



**HAL**  
open science

## Géothermie et planification énergétique territoriale : l'exemple du schéma régional de l'île-de-France

Adeline Poux, Alexandra Bel

► **To cite this version:**

Adeline Poux, Alexandra Bel. Géothermie et planification énergétique territoriale: l'exemple du schéma régional de l'île-de-France. Géosciences, 2013, 16, pp.44-53. hal-01061102

**HAL Id: hal-01061102**

**<https://brgm.hal.science/hal-01061102>**

Submitted on 5 Sep 2014

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

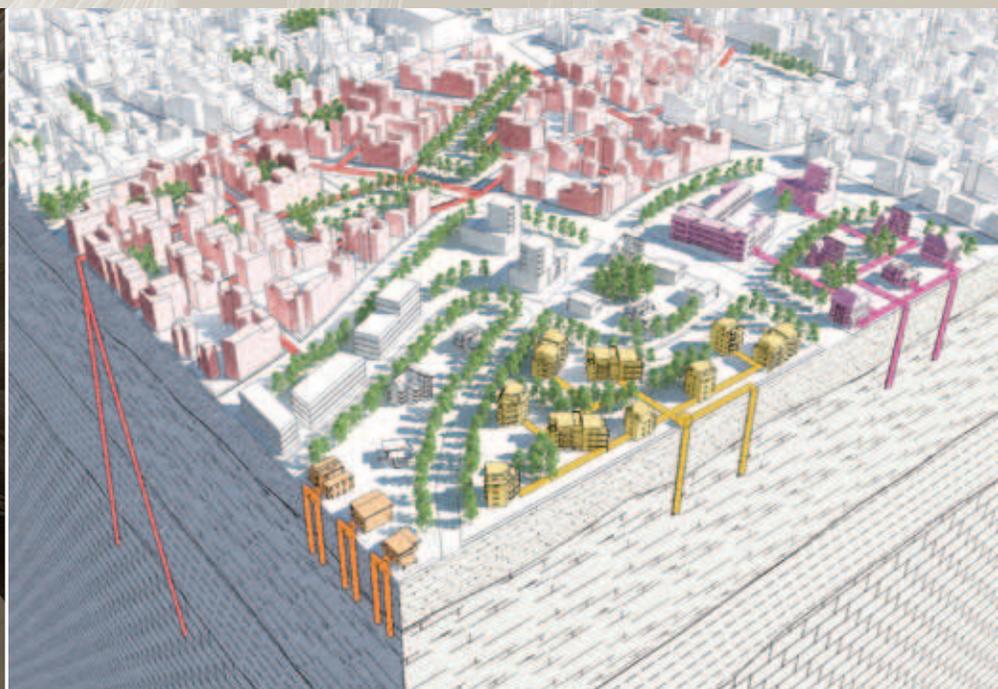
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Géothermie et planification énergétique territoriale : l'exemple du schéma régional de l'Île-de-France

Intégration de la géothermie à différentes échelles de territoires.

*Integrating geothermal energy within the framework of different territorial scales.*

© BRGM/Vertigo.



L'exploitation des ressources géothermiques est un atout pour les territoires. Leurs caractéristiques et les besoins qu'elles peuvent satisfaire doivent être analysés dans le contexte territorial afin de promouvoir efficacement leur développement. Cette « territorialisation » a été mise en avant dans les lois « Grenelle » qui ont impulsé le Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) et le Plan climat-énergie territorial (PCET). Le premier doit permettre de fixer des orientations pour le développement de la géothermie ; le second, de définir un plan d'actions à l'échelle infrarégionale.



**Adeline Poux**

INGÉNIEUR-CHEF DE PROJETS  
BRGM/DGR/DIVISION GÉOTHERMIE  
a.poux@brgm.fr

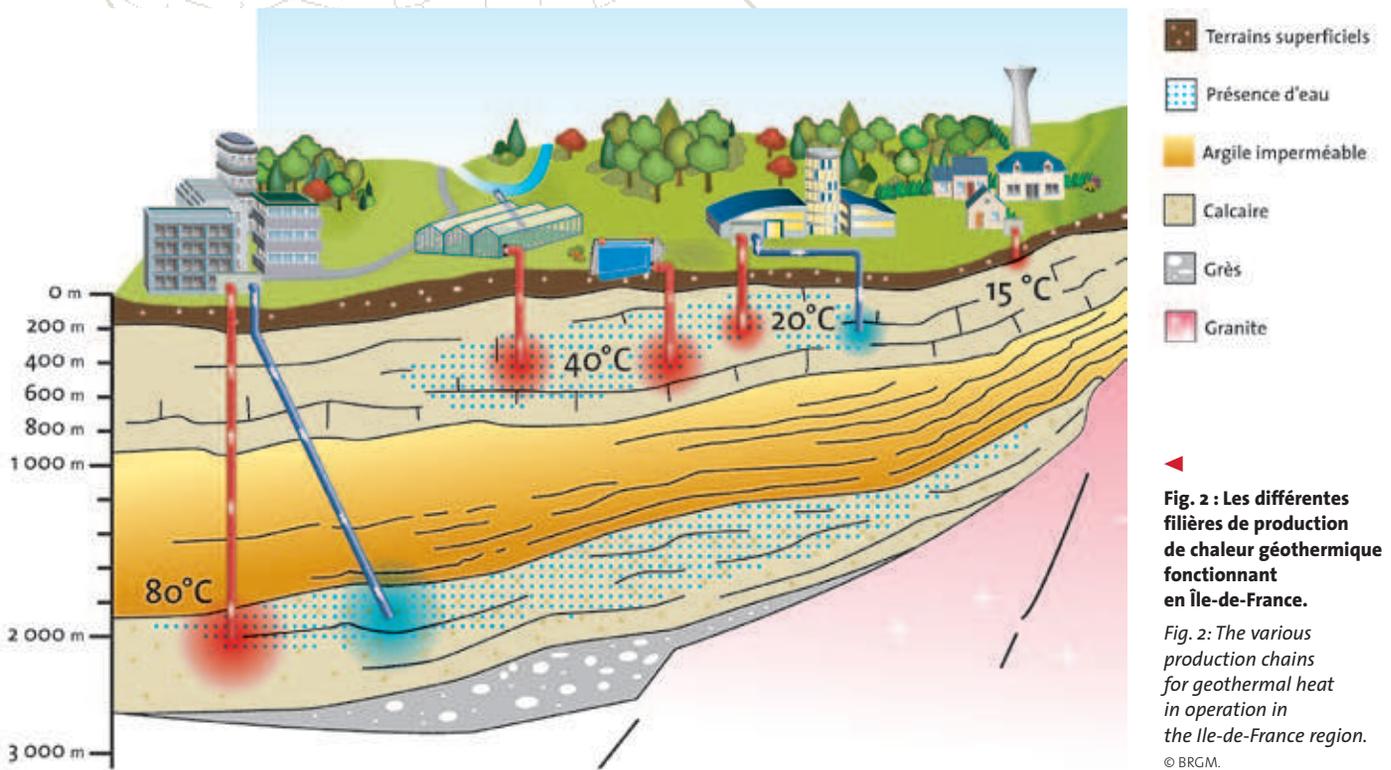
**Alexandra Bel**

HYDROGÉOLOGUE-CHEF DE PROJETS  
BRGM ÎLE-DE-FRANCE  
a.bel@brgm.fr

Le Grenelle de l'environnement a renforcé le rôle des collectivités territoriales dans la lutte contre le changement climatique et la maîtrise de la demande d'énergie. Les collectivités ont en effet un rôle clé à jouer. Non seulement parce qu'elles consomment elles-mêmes de l'énergie et qu'elles ont la compétence pour développer des réseaux de chaleur, mais aussi dans le cadre de leur politique d'aménagement et d'urbanisme.

La géothermie est une énergie locale qui demande à être valorisée sous une forme adaptée au cas par cas. En effet, les ressources géothermiques varient géographiquement, d'une région à une autre, voire d'une ville à une autre, que ce soit en termes de propriétés des réservoirs aquifères ou de conditions d'accès (figure 1). En fonction de ses caractéristiques, la ressource pourra être valorisée pour différentes applications : production de chaleur via des pompes à chaleur (PAC), usage direct pour les réseaux de chaleur, voire production d'électricité notamment dans les DOM.





conséquentes, permettant le déploiement de l'ensemble des techniques de production de chaleur. En outre, la demande énergétique est importante et concentrée. L'ensemble des techniques de production de chaleur, présentées dans la *figure 2*, peuvent donc être déployées.

### État des lieux de la filière géothermie en Île-de-France

Les ressources en eau souterraine de l'Île-de-France présentent globalement (*figure 3*) :

- des aquifères superficiels, assez bien connus. Il peut exister jusqu'à trois aquifères superposés entre 0 et 120 mètres de profondeur dans certaines zones ;
- des aquifères intermédiaires (Albien, Néocomien, Lusitanien), situés à 700 mètres de profondeur en moyenne ;
- des aquifères profonds (Dogger, Trias), situés à plus de 1 000 mètres de profondeur.

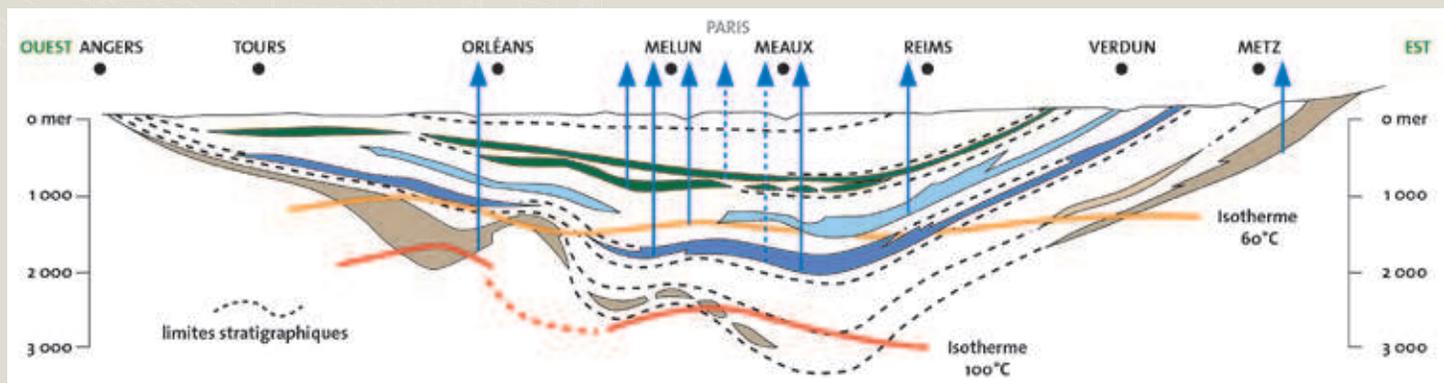
L'accès à ces ressources est limité par différentes contraintes, réglementaires ou techniques. Il s'agit principalement de mesures régionales de protection de la ressource en eau, comme les schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), les zones de répartition des eaux (ZRE) et les mesures de protection des milieux naturels. Des contraintes plus restrictives (interdiction de forer dans des périmètres de protection

des captages d'eau potable, présence d'une cavité, risque de dissolution du gypse, présence d'opérations de géothermie existantes) sont également prises en compte.

Concernant les opérations de PAC sur aquifères et sur champs de sondes dans le résidentiel collectif et tertiaire (ne concerne pas la géothermie pour le particulier), 77 opérations en fonctionnement ont été recensées à fin septembre 2010 en Île-de-France (*figure 4*).

Il n'y a eu que trois opérations sur aquifères intermédiaires avec PAC en 2010. Celle de la Maison de la Radio, qui a changé en 2011 pour s'alimenter à partir d'aquifères plus superficiels, et deux opérations toujours en cours, pour exploiter ces aquifères moins bien connus et surtout, en ce qui concerne notamment l'aquifère de l'Albien, identifiés comme réservoirs stratégiques d'accès à l'eau potable.

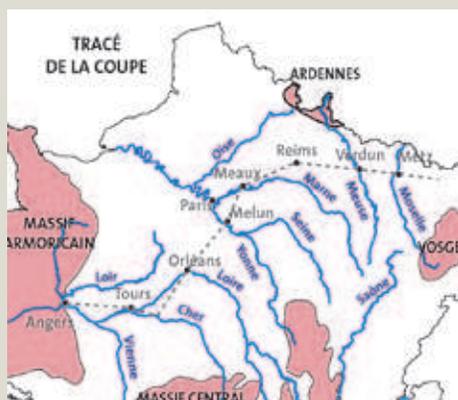
Les opérations sur aquifères profonds, et notamment sur l'aquifère du Dogger, dont la majeure partie a été mise en service il y a une trentaine d'années, et en renouveau depuis 2007 (*voir encadré page 50*), sont mieux connues (29 opérations en fonctionnement en 2010).



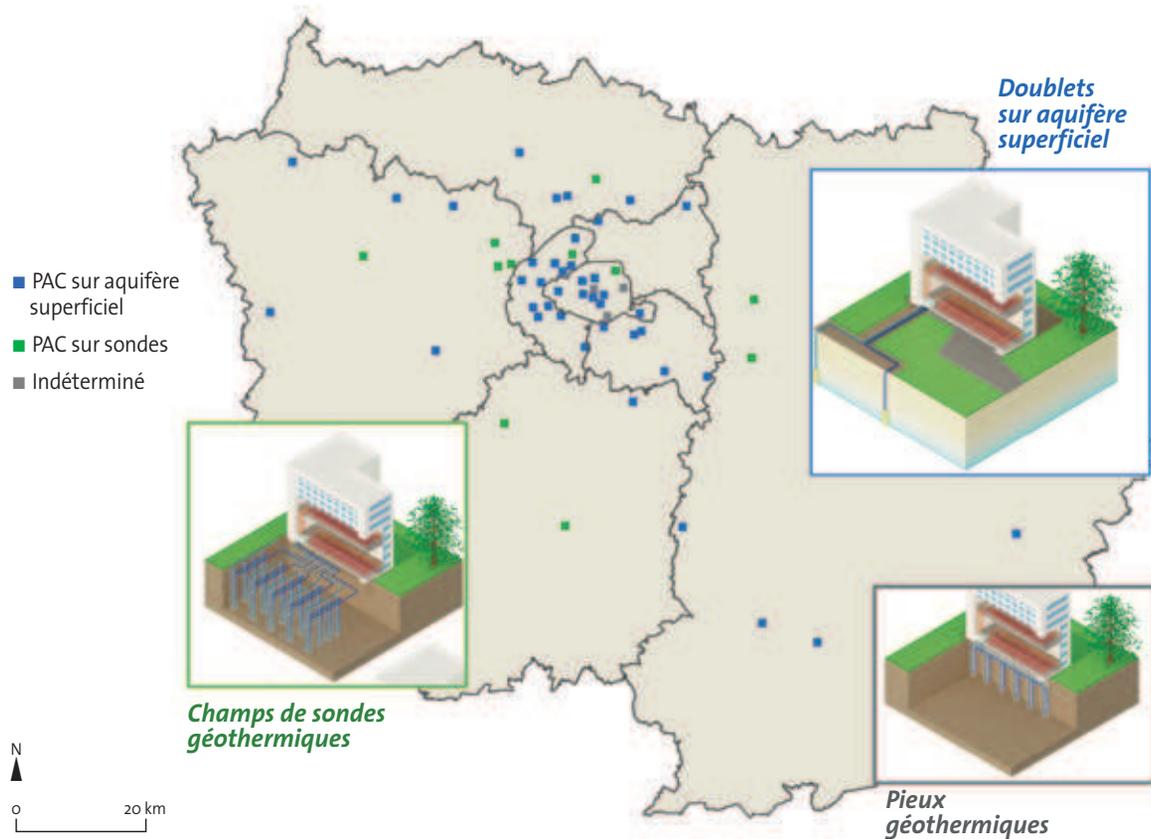
**Fig. 3 :**  
Coupe géologique  
des aquifères  
du Bassin de Paris.

*Fig. 3:*  
Geological section  
of the aquifers  
in the Paris basin.

© BRGM.



PÉRIODES	AQUIFÈRES
<b>CRÉTACÉ</b> 140 millions d'années	Sables de l'Albien Sables du Néocomien
<b>JURASSIQUE</b> 195 millions d'années	Calcaires du Lusitanien Calcaires du Dogger
<b>TRIAS</b> 225 millions d'années	Grès du Retien Grès de Lorraine à l'est Grès fluviatiles à l'ouest



**Fig. 4 :** Cartographie  
du nombre  
d'opérations de  
PAC par commune  
francilienne.

*Fig. 4:* Map of  
the number of  
heat-pump  
operations per  
Ile-de-France  
township.

Source : Rapport BRGM/  
RP-60615-FR

## ▶ LA GÉOTHERMIE AU SERVICE DE L'ÉCO-QUARTIER DU FORT D'ISSY-LES-MOULINEAUX

Cécile Chery – Direction des Géoressources – Division Géothermie – c.chery@brgm.fr – <http://www.geothermie-perspectives.fr>

Dès 2013, le site historique du fort d'Issy-les-Moulineaux accueillera 1600 logements, dont 330 logements sociaux regroupés dans 18 immeubles, des commerces et divers équipements. Le chauffage des bâtiments et la fourniture d'eau chaude sanitaire (ECS) seront assurés par un réseau de chaleur basse température alimenté à partir de l'aquifère de l'Albien.

Le forage de production permet de pomper une eau à 28 °C à 650 mètres de profondeur avec un débit annuel moyen de 65 m<sup>3</sup>/h. Le fluide cède ses calories au réseau avant d'être réinjecté à une température de 13 °C via un forage de 635 mètres de profondeur. En fond de puits, 580 mètres séparent les deux forages.

Afin de minimiser les déperditions thermiques et séparer les usages, deux PAC sont installées dans chaque immeuble. L'une est dédiée au

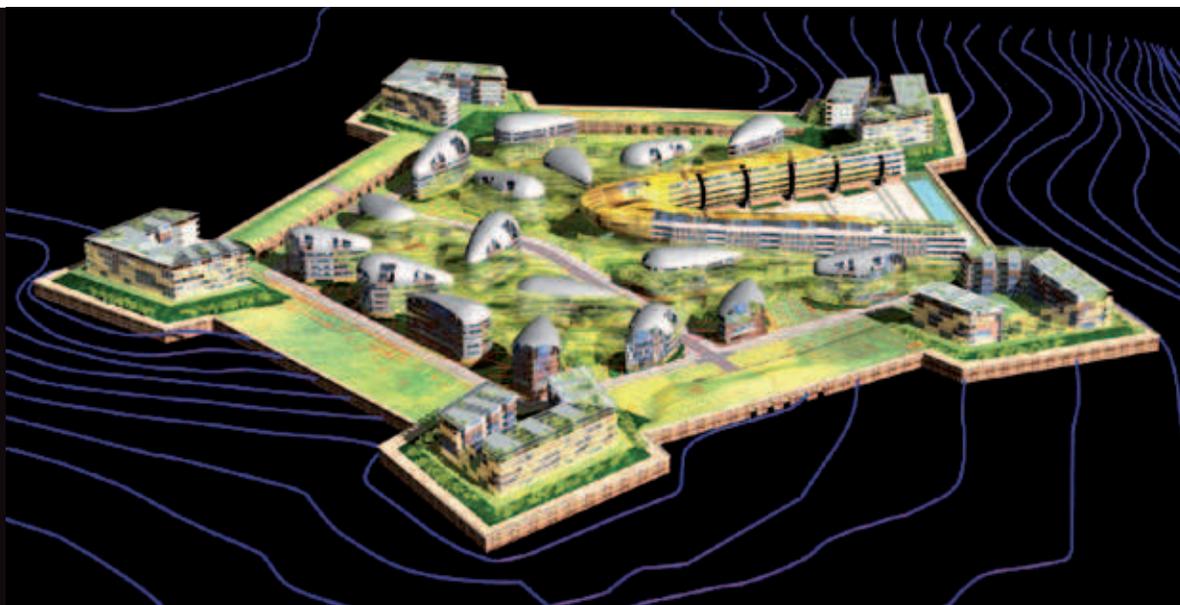
chauffage, l'autre à la production d'ECS. Résultat : la géothermie assure 78 % des besoins en eau chaude, évitant ainsi l'émission de 2 000 tonnes de CO<sub>2</sub> chaque année.

« *Même avec des taux de couverture inférieurs à ceux obtenus à partir de l'aquifère du Dogger, des nappes moins profondes peuvent alimenter des réseaux basse température. Grâce aux politiques d'efficacité énergétique développées et la réglementation thermique sur les bâtiments basse consommation (BBC), un projet géothermique a un effet levier vertueux sur son environnement, puisque le besoin en chaleur sera moindre et le forage géothermique pourra alimenter les zones périphériques* », déclare S. Louillat, responsable du pôle énergie de l'ADEME Île-de-France. ■

▶ Le futur éco-quartier du fort d'Issy-les-Moulineaux.

*The future Issy-les-Moulineaux fort eco-district.*

© AS Architecture Studio.



Ce travail d'inventaire a permis la réalisation d'un bilan énergétique et climatique en 2005 et 2010. La filière géothermique en Île-de-France (hors PAC individuelles) a permis de substituer, en 2010, plus de 100 000 tep et d'éviter le rejet annuel de plus de 240 000 tonnes de CO<sub>2</sub>.

### Étude du potentiel de développement de la géothermie à l'horizon 2020

L'étude du potentiel de développement de la géothermie s'effectue en comparant, de manière géolocalisée, les ressources géothermales aux besoins thermiques des utilisateurs en surface. Le potentiel correspond à l'énergie thermique pouvant être substituée par la géothermie, en prenant en compte les caractéristiques de la ressource, ses conditions d'accès et ses possibilités de valorisation.

“ La filière géothermique en Île-de-France (hors PAC individuelles) a permis de substituer, en 2010, plus de 100 000 tep. ”

L'étude Center (IAU/Airparif)<sup>(2)</sup> a cartographié, avec une maille carrée de 250 sur 250 mètres, les consommations énergétiques (MWh) en 2005 et a développé des scénarios pour 2020 (figure 5) et 2030 à l'échelle de l'Île-de-France.

(2) IAU-Idf (Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France) Airparif, réseau de mesure de la qualité de l'air en Île-de-France.

## Potentiel de développement d'opérations de PAC sur aquifères superficiels

Le potentiel correspond aux consommations pouvant être substituées par de l'énergie géothermique, lorsque :

- il y a adéquation entre la puissance géothermique disponible (fonction du débit moyen disponible) et la puissance nécessaire (besoins au niveau de la maille Center) et ce pour au moins un des aquifères ;
- il n'y a pas de contraintes restrictives.

Le potentiel technique de développement est ainsi estimé à 3 200 ktep/an (avec le scénario de consommations 2020). Les valeurs sont cartographiées à l'échelle de la commune, comme le montre la *figure 6*.

Dans un second temps, une contrainte économique est établie : la profondeur maximale de forage (principal poste de l'investissement), définie en fonction des besoins énergétiques, représente la profondeur limite au-delà de laquelle la mise en place de l'opération de géothermie n'est plus rentable.

Au final, le potentiel technico-économique prenant en compte les contraintes techniques et économiques est de 1 918 ktep/an.

## Potentiel de développement de PAC sur sondes géothermiques

Il n'y a pas eu d'analyse spécifique thermique des terrains pour l'étude du potentiel de développement des systèmes en « boucle fermée » (principalement sondes géothermiques verticales). Dans le cadre de cette étude, il a été considéré que le potentiel est déterminé lorsque :

- les besoins de surface ne peuvent être couverts par les aquifères superficiels ;
- l'espace disponible en surface est suffisant pour l'implantation de sondes espacées de 10 mètres. Le potentiel d'implantation de sondes ainsi obtenu, à partir duscénario 2020, est de 37 ktep.

Si une « priorité » a été donnée aux aquifères superficiels, les valeurs de potentiel, déterminées à partir de besoins, peuvent basculer entre les différentes technologies.

## Potentiel de développement de réseaux de chaleur alimentés par géothermie profonde (aquifère du Dogger)

Le potentiel d'extension des réseaux de chaleur géothermiques existants a été étudié en prenant en compte les possibilités de la ressource, ainsi que les évolutions

de consommations énergétiques en surface. Selon une évolution linéaire, on obtiendrait ainsi, en 2020, une production supplémentaire de 37 ktep.

La « géothermisation » de réseaux de chaleur existants est une deuxième voie. Il existe, à l'heure actuelle plus de 110 réseaux de chaleur en Île-de-France, dont une part non négligeable alimentée par des énergies fossiles. Une dizaine de réseaux de chaleur franciliens ont été identifiés comme pouvant faire l'objet d'un changement de système. Cela permettrait de substituer 35 ktep. Enfin, la création de nouveaux réseaux de chaleur a été identifiée pour une cinquantaine de communes. Ces nouveaux réseaux permettraient de substituer 185 ktep en 2020.

Publicité

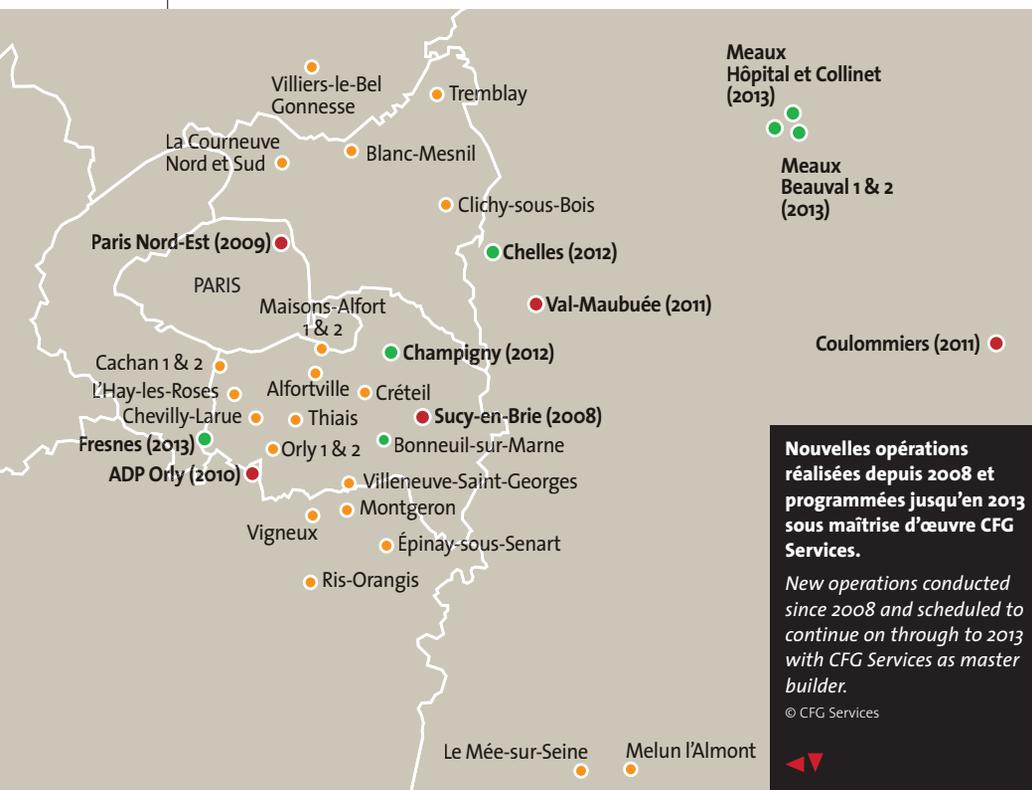
**PRISER**  
FORAGES ET FONDATIONS  
DE L'OUEST

**Géothermie**

PRISER-FORAGES - TEL 02 98 40 17 89  
www.geothermie-forage.com  
ZA Pen Ar Forest - 29860 Kersaint Plabennec

## ► LE RENOUVEAU DES OPÉRATIONS DE GÉOTHERMIE EN ÎLE-DE-FRANCE

Frédéric Bugarel – Responsable Direction Technique Utilisation de la Chaleur – CFG Services – f.bugarel@cfg.brgm.fr



**Nouvelles opérations réalisées depuis 2008 et programmées jusqu'en 2013 sous maîtrise d'œuvre CFG Services.**

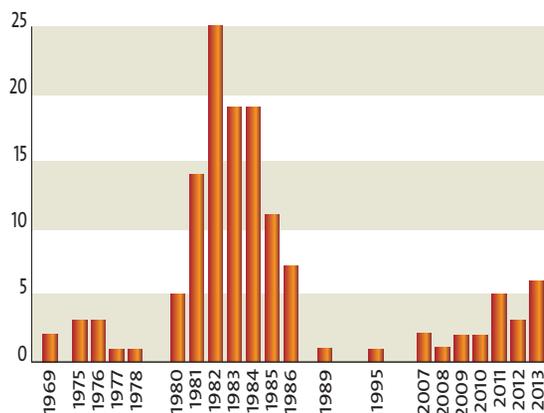
*New operations conducted since 2008 and scheduled to continue on through to 2013 with CFG Services as master builder.*

© CFG Services

Depuis 2007, la relance de la géothermie basse température, initiée par le Grenelle de l'environnement, permet la réalisation de nouvelles opérations de géothermie profonde en Île-de-France. Dans cette région, l'aquifère du Dogger, situé entre 1 600 et 1 800 mètres de profondeur, est le réservoir géothermal cible privilégié depuis plus de trente ans en raison de son potentiel (température comprise entre 57 et 84 °C, débit d'exploitation atteignant 300 m<sup>3</sup>/h) permettant d'alimenter des réseaux de chaleur conséquents (de l'ordre de 5 000 équivalent-logements) pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS).

Après deux décennies au cours desquelles l'activité s'est principalement concentrée sur la maintenance des dispositifs créés dans les années 1970-1980, sept nouvelles opérations ont été réalisées entre 2007 et 2011, parmi lesquelles quatre correspondent au renouvellement de dispositifs existants (nouveaux doublets d'Orly-Nouveau et de Coulommiers, triplets de Sucy-en-Brie et de La Courneuve) et trois à la réalisation de nouveaux doublets géothermiques sur les sites de Paris-Nord-Est (porte d'Auber-villiers), de l'aéroport d'Orly et de Lognes. Au total, douze nouveaux forages ont été réalisés, dont cinq au cours de l'année 2011 qui marque une accélération nette du rythme des opérations.

		Nouveaux forages	Réhabilitations	Abandons
<b>Réalisé</b>				
2008	Triplet de Sucy-en-Brie	1	1	
2009	Doublet de Paris-Nord-Est (PNE)	2		
2010	Doublet Orly ADP	2		
2011	Doublet SAN Val-Maubuée	2		
	Doublet Coulommiers	2		2
<b>Total réalisé</b>		<b>9</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Prévisionnel</b>				
2012	Triplet de Champigny-sur-Marne	1	1	
	Doublet de Chelles	2		2
	Triplet de Bonneuil-sur-Marne	1		
2013	Triplet de Fresnes	1	2	
	Triplet de Meaux Hôpital	1	2	
	Triplet de Meaux Beauval 1	1	2	
<b>Total prévisionnel</b>		<b>8</b>	<b>9</b>	<b>2</b>
<b>Total réalisé + prévisionnel</b>		<b>17</b>	<b>10</b>	<b>4</b>



▲ **Activité de forage géothermique relatif à l'aquifère du Dogger.**

*Geothermal drilling activity concerning the Dogger aquifer. © BRGM/ADEME.*

Cette tendance se poursuit en 2012 avec les opérations de renouvellement en cours sur les sites de Champigny-sur-Marne et de Bonneuil-sur-Marne (deux triplets) et programmées à Chelles (nouveau doublet), puis en 2013 avec le renouvellement notamment des dispositifs de Fresnes et de Meaux (quatre triplets), soit huit nouveaux forages en deux ans.

Ce rythme soutenu devrait se prolonger au moins jusqu'en 2015 au regard des projets en cours d'étude de faisabilité ou d'instruction réglementaire.

La forte densité des dispositifs au Dogger, notamment dans les départements du Val-de-Marne et de Seine-Saint-Denis, limite l'espace disponible pour la réalisation de nouveaux projets, en raison des permis d'exploitation et de la propagation des bulles froides créées par les dispositifs existants. En outre, le développement des technologies liées aux pompes à chaleur et aux réseaux de chaleur basse température permet aujourd'hui d'envisager l'exploitation des ressources géothermales potentielles moins profondes que le Dogger, telles que l'Albien et le Lusitanien (Oxfordien).

La maturité technologique atteinte grâce à l'exploitation du Dogger permet d'envisager le développement de la géothermie basse température dans d'autres secteurs favorables, en particulier dans l'est de la région parisienne. De même, des perspectives de développement sont envisagées dans d'autres régions (Alsace, Aquitaine et Picardie notamment), ainsi qu'à l'international (Belgique, Chine, Russie...). ■

►  
**Forage géothermique dans le Bassin parisien (Coulommiers).**

*A geothermal well in the Paris Basin (Coulommiers).*

© CFG Services.



### Bilan de l'étude du potentiel

Si l'on considère l'ensemble de ces potentiels, et en donnant une priorité aux opérations de réseaux de chaleur au Dogger lorsque plusieurs solutions sont possibles, la géothermie pourrait permettre de substituer plus de 2 000 ktep annuellement et d'éviter l'émission de plus de 3,9 millions de tonnes de CO<sub>2</sub>, comme le montre le tableau (figure 7).

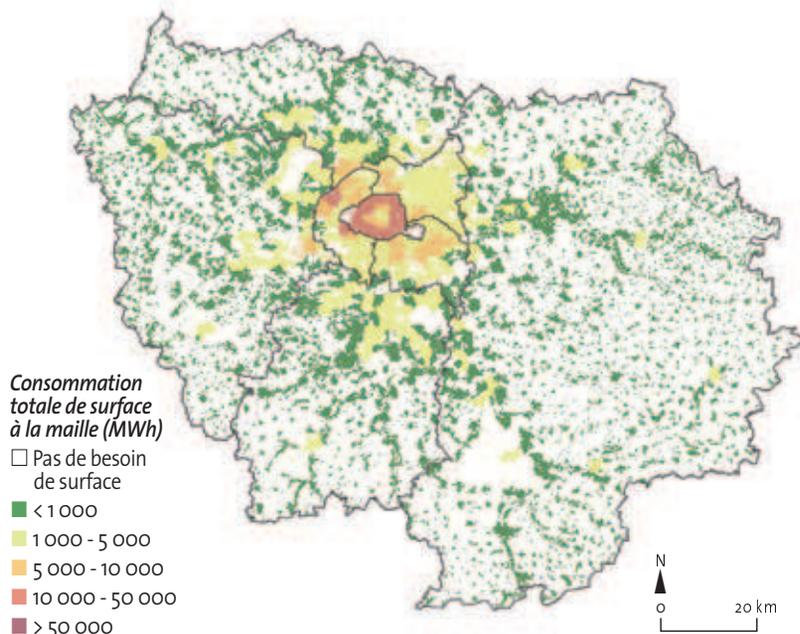
Ces chiffres montrent la part que la géothermie pourrait couvrir en 2020, à savoir plus de 30 % des consommations accessibles à la géothermie (qui, rappelons-le, représentent la consommation des bâtiments dont le système de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire actuel permet une substitution par la géothermie).

### Conclusion et enjeux

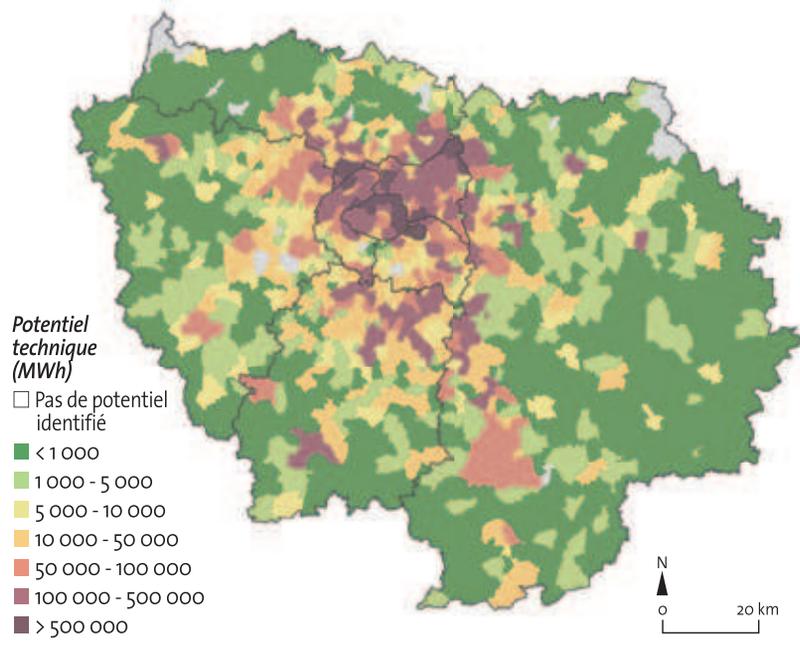
L'état des lieux, ainsi que les valeurs de potentiels doivent permettre d'alimenter le volet énergies renouvelables du SRCAE francilien. Ce dernier fixe « des objectifs quantitatifs de développement de la production d'énergie renouvelable, à l'échelle de la région et par zones infrarégionales favorables à ce développement [...] et assortis d'objectifs qualitatifs visant à prendre en compte la préservation de l'environnement et du patrimoine ainsi qu'à limiter les conflits d'usage. »

De manière générale, il ressort de ces études que le potentiel de développement de la géothermie est très significatif, en particulier pour la géothermie assistée par pompes à chaleur. Ces évaluations sont corroborées par la pénétration très forte de la géothermie chez nos voisins européens comme l'Allemagne, la Suisse ou la Suède. Les conditions de développement en France sont progressivement réunies : compétence des acteurs, soutien public, promotion de cette énergie... La réglementation thermique des bâtiments pourrait cependant lui être plus favorable et la réglementation de l'opération géothermique à proprement parler mérite quant à elle d'être rénovée. La géothermie profonde, dont les performances énergétiques sont encore meilleures, est quant à elle assez conditionnée au développement de réseaux de chaleur. C'est une tendance de fond qui ne peut se faire que dans la durée.

La fin de l'année 2012 est également la date limite de réalisation des PCET aux différentes échelles (régionale, départementale, intercommunale, communale). Pour la géothermie, cette échelle territoriale permet d'étudier



**▲ Fig. 5 : Cartographie du scénario de consommation énergétique en 2020 (d'après l'étude Center).**  
 Fig. 5: Map of the energy consumption scenario for 2020 (according to the Center study). Source : Rapport BRGM/RP-60615-FR



**▲ Fig. 6 : Cartographie du potentiel technique des aquifères superficiels par commune pour le scénario 2020.**  
 Fig. 6: Map of the technical potential of superficial aquifers on a town-by-town basis for the 2020 scenario. Source : Rapport BRGM/RP-60615-FR



### Geothermal energy into territorial energy planning: the example of the Ile-de-France region

One of the outgrowths of the French “Grenelle process” is the elaboration of regional climate, air-quality and energy plans (SRCAE). These plans aim to help areas achieve the objectives assigned them in terms of greenhouse-gas emissions reductions, development of local, renewable energy sources and air-quality improvement. In this context, the regional state representative, the Regional Council President and the French energy agency have funded a BRGM study in “Ile-de-France” to assess its geothermal energy potential (for both direct district-heating uses and heat-pump assisted ones) on the scale of that region. The properties of aquifer resources there differ from one location to another. Once spatialized, these properties yielded the low geothermal potential aquifer atlas available on [www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr). Geothermal energy has been tapped in this region for over 30 years, mostly in connection with district heating, thanks to the good balance between the Dogger aquifer’s potential and the built environment’s energy needs. Thus geothermal energy provides heat to over 187,000 housing-equivalents, thereby avoiding more than 240,000 tons of CO<sub>2</sub> in 2010. This requisite balance is one of the bases of the methodology for defining the region’s geothermal potential, comparing the geothermal resources, however low or deep they may be, to the energy needs (for heating, cooling and domestic hot water production). Taking into account technical, legislative and economic constraints, the potential for 2020 has been estimated to exceed 2,000,000 toe, corresponding to over 2.5 million housing-equivalents. Actions for developing geothermal energy will be implemented by the individual communities within their Action Plans for Climate and Energy (PCET), which is mandatory for each community of more than 50,000 inhabitants. The development of this huge potential must be managed responsibly so as to limit resource-use conflicts.

	Tep substituées annuellement	Bilan en énergie primaire (MWh <sub>ep</sub> )	Tonnes de CO <sub>2</sub> évitées annuellement
Opérations très basse énergie	1 682 057	5 768 820	3 057 642
Opérations sur les aquifères intermédiaires (Albien et Néocomien)	4 684	24 606	9 083
Opérations au Dogger	356 000	4 060 500	839 200
<b>Total</b>	<b>2 042 741</b>	<b>9 853 926</b>	<b>3 905 925</b>



**Fig. 7 : Bilan chiffré du potentiel bilan énergétique et climatique de la géothermie en 2020.**

Fig. 7: Statistical assessment of the energy and climate situation of the geothermal sector in 2020.

Source : Rapport BRGM/RP-60615-FR

plus spécifiquement les potentiels, en intégrant des connaissances et contraintes qui n’auraient pu être considérées à l’échelle régionale. De telles études ont été menées ou sont planifiées pour des zones d’aménagement comme celle gérée par l’EPA (Etablissement Public d’Aménagement) Défense Seine-Arche [Analy et al. (2012)].

Des démarches similaires peuvent être menées par les collectivités qui veulent prendre en main le volet énergétique de l’aménagement de leur territoire. Les enjeux sont forts à cette échelle. Il s’agit en effet de promouvoir le développement de la géothermie tout en préservant les ressources. C’est-à-dire limiter les impacts négatifs et les conflits d’usages, particulièrement en milieu urbain. Ces éléments vont également dans le sens d’une nécessaire planification du développement de la géothermie.

L’identification d’actions locales pour soutenir le développement de la géothermie est une nécessité pour combler l’écart entre le potentiel de cette énergie et les capacités installées. Ces actions se mettront en place en fonction des compétences des différentes autorités locales et doivent permettre :

- d’inciter les maîtres d’ouvrage à la réalisation des opérations de géothermie ;
- d’animer et de structurer la filière ;
- de mener des travaux d’amélioration de la connaissance de la ressource géothermale.

Idéalement, il s’agit pour les collectivités de développer une stratégie cohérente de développement de l’énergie géothermique ou des énergies renouvelables, dans laquelle les autres acteurs vont pouvoir développer leur activité. ■

**Bibliographie :** Analy M., Bel A., Bouzit M., Poux A., Le Brun M. (2012) – Évaluation des possibilités de développement de la géothermie sur le territoire de l’opération d’intérêt national de l’EPADESA. Rapport final BRGM/RP-60953-FR. Bardeau M., Poux A., Monod B. (2011) – Participation GÉOTHERMIE à l’étude technique du volet Énergies Renouvelables du Schéma Régional Climat Air Énergie de Midi-Pyrénées. Rapport BRGM/RP-60114-FR. Bel A., Poux A., Goyénèche O., Allier D., Darricau G., Lemale J. (2012) – Étude préalable à l’élaboration du schéma de développement de la géothermie en Ile-de-France. Rapport BRGM/RP-60615-FR. Chartier R., Jouanneau J., Saint Martin M., Brun J., Poux A. (2012) – Inventaire du potentiel géothermique en région Rhône-Alpes, État des lieux et étude du potentiel – Rapport final BRGM RP-60684-FR. Poux A., Philippe M., Chery C. (2012) – La géothermie dans les documents de planification énergétique territoriale - Rapport final BRGM/RP-60967-FR. Poux A., Goyénèche O., Le Brun M., Martin J.C., Noel S., Zammit C., Salquebr D., Lecomte A., Fillacier S., Marre D. (2012) – Perspectives de développement de la géothermie en région Centre (GÉOPOREC). Rapport final BRGM RP/60336-FR.