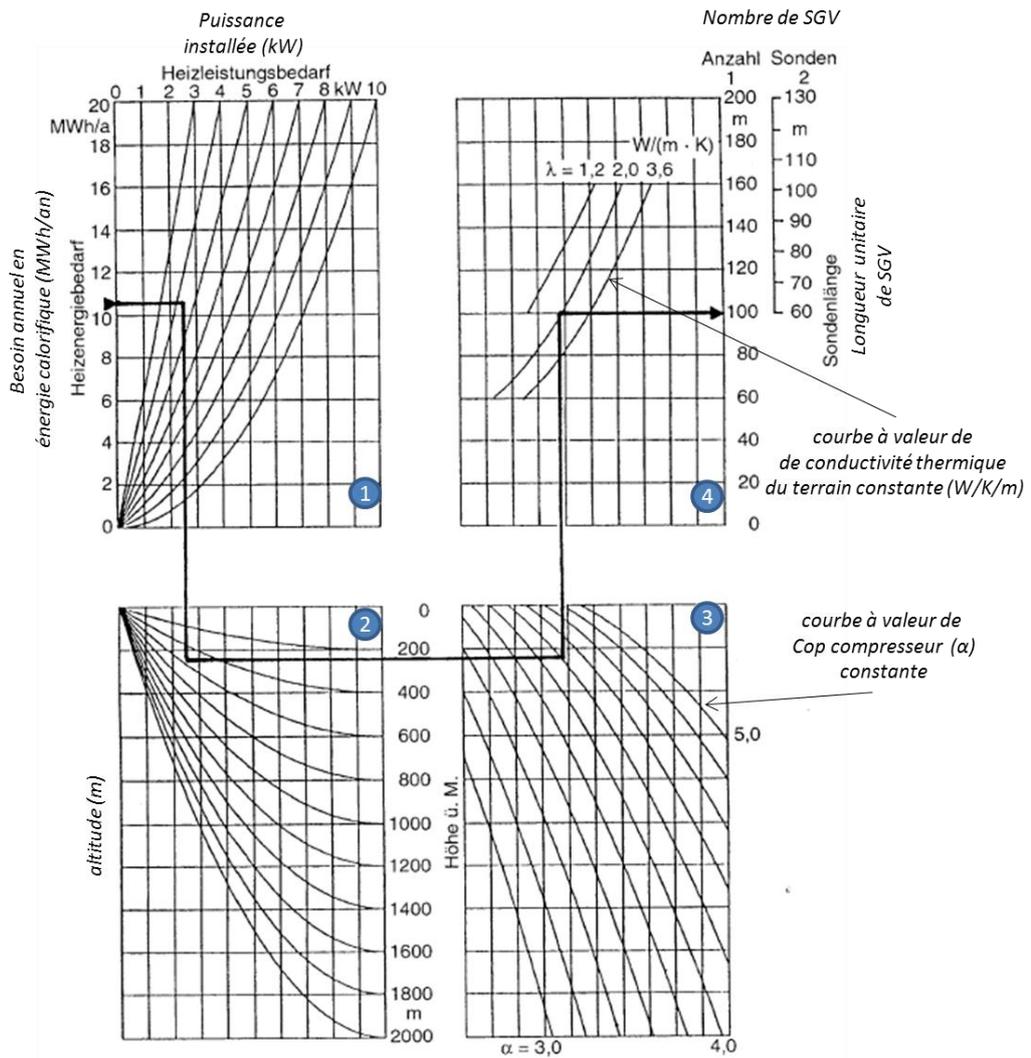
Le présent rapport présente un état de l'art des méthodes de prédimensionnement de sondes géothermiques verticales. Cinq méthodes ont été identifiées : SIA-384/6 (Suisse), VDI 4640 (Allemagne), la MIS 3005 (Royaume-Uni), ASHRAE (Amérique du Nord), RETScreen.

La SIA-384/6, la VDI 4640, la MIS 3005 sont des méthodes pour le dimensionnement de petites installations, comportant typiquement moins de 4 SGV (maisons individuelles). Ces trois méthodes se présentent sous formes d'abaques facilement manipulables. Les données d'entrée communes aux trois méthodes sont la puissance maximale soutirée au terrain, la quantité annuelle d'énergie soutirée au terrain, la conductivité thermique du terrain. La donnée de sortie commune aux trois méthodes est la longueur de SGV. La SIA-384/6 prend en compte l'influence d'un plus grand nombre de paramètres que la VDI 4640 ou la MIS 3005, en particulier la géométrie de la SGV, le régime d'écoulement, le gradient géothermique, la disposition et l'intervalle entre les SGV, qui peuvent avoir une influence non négligeable sur le dimensionnement.

Les méthodes ASHRAE et RETScreen sont des méthodes pour le prédimensionnement de champs de SGV, pour des besoins de chaud et/ou de froid.

La méthode ASHRAE permet de prédimensionner, à l'aide d'une feuille de calcul, un champ comportant jusqu'à 144 SGV. Le besoin en énergie thermique du bâtiment est caractérisé par la puissance maximale échangée avec le terrain, la quantité annuelle d'énergie échangée avec le terrain (comme pour les méthodes SIA-384/6, la VDI 4640, la MIS 3005), la quantité maximale d'énergie échangée sur un mois. La résistance thermique de la SGV est rentrée par l'utilisateur. La donnée de sortie est la profondeur de chaque forage. La méthode n'estime pas le COP annuel de la PAC, l'utilisateur entrant une hypothèse de COP au début du calcul.

La méthode RETScreen permet de prédimensionner une PAC sur champ de SGV à l'aide d'une feuille de calcul. La méthode calcule la consommation en chaud et en froid du bâtiment en fonction de la température de l'air extérieur, puis l'évolution temporelle de ces consommations à partir d'une courbe d'air extérieur générée par le logiciel. La méthode comporte un modèle simplifié de PAC, prenant en compte la dépendance du COP à la température du fluide caloporteur de la SGV.



Détermination de la longueur de SGV à partir de l'abaque fournie par la VDI 4640.

PROJET 12 : COMITÉ TECHNIQUE AQUAPAC ET VALORISATION DES DONNÉES DES DOSSIERS

Projet de Service public : PSP11GTH12

Chef de projet et équipe de projet : Jean-Claude Martin, Mohammed Analy

Rapport : Garantie AQUAPAC. Expertises 2011 et valorisation des dossiers de demande de garantie (BRGM/RP-60382-FR)

Objectifs : Participation au Comité AQUAPAC pour une expertise des opérations PAC.

Synthèse :

La garantie AQUAPAC couvre le risque d'échec consécutif à la découverte d'une ressource en eau souterraine, destinée à un usage géothermique, insuffisante pour le fonctionnement des installations prévues, appelée garantie « recherche ». Une fois l'opération réalisée, cette garantie couvre le risque de diminution ou de détérioration de la ressource durant les dix premières années d'exploitation, garantie « pérennité ». Cette garantie a été créée en 1983 par l'ADEME, le BRGM et EDF.

Elle est gérée par la SAF-Environnement, (société auxiliaire de financement), filiale de la Caisse des dépôts et des consignations (CDC). L'attribution de la garantie repose sur l'examen, par le Comité Technique AQUAPAC, d'un dossier présentant les éléments techniques nécessaires à l'évaluation du projet. Le BRGM, membre du Comité AQUAPAC, apporte son expertise sur les éléments géologiques, hydrogéologiques et techniques des forages et des essais de production. À ce titre, en 2011, le BRGM a participé à sept réunions du Comité Technique, et a examiné 31 dossiers de demande de garantie AQUAPAC (29 en recherche et 2 en pérennité).

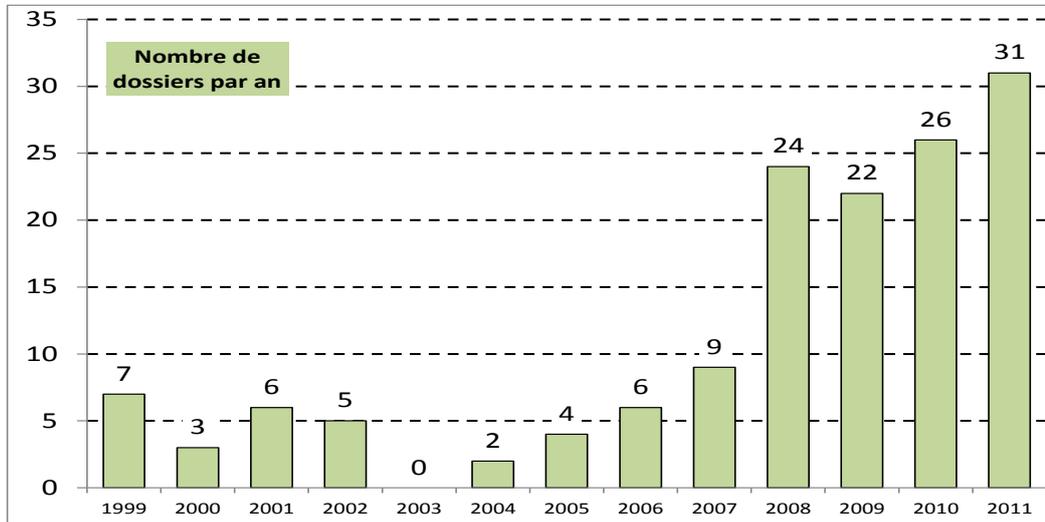
La procédure AQUAPAC a permis de rassembler des informations relatives aux opérations de géothermie très basse énergie sur eau de nappe des 269 dossiers traités depuis 1983.

Au vue de la forte augmentation des demandes de prise en charge par la garantie AQUAPAC, et les perspectives de développement de la géothermie très basse énergie, l'ADEME et le BRGM ont souhaité développer un outil d'archivage numérique des données des dossiers et leur valorisation. Les données ont été regroupées dans une base de données puis analysées avec une restitution sous forme de graphiques.

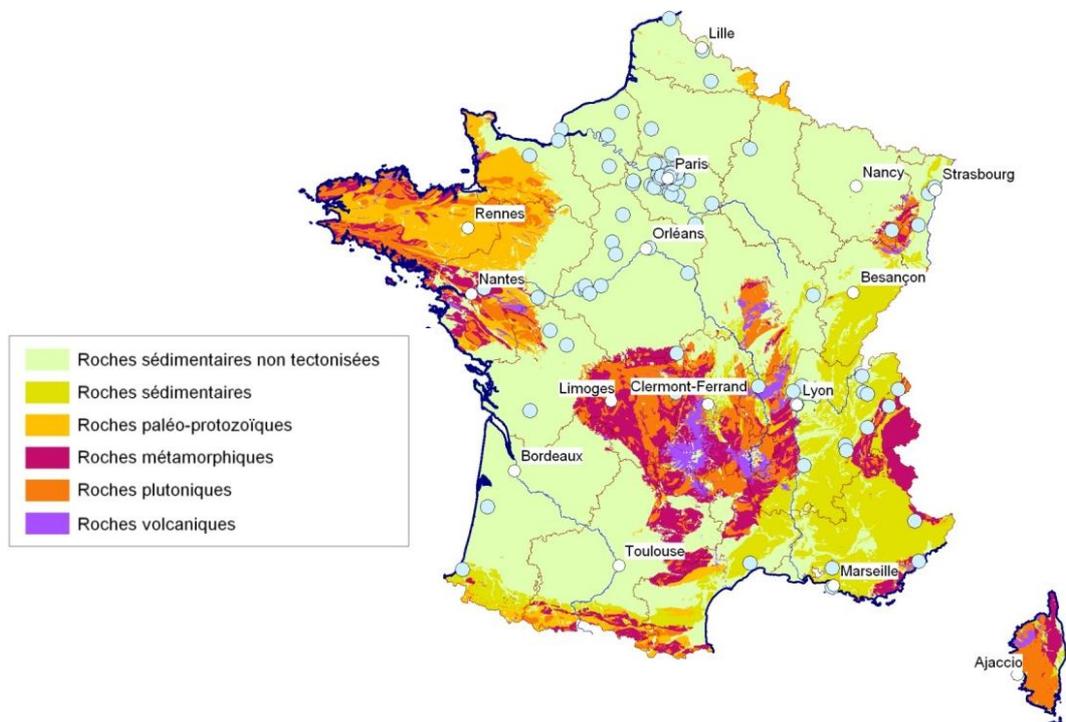
Ce rapport présente les statistiques relatives aux montants des garanties AQUAPAC attribuées dans le cadre de la garantie « recherche ». Elles concernent le coût de réalisation du forage de production, et les éléments dont dépendent ce coût, à savoir, la profondeur, la localisation géographique, le débit d'exploitation et les niveaux géologiques captés.

Cette analyse aboutit à des formules empiriques du coût des forages en fonction de la profondeur, modulé selon le secteur géographique concerné (en Île-de-France ou hors Île-de-France) et du débit d'exploitation envisagé.

Participation à sept réunions du Comité AQUAPAC : 11 janvier 2011, 1^{er} mars 2011, 15 avril 2011, 23 mai 2011, 9 août 2011, 12 octobre 2011 et 6 décembre 2011.



Évolution du nombre de dossier AQUAPAC entre 1999 et 2011 (dossiers « recherche » et « pérennité » cumulés).



Localisation géographique des opérations AQUAPAC sur fond de la carte géologique simplifiée de la France.

PROJET 13 : ÉLABORATION D'UNE BD GÉOTHERMIE À L'ATTENTION DES GESTIONNAIRES ET EXPLOITANTS DES RESSOURCES DU SOUS-SOL

Projet de Service public : PSP11GTH13

Chef de projet et équipe de projet : Jean-Claude Martin, Grégory Delobelle, Arnaud Pidon, Cécile Chéry, Mohammed Analy

Rapport : Éléments de réflexion pour la création d'un système d'information dédié à la géothermie (BRGM/RP-60523-FR)

Objectifs : Le BRGM propose d'initier une réflexion visant à :

- identifier les besoins de l'administration et des utilisateurs de données,
- définir l'existant en matière de base de données « géothermie »,
- préciser l'intérêt de constituer une base nationale dédiée à la géothermie,
- préciser les contraintes à respecter,
- identifier les moyens de simplification du transfert de données entre établissements.

Synthèse :

Dans le contexte actuel de fort développement de la géothermie en France, le recensement de l'activité en cours et les besoins en données sont importants. Le BRGM a initié une réflexion sur le thème des données géothermiques.

Le présent rapport constitue un état initial visant à identifier les besoins de l'administration et des utilisateurs de données en termes de nature des données à archiver. Il précise l'existant en matière de bases de données dédiées à la « géothermie », et d'outils de collecte et d'échange d'information. L'intérêt de constituer une base nationale dédiée à la géothermie, en complément des bases existantes, est évalué en précisant les contraintes à respecter pour répondre au souci permanent d'interopérabilité avec les systèmes d'information existants. Il est proposé quelques éléments de stratégie en vue d'améliorer les conditions de recueil, stockage et mise à disposition des données géothermie, permettant d'appuyer le développement de cette filière.

Cette approche concerne essentiellement la géothermie basse et très basse énergie pour les besoins de chauffage, avec ou sans pompe à chaleur, en France Métropolitaine.

Ce rapport peut être envisagé comme une pré-étude d'opportunité quant à la faisabilité et la nécessité de la mise en place d'un système d'information « intégré » appliqué à la thématique de la géothermie. Il peut être considéré comme une étape préalable à la rédaction d'un cahier des charges plus concret dont l'objectif serait à la fois d'aboutir à la mutualisation des besoins, à la description d'une méthodologie appropriée et à la spécification des outils techniques et architectures afférentes.

Il a en effet démontré à la fois un potentiel d'information existant important et assez largement sous-exploité à la fois par manque d'organisation et de temps du fait des

impératifs de production, mais il a également démontré la difficulté à traduire des besoins en adéquation avec les données effectivement existantes.

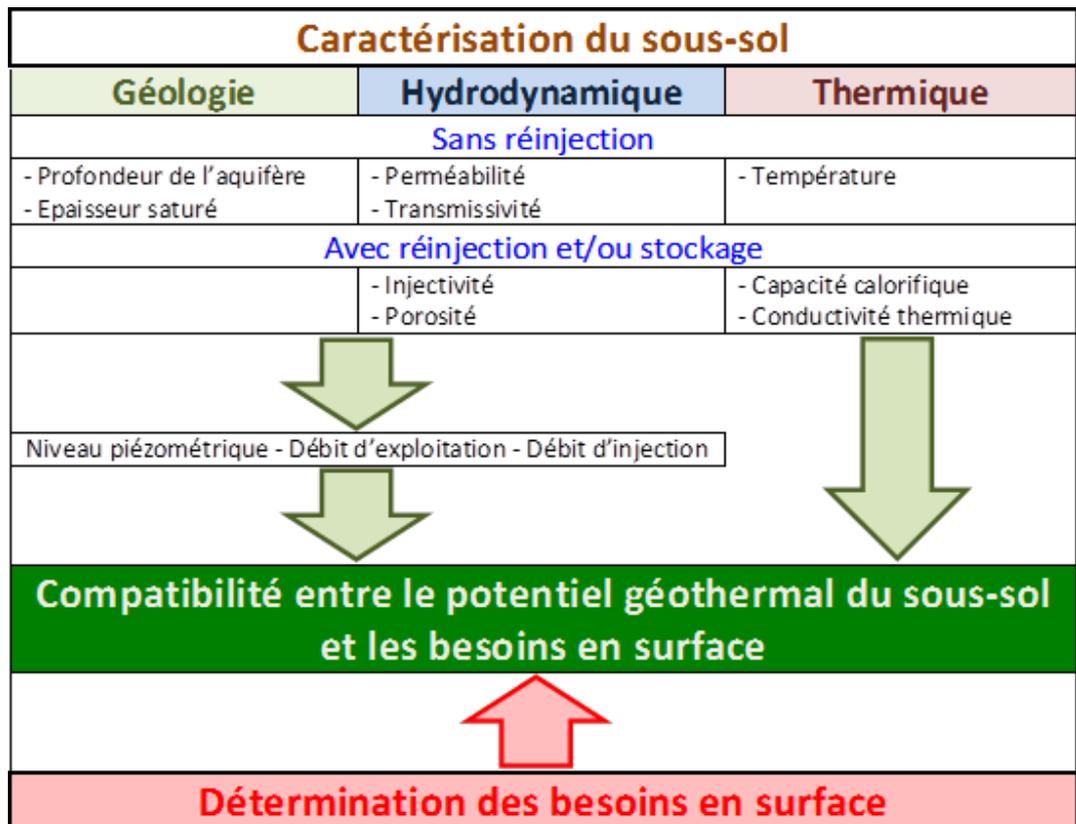
Les propositions d'évolution ont été formulées avec l'ambition de se positionner comme des moyens d'amélioration des méthodes employées actuellement, en se basant sur les exigences suivantes :

- faciliter le partage de l'information,
 - permettre la diffusion de l'information,
 - encourager l'interopérabilité.
- L'obligation de diffusion des données publiques

Le rapport rappelle les obligations nationales en matière de diffusion des données publiques (loi CADA n° 78-753 de juillet 1978).

- Expression des besoins

Le rapport dresse un inventaire des besoins, d'une part de l'administration en matière de police de l'eau, d'autre part des bureaux d'étude, des entreprises de forage et des particuliers en matière de données scientifiques et techniques.



Grandeurs et paramètres de caractérisation du sous-sol pour la géothermie.

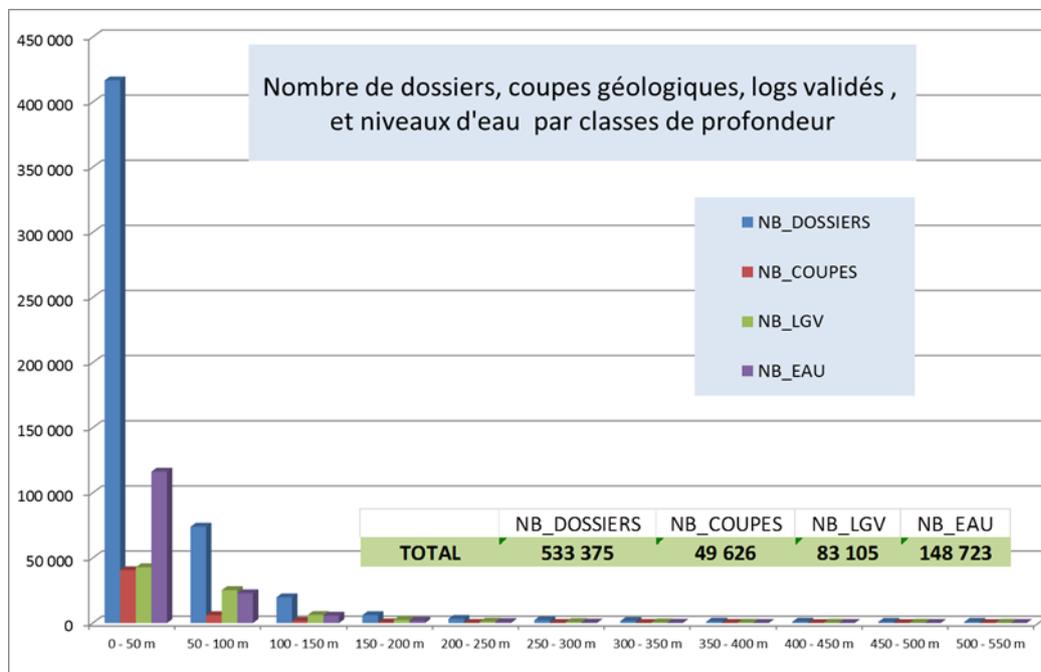
- Le rôle de la législation

Le rapport montre qu'il existe une législation favorable à la constitution de bases de données publiques sur la géothermie. En effet, le code minier d'une part oblige soit à une déclaration des nouveaux forages ou des nouveaux projets de géothermie, soit à une demande d'autorisation pour les projets de géothermie de plus de 100 m de profondeur ou si la puissance thermique est supérieure à 232 KW. D'autre part, le code de l'environnement oblige à une déclaration ou à une demande d'autorisation les prélèvements ou les réinjections d'eau supérieurs à un certain débit ou un certain volume pour lesquels toutes les opérations de géothermie sont concernées. Le suivi et le traitement de ces déclarations et demandes d'autorisation sont une source potentielle d'information pour le suivi de l'activité de la géothermie en France.

- Les bases de données existantes

L'état des lieux présente tout d'abord les données scientifiques structurées telle que la BSS du BRGM, puis les données bibliographiques spécifique disponibles.

La BSS du BRGM, qui contient un peu plus de 500 000 forages ou puits géoréférencés, avec un grand nombre d'ouvrages géothermiques, devrait être étendue pour sa partie données géothermiques, à l'identique de la BSS Eau qui est spécialisée sur les données relatives aux eaux souterraines. Dans cette extension de la BSS, il pourrait être introduit des données telles que la conductivité thermique des sols, l'enregistrement des Tests de Réponse Thermique pour constituer une base de données scientifiques à la disposition des chercheurs et des bureaux d'étude.



Nombre de dossiers, coupes géologiques, logs validés et niveaux d'eau par classes de profondeur.

Parmi les bases de données structurées on compte les Atlas du potentiel géothermique qui sont interrogeables via le site internet Géothermie-Perspectives, et fournissent des informations sur les aquifères dans le but d'aider les aménageurs à réaliser des opérations de géothermie par pompe à chaleur sur nappe.

Il existe d'autres bases structurées telles que la base DOGGER qui recense toutes les données relatives au réservoir géothermique du Dogger du bassin de Paris, exploité depuis le début des années 80 par une série de doublets en fonctionnement.

On recense d'autres bases scientifiques structurées comme la base SAGA et la base SINOE de l'ADEME. Ces bases de données permettent de suivre entre autres les dossiers instruits par l'ADEME dans le cadre des opérations de géothermie financées par le Fonds Chaleur.

Il existe également de nombreuses données scientifiques non structurées, issues de projets liés à la géothermie tels qu'AQUAPAC, CLASTIQ, QUALIFORAGE, Thermo2Pro. Les données de ces projets pourraient être organisées et mutualisées dans le cadre de l'élaboration d'une base nationale de données sur la géothermie.

En complément quelques exemples de dispositifs d'information existants en Europe sont brièvement présentés.

Les données bibliographiques sont également traitées dans ce rapport. D'une part, un fond documentaire (papier) ancien est géré au Département Géothermie via la politique globale de la bibliothèque du BRGM, d'autre part un dispositif spécifique de veille thématique, existe depuis 2002.

Le rapport présente ensuite l'expression des besoins auxquels devrait répondre une structuration des données de géothermie.

- Préconisation pour un système d'information dédié à la géothermie

La dernière partie présente quelques préconisations en vue d'une éventuelle mise en place d'un système d'information globale pour la gestion des données scientifiques et techniques de la géothermie, d'un point de vue à la fois, organisationnel, fonctionnel et dans une moindre mesure technique. Après être revenu sur les nécessaires définitions de concepts liés à la mise en place d'un système d'information, le rapport élabore quelques constats sur les données recensées dans le cadre de ces projets : besoin d'un travail qualitatif de description (métadonnées), nécessité d'un complément de recensement des données scientifiques et techniques géolocalisées, besoin de mobilisation accrue autour de ces questions. Le rapport aboutit donc à l'élaboration de scénarios et d'actions à mettre en œuvre pour optimiser les questions liées à la gestion et à la diffusion de l'information géothermique. Certaines sont rapidement envisageables sur le court terme, d'autres même déjà en cours d'élaboration. Celles-ci peuvent être complétées et associées à une réflexion sur du moyen-long terme dans une perspective de mise en œuvre d'un système d'information plus englobant à l'instar de ce qui se pratique dans d'autres thématiques Eau, Risque, etc.

PROJET 14 : IMPAC - LYON - ÉVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DÛ AUX MODIFICATIONS THERMIQUES INDUITES PAR LES PAC SUR AQUIFÈRES SUPERFICIELS - ANNÉE 2 (2011)

Projet de Service public : PSP11GTH14

Chef de projet et équipe de projet : Pierre Durst, P. Durst, F. Garnier, M. Parmentier, S. Bézèlgues-Courtade

Rapport : ImPAC Lyon - Evaluation de l'impact environnemental dû aux modifications thermiques induites par les PAC sur aquifères superficiels (BRGM/RP-60786-FR)

Objectifs : Étude de l'impact thermique sur la ville de Lyon.

Synthèse :

Contexte de réalisation

La nappe superficielle des alluvions du Rhône, au droit de l'agglomération lyonnaise est l'objet d'une exploitation géothermique depuis les années 60, essentiellement orientée vers la production de froid. Cette exploitation s'est fortement développée depuis les années 90. À partir de 2 000 les premières interrogations vis-à-vis de l'augmentation de la température de l'eau au droit de l'agglomération lyonnaise apparaissent suite au constat de dysfonctionnements et de conflits sur les usages des eaux de nappe. Ainsi, certaines installations subissent une hausse de la température des eaux pompées ; une installation municipale est également perturbée par un développement de bactéries filamenteuses.

Des variations saisonnières de température ont été mises en évidence, avec des amplitudes de 1 à 2 °C, les secteurs à proximité du Rhône indiquant des températures globalement plus élevées (autour de 17 °C, jusqu'à une vingtaine de °C) que sur l'est ou le nord (entre 15 et 16 °C). En fin de saison estivale, après l'utilisation intensive de la climatisation, des températures atteignant 30 °C ont été relevées ponctuellement.

C'est pourquoi la ville de Lyon se penche sur le partage et la gestion pérenne de la ressource que constituent les eaux de nappe ainsi que sur les éventuels risques sanitaires pouvant être induits par cette exploitation.

Objectifs

Il s'agit dans le cadre du projet ImPAC Lyon, cofinancé par l'ADEME, d'évaluer les conséquences des variations de températures liées à l'exploitation géothermique (pour la production de froid) des aquifères sur la qualité des eaux souterraines.

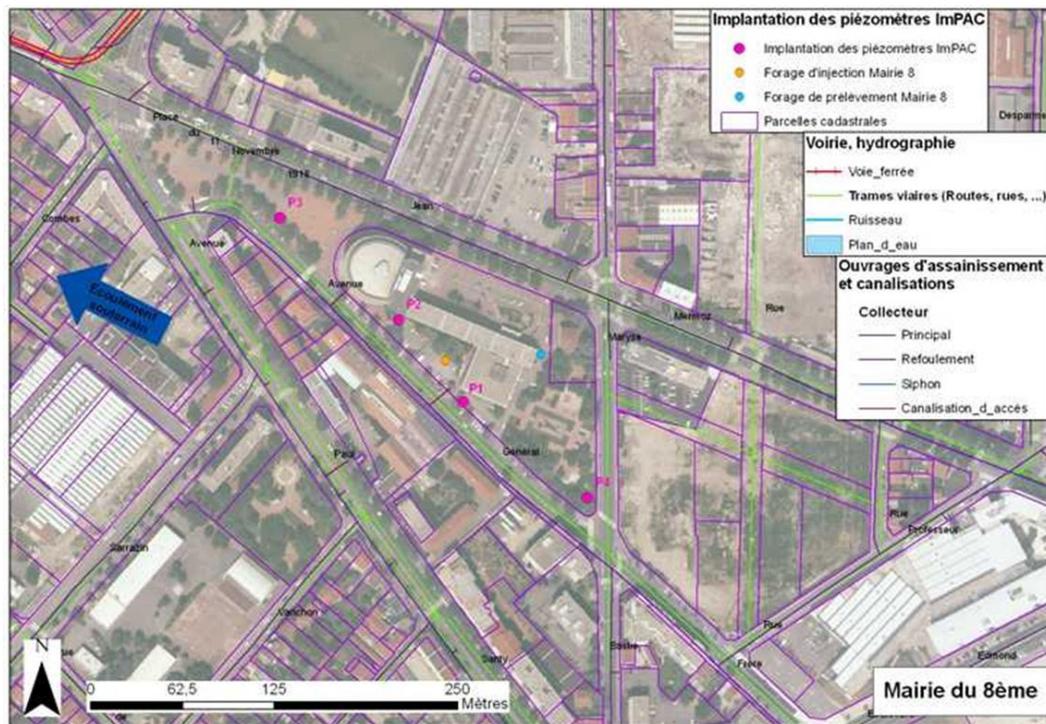
- Impact température/physico-chimie
 - composition de l'eau souterraine
 - polluants organiques en présence

- Impact température/microbiologie
 - impact / abondance, diversité, activité
 - conséquences / cycles biogéochimiques dans l'aquifère
- Identification d'indicateurs pertinents des impacts physicochimiques et microbiologiques

Après une première phase consistant à sélectionner et à équiper un site, l'action a été centrée sur l'acquisition de données et sur leur interprétation.

Résultats obtenus

Le site sélectionné au cours de la première phase de l'étude est la Mairie du 8^{ème} arrondissement de Lyon. Une installation de géothermie sur nappe y est implantée servant à la climatisation de la mairie, du commissariat, et de la Maison de la danse. Quatre piézomètres ont été implantés au cours de la première année. Ces piézomètres, ainsi que les forages de pompage et de rejet, ont été instrumentés pour un suivi en continu des paramètres physico-chimiques.



Neuf campagnes de prélèvement et d'analyses ont été menées de manière à caractériser l'évolution des paramètres physico-chimiques ainsi que microbiologiques dans les six points de mesure.

L'interprétation des données physicochimiques a été soutenue par une modélisation géochimique.

En parallèle, dans le cadre de la thèse de Frédéric GARNIER, appuyée par le projet BIOTHERMEX (convention n° 200800034163 entre le Conseil Général de la Région Centre, le BRGM et l'ISTO), un dispositif expérimental a été élaboré visant à reproduire, dans des conditions maîtrisées et en configuration réaliste de subsurface, les fluctuations de température et de qualité du fluide induites lors des cycles saisonniers de fonctionnement d'une installation géothermique. Cette approche en condition dynamique est essentielle, car elle permet d'intégrer les paramètres hydrodynamiques afin de se rapprocher des conditions naturelles.



Le suivi des paramètres physico-chimiques du site ne fait pas apparaître de perturbations géochimiques significatives. Ces constatations sont étayées par les résultats de modélisation montrant que, tant pour les indices de saturation des minéraux que pour les potentiels d'oxydo-réduction, des variations thermiques dans la gamme 14 °C – 24 °C dans l'aquifère n'entraînent pas de changement significatif.

Le suivi des polluants organiques n'a pas permis de mettre en évidence une influence de la température sur les teneurs de ces composés dans les eaux souterraines.

Du point de vue bactériologique, et pour des températures variant de 15 à 25 °C, une influence significative des rejets thermiques a été décelée au niveau de l'ensemble des paramètres microbiologiques étudiés sur la microflore non pathogène :

- biomasse : mise en évidence d'une corrélation positive entre biomasse et température ;
- activité biologique : mise en évidence d'une corrélation entre activité bactérienne (activité déshydrogénase en contexte aérobie, activité spécifique de minéralisation ou décomposition de matière organique et activité spécifique de dénitrification en

contexte réducteur) et température. Il apparaît aussi que, dans le cas de l'eau du site de Lyon, l'activité de dégradation de matière organique est stimulée par la température dans la gamme 5-28 °C et inhibée pour des températures inférieures à 5 °C et supérieures à 28 °C ; cependant, ces résultats ne tiennent pas compte de l'adaptation possible à moyen terme des communautés (sélection d'espèces plus adaptées aux nouvelles conditions thermiques) ;

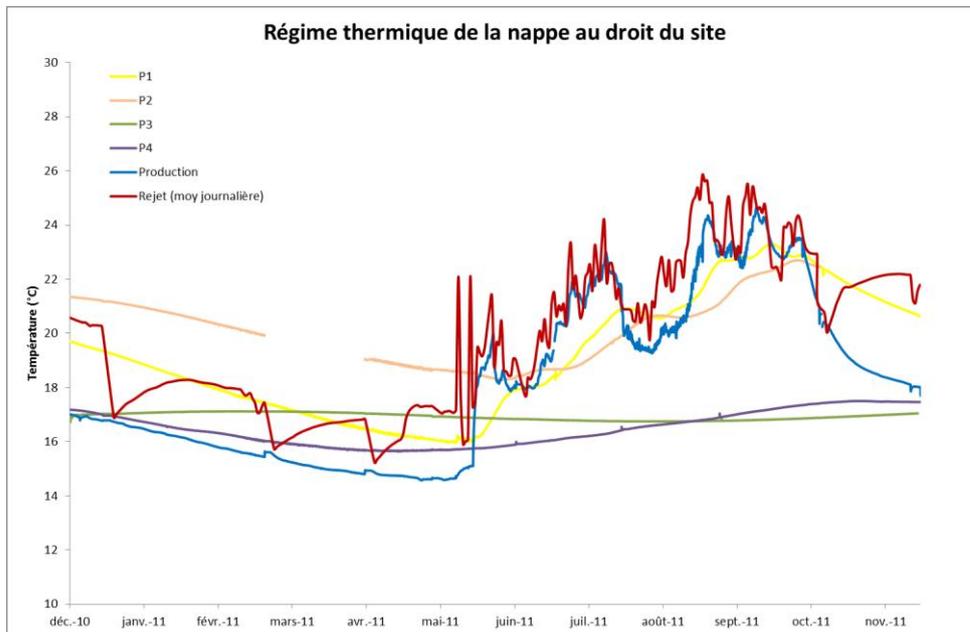
- diversité biologique : mise en évidence d'une variabilité spatio-temporelle de la diversité bactérienne probablement liée à divers facteurs dont la température.

Néanmoins, les phénomènes observés ne semblent pas entraver le bon fonctionnement de l'écosystème du moins, sur la base de l'approche déployée dans cette étude.

Concernant les bactéries pathogènes, la bonne qualité microbiologique de l'eau du site de Lyon n'a pas permis de suivre une évolution de ces organismes quasiment absents du site. La littérature fait état de travaux indiquant que, dans les cas étudiés, le potentiel de survie de ces organismes lors de leur transit dans les eaux souterraines est faible. Néanmoins, ces travaux ne couvrent pas de cas de figure particulièrement favorables au développement des pathogènes.

Les seules perturbations notables constatées sur le site de Lyon sont donc d'ordre thermique :

- la température de la nappe observée hors influence du fonctionnement du doublet indique une température moyenne annuelle de l'ordre de 16,5 °C, indiquant une influence certaine du milieu urbain, sans qu'il soit possible de déterminer si celle-ci est due ou non à d'autres installations de géothermie ;
- l'influence thermique de l'installation, dans les conditions actuelles d'exploitation (débit, DT), reste marquée sur toute la durée d'un cycle hydrologique à l'intérieur d'une aire d'influence correspondant à un panache orienté en direction de l'écoulement souterrain et limité à moins de 50 m à l'amont du forage de rejet et à 150 m à l'aval du rejet ;
- en dehors de ce périmètre, il semble que la température de l'aquifère revienne à son état « naturel » hors période de fonctionnement de l'installation géothermique ;
- un phénomène de recyclage thermique lié à un dimensionnement défailant de l'installation est également mis en évidence ; il entraîne une augmentation progressive de la température de rejet au cours de la période de fonctionnement.



Au regard des résultats obtenus sur le site expérimental de la mairie du 8^e, à Lyon et sur le pilote BIOTHERMEX, des interrogations subsistent :

- en contexte nutritif favorable, comment les germes pathogènes évoluent-ils face à une variation thermique ?
- quelles autres activités bactériennes sont-elles susceptibles d'être activées ou inhibées ? et quelles conséquences pour les systèmes aquifères ?
- comment réagissent les populations bactériennes à long terme face à des sollicitations thermiques prolongées dans des gammes thermiques plus larges :
 - températures plus élevées (> 30 °C) pouvant correspondre à des densités importantes d'exploitation d'aquifères par doublet pour des usages de climatisation (cas rencontré en zone urbaine) associés à des phénomènes de recyclage thermique ;
 - températures plus faibles (< 10 °C) pouvant correspondre à des sollicitations thermiques de type champ de sondes géothermiques verticales utilisée pour du chauffage ;
- quel est le comportement des polluants organiques face à des gammes de variations thermiques larges ?
- quelles sont les effets de la température sur les phénomènes de sorption/désorption (données non complète à l'heure actuelle dans les bases de données).

Les observations réalisées *in situ* à Lyon pourraient permettre de construire et de valider un modèle hydrodynamique et thermique à l'échelle du site expérimental réaliste car basé sur les observations du projet ImpAC. Il permettrait de simuler des exploitations extrêmes factices (très fortes températures de rejet, multiplication d'installations, ...) et d'en déduire des impacts thermiques réalistes, mais aussi des conséquences physico-chimiques et microbiologiques à plus ou moins court terme.

PROJET 15 : IMPAC – STRASBOURG - ÉVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DÛ AUX MODIFICATIONS THERMIQUES INDUITES PAR LES PAC SUR AQUIFÈRES SUPERFICIELS - 2011

Projet de Service public : PSP11GTH15

Chef de projet et équipe de projet : Pierre Durst, Carole Baierer

Rapport : ImPAC Strasbourg - Évaluation des impacts environnementaux induits par les PAC sur acquifères superficiels (BRGM/RP-60759-FR)

Objectifs : Étude de l'impact thermique sur la ville de Strasbourg

Synthèse :

L'évaluation de l'impact environnemental des installations géothermiques sur aquifère superficiel (en particulier des climatiseurs) est une thématique qui se situe au cœur du développement de cette filière énergétique. Elle reste malgré tout mal connue, par manque d'expériences en termes de caractérisation et de compréhension des mécanismes hydrogéologiques, géochimiques et microbiologiques associés aux modifications thermiques induites par l'injection d'eau (après exploitation énergétique) au sein des aquifères.

C'est pourquoi le BRGM et l'ADEME ont monté le projet ImPAC, centré sur la ville de Lyon où des réchauffements d'aquifère sont signalés.

Il est proposé de prolonger les travaux entamés à Lyon par un travail similaire dans le contexte hydrogéologique et dans les conditions d'exploitation particulières de l'aquifère situé au droit de la Communauté Urbaine de Strasbourg (CUS) où :

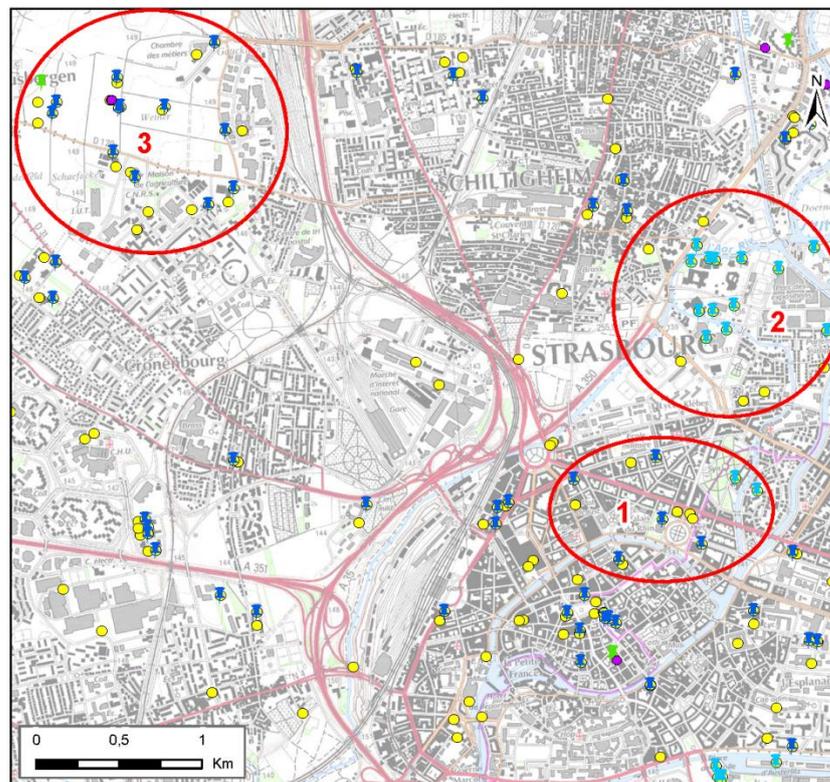
- Une forte concentration d'exploitations géothermiques (climatisation) est identifiée en contexte urbain, ce qui situe la CUS au cœur de la problématique du projet ImPAC ;
- Le mode d'exploitation le plus répandu est particulier sur le plan technique : doublet vertical (prélèvement à plus de 30-40 m de profondeur et injection sur la même verticale à moins de 20 m de profondeur, les deux horizons étant séparés par un niveau peu perméable) ;
- L'organisation locale pour la gestion de la nappe (Observatoire de la Nappe émanant de la CUS) est très favorable au développement de projets prospectifs sur le sujet de l'impact environnemental du développement des PAC sur nappe.

Le programme de travail a été centré sur la recherche d'un site sur le secteur de la CUS.

- prise de contacts avec les acteurs locaux de la gestion des eaux souterraines
- caractérisation du contexte hydrogéologique (bibliographie)
- recherche d'un site expérimental.

Un site dans le secteur de la place de la République a été retenu et une proposition concernant instrumentation de ce site et son suivi a été faite comprenant l'implantation de quatre nouveaux piézomètres et leur équipement, ainsi que celui des puits de pompage et de rejet, par de sondes multi-paramètres. Six campagnes de prélèvement à fin d'analyse, tant chimiques que microbiologiques sont envisagées ainsi qu'une modélisation hydrodynamique du site, incluant le transport de chaleur et de perchloroéthylène sera menée à partir des informations récoltées.

- Légende**
- nouveaux captages 2010
 - nouveaux rejets 2010
 - état des lieux des captages et rejets 2009
 - état des lieux des rejets en rivière 2009
 - état des lieux des rejets en nappe 2009
 - 1 zone "place de la République"
 - 2 zone "Wacken"
 - 3 zone "Espace Economique Européen"



Sites proposés pour la mesure d'impact des systèmes PAC sur le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg.

PROJET 16 : ACCOMPAGNEMENT DE L'ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION DANS LE DOMAINE DU FORAGE GÉOTHERMIQUE SUPERFICIEL

Projet de Service public : PSP11GTH16

Chef de projet et équipe de projet : Jean-Claude Martin, Sophie Bézèlgues-Courtade

Rapport : Synthèse de la réglementation française codifiant la recherche et l'exploitation de l'énergie géothermique (BRGM/RP-60195-FR)

Objectifs : Assurer une veille réglementaire, participer aux groupes de travail existants.

Synthèse :

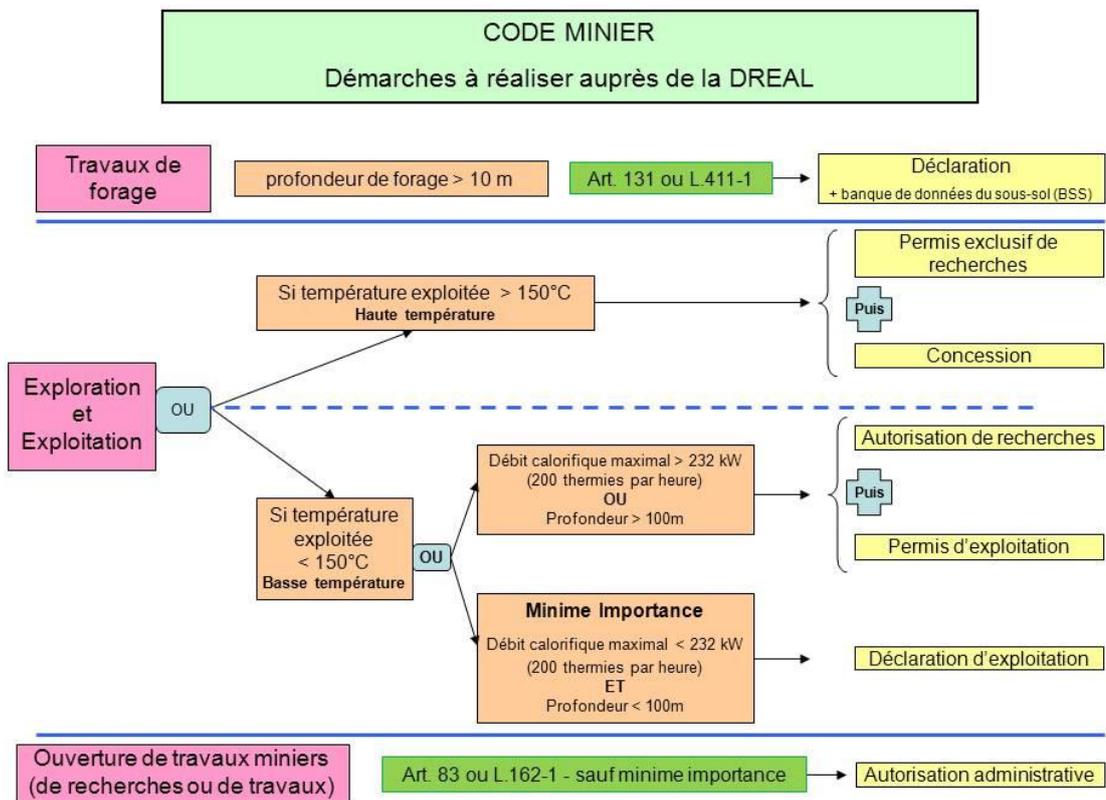
Les textes réglementaires, qui s'appliquent aux opérations de géothermie, c'est-à-dire à l'exploitation des calories souterraines, ainsi qu'aux forages d'eau, principale méthode d'exploitation de la géothermie, relèvent de quatre codes :

- le code minier, et ses textes d'application, qui relève du ministre chargé des mines, prévoient principalement que :
 - tout forage de plus de 10 m de profondeur doit faire l'objet d'une déclaration de forage (article L.411-1) ;
 - les opérations de géothermie sont classées en haute ou basse température selon que la température est supérieure ou inférieure à 150 °C (article 1 du décret n° 78-498 du 28 mars 1978) ;
 - les opérations à « haute température » sont régies par le décret n° 2006-648 du 2 juin 2006 relatif aux titres miniers et aux titres de stockage souterrain ;
 - les opérations à « basse température » sont régies par le décret n° 78-498 du 28 mars 1978 relatif aux titres de recherches et d'exploitation de géothermie ;
 - les travaux de recherche et d'exploitation de gîtes géothermiques sont régis par le décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 ;
 - une opération de géothermie est considérée de « minime importance » lorsque les ouvrages ne dépassent pas 100 m de profondeur et que la puissance thermique est inférieure à 232 KW. Dans ce cas, l'opération n'est soumise qu'à une simple autorisation ;
- le code de l'environnement prévoit des procédures de déclaration ou d'autorisation pour :
 - la réalisation de forage destiné à un prélèvement d'eau (déclaration) ;
 - les prélèvements d'eau, régime de déclaration ou d'autorisation selon les volumes annuels ou le secteur géographique considéré ;

- les réinjections, régime de déclaration ou d'autorisation selon les débits considérés ;
- le code de la Santé publique lorsque le forage est également destiné à un usage alimentaire,
- le code général des collectivités territoriales pour les forages à usage domestiques avec des prélèvements inférieurs à 10 000 m³/an.

Concernant les redevances aux agences de bassin, la loi du 30 décembre 2006 (LEMA) a exonéré de la redevance pour prélèvement d'eau les prélèvements liés à la géothermie.

On présente dans le rapport d'étude le développement des principaux textes de ces différents codes applicables à la géothermie et à ses moyens d'exploitation.



Code minier. Démarches à réaliser auprès de la DREAL pour une opération de géothermie.

PROJET 17 : ANALYSE DES COÛTS DE LA GÉOTHERMIE

Projet de Service public : PSP11GTH17

Chef de projet et équipe de projet : Hervé Lesueur

Rapport : Géothermie Très Basse Energie - Modèles simplifiées dans une optique macroéconomique (BRGM/RP-60754-FR)

Objectifs : L'objectif de cette étude est de fournir des indicateurs économiques et statistiques relatifs à la géothermie qui seraient exploitables à diverses fins et pour plusieurs types de publics.

Synthèse :

Usuellement, les études relatives aux techniques géothermiques, même très détaillées du point de vue des processus techniques et énergétiques, traitent le volet économique sur la base de considérations rudimentaires. De ce fait, rares sont les examens des sensibilités aux paramètres. De même, la mise en évidence d'une éventuelle criticité ou d'optima n'est pratiquement jamais abordée. Dans cette étude, on a donc recherché la mise au point de modèles simplifiés qui permettent de reproduire les effets représentatifs des situations réelles, dès lors que ces effets peuvent avoir une incidence économique, soit avant la décision d'investissement soit pendant le fonctionnement au fil des cycles annuels.

Comme le montrent l'exemple des graphiques ci-après, l'étude a permis de développer et de valider des modèles simplifiés, en particulier pour le paramétrage qui permet de représenter l'ensemble des effets et des sensibilités technico-économiques des quatre grands groupes de techniques géothermiques de très basse énergie (TBE).

La force des modèles est, en fait, d'être parvenu à un modèle unique, simple de prise en main et peu exigeant en ressources informatiques puisqu'il est implémenté dans le tableur EXCEL sans qu'une seule ligne de code VBA ne soit employée.

Le modèle reste évolutif ; par exemple pour faire évoluer le paramétrage sur la base des retours sur expériences que, par ailleurs, on considère comme indispensables afin de doter les modèles simplifiés de valeurs par défaut largement représentatives des situations réelles et actualisées.

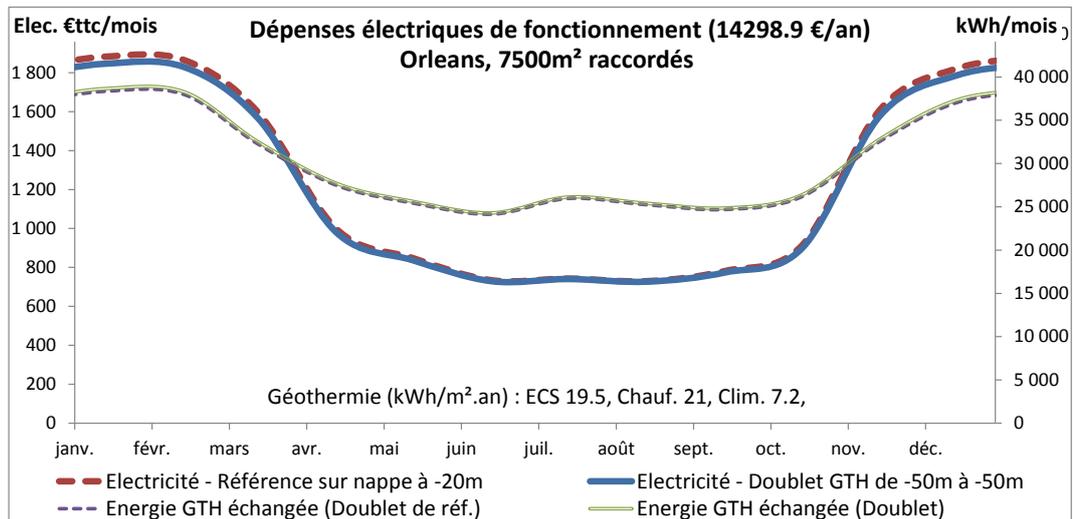
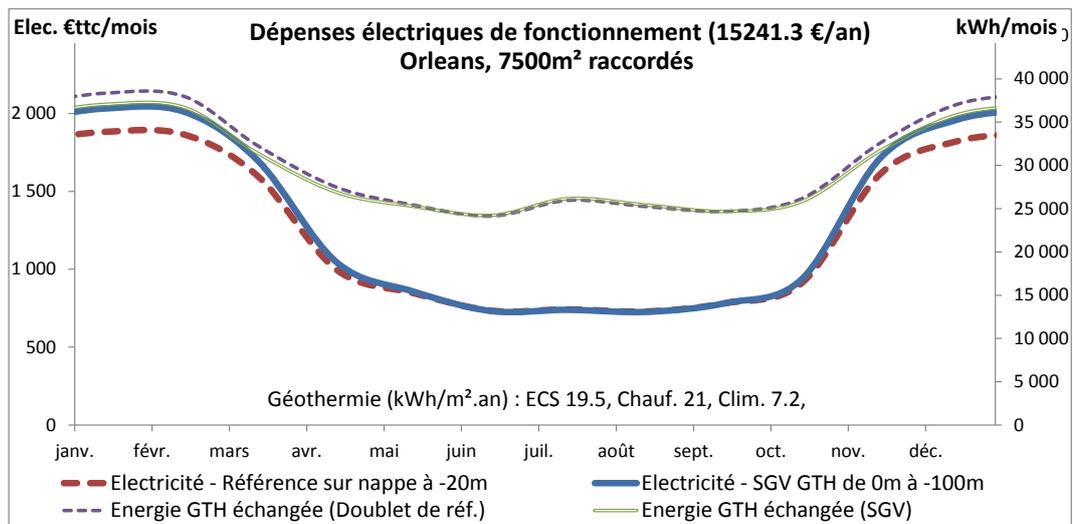
En effet, tant la représentation de la maintenance que celle de la valeur résiduelle n'ont pas pu être envisagées faute de connaissances suffisantes.

Néanmoins, l'introduction du concept de « technique géothermique de référence sur nappe aquifère » a permis de contourner certaines lacunes en rendant un premier niveau de comparaison possible sans avoir à maîtriser l'ensemble du système puisque tous les composants hors-sol sont pratiquement identiques.

De ce fait, l'investissement pour le composant géothermique et les dépenses énergétiques de fonctionnement constituent déjà un très bon indicateur qui, de plus,

est facilement transposable à une échelle macroéconomique si le seul élément à analyser est la composante géothermique à associer à des demandes thermiques.

La présente étude a également introduit les outils pour analyser la saisonnalité des fonctionnements ; le pas de temps mensuel ayant été retenu. Les restitutions sous forme de chroniques mensuelles distinguent alors, pour chacun des quatre usages thermiques du bâti raccordé (ECS, Chauffage, Climatisation et Rafrachissement direct) les chroniques des temps des fonctionnements et les chroniques des coûts unitaires décomposés en heures creuses, heures pleines et prime fixe.



Exemple de chroniques comparatives des coûts électriques de fonctionnement pour des sondes géothermiques (SGV) et un doublet à 50m de profondeur vis-à-vis de la solution géothermique de référence – cas du bâti de 7 500 m² en climat orléanais.

De la sorte, il y a une possibilité immédiate de constater où se produisent les éventuels écarts vis-à-vis de la solution géothermique de référence qui constitue une source à température constante insensible aux fluctuations saisonnière ou aux sollicitations par le système thermique.

Cette faculté du modèle proposé à distinguer les fluctuations saisonnières est essentielle car c'est là que se différencient les solutions géothermiques vis-à-vis des solutions fossiles ou bois-énergie par exemple. Toutefois, il reste évident que, contrairement au solaire thermique, la géothermie est disponible 24/24. C'est la raison pour laquelle le modèle est préconfiguré pour prendre en considération les apports solaires intermittents ; la base de données géoclimatiques ayant été renseignée pour le rayonnement solaire incident.

La présente étude contient également une première approche de la modélisation simplifiée de la géothermie basse énergie et une esquisse de cahier des charges pour une transposition des modèles simplifiés à l'échelle macroéconomique.

Mais, avant d'étendre l'étude vers les techniques de géothermie BE, de réseaux et de stockage périodique, la prochaine étape qui doit suivre immédiatement les travaux de la présente étude sera de réaliser la transposition à l'échelle macroéconomique. Il s'agira de dire les règles d'addition/ agrégation qui doivent être respectées pour propager à l'échelle d'un territoire les comportements locaux produits à l'aide des modèles simplifiés ; notamment en scénarisant le déploiement des solutions et l'évolution des marchés de la géothermie et des énergies.

PROJET 18 : PLANIFICATION TERRITORIALE, AMÉNAGEMENT DURABLE ET GÉOTHERMIE

Projet de Service public : PSP11GTH18

Chef de projet et équipe de projet : Adeline Poux, Mikaël Philippe, Cécile Chéry, Olivier Goyénèche

Rapport : La géothermie dans les documents de planification énergétique territoriale (BRGM/RP-60967-FR)

Objectifs : Montrer les enjeux de l'intégration des données de potentiel géothermique dans les documents de planification énergétique, en ciblant particulièrement sur les SRCAE (Schéma Régionaux Climat Air Energie) et les PCET (Plan Climat Energie Territorial). A l'échelle d'un aménagement, la question est également posée en prolongeant la réflexion sur les micro-réseaux de chaleur alimentés par de la géothermie très basse énergie. Le rapport final de l'étude s'accompagne d'une « boîte à outils » « Comment prendre en compte la géothermie dans mon Plan Climat Energie Territorial ? » mise en ligne sur www.geothermie-perspectives.fr et d'une brochure sur les micro-réseaux de chaleur.

Synthèse :

Ce rapport intitulé « La géothermie dans les documents de planification énergétique territoriale » constitue le rapport final du projet « Planification énergétique et géothermie » de la convention ADEME-BRGM n° 09 05 C0119. Il s'inscrit dans la continuité du rapport publié en mars 2011 sur la « Géothermie et échelles de territoire - étude des micro-réseaux de chaleur » (rapport BRGM/RP-59967-FR).

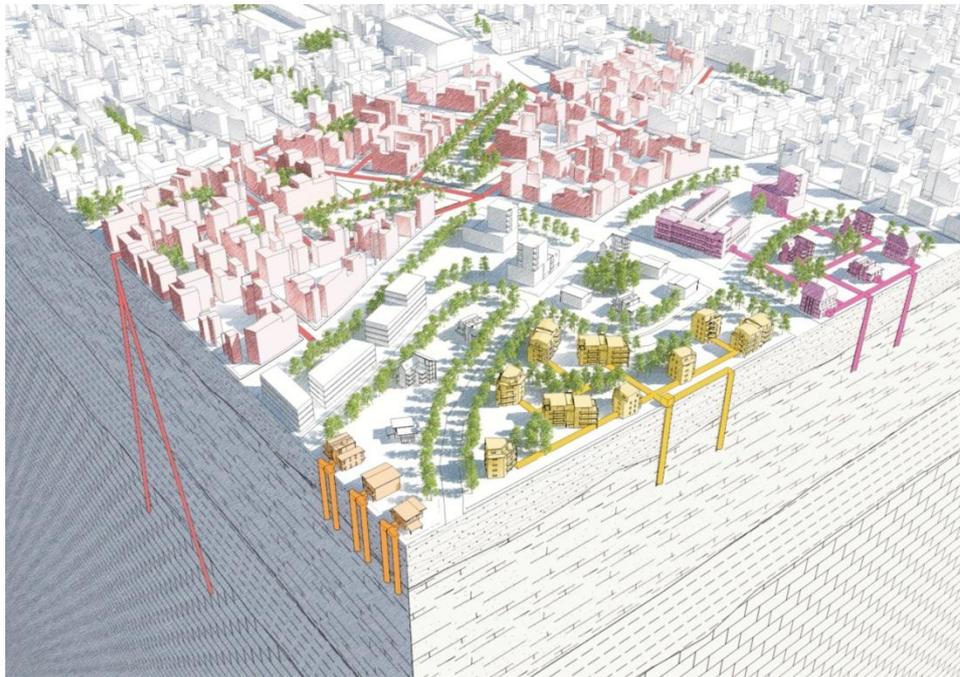
L'année 2011 a été marquée par la parution du décret n° 2011-678 du 16 juin 2011 relatif aux Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE) fixant le contenu et les modalités d'élaboration de ces SRCAE, et du décret n° 2011-829 du 11 juillet 2011 relatif au bilan des émissions de gaz à effet de serre et au plan climat-énergie territorial (PCET). La plupart des régions ont donc mis en œuvre leur SRCAE, et certaines ont mené des études spécifiques concernant le volet géothermie. Les SRCAE fixent des orientations. Les PCET, obligatoires pour les collectivités de plus de 50 000 habitants, proposent des actions à mettre en place, à différentes échelles (régionales, départementales, intercommunales et communales). Les PCET doivent être compatibles avec les orientations données dans les SRCAE.

Dans ce contexte, ce rapport traite de l'articulation entre ces différents documents de planification territoriale, en présentant notamment un premier bilan des objectifs fixés pour la géothermie dans les projets de SRCAE, soumis à la consultation du public, et en analysant, après quelques études menées par le BRGM, les enjeux des études de potentiel géothermique à différentes échelles territoriales. Ces analyses s'appuient sur les participations du BRGM, aux différents comités ou ateliers, en tant que maître d'œuvre d'études géothermiques ou acteur local. Ce rapport n'a pas vocation à être exhaustif sur l'ensemble des outils de planification territoriale mais à travers quelques exemples, vise à montrer les enjeux spécifiques de l'énergie géothermique.

D'un point de vue pratique, ce rapport présente la façon dont a été construite la boîte à outils « Prise en compte de la géothermie dans les PCET », mise en ligne sur le site internet ADEME-BRGM www.geothermie-perspectives.fr. Une série d'actions pourront être reprises par les collectivités : pour une part, il s'agit d'actions issues du centre de ressources sur les PCET de l'ADEME⁴ pour lesquelles des spécifications concernant la géothermie sont faites, et pour l'autre part, de propositions d'actions spécifiques à cette énergie renouvelable locale.

Enfin, la planification énergétique se traduit dans la politique d'aménagement et d'urbanisme des collectivités locales, SCOT (Schéma de Cohérence Territorial) et PLU (Plan Local d'Urbanisme) devant prendre en compte le PCET. C'est surtout à l'échelle de l'aménagement que s'oriente la dernière partie de ce rapport qui vise à étudier la question des micro réseaux de chaleur, d'un point de vue technique, en étudiant les possibilités des micro réseaux sur champs de sondes (après avoir étudié dans le rapport 2010 les solutions de PAC sur aquifères superficiels) et en présentant les éléments à communiquer pour mettre en avant ces solutions.

Cela se traduit par la réalisation d'une brochure de communication permettant de promouvoir les micro-réseaux de chaleur géothermiques qui peuvent s'avérer pertinents d'un point de vue technico-économique s'ils sont conçus en amont de la mise en place d'un projet d'aménagement (de type éco-quartier).



La géothermie : une énergie locale à valoriser sur le territoire.

⁴ <http://www.pcet-ademe.fr/>

PROJET 19 : ORIENTATION DU CENTRE TECHNIQUE GÉOTHERMIE 2011

Projet de Service public : PSP11GTH19

Chef de projet et équipe de projet : Olivier Goyeneche

Objectifs : Assurer l'animation des projets d'étude sur les opérations de géothermie du bassin de Paris principalement, assurer les relations avec les sous-traitants. Initier et mettre en œuvre des projets permettant d'évaluer des potentiels d'aquifères plus profonds (Trias, socle), ou moins profonds (Lusitanien, Albien/Néocomien) en Ile de France, ou d'aquifères profonds dans d'autres régions dans le cadre notamment des Schémas Régionaux Climat Air Energie (SRCAE).

PROJET 20 : GESTION DE LA RESSOURCE GÉOTHERMALE DU DOGGER EN ÎLE-DE-FRANCE

Projet de Service public : PSP11GTH20

Chef de projet: V. Hamm,

Equipe de Projet BRGM : C. Castillo, I. Ignatiadis, M. Le Brun,

Autres intervenants : J-Y Ausseur (ANTEA), A-L Gilles, M. Evrard, A. Fisseau, G. Ligneau (CFG Services), O. Borozdina, P. Ungemach (GPC-I&P), E. Cordier, P. Goblet (Mines ParisTech)

Rapports : Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile de France (BRGM/RP-60399-FR et BRGM/RP-60996-FR)

Objectifs : Le projet a pour but de fournir une méthode pour une prévision à moyen et long termes de la durée de vie des opérations de chauffage de réseaux de chaleur urbains.

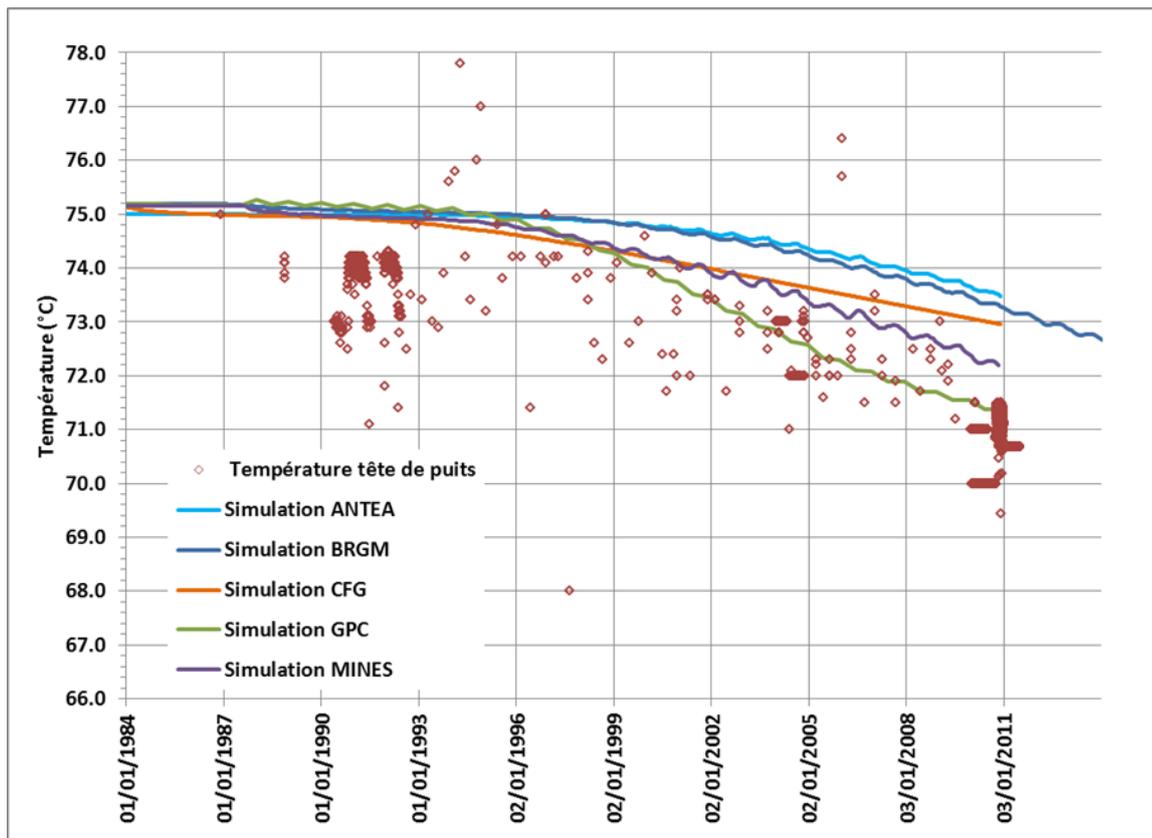
Synthèse :

Les principaux objectifs du projet sont :

- Affiner les modélisations thermo-hydrodynamiques du Dogger avec notamment une étude d'intercomparaison sur la modélisation de la percée thermique sur un doublet spécifique du Dogger pour lequel une baisse sensible de température au puits de production est observée ;
- Réaliser une étude de sensibilité, d'une part, sur les paramètres influant les transferts thermiques (notamment le temps de percée thermique et la décroissance thermique au puits de production) afin d'identifier ceux qui ont le plus grand impact sur la précision des résultats obtenus, et d'autre part, sur les indices de saturation des minéraux potentiellement indicateurs de la percée thermique (SiO₂) vis-à-vis des variations de température et incertitudes de mesures ;
- Pérenniser la collecte des données au Dogger (données d'exploitation, physico-chimiques, hydrogéologiques..) notamment via des fichiers Excel standardisés et une routine d'intégration dans la base Dogger ;

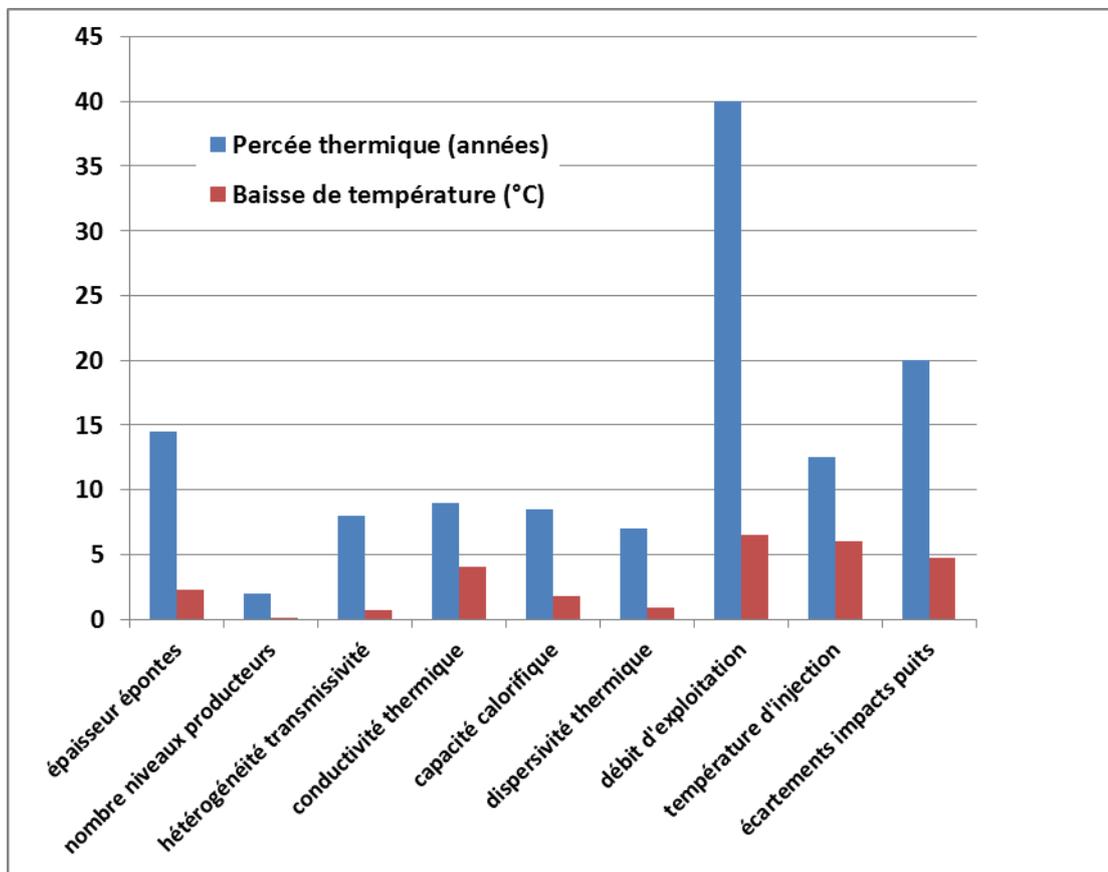
- Définir un cadre et des spécifications pour la réhabilitation d'un ancien puits géothermique (puits producteur GCO-1 de Coulommiers) en puits d'observation pour la suivi à long terme du réservoir ;
- Élaborer une cartographie des évolutions géochimiques des fluides du Dogger des années 90 à maintenant, notamment des sulfures et du pH et leur impact sur les phénomènes de corrosion/dépôts des puits géothermiques.

L'exercice d'inter-comparaison sur la modélisation du doublet d'Alfortville dans son contexte régional entre différentes équipes de modélisation (ANTEA, CFG Services, GPC I&P, Mines ParisTech et BRGM) **a montré un refroidissement du fluide prélevé fin 2010 compris entre 1,5 et 3,8 °C suivant les modèles pour une baisse estimée actuellement à 3°C**. Cet exercice finalise les travaux antérieurs sur les pratiques de modélisation au Dogger (cf. rapport BRGM/RP-59591-FR). Il a permis de comparer différentes méthodes d'interprétation et de traitement de données, différents modèles conceptuels et plusieurs logiciels (COMSOL, MARTHE, METIS et TOUGH2) et a permis de réaliser plus généralement un inventaire des pratiques de modélisation en géothermie sur la géothermie profonde dans le bassin de Paris.



Simulation de la température du réservoir au puits producteur d'Alfortville par les différentes équipes et comparaison aux mesures en tête.

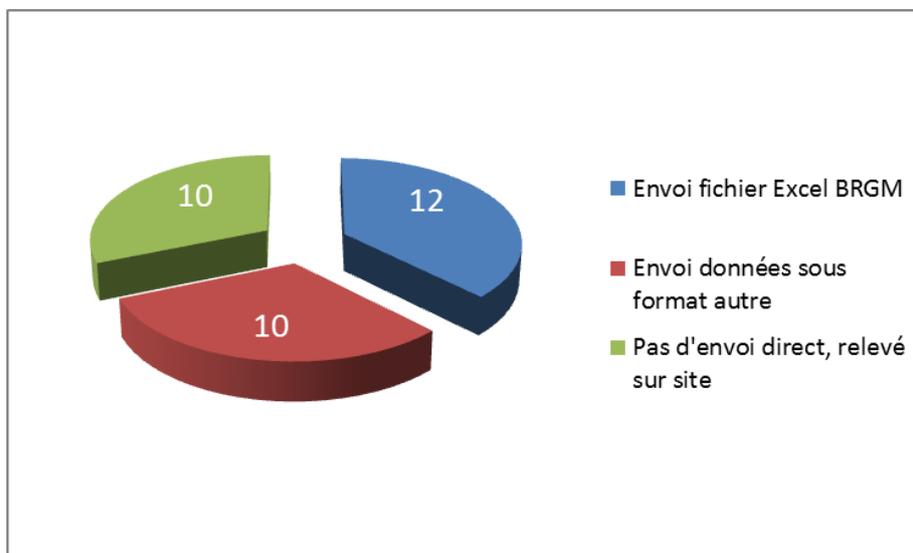
Les paramètres étudiés pour l'étude de sensibilité sur les transferts thermiques sont les épaisseurs des éponges intercalaires entre niveaux producteurs, la structure verticale du réservoir (modèle bi ou multicouches), la répartition de la transmissivité au sein des niveaux producteurs, les propriétés thermiques de la roche (conductivité thermique, capacité calorifique, dispersivité), les paramètres d'exploitation (débit, température d'injection) et l'écartement entre l'impact au réservoir des puits de production et d'injection. Les résultats de cette étude montrent que les paramètres les plus sensibles à la fois sur le temps de percée thermique (début de recyclage de l'eau froide injectée) et sur l'amplitude de la décroissance thermique sont : **le débit, la température d'injection, l'écartement entre puits et l'épaisseur des éponges entre niveaux producteurs**. Ces paramètres doivent donc être introduits dans les modèles de simulation numérique de manière la plus précise possible au risque d'introduire une incertitude importante sur les résultats finaux.



Impacts maximaux sur la variation du temps de percée et de la baisse de température à la production pour les 9 paramètres étudiés.

L'analyse de sensibilité sur les données de la silice ne permet pas de dégager de façon claire l'annonce de l'approche du front froid (cas du doublet d'Alfortville). En effet, pour ce faire, il paraît indispensable d'améliorer la qualité des analyses réalisées. L'utilisation de ces paramètres comme **précurseur de l'arrivée du front froid ne semble ainsi pas adaptée.**

Concernant la collecte des données d'exploitation de la boucle géothermale sur l'aquifère du Dogger, le bilan des deux dernières années correspondant à la mise en place d'un fichier Excel standardisé à remplir par chaque responsable technique de site est mitigé. En effet seuls environ 1/3 des exploitants ont pris « l'habitude » de remplir trimestriellement le fichier Excel alors que pour 2/3 d'entre eux ce n'est toujours pas fait. Sur ces 2/3, la moitié enverrait un autre fichier contenant ces données et pour l'autre moitié aucun envoi n'est réalisé. Ainsi, une réflexion est nécessaire en 2012 sur le moyen à mettre en œuvre pour « contraindre » les exploitants à suivre la procédure définie en 2010. **Pour la collecte des données physico-chimiques** réalisée par les bureaux d'étude sous-sol lors de leur visite sur sites, un fichier similaire a été créé en 2011 pour assurer de même l'enregistrement des données dans la base Dogger.

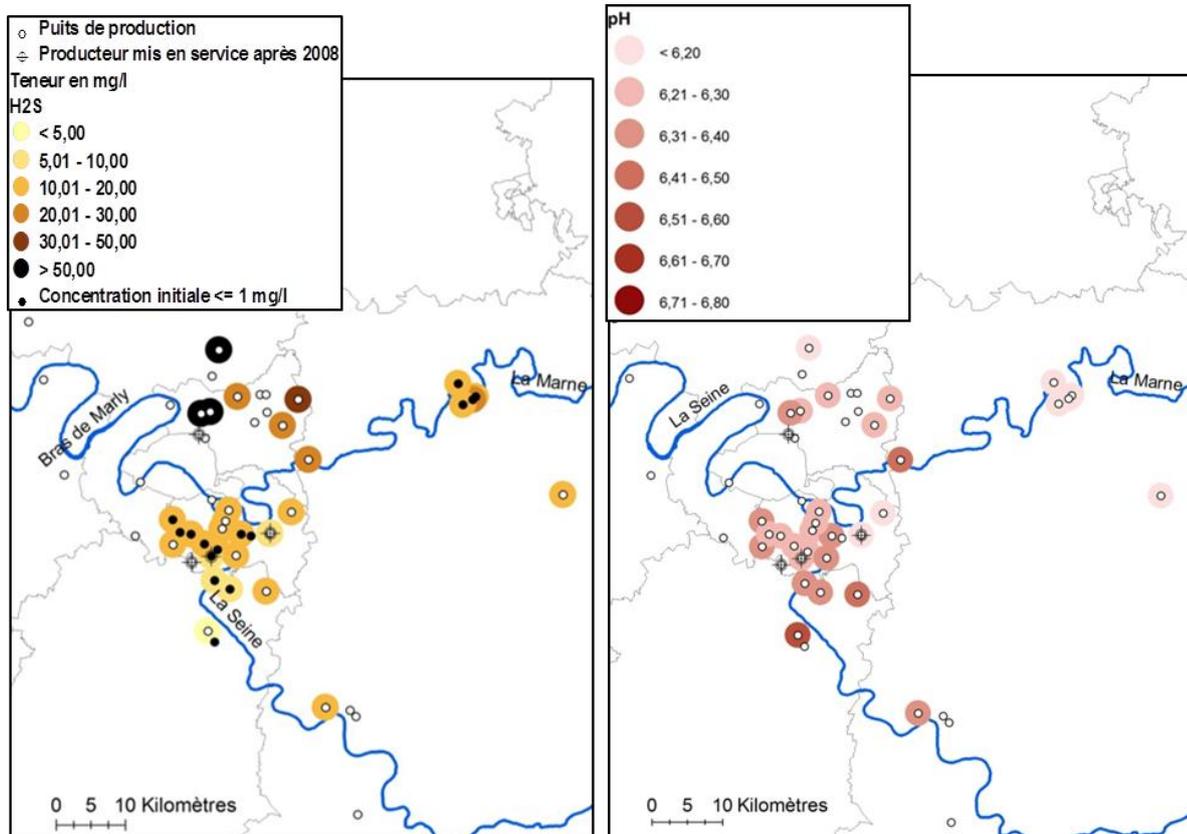


Récupération des données d'exploitation par site en activité en 2011.

Pour la gestion à long terme de la ressource géothermique, **le calage des modèles prédictifs de propagation des « bulles froides » représente un enjeu scientifique et économique important**. Un des enjeux est donc de pouvoir accéder à **des mesures directes au réservoir**, soit par l'intermédiaire d'anciens puits reconvertis en puits d'observation, soit sur des puits en cours d'exploitation. Il est ainsi réalisé **une étude de pré faisabilité sur l'utilisation d'un ancien puits géothermique (puits producteur de Coulommiers GCO-1) en puits d'observation**. Différentes solutions sont comparées du point de vue des contraintes techniques et d'investissement pour la transformation du puits, de son équipement, de son entretien périodique et de son abandon ultérieur. Le rechemisage du puits en diamètre 5" (7" actuellement) sur toute sa hauteur semble la solution la plus avantageuse en termes de coût d'investissement initial, périodique et final ainsi qu'en terme de protection des aquifères stratégiques. Cette solution est également avantageuse en termes de technologie de l'instrumentation du puits mise en œuvre qui peut être applicable à un puits en production (intégration des capteurs de mesure au TCTFP).

Le suivi physico-chimique des fluides du Dogger depuis les années 90 à maintenant montrent que :

- **la teneur en sulfure dissous en tête de puits de production n'a cessé d'augmenter au sud et à l'est de Paris.** Cette augmentation témoigne essentiellement d'une activité bactérienne passée sur les parois des tubages avec un réservoir produisant un fluide de plus en plus riche en sulfure. Parallèlement, depuis la fin des années 90, le pH des fluides produits par les puits du sud et de l'est de Paris a diminué de 0,17 unité en moyenne ;
- **la teneur en fer dissous en tête de puits de production a augmenté pour 30% des sites en activité, alors qu'elle diminuait jusqu'alors.** La teneur en sulfure et le pH sont deux facteurs essentiels des processus de corrosion-dépôts. Toutefois, leurs évolutions des 10 dernières années ne semblent pas être la cause principale de cette augmentation. En effet, 60 % des sites affectés par cette reprise de la corrosion produisent par artésianisme et 50 % font, de plus, partie des sites les plus riches en chlorures (facteur réduisant l'efficacité des inhibiteurs) ;
- **les quantités d'inhibiteur injectées en fond de puits ont été réajustées depuis la fin des années 90.** Elles sont actuellement comprises entre 2 et 4 mg/l sur les sites « non artésiens » et de 7-8 mg/l sur les sites artésiens, alors qu'elles n'étaient que de 2,5 mg/l initialement (sauf exception). **Ces réajustements s'avèrent, cependant, encore inadaptés à quelques exploitations du Dogger, en particulier aux sites artésiens.**



Carte de répartition des teneurs en sulfures dissous et du pH des fluides prélevés, en tête de puits de production, pendant la période 2008-2010.

Par ailleurs, à l'occasion de la réalisation du forage du nouveau puits injecteur (GCO4) à Coulommiers (77) proche de l'ancien injecteur (GCO2), **un prélèvement de fond a été effectué et ses caractéristiques physicochimiques et sa composition chimique ont été analysées en vue de déterminer notamment la présence de produit inhibiteur résiduel, mais également de comparer ses caractéristiques avec l'ancien producteur et injecteur.** Les résultats montrent que la teneur en résidu d'inhibiteur est **à priori** faible. La chromatographie en phase gazeuse de la matière organique extraite de cette eau montre que des fractions d'inhibiteurs sont encore présentes, mais à une teneur **à priori** faible puisque tout le carbone organique, déterminé dans l'eau par une analyse COT (carbone organique total) est égale à 7 mg/L. Notons que la teneur moyenne d'inhibiteur Norust 491 injecté dans le GCO1 depuis plus de 15 ans est de 4,5 mg/L.

Néanmoins l'analyse chromatographique du fluide prélevé ne permet pas à l'heure actuelle de conclure sur la teneur résiduelle exacte en Norust 491 (produit inhibiteur de marque CECA utilisé). En effet, le BRGM ne dispose pas des standards purs des composés du Norust 491. Il n'est donc pas possible de les rechercher spécifiquement. La recherche du Norust 491 dans le fluide prélevé au puits GCO4 et l'analyse de sa dégradation s'est donc faite par comparaison avec le profil chromatographique d'un échantillon pur de Norust 491. Ces identifications doivent être confirmées par l'injection

des standards purs des composés qui constituent cet inhibiteur de corrosion (ceux-ci étant absents de la bibliothèque des spectres de masses du BRGM).

En conclusion, et sous les réserves qui viennent d'être énoncées, il semblerait que le Norust 491 soit biodégradable, du moins en grande partie dans un proche périmètre (environ 200 m) du débouché du puits injecteur d'un doublet.

PROJET 21 : ÉTUDE DE SENSIBILITÉ SUR LE COMPORTEMENT DES PUIITS À L'ÉCHELLE DE L'OUVRAGE ET DU RÉSERVOIR PAR INTERPRÉTATION DE TESTS DE PUIITS ET DE MODÉLISATION

Projet de Service public : PSP11GTH21

Chef de projet: V. Hamm

Équipe de projet BRGM: M. Le Brun, C. Castillo, I. Ignatiadis, C. Maragna

Autres intervenants : J.Y Ausseur, J.M. Joubert (ANTEA), F. Bugarel, D. Rives (CFG Services), O. Borozdina, P. Ungemach (GPC I&P), E. Cordier, P. Goblet (Mines ParisTech).

Rapport : Étude de sensibilité du comportement des puits au Dogger à l'échelle de l'ouvrage et du réservoir par modélisation et tests hydrogéologiques (BRGM/RP-60774-FR)

Objectifs : Le projet vise d'une part, à déterminer la signature en température, pression et géochimie du puits entre le réservoir et la tête de puits où sont réalisées les mesures périodiques, et d'autre part, à mieux caractériser le réservoir (transmissivité et continuité hydraulique) avec l'élaboration d'un cahier des charges sur un test d'interférence entre plusieurs puits au Dogger et sur les éléments devant figurer dans le DOE lors de la réalisation d'un nouvel ouvrage afin d'assurer la qualité des informations fournies.

Synthèse :

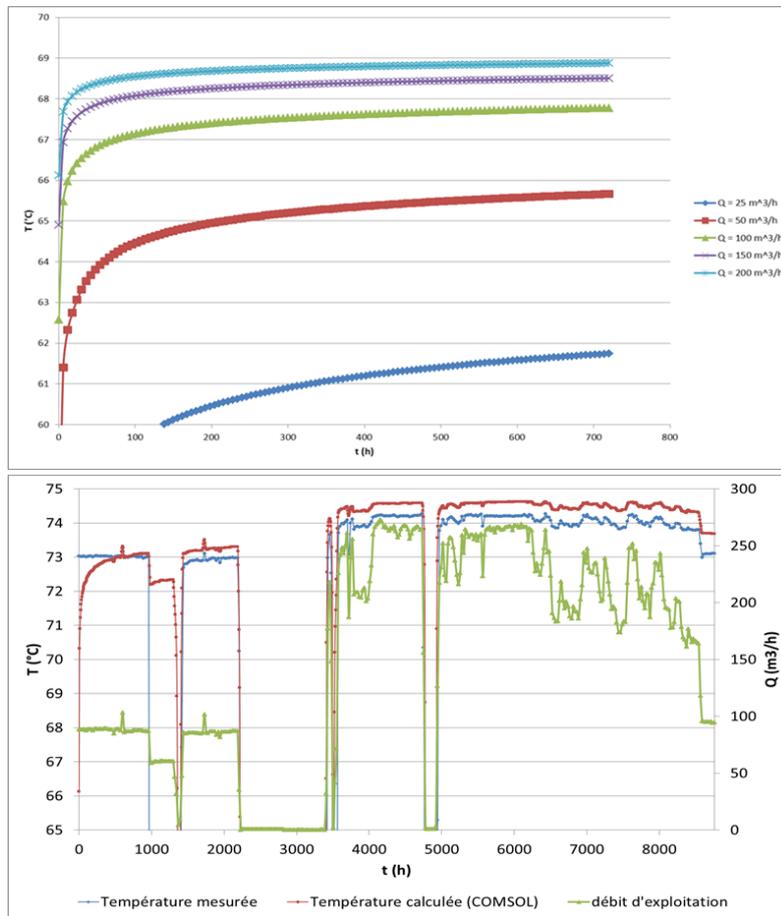
Ce projet réalisé en partenariat avec ANTEA, CFG Services, GPC-I&P et Mines ParisTech s'articule autour de cinq tâches :

- **Tâche 1 (BRGM et GPC I&P) : Rôle du puits sur les écarts de température entre fond et tête de puits.** Cette tâche a pour objectif d'évaluer les pertes thermiques dans le forage de production et d'injection en fonction du débit et de la température pour l'injection.
- **Tâche 2 (BRGM et ANTEA) : Rôle du puits sur la pression entre fond et tête de puits.** Cette tâche vise à inventorier les phénomènes entraînant une modification de la pression entre le réservoir et la tête de puits.
- **Tâche 3 (BRGM et CFG Services) : Rôle du puits sur la géochimie du fluide entre fond et tête de puits.** Cette tâche a pour objectif d'évaluer la signature géochimique du puits de production par rapport à celle du réservoir.
- **Tâche 4 (BRGM, Mines ParisTech et CFG Services) : Mise en œuvre de tests d'interférences entre puits.** L'objectif de cette tâche est de définir les contraintes techniques et de coûts pour la réalisation future d'un test d'interférence à l'échelle d'un doublet ou de plusieurs doublets afin de mieux préciser les corrélations entre puits et les hétérogénéités du réservoir.

- **Tâche 5 (BRGM) : Réalisation d'un cahier des charges type pour les DOE.** Cette tâche vise à définir les données à acquérir et faire paraître dans le DOE lors de la réalisation d'un nouvel ouvrage. Le but est de garantir la qualité des données contenues dans les DOE qui doivent fournir des informations utiles pour la modélisation hydro-thermo-chimique du réservoir.

Les principaux résultats sur la contribution du forage au fluide du réservoir sont :

- Pour la **température** :
 - La température dans le puits peut être approchée soit par un modèle semi-analytique en régime stationnaire, soit par un modèle numérique en régime stationnaire ou instationnaire. Dans le cas du **forage producteur**, on a une perte thermique entre le réservoir et la tête de puits où sont effectuées les mesures comprise entre **1 et 2,5 °C pour les débits usuels au Dogger**. Les fortes valeurs de débit sont les plus représentatives de la température du réservoir.
 - Dans le cas du **forage injecteur**, du fait de la relation linéaire mise en évidence, et suivant la température du fluide injectée, on a un gain de température en fond pour l'injection durant la période hivernale (0,9 °C pour une injection à 200 m³/h et 40 °C) et une diminution de température en fond pour une injection durant l'été (-0,45 °C pour une injection à 200 m³/h et 60 °C). **Ces variations sont néanmoins limitées et inférieures à 1 °C pour les débits usuels.**

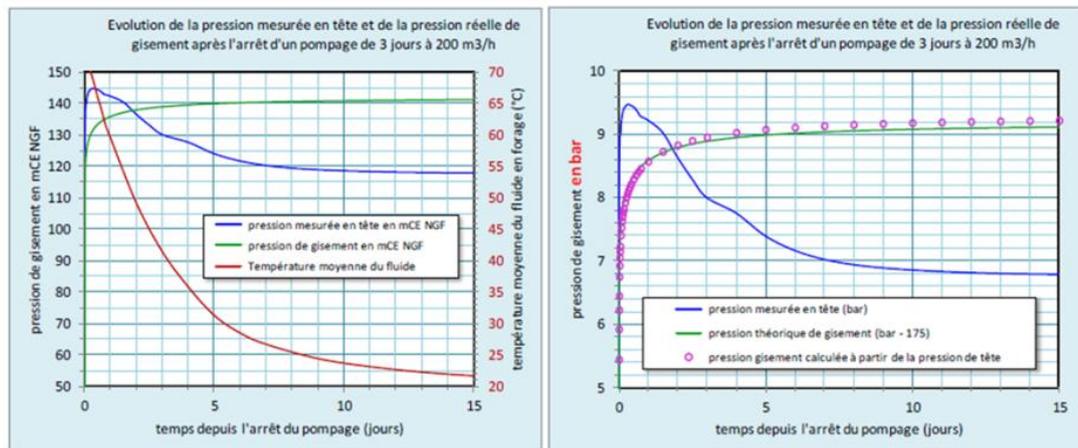


Évolution de la température en tête du puits en fonction du débit appliqué (haut : à débits constants, bas : à débit variable).

– Pour la **pression** :

- L'évolution de la pression entre le fond et la tête des forages en exploitation est due principalement **aux pertes de charge dans les tubages**. Dans le cas du **puits de production**, ces pertes de charge ont pour origine la présence d'un tube de traitement inhibiteur de fond de puits, les phénomènes de dépôt ou corrosion sur les tubages et l'évolution du diamètre du tubage lors de rechemisage du puits. Dans le cas du **puits d'injection**, il s'agit des phénomènes de corrosion/dépôts au niveau des tubages, de réduction de diamètre de tubage et de l'augmentation du diamètre du trou nu au niveau des couches productives du réservoir par dissolution du calcaire suite à l'injection d'eau refroidie. **Une étude de sensibilité** sur les paramètres intervenant dans les pertes de charges montre que ce sont les paramètres **caractérisant l'état du puits** et en particulier **la section disponible à l'écoulement et l'état de la paroi** qui **gouvernent les pertes de charge en forage**. Les paramètres **caractérisant le fluide** sont eux comparativement de **faible importance** pour un puits en exploitation.

- Les phases d'arrêt (travaux de workover, diagraphies réglementaires) et de mise en exploitation d'un forage vont également entraîner une modification de la pression entre le réservoir et la tête de puits. En effet **lors de l'arrêt de l'exploitation**, les pertes de charges s'annulent, l'évolution de la pression en tête est alors gouvernée uniquement par le recouvrement de la pression de gisement auquel va s'ajouter une modification de pression de la colonne de fluide induite **par l'établissement d'un profil thermique dans le puits induisant une modification de la masse volumique du fluide** (refroidissement du fluide au puits de production et refroidissement ou réchauffement au puits d'injection). **Lors de la mise en exploitation**, la variation de pression dans le puits est la somme des pertes de charge linéaires et quadratiques dans les tubages, du rabattement dans l'aquifère et **de la variation de pression du fait de la mise en température**.



Gauche : évolution des pressions mesurées en tête et de gisement (mCE) avec la température lors de l'arrêt du pompage.

Droite : évolution des pressions en tête et recalculée en fond (bar) après l'arrêt du pompage.

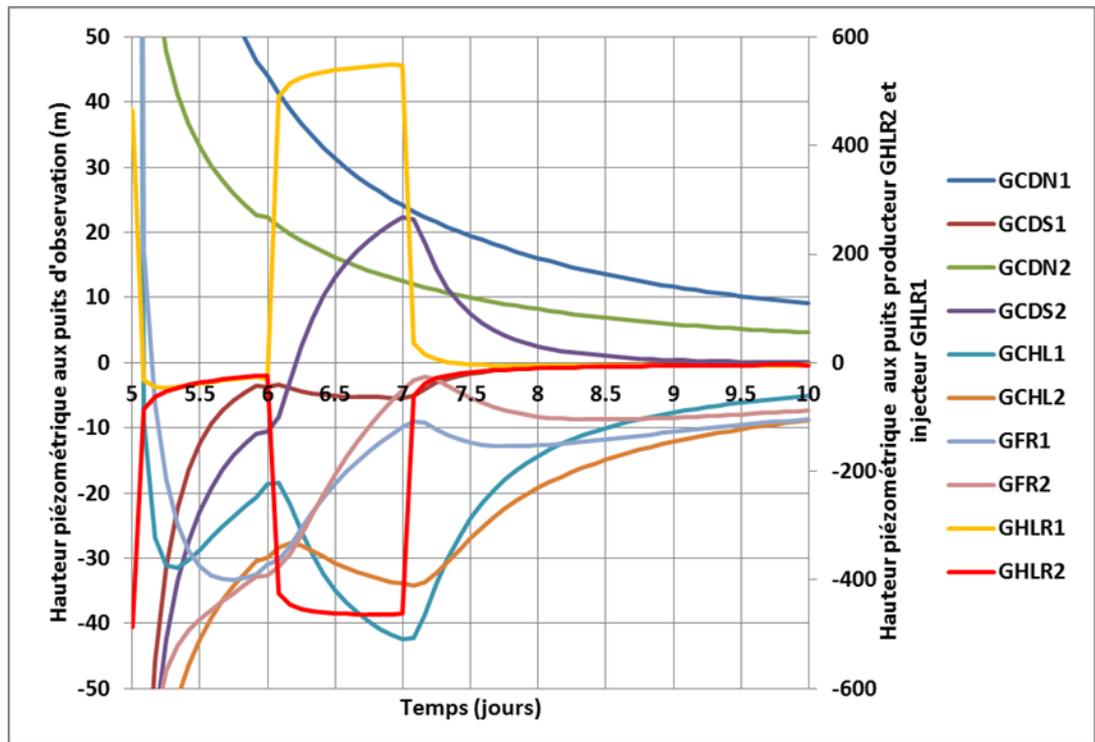
– Pour la **géochimie** :

- Les mesures et analyses physico-chimiques sont généralement effectuées en tête de puits de production, où la composition chimique du fluide est **la conséquence de la contribution du réservoir et du puits de production**. Le but de la présente étude est de faire un état des lieux des processus se déroulant actuellement dans le puits et dans le réservoir. Cette étude a comporté la réalisation d'une campagne de suivi journalier des paramètres physico-chimiques (T, pH, Eh et conductivité) et des concentrations des fluides (anions/cations majeurs et traces) **de quatre puits de production du Val-de-Marne (Alfortville, GAL2 ; Maisons-Alfort, GMA3 ; Chevilly-Larue, GCHL2 ; et l'Hay-les-Roses, GHLR2), à différents paliers de débits stabilisés**.
- Les mesures et analyses effectuées en tête de puits de production sont dans l'ensemble, représentatives du réservoir. La température fond de puits des

fluides examinés est, ainsi, supérieure à 73 °C, leurs pH compris entre 6,2 et 6,4 et leurs salinités totales comprises entre 17 et 22 g/l. **Les teneurs en fer dissous dans le réservoir aux droits des puits étudiés sont, par ailleurs, relativement faibles (< 30 µg/l, sauf exception du site d'Alfortville).** Parallèlement, l'apport de Fe²⁺ par la corrosion des tubages dépend du puits considéré. Cet apport reste, néanmoins, faible (entre 0 et 5 g/h), sauf exception du puits de Maisons-Alfort II pour lequel il atteindrait 70 g/h. **Les teneurs en sulfures dissous dans le réservoir aux droits des puits considérés sont, au contraire, relativement élevées.** Elles sont comprises entre 13 et 17 mg/l, la valeur la plus forte étant atteinte au droit du puits de production d'Alfortville. **De ce fait, même à faible débit, le flux de sulfure provenant du réservoir est prédominant devant le flux de sulfure du puits** (actuellement de l'ordre de 138 g/h, lorsqu'il n'est pas nul (cas de l'Hay-les-Roses)).

Par ailleurs afin de mieux caractériser les hétérogénéités à l'échelle du réservoir, deux types de tests hydrogéologiques sont proposés :

- **Un premier test à l'échelle des puits d'un doublet consiste à mesurer les corrélations entre niveaux producteurs des puits.** Ce test permettrait notamment de mieux caractériser les écoulements dans le réservoir entre les deux forages d'un doublet. Plus précisément il s'agit de réaliser une injection (ou une production) de fluide géothermal au niveau d'un niveau producteur de l'un des deux puits du doublet, isolé des autres niveaux producteurs par la mise en place de packers, et de mesurer la perturbation hydraulique pour l'ensemble des niveaux producteurs ou par niveau (utilisation de packers) dans le second puits du doublet.
- **Un second test d'interférence à l'échelle de plusieurs doublets géothermiques.** Ce test d'interférence permettrait de préciser le champ de transmissivité régional en intégrant l'ensemble des résultats (impacts hydrauliques mesurés à chacun des puits du secteur) dans un modèle numérique du réservoir et serait complémentaire aux mesures ponctuelles issues des essais de production. **Deux scénarios ont été envisagés et prédimensionnés par simulation numérique pour un pilote dans le Val-de-Marne :** (i) pompage au puits producteur de l'Häy-Les-Roses et observation aux puits de Cachan 1 et 2, Fresnes, Chevilly-Larue et injecteur de l'Häy-Les-Roses., (ii) pompage et réinjection à l'Häy-Les-roses (fonctionnement du doublet) et observation sur les doublets voisins de Cachan 1 et 2, Fresnes et Chevilly. Le premier scénario envisage le rejet des eaux pompées dans le réseau d'assainissement mais limite ainsi débit pompé, le second envisage la réinjection totale du débit pompé et par conséquent permet de fonctionner à débit maximal.



Simulation numérique du test d'interférence et des réponses aux puits d'observation (scenario 2).

Enfin il est proposé **des recommandations pour le contenu du DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés) lors de la réalisation d'un nouvel ouvrage**. On propose notamment à travers le projet de réglementer son contenu afin d'homogénéiser les pratiques des bureaux d'étude « sous-sol » maîtres d'œuvre d'une opération et d'avoir un document qui reflète correctement les différentes mesures réglementaires effectuées lors des travaux de forages et de fin de forage. L'objectif est d'avoir un document suffisamment exhaustif qui permet d'avoir tous les éléments liés au forage (caractéristiques géométriques de l'ouvrage, tubages,..) et au réservoir (caractéristiques des niveaux producteurs, transmissivité, température,..) permettant, d'une part de renseigner la base Dogger, et d'autre part, de réaliser des modèles thermo-hydrodynamiques suffisamment précis à différentes échelles (échelle du doublet, plusieurs doublet, régionale).

PROJET 22 : MÉTHODOLOGIE DE RECONVERSION DES FORAGES PROFONDS EN ÉCHANGEURS GÉOTHERMIQUES

Projet de Service public : PSP11GTH22

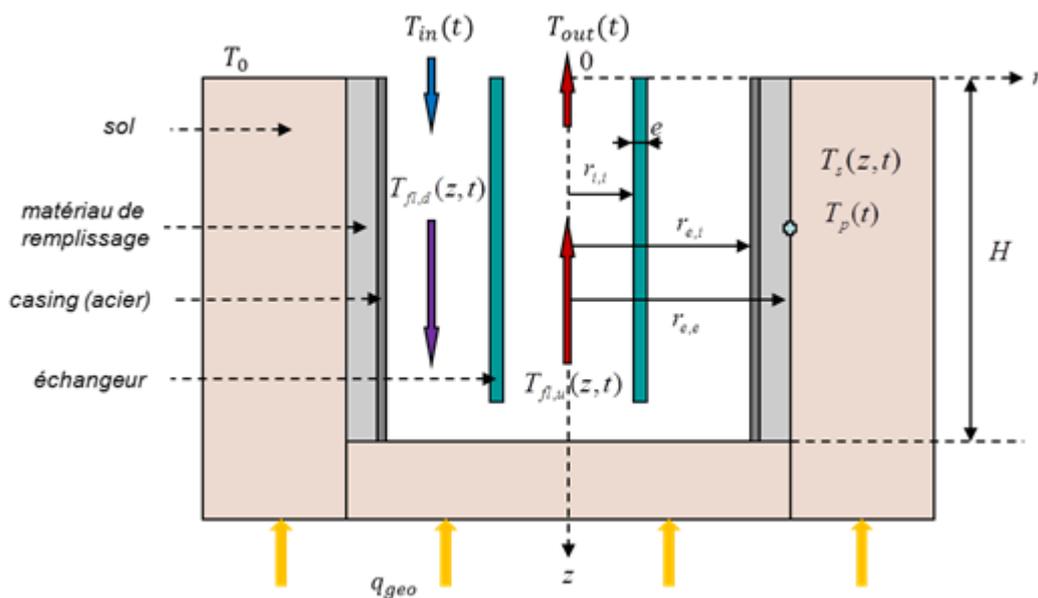
Chef de projet et équipe de projet : Charles Maragna, Madjid Bouzit, Jean-Claude Martin

Rapport : Étude technico-économique de la reconversion de forages profonds en échangeurs géothermiques en boucle fermée (BRGM/RP-60685-FR)

Objectifs : Il s'agit d'étudier la transformation de forages profonds d'exploration pétrolière ou géothermique en échangeurs géothermiques sur boucle fermée. Le projet vise à développer une méthodologie pour l'estimation de la rentabilité de la reconversion des forages profonds en échangeurs géothermiques. Cette méthodologie s'appuiera d'une part sur la modélisation de l'interaction thermique entre la sonde et le sol, et d'autre part sur l'estimation des différents paramètres économiques.

Synthèse :

La réalisation d'échangeurs géothermiques en boucle fermée peut constituer une alternative à la fermeture des forages profonds d'exploration pétrolière ou géothermique. Dans de tels systèmes, le principe général de la production de chaleur consiste à faire circuler un fluide (généralement de l'eau) en boucle fermée dans le forage comme le montre l'illustration ci-dessous.

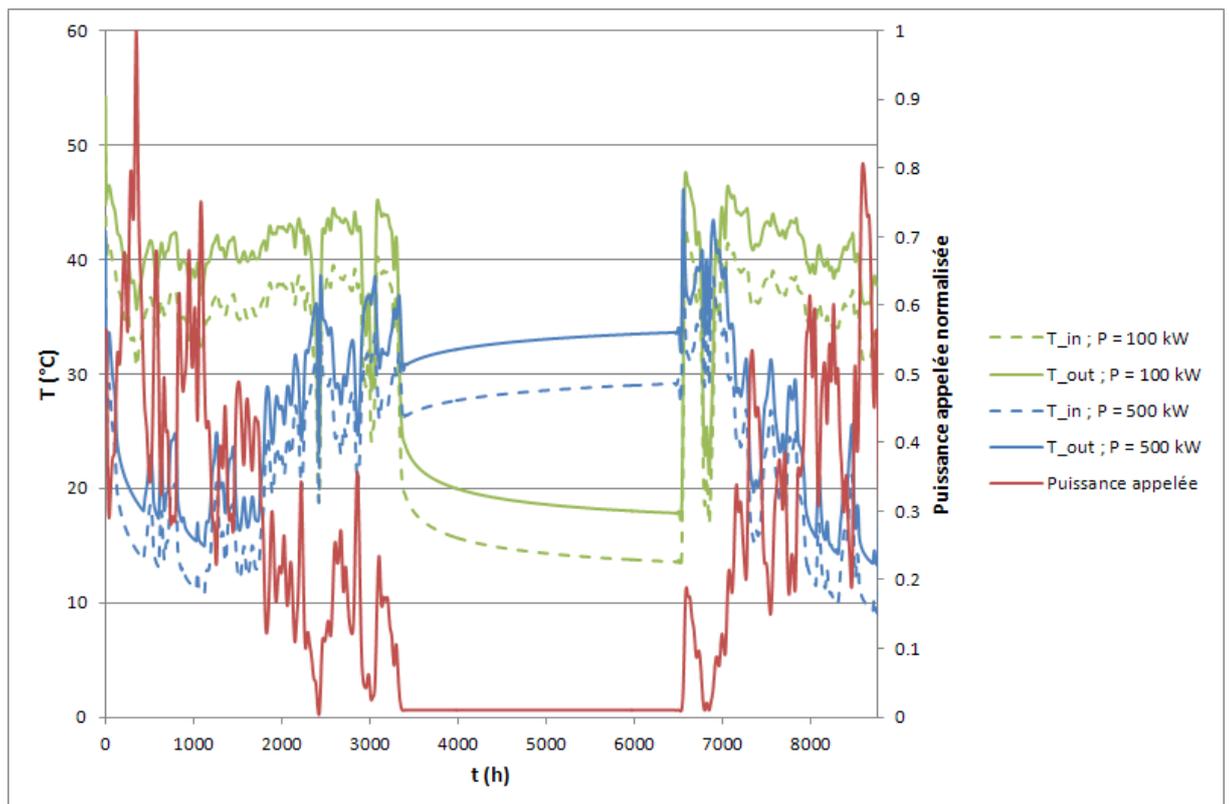


Vue en coupe d'un échangeur géothermique profond.

Un tubage thermiquement isolé est mis en place dans le forage ; le fluide descend dans l'espace entre ce tubage et le casing du forage, se réchauffe au contact de la

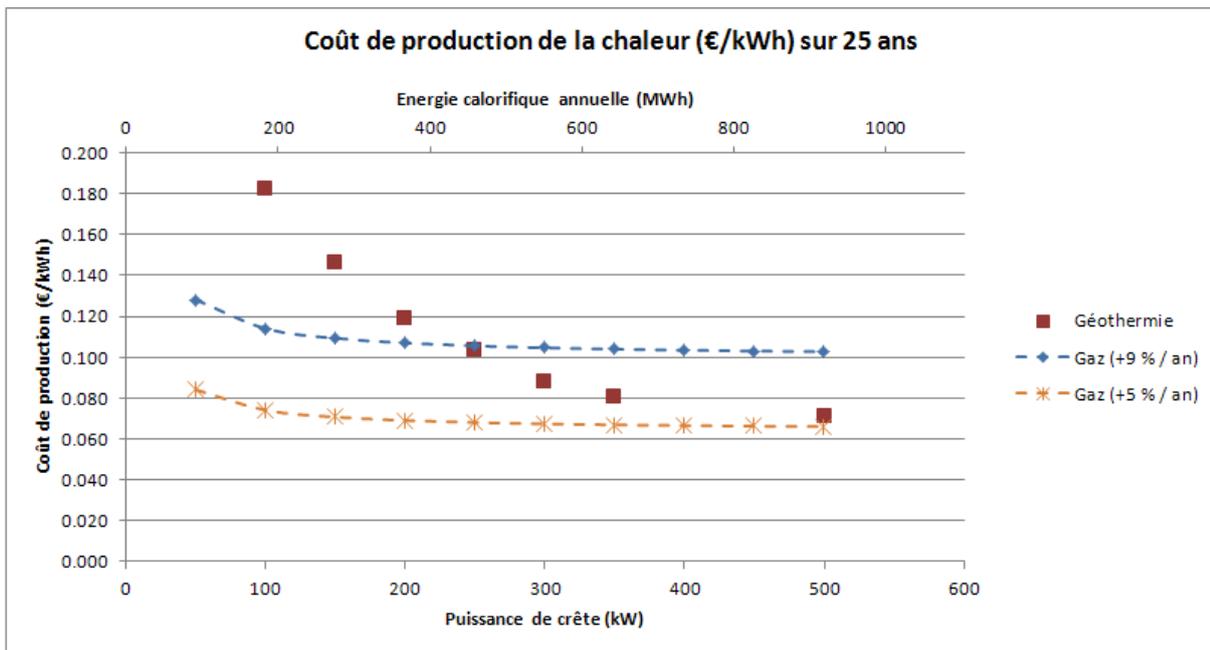
matrice rocheuse, puis remonte dans le tubage central. La performance énergétique du dispositif augmente avec l'isolation du tubage central. Contrairement à une exploitation directe d'un aquifère profond, du fait de l'échange de chaleur avec la matrice rocheuse, la température en sortie d'échangeur évolue sur de courtes durées en fonction de l'évolution de la demande en énergie thermique.

Un modèle numérique d'échangeur géothermique profond, qui calcule l'évolution temporelle de la température de sortie en fonction de la température d'entrée et du débit, a été développé, puis couplé au comportement d'un bâtiment et d'une pompe à chaleur. La modélisation dynamique couplée de l'ensemble des trois composants que sont le bâtiment, la pompe à chaleur et l'échangeur géothermique est indispensable à l'établissement du coefficient de performance du système global et du bilan d'énergie, ce bilan énergétique étant valorisé dans le modèle économique. Nous avons considéré une courbe de demande en énergie thermique caractéristique d'un bâtiment de la zone climatique d'Orléans et avons investigué différents scénarios de profondeur de forage, de matériaux du tubage central et de taille du bâtiment. Les courbes de puissance du bâtiment considéré et les températures de l'eau circulant dans la sonde pour deux scénarios de puissance sont présentées ci-dessous.



Évolution des températures du fluide en entrée (T_{in}) et sortie d'échangeur (T_{out}) géothermique, pour deux scénarios de puissances crête appelées par le bâtiment (100 kW et 500 kW). Profondeur du forage : 2 000 m.

Le modèle énergétique permet de calculer l'énergie prélevée au terrain et l'énergie électrique consommée par l'installation. Le coût de production de la chaleur a été calculé pour deux solutions de chauffage : chaudière au gaz et pompe à chaleur sur échangeur géothermique profond, sans recourt à une subvention publique. Le recours à la géothermie au lieu d'une chaudière gaz constitue un surinvestissement, mais présente l'avantage de coûts d'exploitation inférieurs, qui seront d'autant plus faibles que l'augmentation du coût de l'électricité est limitée et que l'augmentation du coût du gaz est élevée. Le coût de production de la chaleur par géothermie et par chaudière au gaz est présenté ci-dessous.



Coût de production de la chaleur (€/kWh) sur 25 ans en fonction de la puissance crête de l'installation par géothermie pour un forage profond de 2000 m et par une chaudière au gaz pour deux valeurs d'augmentation du coût du gaz (+ 5 %/an et + 9 %/an).

La rentabilité de l'opération de géothermie est dépendante de l'augmentation de prix de l'énergie fossile. Cependant, même lorsque cette augmentation est faible, pour des quantités annuelles d'énergie extraite élevée, les coûts de production de la chaleur par géothermie sur échangeur géothermique profond et par chaudière au gaz sont proches.

Conclusion

Les résultats, présentés dans ce rapport de synthèse, correspondent aux travaux réalisés dans le cadre de la convention ADEME-BRGM 2011, et répondent aux attentes de l'ADEME et du BRGM en matière de développement de la géothermie en France, décrites dans la feuille de route stratégique Géothermie 2008.

Les travaux de la convention 2011 couvrent l'ensemble des aspects identifiés comme nécessaires à l'accompagnement pour le développement de la chaleur géothermale, organisés selon trois axes d'action : Communication, Animation et Structuration de la Filière Géothermie, et le Centre technique.

L'axe « Communication » a permis de maintenir à un haut niveau la diffusion des informations propres à l'activité de la géothermie (75 alertes, 7 newsletters), de compléter la diffusion, par le biais du site internet www.geothermie-perspectives.fr, des données des atlas géothermiques régionaux, d'assurer la diffusion de trois bulletins « La Géothermie en France », de participer à deux manifestations, le Salon des Maires et des Collectivités Locales en novembre 2011 et aux Journées de la Géothermie en décembre 2011, enfin de diffuser auprès des Directions Régionales de l'ADEME une mallette de documents pédagogiques sur la géothermie.

L'axe « Animation et Structuration de la Filière Géothermie » a été l'occasion d'initier les Journées Régionales de Sensibilisation à la Géothermie, de contribuer à l'émergence de nouveaux projets régionaux comme les Schémas Régionaux Climats Air Energie (SRCAE). La démarche QUALIFORAGE a vu se confirmer son développement chez les foreurs avec 91 adhérents foreurs à fin 2011. Sur le plan de la méthodologie, de la mise au point de procédures techniques et de mise en cohérence des normes françaises et européennes, plusieurs chantiers ont avancé. Tout d'abord celui du groupe de travail sur la normalisation de la boucle sonde qui produira d'ici fin 2012 la norme AFNOR prNF X 10-960, suivi d'un protocole de test de réponse thermique, nécessaire au dimensionnement des champs de sondes géothermiques verticales (SGV), enfin d'un rapport de présentation de l'état de l'art des méthodes de prédimensionnement de sondes géothermiques verticales. Le Comité AQUAPAC, garantie de ressource et de pérennité des ouvrages de pompes à chaleur sur nappe, avec 31 opérations, a vu le nombre de dossiers augmenter par rapport aux années précédentes. Les aspects impacts de la géothermie sur les nappes ont été étudiés à Lyon, un nouveau site d'étude a été identifié à Strasbourg. Un rapport présente l'utilité et la démarche de création d'une base de données nationale géothermique qui devrait s'appuyer sur la Banque de données du sous-sol, existante mais incomplète en ce qui concerne le volet géothermique. La réglementation, en évolution récente à la suite de la loi Warsmann relative à la simplification du droit et à l'allégement des démarches administratives, est présentée sous les aspects code minier et code de l'environnement qui s'appliquent tous deux aux opérations de géothermie. Le volet coût de la géothermie fournit les indicateurs économiques et statistiques relatifs à la géothermie exploitable. Concernant les Schémas Régionaux du Climat, de l'Air et de l'Energie (SRCAE), l'année 2011 a été marquée par la parution du décret n° 2011-678

du 16 juin 2011 qui fixe le contenu et les modalités d'élaboration de ces SRCAE, et du décret n° 2011-829 du 11 juillet 2011 relatif au bilan des émissions de gaz à effet de serre et au plan climat-énergie territorial (PCET). Dans ce contexte, le travail de la convention 2011 traite de l'articulation entre ces différents documents de planification territoriale, en présentant notamment un premier bilan des objectifs fixés pour la géothermie dans les projets de SRCAE, et analyse, après quelques études menées par le BRGM, les enjeux des études de potentiel géothermique à différentes échelles territoriales.

L'axe « Structuration de la Filière Géothermie, et le Centre technique » a permis de compléter les connaissances du fonctionnement du réservoir géothermique du Dogger du bassin de Paris à partir des données d'exploitation transmises par les maîtres d'ouvrage, et d'affiner les modélisations thermo-hydrodynamiques de ce réservoir. Le volet étude de sensibilité du comportement des puits donne des indications pour une meilleure approche et interprétation des tests hydrogéologiques d'un point de vue thermique, hydraulique et géochimique. Enfin, il est présenté les résultats d'une méthodologie pour l'estimation de la rentabilité de la reconversion des forages profonds en échangeurs géothermiques.

Ces travaux, qui couvrent un très large champ, se poursuivront en 2012, sur un programme qui s'inscrit d'une part dans la continuité des actions engagées, d'autre part en conformité aux nouvelles exigences de la filière géothermique et à la nouvelle feuille de route ADEME-BRGM 2012 sur la géothermie.



Centre scientifique et technique
Département Géothermie
3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34