

17 mars 2015

Synthèse des projets relatifs au développement du Dogger en Île-de-France, réalisés depuis 2009

- 1) **Etat de l'art relatif à la conception et à la mise en œuvre des forages géothermiques au Dogger.** BRGM/RP-57245-FR. (page 3)
- 2) **Modélisation de l'impact thermique et hydraulique sur l'exploitation de l'aquifère du Dogger pour différents scénarios de réhabilitation d'un doublet géothermique type.** BRGM/RP-57779-FR. (page 4)
- 3) **Mise en œuvre de la gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France dans le cadre du dispositif d'acquisition et de stockage des données. Phase 3.** BRGM/RP-58834-FR. (page 5)
- 4) **Conditions de réhabilitation et d'abandon des forages géothermiques au Dogger en Ile-de-France.** BRGM/RP-59642-FR. (page 6)
- 5) **Pratiques de modélisation hydraulique et thermique pour des exploitations géothermiques au Dogger dans la région parisienne.** BRGM/RP-59591-FR. (page 7)
- 6) **Gestion de la Ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France pour l'année 2010.** BRGM/RP-59845-FR. (page 8)
- 7) **Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France - Année 2011.** BRGM/RP-60399-FR, BRGM/RP-60996-FR. (page 9)
- 8) **Etude 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. (page 10)
- 9) **Impact géochimique de l'injection des saumures triasiques dans le Dogger carbonaté (Bassin de Paris, France).** BRGM/RP-61122-FR. (page 11)
- 10) **Gestion de la base de données du Dogger en Ile-de-France.** BRGM/RP-62030-FR. (page 12)
- 11) **Gestion du Dogger en Ile-de-France.** BRGM/RP-63139-FR. (page 13)
- 12) **Synthèse des résultats acquis sur le projet de gestion du Dogger.** BRGM/RP-63148-FR. (page 14)
- 13) **Evaluation du potentiel géothermique du Lusitanien du bassin de Paris pour la production de chaleur : mise en adéquation entre ressource et besoins.** BRGM/RP-63244-FR. (page 15)
- 14) **Expertise du développement de l'exploitation de l'aquifère du Dogger dans le secteur Ouest du Val-de-Marne.** BRGM/RP-63792-FR. (page 16)
- 15) **Projet « TEST-DOGGER » - Réalisation d'un essai d'interférence hydraulique au Dogger dans le Val-de-Marne** BRGM/RP-64348-FR. (page 17)
- 16) **Evaluation de l'impact d'architectures de puits sur la productivité et l'injectivité initiale d'un réservoir géothermique de type clastique.** (en cours) (page 18)
- 17) **Etude comparative de l'action de différents inhibiteurs de corrosion-dépôts sur le comportement électrochimique d'un acier au carbone dans un fluide géothermal représentatif du Dogger.** (en cours) (page 19)
- 18) **Etude de la dégradation de la productivité/injectivité de doublets géothermiques au Dogger et des causes possibles des pertes de performance de ces doublets.** (en cours) (page 21)
- 19) **Retour d'expérience concernant les forages géothermiques profonds nouvellement rénovés ou réhabilités.** (en cours) (page 22)

Titre : Etat de l'art relatif à la conception et à la mise en œuvre des forages géothermiques au Dogger. Rapport final.

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-57245-FR

Auteurs : HERVE.J.Y.

Résumé : Ce dossier propose un état de l'art des forages géothermiques destinés à exploiter la nappe du Dogger du Bassin parisien, ainsi que les différents choix technico-économiques pouvant être envisagés pour concevoir et réaliser ces forages. Les différents choix contractuels ainsi que la couverture des risques de chantier seront analysés et présentés. Ce document a été réalisé à la demande de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Il est destiné aux maîtres d'ouvrages et aux bureaux d'études qui les accompagnent dans leurs projets géothermiques. Les contraintes techniques, ainsi que l'expérience acquise lors des opérations déjà réalisées dans le Bassin parisien, sont analysées. Les différentes solutions envisageables, leurs avantages, leurs inconvénients et les conséquences financières correspondantes sont discutés pour chacun des éléments constitutifs des ouvrages.

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2009

Titre : Modélisation de l'impact thermique et hydraulique sur l'exploitation de l'aquifère du Dogger pour différents scénarios de réhabilitation d'un doublet géothermique type. Rapport intermédiaire

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-57779-FR

Auteurs : LE.BRUN.M., HAMM.V., LOPEZ.S.

Résumé : Le présent rapport fait suite à la réunion du Comité de Pilotage du projet « État de l'Art relatif aux équipements des puits géothermiques exploitant le Dogger » du 24 juin 2009 où une première approche de la réhabilitation d'un doublet géothermique par modélisation hydrothermique a été présentée. Il a été réalisé dans le cadre du projet « Gestion du Dogger » correspondant à la Convention BRGM-ADEME n° 0705C0040, dédiée à la mise en place d'un observatoire des données relatives à la gestion de l'aquifère du Dogger en région Île-de-France, comme contribution aux problèmes posés par l'exploitation sur une longue durée des opérations de géothermie. La réhabilitation d'un doublet de géothermie passe par l'implantation d'un nouveau puits producteur et d'un nouveau puits injecteur (cas du nouveau doublet) ou l'implantation d'un nouveau puits producteur avec conservation de l'ancien injecteur et la réhabilitation de l'ancien puits producteur en puits injecteur (cas du triplet). Indépendamment des aspects économiques et techniques du forage, une problématique liée à ces schémas de réhabilitation tient à leur impact thermique et hydraulique sur la ressource et à la viabilité dans le temps de leur exploitation. L'étude de cette problématique a été réalisée par la modélisation à l'aide du logiciel MARTHE de différents scénarios de réhabilitation. Une première exploitation type au Dogger est modélisée (inclinaison du tubage, profondeur du forage, localisation de la plate-forme de forage) dont le fonctionnement sur 25 ans fixe les conditions initiales de charge et de température dans l'aquifère pour les modélisations des différents scénarios de réhabilitation. Pour chaque schéma de réhabilitation, triplet ou doublet, différentes configurations des nouveaux puits sont envisagées et pour le cas de la réhabilitation par triplet, deux types d'exploitation sont étudiés qui consistent à faire varier la répartition des débits entre les deux puits d'injection de diamètre réduit. La ressource est représentée par un modèle homogène trois couches (deux épontes et un réservoir) avec des paramètres moyennés. L'étude de l'optimisation de la réhabilitation est basée sur la position du front froid et n'a pas pris en compte l'influence des opérations voisines. L'état du réservoir est supposé constant aux frontières du domaine modélisé. La comparaison entre les différents scénarios modélisés a été menée sur le temps de percée (l'amorce de la chute de température au puits de production) et l'emprise de la bulle froide sur le réservoir au niveau du puits injecteur. Ces deux paramètres ont été pris comme critères déterminants pour la pérennité de l'installation et de la ressource. (..)

Commanditaires : ADEME, CONSEIL REGIONAL ILE-DE-FRANCE

Année de parution : 2009

Titre : Mise en œuvre de la gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France dans le cadre du dispositif d'acquisition et de stockage des données. Rapport final Phase 3

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-58834-FR

Auteurs : HAMM.V., CASTILLO.C., LE.BRUN.M., GOYENECHÉ.O., LOPEZ.S., IGNATIADIS.I., AZAROUAL.M., MALON.J.F.

Résumé : Ce rapport est le document final prévu à l'échéance de la Convention ADEME-BRGM n° 0705C0040 du 8 juillet 2007 et de son avenant n° 1 du 4 août 2009, dont l'objet est la mise en œuvre d'un Observatoire de données exploitant la Base Dogger élaborée antérieurement. Cette convention constitue la phase 3 du programme de « Gestion du Dogger ». Le rapport fait un point d'avancement sur les deux séquences prévues dans le programme de la phase 3 du projet, à savoir :

- Le fonctionnement de la Base Dogger et notamment la collecte des données d'exploitation des 34 sites géothermiques en activités de la région parisienne par l'envoi formel et régulier par les exploitants des sites considérés, de fichiers Excel dédiés, le tri et la validation de ces données par les deux bureaux d'étude sous-sol dûment mandatés pour cette mission. Enfin, cette séquence du programme prévoit la mise en œuvre de requêtes de routine pour l'intégration de ces données dans la base Oracle du BRGM et leurs extraction par les ingénieurs chargés de modélisation du Dogger, dans un format conforme à leurs attentes.

- L'interprétation des données collectées sur la période 2005 - 2009 et la modélisation du réservoir, selon les deux axes retenus :

- La poursuite, entamée dans le cadre de la phase 2 du projet, de la compréhension des processus géochimiques majeurs pouvant être à l'origine du concept de précurseurs chimiques de percée thermique aux puits producteurs des doublets. Ce travail est également l'occasion de mesurer l'évolution géochimique du fluide du Dogger sous l'effet d'une exploitation continue depuis plus de 25 ans et d'en déterminer les conséquences sur le réservoir et les équipements (corrosion, dépôt) ;
- La modélisation hydraulique et thermique du réservoir du Dogger en termes d'une part, de détermination des interférences hydrauliques entre doublets et de l'extension des bulles froides autour des forages d'injection des doublets dans le Val-de-Marne et la Seine-Saint-Denis à forte densité d'opérations géothermiques puis, d'autre part, d'analyse comparative de divers scénarios de réhabilitation de doublets géothermiques en cas de vétusté ou de manifestation de la percée thermique.

Cette phase du projet pluriannuel de Gestion du Dogger se poursuit en 2010 en utilisant notamment les données quotidiennes d'exploitation qui seront collectées dans la base Dogger par le biais d'un fichier Excel mis en place au cours de cette Phase 3 du projet, sur tous les sites exploités et qui seront renseignés par le personnel exploitant.

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2010

Titre : **Conditions de réhabilitation et d'abandon des forages géothermiques au Dogger en Ile-de-France. Rapport final.**

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-59642-FR

Auteurs : HERVE.J.Y., GOYENECHE.O.

Résumé : Cette étude fait partie de la convention ADEME-BRGM 2010 (convention 0905C0016). Elle a pour objectif de rassembler les informations concernant les conditions de réhabilitation et d'abandon des ouvrages géothermiques. La succession des différentes opérations est analysée depuis les travaux de nettoyage préalables (curage) permettant d'analyser l'état d'endommagement des puits (diagnostic) jusqu'aux différentes solutions de remise en état envisageables (opérations de réhabilitation). Les conditions administratives et techniques de l'abandon des puits sont également décrites ainsi que les solutions de reconstruction possibles (nouveau doublet, triplet). Enfin, les principaux processus d'endommagement des puits que sont la corrosion des aciers et l'altération chimique des ciments sont abordés.

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2010

Titre : Pratiques de modélisation hydraulique et thermique pour des exploitations géothermiques au Dogger dans la région parisienne. Rapport final.

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-59591-FR

Auteurs : LE BRUN.M., HAMM.V., LOPEZ.S., ANTICS.M., AUSSEUR.J.Y., CORDIER.E., GIUGLARIS.E., GOBLET.P., LALOS.P., UNGEMACH.P., GOYENECHÉ.O.

Résumé: Le projet « pratiques de modélisation hydraulique et thermique pour des exploitations géothermiques au Dogger dans la région parisienne » objet du présent rapport vise à permettre aux pouvoirs publics, comme l'ADEME et la DRIEE, d'apprécier la qualité des études comportant des modélisations. Il s'agit des demandes de permis de recherche et d'exploitation et des garanties apportées par la SAF-Environnement. Il est financé dans le cadre de la Convention de Service Public BRGM-ADEME 2010 09 05 C0016 (projet n°21), parmi les projets inscrits au Centre Technique Géothermie. Ce projet rassemble plusieurs équipes de modélisation issues de cinq organismes différents : ANTEA, CFG Services, GPC-IP, Mines ParisTech, BRGM. Ces cinq équipes forment un groupe de travail qui s'est réuni quatre fois au cours de l'année 2010 autour de deux objectifs principaux sur la géothermie au Dogger en région parisienne :

- réaliser une synthèse des problématiques traitées actuellement par la modélisation et des sources de variabilité des résultats de modélisation ;
- comparer les principales méthodes de modélisations utilisées dans le groupe, dans le cadre d'un exercice d'inter comparaison.

Les principales problématiques traitées par la modélisation hydraulique et thermique au Dogger sont la gestion du stock d'énergie sur le long terme à l'échelle de l'ensemble du réservoir (refroidissement du réservoir) et l'utilisation du stock de chaleur à l'échelle des opérations de géothermie (temps de percée thermique au puits de production).

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2011

Titre : Gestion de la Ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France pour l'année 2010 - Rapport final

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-59845-FR

Auteurs : HAMM.V., CASTILLO.C., GOYENECHE.O.

Résumé : Le rapport intitulé « Gestion de la ressource géothermique du Dogger – Année 2010 » constitue le rapport final du projet PSP10GTH20 DOGGER de la convention ADEMEBRGM n°0905C0016 notifiée le 28/12/2009. Ce rapport fait état des avancées majeures et arrive à la suite du rapport précédent (BRGM/RP-58834-FR) de la phase 3 du Dogger. Il fait le point notamment sur :

- L'état d'acquisition des données quotidiennes d'exploitation des 33 doublets et 1 triplet en activité pour l'année 2010 via le fichier Excel standardisé mis en place au cours de la Phase 3 du Dogger, ainsi que sur le développement de l'application permettant l'intégration de ces données dans la base Oracle du BRGM et leur extraction au format Access. On peut relever à ce titre l'importante contribution des Sociétés de service CFG-Services et GPC-IP qui ont participé, aux côtés du BRGM, à la collecte et à la validation des données d'exploitation mais aussi des maîtres d'ouvrage, de leurs délégataires et des exploitants d'opérations géothermiques au Dogger dont l'implication dans la mise à disposition de ces données participe, à travers la base Dogger, à l'amélioration de la connaissance du comportement de l'aquifère.

- L'utilisation de ces nouvelles données d'exploitation ainsi que des données hydrogéologiques collectées par les bureaux d'étude sous-sol lors de la réalisation de nouveaux forages (Paris-Nord-Est, Orly-Aéroport de Paris) pour affiner les modélisations hydro-thermiques du réservoir du Dogger et notamment l'évolution de la température du fluide aux puits producteurs ;

- La poursuite de l'évolution géochimique des fluides au Dogger à partir des données collectées en 2010 afin de confirmer les conclusions du rapport de la phase 3 du Dogger qui montrait une reprise des processus de corrosion-dépôts dans les tubages et une acidification progressive du réservoir. (...)

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2011

Titre : Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Ile-de-France - Année 2011. Rapport intermédiaire et final.

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-60399-FR, BRGM/RP-60996-FR

Auteurs : HAMM.V., LE.BRUN.M., CASTILLO.C., IGNATIADIS.I.

Résumé : Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet « Gestion de la ressource géothermique du Dogger de la région Île-de-France – Année 2011 » (PSP11GTH20) de la convention de Service Public ADEME-BRGM n° 0905C0119 notifiée le 16 mai 2011. Les principaux objectifs du projet sont :

- affiner les modélisations thermo-hydrodynamiques du Dogger avec notamment une étude d'inter-comparaison 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 Cette tâche constitue la finalisation du Workshop démarré en octobre 2010 avec les membres du groupe de travail « Modélisation au Dogger » (rapport BRGM/RP-59591-FR) sur le test d'intercomparaison sur la modélisation du doublet d'Alfortville;

- 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, physicochimiques, 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 le suivi à long terme du réservoir;

- poursuivre l'analyse physico-chimique des fluides en tête de puits de production et réaliser une cartographie de la géochimie des eaux du Dogger pour des paramètres influant sur les phénomènes de corrosion et dépôt sur les installations. Les paramètres retenus sont la température en tête de puits d'exhaure (lieu de prélèvement pour les analyses chimiques), le pH, les concentrations en Fer et en Sulfures, le Potentiel Redox (pe) .

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2011-2012

Titre : Etude de sensibilité du comportement des puits au Dogger à l'échelle de l'ouvrage et du réservoir par modélisation et tests hydrogéologiques. Rapport final

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-60774-FR

Auteurs : HAMM.V., LE.BRUN.M., CASTILLO.C., IGNATIADIS.I., MARAGNA.C. (BRGM), ANTEA, CFG, GPC, Mines ParisTech

Résumé : Ce rapport constitue le rapport final du projet « Étude de sensibilité du comportement des puits au Dogger à l'échelle de l'ouvrage et du réservoir par modélisation et tests hydrogéologiques » de la convention ADEME-BRGM n° 0905C0119 notifiée le 16 mai 2011. 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. Le projet a fait l'objet d'un cahier des charges daté du 8 juin 2011 (cf. annexe 1) définissant la répartition du travail entre les différents intervenants du projet qui sont ANTEA, CFG Services, GPC I&P, Mines ParisTech et le BRGM coordinateur du projet.

Ce dernier s'articule en conséquence 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 oeuvre 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. Ces données, sont intégrées de façon continue dans la Base Dogger, gérée par le BRGM dans le cadre du partenariat avec l'ADEME.

Année de parution : 2012

Titre : Impact géochimique de l'injection des saumures triasiques dans le Dogger carbonaté (Bassin de Paris, France). Rapport final

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-61122-FR

Auteurs : CASTILLO.C., KERVEVAN.C., THIERY.D.

Résumé : Ce rapport présente les résultats des travaux de modélisation géochimique réalisés dans le cadre du projet CLASTIQ-2, intitulé «Programme de recherche sur les ressources géothermales des réservoirs clastiques, et] France}} et cofinancé par le BRGM et l'ADEME (convention de recherche ADEME-BRGM n° 08-05-C0093), CLASTIQ-2 SE? située dans la continuité du projet CLASTIQ-1, «CLAYed SandsTone In Question}} (Bouchot et al" 2008), et vise ainsi à affiner la connaissance des réservoirs silico-clastiques profonds des bassins sédimentaires du territoire métropolitain en tant que réservoirs géothermiques, et à favoriser in fine le développement de projets opérationnels sur ce type de réservoirs. Les réservoirs argilo-gréseux du Trias du Bassin parisien (2 000-3 000 m de profondeur, 80-125 oC) constituent des réservoirs, favorables pour une exploitation géothermique de type basse à moyenne enthalpie (potentiel géothermique de 10 GJ/m² environ - Bouchot et al" 2008), Cependant, les opérations de géothermie passées dans les réservoirs clastiques du Bassin parisien (BP) ont mis en évidence de sérieux problèmes de réinjection des fluides géothermaux, qui pourraient remettre en cause leur exploitation géothermique, Pour pallier ces difficultés, une des solutions envisageable serait de réinjecter une partie ou la totalité des saumures du Trias dans l'aquifère du Dogger (Jurassique moyen, 1 500-2 000 m de profondeur, 57-85 OC), À cet égard, les travaux réalisés dans cette étude se sont attachés à identifier les processus géochimiques (précipitation/dissolution de phases minérales notamment) occasionnés par la réinjection et à qualifier et quantifier leur impact sur les propriétés (porosité/perméabilité) du réservoir du Dogger(..)

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2012

Titre : **Gestion de la base de données du Dogger en Ile-de-France. Rapport final**

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-62030-FR

Auteurs : HAMM.V., TREIL.J.

Résumé : La base dite « Dogger » des données géothermiques de l'aquifère du Dogger a été développée sous Access entre 2003 et 2005 dans le cadre d'une convention entre l'ADEME et le BRGM (rapport BRGM/RP-52927-FR de phase 1 et rapport BRGM/RP-53782-FR de phase 2) en vue de mettre en place un outil de gestion de la ressource géothermique du Dogger alimentant les réseaux de chaleur en région Ile-de-France. L'interface de gestion de la base sous Access, a été complétée depuis dans le cadre du projet « Gestion du réservoir du Dogger – Phase 3 » (rapport BRGM/RP-58834-FR) et des conventions successives ADEME-BRGM (2010 et 2011) avec des routines d'intégration des données d'exploitation de la boucle géothermale (débits, températures, pressions) et des données physico-chimiques (mesures in situ, analyses du fluide géothermal, traitement anticorrosion). Le projet « Gestion de la base de données du Dogger en Île-de-France » de la Convention ADEME-BRGM 2012 n° 11 05 C0037 a pour objectif principal de rendre cette base opérationnelle et accessible via une application Web dédiée à l'ensemble des professionnels en géothermie profonde. Les principaux acteurs des opérations de géothermie profonde du bassin parisien pourront s'y connecter après obtention d'un droit d'accès auprès du BRGM ; sont concernés notamment, les bureaux d'études en charge du suivi de réalisation des forages géothermiques ou du suivi réglementaire des opérations, les Maîtres d'Ouvrage propriétaires des données, mais aussi tout bureau d'étude amené à réaliser des études de faisabilité avec modélisation des impacts hydrauliques et thermiques lors de la réalisation d'une nouvelle opération au Dogger.

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2013

Titre : **Gestion du Dogger en Ile-de-France. Rapport final**

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-63139-FR

Auteurs : HAMM.V., GIUGLARIS.E.

Résumé : Le contexte de relance de la géothermie au Dogger en Île-de-France depuis 2007 nécessite une gestion à long terme de cet aquifère qui passe notamment par l'acquisition régulière de données (historiques d'exploitation, suivi géochimique, caractéristiques du réservoir,...) et leur pérennisation dans la base de données «DOGGER». Ainsi le projet récurrent «Gestion du Dogger» de la Convention ADEME-BRGM n°12 05 C0131 s'inscrit dans la volonté de pérenniser cette action dans le temps afin de contribuer à maîtriser l'intense exploitation de cet aquifère et d'améliorer sa connaissance. Aujourd'hui, le projet gestion du Dogger a atteint l'ensemble de ses objectifs initiaux. Désormais, il est possible de procéder à une réelle gestion de cet aquifère profond stratégique pour le développement de la géothermie en Île-de-France. Les actions réalisées dans le cadre de la convention 2013 sont les suivantes:

- poursuivre la collecte des données d'exploitation, géochimiques, hydrogéologiques, et des caractéristiques des nouveaux ouvrages avec le concours des exploitants et des sociétés d'ingénierie et de services CFG-Services et GEOFLUID (filiale de GPC IP), en charge du suivi et de la maintenance de la quasi-totalité des opérations au Dogger. Cette action a pour objectif de maintenir à jour la base Dogger dont les données sont accessibles depuis 2013 via une interface web, notamment pour que les bureaux d'études concernés puissent l'utiliser, par exemple pour la réalisation d'études de faisabilité de nouvelles opérations de géothermie;
- mettre en évidence les hétérogénéités et les différents types d'écoulements rencontrés dans la formation du Dogger. Ce premier travail réalisé en 2013 a été basé sur les données des essais de production en régime transitoire existantes et disponibles au sein des archives du BRGM et de CFG Services. Il permet de mettre en évidence la diversité des réponses du réservoir, ces différences pouvant modifier l'utilisation des paramètres usuels du réservoir (transmissivité, facteur de skin) pour estimer ses capacités et comprendre son comportement;
- donner des recommandations:
 - o sur les bonnes conduites de réalisation des essais de production et d'injection au Dogger,
 - o sur le contenu à publier dans les DOE. Pour cette partie ces recommandations font suite au travail réalisé dans le projet «Étude de sensibilité du comportement des puits au Dogger à l'échelle de l'ouvrage et du réservoir par modélisation et tests hydrogéologiques» (cf. rapport BRGM/RP-60774-FR) visant à harmoniser le contenu des DOE réalisés par les divers maîtres d'œuvre.

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2014

Titre : **Synthèse des résultats acquis sur le projet de gestion du Dogger. Rapport final**

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-63148-FR

Auteurs : GOYENECHÉ.O., HAMM.V., CASTILLO.C.

Résumé : Ce rapport présente les travaux réalisés dans le cadre du projet «Animation du Centre Technique Géothermie» de la Convention ADEME-BRGM 2013 (Convention n° 12 05 C0131, notifiée le 24 juillet 2013). Les principaux objectifs de ce projet sont les suivants :

- synthèse des résultats acquis depuis le début de la phase 3 du projet de Gestion du Dogger, soit à partir de l'année 2005;
- accompagnement du projet de Gestion du Dogger d'Île-de-France en 2013;
- accompagnement de la réalisation d'un guide de bonnes pratiques pour le dimensionnement des tests hydrauliques en géothermie basse et très basse énergie.

Dans la mesure où les deux derniers objectifs du projet font l'objet d'un rapport spécifique séparé qui mentionne l'apport, en termes d'animation, du présent projet, seul le premier objectif est développé dans le présent rapport

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2014

Titre : Evaluation du potentiel géothermique du Lusitanien du bassin de Paris pour la production de chaleur : mise en adéquation entre ressource et besoins

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-63244-FR

Auteurs: CARITG.S., BOURGINE.B., FOISSARD.D., LOPEZ.S., ALLANIC.C., ZAMMIT.C.

Résumé : Contrairement à l'aquifère carbonaté du Dogger aujourd'hui largement exploité en géothermie pour l'usage direct de sa chaleur, l'aquifère du Lusitanien, situé 100 à 150 m au-dessus, reste inexploité et mal connu. La demande énergétique ne cessant d'augmenter tout en nécessitant des niveaux de température et d'énergie thermique plus réduits du fait de la généralisation de la Réglementation Thermique 2012 , il devient urgent de proposer une alternative au risque de surexploitation du Dogger. Les départements du Val-de-Marne et de Seine-Saint-Denis sont particulièrement touchés par une surconcentration de doublets géothermiques exploitant le Dogger. Cette nécessité est d'autant plus urgente qu'elle s'inscrit dans le cadre du développement de la production de chaleur géothermique par usage direct pour laquelle le Grenelle de l'Environnement a retenu une multiplication par trois entre 2006 et 2020 pour cette forme de géothermie. Fort de ces constatations, le projet LUSITANIEN vise à estimer le potentiel géothermique de cet aquifère carbonaté à la lumière de l'ensemble des données de forages pétroliers et géothermiques actuellement disponibles. Pour ce faire, trois étapes successives ont été réalisées, à deux échelles différentes:

- La première étape consiste à estimer la ressource géothermale du Lusitanien en calculant sa chaleur exploitable à partir de la combinaison des cartes de profondeur, d'épaisseur et de température du Lusitanien. Les données utilisées pour l'évaluation du potentiel à l'échelle du bassin de Paris sont des cartes issues de la bibliographie (Housse et Maget, 1976) tandis que celles utilisées pour la région Ile-de-France ont été construites dans le cadre de ce projet à partir de la modélisation géologique 3D des données de forages actualisées;
- La deuxième étape a pour but d'estimer les besoins énergétiques exprimés en surface, soit à partir d'une carte de densité de population recensée en 2009 à l'échelle du bassin de Paris, soit à partir d'une carte prédictive de consommation d'énergie accessible à la géothermie à l'horizon 2020 à l'échelle de la région Ile-de-France;
- La troisième étape propose d'évaluer le potentiel géothermique du Lusitanien en comparant les cartes d'estimation de la ressource en profondeur à celles des besoins énergétiques exprimés en surface.

Commanditaires : ADEME IDF, CONSEIL REGIONAL ILE-DE-FRANCE

Année de parution : 2014

Titre : **Expertise du développement de l'exploitation de l'aquifère du Dogger dans le secteur Ouest du Val-de-Marne. Rapport final**

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-63792-FR

Auteurs : HAMM.V.

Résumé : L'exploitation géothermique de l'aquifère du Dogger connaît depuis 2007 une reprise d'activité avec la réalisation de 26 nouveaux forages qui viennent s'ajouter aux 55 forages réalisés dans les années 1980-1986 et encore en activité. Parmi ces ouvrages nombreux sont situés dans le département du Val-de-Marne au sud-est de Paris qui comprend une quarantaine d'ouvrages. Ainsi la poursuite du développement de l'exploitation du Dogger dans cette zone et l'octroi de nouveaux permis de recherche et d'exploitation fait l'objet d'un suivi stricte notamment par la DRIEE Île-de-France qui instruit ces dossiers. Cette étude a pour but de fournir une aide à la décision sur les nouveaux projets de doublets ou triplets en cours d'étude dans le secteur à destination de la DRIEE, mais aussi du Comité Technique du Fond de Garantie de la Géothermie qui couvre le risque court terme (échec des forages, débit et/ou température du réservoir escomptés non atteints) et long terme (dégradation de la ressource, dommage aux puits,..) et de l'ADEME IDF qui octroie les aides pour le financement des opérations. Cette étude réalisée par le BRGM et cofinancée par l'ADEME IDF et la SAF Environnement concerne l'élaboration d'une modélisation hydrodynamique et thermique des opérations géothermiques actuelles au Dogger dans le Val-de-Marne auxquelles sont ajoutées les nouvelles opérations prévisionnelles selon les informations issues des dossiers de demande de permis de recherche et d'ouverture des travaux (PER-DOTEX). Elle a pour objectif de fournir un avis sur les choix des impacts au réservoir des nouveaux doublets ou triplets et de fournir des critères objectifs à la décision.

Commanditaires : ADEME IDF, SAF Environnement

Année de parution : 2014

Titre : **Projet « TEST-DOGGER » - Réalisation d'un essai d'interférence hydraulique au Dogger**

Code ISBN/ISRN : BRGM/RP-64348-FR

Auteurs : HAMM.V., GIUGLARIS E. (BRGM), sous-traitance CFG-GPC-FLODIM

Résumé : La gestion de la ressource géothermale et son développement durable passent par la modélisation des impacts hydrauliques et thermiques de chaque exploitation afin d'optimiser l'utilisation de la ressource (implantations des nouveaux ouvrages et définition des permis de recherche et d'exploitation) et de limiter les impacts possibles entre exploitations voisines (risques de conflit d'usage). Or ces modèles, qui ont évolué dans le temps du fait de l'amélioration des connaissances de la ressource, sont à ce jour encore peu calés pour ce qui relève soit des données en pression, soit des données en température. Ceci provient notamment du fait qu'une fois le forage réalisé, les mesures de pression et de température sont réalisées en tête de puits et non à la profondeur de l'aquifère.

Ainsi, afin de pouvoir calibrer les modèles sur des mesures en pression du réservoir, qui est un enjeu important sur la fiabilité de ces modèles et par suite sur la viabilité des projets, notamment dans une zone où la ressource est densément exploitée, il est proposé la réalisation d'un test d'interférence hydraulique à l'échelle de plusieurs doublets géothermiques à l'ouest du Val-de-Marne. L'essai d'interférence hydraulique a été réalisé du 16 au 20 septembre 2013 avant le début de la période de chauffe 2013-2014. Il concernait cinq doublets géothermiques voisins (Cachan 1 et 2, Chevilly-Larue, L'Haÿ-les-Roses et Fresnes) situés au sud-est de Paris dans le département du Val-de-Marne. L'essai a été effectué pendant environ quatre jours, y compris une période d'installation et de désinstallation de l'équipement des puits et en tenant compte des contraintes techniques et financières. L'interprétation de l'essai a permis de préciser la connaissance locale du Dogger dans une zone ciblée du Val-de-Marne, notamment le champ de transmissivité entre doublets, le coefficient d'emmagasinement et les interférences en pression entre puits. L'essai a ensuite été reproduit par modélisation numérique afin de réduire les incertitudes sur les paramètres de modélisation.

Commanditaires : ADEME

Année de parution : 2015

Titre : Evaluation de l'impact d'architectures de puits sur la productivité et l'injectivité initiale d'un réservoir géothermique de type clastique.

Auteurs : HAMM V., BOUZIT M., LOPEZ S. (BRGM), HIRSINGER L. (CFG)

Résumé : De nombreuses ressources géothermiques profondes, présentant pourtant une perméabilité naturelle non négligeable, sont inexploitées car des incertitudes importantes pèsent sur la possibilité d'obtenir des débits de production ou d'injection dépassant un seuil de rentabilité économique. Par comparaison, grâce à son excellente transmissivité naturelle, l'aquifère du Dogger est intensément exploité en Ile-de-France (36 doublets géothermiques à fin 2012) et représente 2/3 de la production de chaleur géothermique française. Ceci engendre dans le seul département du Val de Marne une très forte densité d'opérations (environ 50% de l'ensemble des opérations représentant 950 GWh annuels d'énergie thermique produite). Dans cette zone, le recours à un réservoir géothermique de substitution, plus profond, tel que le Trias, est d'ores et déjà une solution envisagée pour accroître le potentiel géothermique exploitable par les réseaux de chaleur urbains et diversifier la ressource. Cependant, l'expérience passée acquise sur les réservoirs de type clastique (comme le Trias) a démontré une faible capacité de productivité et/ou injectivité avec les architectures de puits utilisées pour l'exploitation au Dogger (puits droits ou déviés). En conséquence, un préalable à la réalisation d'un doublet géothermique dans des formations présentant une transmissivité moins favorable que le Dogger, est l'étude des différentes architectures de puits envisageables pour accroître de manière efficace la surface d'échange entre le puits et la formation exploitée et obtenir une capacité de production et d'injection initiale permettant de garantir voire dépasser les seuils actuels de rentabilité économique d'un projet sur aquifères profonds.

Le projet propose donc de quantifier et comparer l'efficacité des solutions technologiques existantes et leur application à la géothermie pour maximiser la productivité et/ou l'injectivité d'un ouvrage (inclinaison importante, puits horizontaux, multi-drains...). Les techniques pétrolières, ou autres, devront être adaptées en prenant en compte les débits de production beaucoup plus importants nécessaires en géothermie. Le projet aura également pour objectif de chiffrer chacune des options possibles afin d'évaluer le gain en productivité/injectivité espéré en regard d'un surcoût éventuel. Ce travail permettra de lever un certain nombre de verrous pour faciliter la mise en œuvre et l'exploitation de nouveaux systèmes énergétiques, ce qui est primordial pour soutenir le développement attendu de la filière géothermie.

Commanditaire : Direction de la Recherche du BRGM

Année de réalisation : 2013-2015

Titre : Etude comparative de l'action de différents inhibiteurs de corrosion-dépôts sur le comportement électrochimique d'un acier au carbone dans un fluide géothermal représentatif du Dogger

Auteurs : IGNIATIADIS I., GOYENECHE O.

Résumé : Les eaux de l'aquifère du Dogger du Bassin Parisien, exploitées actuellement par trente-six doublets ou triplets géothermiques dans la région parisienne, pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, présentent une minéralisation élevée et contiennent des gaz dissous, parmi lesquels l'hydrogène sulfuré (H_2S) et le gaz carbonique (CO_2). Les principales caractéristiques physico-chimiques des fluides sont les suivantes : température de 47 à 85°C, pH de 6,1 à 6,5, teneur en sels totaux dissous de 6 à 35 g/L dont une grande partie en ions chlorures (Cl^-), en sulfure [H_2S , HS^-] de 5 à 100 mg/L, en sulfate [SO_4^{2-}] de 300 à 1200 mg/L, en CO_2/HCO_3^- de 250 à 600 mg/L et absence d' O_2 en fonctionnement normal. Ces caractéristiques font que ces fluides naturels comptent parmi les plus corrosifs pour les aciers au carbone généralement utilisés pour l'équipement des puits géothermiques. La présence de CO_2 à fortes concentrations dans le fluide géothermal participe activement à la corrosion. En effet, à la température et au pH du fluide, le CO_2 , majoritairement sous forme dissoute, donne naissance à des produits de corrosion très solubles tels que l'hydrogénocarbonate de fer. En outre, les ions chlorures (Cl^-) augmentent le risque de corrosion par piqûre ce qui favorise la dégradation des tubages par percement. Enfin, le sulfure d'hydrogène (H_2S , HS^-) est le facteur principal de la corrosion et de la formation des dépôts rencontrés dans les exploitations géothermiques. En effet, les sulfures de fer forment la majeure partie des dépôts qui conduisent à la poursuite de la corrosion sous-dépôt et favorisent la corrosion localisée.

Dans le but d'améliorer les conditions de fonctionnement des opérations géothermiques de la région parisienne, des traitements par inhibiteur de corrosion adaptés à la géochimie du Dogger ont été mis en place, progressivement depuis 1989, dans la plupart des doublets géothermiques. Ces traitements anti-corrosion ont été précédés ou accompagnés de quelques études réalisées pour affiner le choix des produits et améliorer ces traitements. Des résultats satisfaisants ont été atteints vers le milieu des années 1990 concernant l'inhibition de la corrosion des tubages en acier au carbone dans le fluide géothermal. Certains produits se sont révélés de bons inhibiteurs de corrosion et de croissance cristalline et ont permis de réduire la vitesse de corrosion et de dépôt. Ils sont ou ont été utilisés avec une certaine satisfaction pendant presque deux décennies.

Cependant, les travaux de suivi et de gestion de l'aquifère du Dogger, réalisés depuis 2004 par le BRGM dans le cadre de son conventionnement avec l'ADEME, ont permis de mettre en évidence une évolution significative de la géochimie du fluide du Dogger et ont soulevé de nouvelles difficultés qu'il convient désormais de résoudre :

- la diminution croissante du pH des fluides ;
- la croissance progressive, puis la stabilisation des sulfures dissous dans le fluide ;
- la poursuite de corrosion sous dépôt (qui dans la majorité des cas prend la forme de piqûres) en cas notamment d'exploitation artésienne des doublets, mais aussi du fait de la mise en place tardive du traitement des doublets géothermiques (près de dix ans après le début d'exploitation) et de la prolifération bactérienne sur et sous les dépôts.

Ainsi, ce projet vise la sélection des nouveaux produits inhibiteurs de corrosion-dépôt plus efficaces et adaptés aux fluides du Dogger. Ces produits seront testés en laboratoire à partir d'un fluide géothermal reconstitué et représentatif du Dogger. Les trois meilleurs produits inhibiteurs identifiés en laboratoires seront ensuite expérimentés et validés sur site.

Commanditaires : ADEME

Année de réalisation : 2013-2015

Titre : Etude de la dégradation de la productivité/injectivité de doublets géothermiques au Dogger et des causes possibles des pertes de performance de ces doublets

Auteurs : HAMM V., GIUGLARIS E., DURST P. (BRGM), CFG, GEOFLUID

Résumé : Sur les 36 opérations géothermiques du Dogger actuellement en fonctionnement, une trentaine le sont depuis les années 80-90. Or, d'après les exploitants et les bureaux d'étude sous-sol en charge de la maintenance des opérations géothermiques en Ile-de-France, la productivité et/ou l'injectivité de certaines opérations a commencé à diminuer de manière rapide (en quelques années), sans que cette baisse puisse être a priori imputée à une dégradation des forages et malgré des acidifications successives et nettoyage des puits. Les origines de ce phénomène ne sont pas expliquées à ce jour (effets thermo-hydrauliques, thermochimiques, colmatage du réservoir, réduction du diamètre de l'ouvrage,...). De ce fait il sera procédé dans une première phase à la réalisation d'un état des lieux exhaustif des historiques disponibles (pressions, températures, chimie de l'eau) des doublets incriminés (Villiers-Le-Bel-Gonesse, Epinay-sous-Sénart, Tremblay-en-France, Alfortville). Cet état des lieux sera fait sur la base des mesures d'auscultations-diagnostics (essais par palier de débits), de mesures en fond de puits qui auraient pu être réalisées sur ces ouvrages, des analyses chimiques réalisées par les bureaux d'étude en charge du suivi des opérations (CFG et GEOFLUID) et des données disponibles dans la base Dogger. On regardera en parallèle les différentes interventions qui ont eu lieu sur les puits (travaux de rénovation, diagraphies,...). Suivant les résultats de ce premier bilan sur les opérations incriminés, on complétera cette analyse avec d'autres doublets ayant des caractéristiques similaires en termes de complétion des puits, de chroniques d'exploitation (débits, températures), de nature géochimique du fluide, etc., pour faire une analyse comparative et tenter d'expliquer la ou les cause(s) du phénomène. Dans une seconde phase, des préconisations seront exposées. Ces préconisations pourront être selon les résultats et enseignements de la première phase :

- soit un programme d'investigations complémentaires si cela s'avérait nécessaire pour tenter d'identifier plus précisément la cause de la diminution de la productivité/injectivité des doublets, mesures et/ou analyses qui pourront être associées/complétées par des travaux de modélisation (thermo-hydraulique, thermochimique, thermomécanique). Dans ce cas, il sera établi un cahier des charges ainsi que le budget prévisionnel de cette étude complémentaire.
- soit si les causes ont été identifiées, proposer les remédiations/recommandations nécessaires pour limiter la dégradation de la productivité/injectivité des doublets en question et prévenir l'occurrence sur d'autres doublets.

Commanditaires : ADEME

Année de réalisation : 2014-2015

Titre : Retour d'expérience concernant les forages géothermiques profonds nouvellement rénovés ou réhabilités

Auteurs : DESPLAN A., GOYENECHÉ O.

Résumé : A la fin de l'année 2013, 35 opérations géothermiques au Dogger et 4 opérations exploitant l'Albien ou le Néocomien sont en fonctionnement. Une trentaine de ces opérations a été réalisée au cours des années 1970 et 1980, le dernier forage réalisé l'ayant été en 1986, si l'on excepte le doublet de Melun-L'Amont transformé en triplet en 1997. L'état des tubages d'ouvrages ayant pour beaucoup dépassé l'âge de 30 ans, nécessite d'envisager leur réhabilitation. La mise en place du fonds chaleur associé à l'augmentation du prix de l'énergie de référence a permis d'entreprendre ces travaux lourds. Ainsi, depuis 2008, 22 forages supplémentaires ont été forés, 9 exploitations ayant été réhabilitées en triplets (Sucy-en-Brie, ...), ou bien ayant bénéficié de la réalisation d'un nouveau doublet (Orly 1 et 2 remplacés par Orly Le Nouvelet 2, ...). Par ailleurs, 7 nouvelles exploitations ont été créées, soit au Dogger, soit à l'Albien, soit au Néocomien. L'année 2014 voit le rythme des réhabilitations se poursuivre, ainsi que la réalisation de nouvelles opérations. Pour l'année 2015, la tendance se poursuivra, sauf événement imprévu. Au cours de ces travaux de réhabilitation ou à l'occasion de la réalisation de nouveaux forages, des incidents ont pu se produire ou des dysfonctionnements pouvant mettre en cause la pérennité des ouvrages ont pu être constatés ; mais aussi, de nouvelles techniques ont pu être utilisées. C'est pourquoi, il a été décidé par les organismes impliqués dans le développement de la géothermie (ADEME, AFPG, AGÉMO, BRGM, DRIEE, SAF), de procéder à un retour d'expérience le plus complet possible à partir des réalisations effectuées depuis 2008, que ce soit de nouvelles exploitations géothermiques ou des opérations anciennes réhabilitées.

Dans une première phase, il sera procédé à l'établissement d'un état des difficultés rencontrées, que ce soit au cours des forages, du raccordement à la chaufferie centrale ou de leur mise en exploitation. Cet état des lieux sera élaboré sur la base d'interviews des maîtres d'ouvrages et/ou des bureaux d'étude en charge du suivi des opérations (ANTEA, CFG et GPC). Les informations ou données disponibles seront ensuite recueillies, de même que celles disponibles dans la base 'Dogger' gérée par le BRGM. On analysera également les différentes interventions particulières qui ont eu lieu sur les puits (travaux de rénovation, diagraphies,...). Dans une seconde phase, si les causes des incidents recensés ont été identifiées et si des remédiations ont été mises en œuvre, des recommandations seront éditées. Sur le plan de la forme, en appui des textes, des arbres de décision seront édités, afin de pouvoir représenter clairement des solutions, souvent complexes, nécessitant la mise en œuvre d'actions imbriquées. Si les difficultés rencontrées n'ont pas trouvé de remède satisfaisant, un programme d'investigations complémentaires pourrait être proposé. Dans ce cas, il sera établi un cahier des charges ainsi que le budget prévisionnel de ces études complémentaires qui seraient alors réalisées dans un autre cadre.

Commanditaires : ADEME IDF

Année de réalisation : 2014-2015