

N°1

# la Géothermie en France

JUILLET 2007

L'ÉNERGIE DU SOUS-SOL

## SOMMAIRE

### Pôle administratif des Mureaux. La première opération HQE® certifiée : un an après ...

Par D.Bulle, responsable énergie Mairie  
des Mureaux et S. Barrois, J. Naveteur  
EDF R&D >>> p.2

### Une expérience réussie de géothermie en région Rhône Alpes : la CAF de Lyon. Bilan des 9 années de fonctionnement

Par J.Naveteur, EDF R&D  
C.Bruss CAF de LYON >>> p.6

### L'utilisation de la géothermie à Jonzac. Une histoire de près de 30 ans

Par Claude Belot,  
Sénateur de la Charente-Maritime,  
Président du Conseil Général >>> p.9

### La géothermie en Chine : les actions entreprises par CFG Services

Par Dominique Tournaye, CFG Services  
>>> p.12

### Les métiers de la géothermie : ingénieur de forage

Par Jean Yves Hervé, BRGM >>> p.14

### En bref

>>> p.15 et 16

### Agenda et site internet

>>> p.16

## >> ÉDITO



>> par Ph. Vesseron  
Président Directeur  
Général du BRGM

# +40%

c'est la croissance en 2006 du marché des pompes à chaleur géothermiques pour le secteur des maisons individuelles. C'est une performance remarquable. Je félicite vivement tous ceux qui y ont contribué.

Mais les autres domaines de la géothermie sont eux aussi en développement chez nous et dans les autres pays, compte tenu en particulier de l'évolution de la situation de l'énergie et de l'inquiétude face aux changements climatiques.

Ainsi, de nouveaux projets d'alimentation de réseaux de chaleur par des forages géothermiques profonds voient le jour en Ile-de-France, où déjà 150 000 logements sont chauffés ainsi. En Guadeloupe ou à la Réunion, des phases d'exploration débute pour des projets de production d'électricité. Enfin, les travaux se poursuivent sur la plateforme de Soultz-sous-Forêts en Alsace, dans une perspective de recherches à long terme.

Ces techniques contribuent à leur mesure à la constitution du bouquet énergétique français, présent et futur, et sont autant d'atouts pour que la France et l'Union Européenne respectent leurs engagements en matière de lutte contre le changement climatique.

Cependant, la géothermie souffre d'un relatif manque de moyens et de visibilité : il faut augmenter la sensibilisation du public, structurer les filières industrielles et commerciales, et bien sûr, amplifier les efforts de recherche.

C'est dans ce contexte que j'ai décidé la création fin 2006 d'un département géothermie au sein du BRGM, dont j'ai confié la direction à Fabrice Boissier. Cette création traduit la volonté du BRGM d'amplifier sa contribution pour l'essor de la géothermie, en participant à la promotion de cette source d'énergie, dans le cadre de nos missions : diffusion de l'information, recherche, expertise.

Cet appui au développement de chacune des formes de la géothermie sans aucune exclusive repose bien entendu sur un partenariat étroit avec l'ADEME, au niveau national pour les actions de recherche ou la communication, mais aussi au niveau régional, en lien avec les conseils régionaux et toutes les collectivités qui font preuve d'un dynamisme enthousiaste pour la diffusion des techniques et des réalisations géothermiques.

C'est pourquoi ce bulletin, dédié depuis 2001 au développement de la géothermie en région Ile-de-France, prend aujourd'hui un caractère national et s'adresse maintenant à l'ensemble du pays : il doit ainsi permettre de diffuser les bonnes pratiques, faire connaître les expériences fructueuses et inciter toutes les régions à amplifier leur action.

Son ambition est ainsi de contribuer au bon développement de la géothermie sous tous ses aspects. J'espère que sa lecture vous en convaincra.

# Pôle administratif des Mureaux

## La première opération HQE® certifiée : un an après...

>> Par D. Bulle, responsable énergie  
Mairie des Mureaux  
S. Barrois, J. Naveteur EDF R&D  
dbulle@mairie-lesmureaux.fr  
jose.naveteur@edf.fr  
serge.barrois@edf.fr

La ville des Mureaux, dans les Yvelines (78), a fait construire un nouveau pôle administratif afin de regrouper les différents services répartis sur le territoire de la commune. Dès la phase concours, l'équipe municipale a engagé une démarche HQE®. Aujourd'hui, le bâtiment est certifié par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) « NF bâtiment tertiaire démarche HQE® » millésime 2005.

Au-delà de sa mission administrative, le bâtiment doit également associer la recherche d'économies d'énergie et la mise en place d'un système innovant en répondant à trois grandes priorités :

- être une véritable vitrine pour les habitants et le personnel communal,
- disposer d'une gestion énergétique performante, qui s'étendra progressivement à l'ensemble des fluides du patrimoine communal par système de télégestion,
- être un bâtiment communicant intégrant toutes les fonctionnalités des nouvelles technologies de l'information et de la communication.

La décision de réaliser ce pôle administratif date de décembre 2001. Les travaux ont débuté en mai 2004 et l'inauguration a été réalisée en mai 2005.

### Les grands principes de la démarche HQE®

L'ambition de l'association HQE (loi 1901) est « de promouvoir, dans une perspective de développement durable, l'amélioration de la Qualité Environnementale du cadre de vie Bâti, notamment par le management environnemental des opérations ».

La démarche HQE, est une approche volontaire et structurée visant à coordonner tous les acteurs concernés pour atteindre les objectifs de qualité environnementale fixés par le maître d'ouvrage.

Cette démarche concerne tous les secteurs de la construction, publique ou privé, logement ou tertiaire, neuf ou réhabilitation.

Le maître d'ouvrage, dans sa démarche volontaire, peut s'il le souhaite, valoriser son action en se faisant certifier par une tierce partie indépendante, le CSTB, via sa filiale Certivéa.

La certification est structurée sur la base de 2 référentiels : le **Système de Management de l'Opération (SMO)** et la **Qualité Environnementale du Bâtiment (QEB)**.

Le SMO est défini comme l'ensemble des éléments permettant de définir les objectifs de QEB et d'organiser l'opération pour les atteindre. La QEB, structurée selon 14 cibles définies par l'association HQE, permet au maître d'ouvrage de définir son profil environnemental (choix des cibles).

Trois niveaux de performances sont définis :

C'est au maître d'ouvrage qu'il revient de définir les objectifs (niveaux) environnementaux propres à son opération. L'évaluation est faite à plusieurs étapes de l'opération :

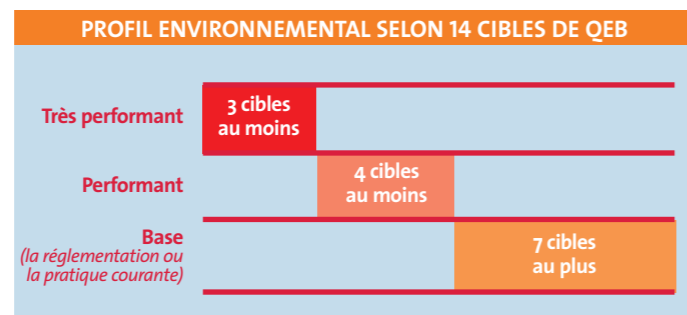
- fin de phase de programmation,
- fin de phase de conception,
- fin de phase de réalisation.

Le certificateur, Certivéa, missionne une équipe afin d'auditer le SMO et de vérifier la QEB ce qui permet de réagir en temps opportun si besoin.

### La démarche HQE sur le projet

Première concrétisation de cette démarche : une charte a été établie lors de la programmation. Ainsi 83 % des déchets ont été valorisés par rapport à la masse totale des déchets générés (l'exigence du référentiel de certification HQE, est de 15 %).

Toutes les cibles **GESTION** ont été « très performantes ».



Pôle administratif des Mureaux

### Cible énergie

- C réf -15 %<sup>(1)</sup> (rupteur de ponts thermiques, double vitrage ECO...)
- Pompe à chaleur eau/eau sur nappe
- Gestion technique centralisée (120 points de contrôle & commande)
- Panneaux solaires thermique (8 m<sup>2</sup> panneaux tubes sous vide Thermomax devant assurer 60 % des besoins)

### Cible eau

- Récupération des eaux pluviales (cuve de 20 000 litres)
- Robinetterie économe
- Limiteur de débit

### Cible déchets d'activités

- Aménagement du local déchets (40 m<sup>2</sup> avec bacs différenciés)
- Collecte sélective
- Tri à la source
- Sensibilisation (ambassadeurs de tri)

### Cible entretien et maintenance

- Arrivée des fluides en un seul endroit
- Regroupement des locaux techniques
- Report des alarmes & contrôles

### Descriptif du site

La volonté unanime des élus de conserver l'ancienne mairie a influencé les partis pris architecturaux et l'aménagement des surfaces utiles. Conçu par les architectes Jean-Luc Hesters et

Marie-Sylvie Barlatier, le bâtiment a une surface SHON de 4 500 m<sup>2</sup> sur deux étages. Un soin particulier a été apporté à l'harmonie et l'intégration de l'ensemble :

- les pierres des anciens bâtiments déconstruits ont été récupérées pour constituer le soubassement de la nouvelle construction afin de créer un ensemble homogène entre le nouveau et l'ancien.
- les ardoises de la toiture ont servi à créer les ambiances des patios végétalisés.

Le nouveau bâtiment comprend 149 bureaux, 8 salles de réunions, 3 patios avec jardin, dont 2 intérieurs (minéral et végétal), 2 toitures terrasses végétalisées, des locaux archives, des locaux techniques et au sous-sol un parking de 30 places pour les véhicules des différents services. L'ancien bâtiment comprend l'accueil et l'état civil au rez-de-chaussée et la très belle salle du conseil au premier.

L'assistant à la maîtrise d'ouvrage S'PACE Environnement, en collaboration avec EDF, a préconisé une solution globale prenant en compte la notion de confort dans son intégralité, la performance énergétique et le respect de l'environnement.

### Un bâti haute performance

Avec une isolation par l'intérieur en polystyrène expansé (80+10), une isolation des planchers par des rupteurs thermiques Schöck (Rutherma) des voiles de façade, des vitrages Climaplust 4S de Saint-Gobain Glass - 4/16/4 (U=1,4W/m<sup>2</sup>.K) équipés de volets persiennés coulissants ou de brise-soleil pour les grandes surfaces, le bâtiment enregistre ainsi d'excellents résultats :

U<sub>bât</sub><sup>(2)</sup> de -11 % par rapport au U<sub>bât ref</sub> et un coefficient C de -15 % par rapport au C<sub>ref</sub> (selon la RT2000).

### Confort d'ambiance

Une pompe à Chaleur eau/eau de marque CIAT d'une puissance calorifique de 300 kW, utilise l'énergie de l'eau provenant de la nappe phréatique. Le forage est équipé d'une pompe à vitesse variable et le débit maximum est de 32 m<sup>3</sup>/h. La PAC alimente, en hiver, les planchers chauffants. En été, la nappe (à 15° C) est utilisée, via un échangeur, en « free cooling » (sans la pompe à chaleur) et permet ainsi le rafraîchissement du bâtiment.

Une programmation du chauffage est réalisée sur sept zones selon leur exposition et les horaires de présence.

La pompe à chaleur



(1) Consommation de référence -15% (RT 2000)

(2) Le coefficient U<sub>bât</sub> est l'ensemble des déperdition par les parois (murs, planchers, toitures, baies) et des déperditions par les ponts thermiques. Le coefficient U<sub>bât-ref</sub> représente un coefficient de déperditions moyen du bâtiment. Source : ARENE Ile de France

### Renouvellement d'air

Indispensable pour la qualité de l'air le renouvellement d'air est assuré par :

- une Centrale de Traitement d'Air « CTA » simple flux de 8 000 m³/h pour les bureaux avec extraction dans les circulations.
- Une CTA double flux de 300 m³/h avec récupérateur de chaleur pour la salle du conseil.
- Une CTA double flux de 1 300 m³/h avec récupérateur de chaleur pour le service état civil.

### Eau Chaude Sanitaire solaire

8 m² de capteurs à tubes sous-vide de marque Thermomax ont été installés en toiture avec un ballon d'Eau Chaude Sanitaire de 500 litres. En l'absence de soleil, une résistance électrique de 3 kW prend le relais pour assurer la continuité des besoins. L'étude montre que l'installation doit couvrir 60 % des besoins.

### Gestion Technique Centralisée

La GTC est réalisée avec un logiciel Topkapi mis en place par la société S3EB. Cet équipement pilote 120 points de contrôle, commande et permet la remontée des informations de consommation :

- eau (eau de ville, appoint sanitaire et récupération pluviale, ECS, forage...),
- usage électrique (EDF, pompe puits, pompe à chaleur, appoint ECS...),
- usage thermique (besoin chauffage, froid, fourniture panneaux solaires),
- température (extérieure, intérieure, 7 zones, départ circuit plancher, eau forage...),
- et 120 points de commande et contrôle sur les équipements techniques.

A terme, la GTC doit également assurer la gestion de l'ensemble des fluides du patrimoine communal par télégestion.

### Récupération des eaux pluviales

Le système de récupération des eaux pluviales est conçu à partir d'une surface de toiture de 933 m² et d'une cuve de 20 000 litres. Cette eau récupérée est utilisée pour les chasses d'eau des toilettes et l'économie espérée est de 2 000 €.

Deux puits filtrants améliorent la rétention et l'infiltration des eaux de pluie.

Deux toitures terrasses végétalisées d'une surface totale de 296 m² participent également à l'amélioration de la rétention (65 litres/m²) en plus de leur qualité de confort. Elles augmentent l'inertie thermique en évitant au rayonnement solaire d'être de trop chauffer la terrasse.

### Traitement des déchets

A l'extérieur de la mairie, un local de 40 m² a été construit pour faciliter le tri :

- verre,
  - emballages plastiques,
  - journaux, revues,
  - cartons,
- le tout collecté une fois par semaine.

## Bilan énergétique de la première année d'exploitation (avril 2005 à mai 2006)

Avec 476 MWh de consommation la première année d'exploitation, le ratio de **107 kWh/m²/an est très satisfaisant**. Le ratio habituel rencontré dans un bâtiment de bureaux est de 250 kWh/m²/an d'énergie finale.

**Le coût d'exploitation est de 6,75 € HT/m²/an.**

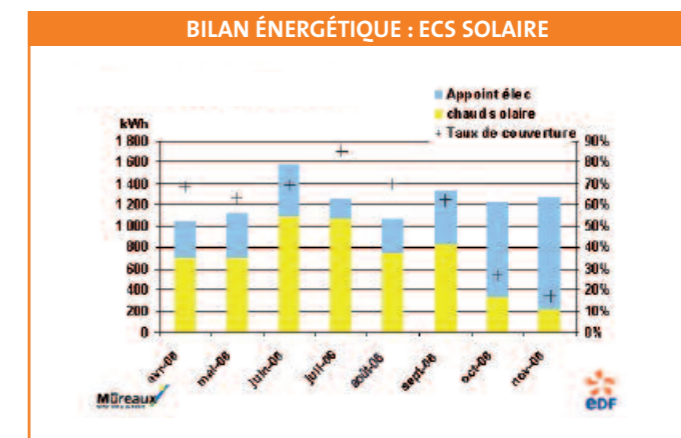
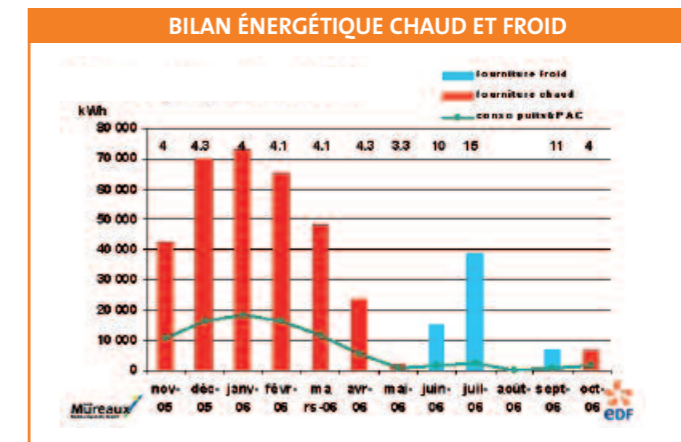
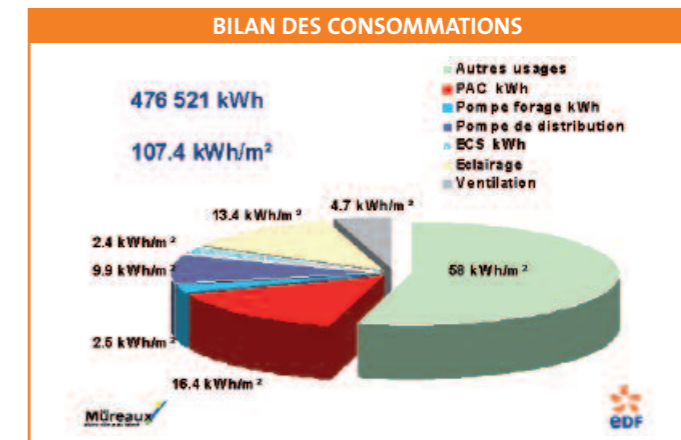
### L'impact environnemental et la performance de l'installation :

L'exploitation du bâtiment émet 41 tonnes de CO<sub>2</sub>/an. La solution PAC sur nappe phréatique a permis d'éviter 75 tonnes de CO<sub>2</sub>/an d'émission supplémentaire par rapport à une chaufferie gaz.

Les besoins de chauffage sont de 73 kWh/m²/an et de 7,4 kWh/m²/an pour le rafraîchissement. A partir des besoins et de la consommation de la pompe à chaleur associée avec la pompe de forage, il est possible d'afficher les performances du système. Le **COefficient de Performance (COP)** est le rapport besoin sur consommation.



Aperçu du pôle administratif des Mureaux



### Le Coût de la HQE®

Le coût total de l'opération est 9,05 M€ TTC soit 2,011 k€ TTC/m².

LES COÛTS ENVIRONNEMENTAUX ET LEUR PART HQE (EN TTC)		
DÉSIGNATION	COÛT ENVIRONNEMENTAL	PART HQE
COORDINATION CHANTIER	60 000 €	15 000 €
POUBELLES DE TRI	5 586 €	4 242 €
PIERRES RÉCUPÉRÉES	15 000 €	15 000 €
TERRES POLLUÉES	15 410 €	////////
RUPTEURS DE PONTS THERMIQUES	40 739 €	40 739 €
RÉCUPÉRATION EAUX PLUVIALES	47 468 €	47 468 €
AIRE DE LAVAGE	4 500 €	////////
TOITURE VÉGÉTALISÉE	33 207 €	33 207 €
DOUBLES VITRAGES	14 076 €	14 076 €
PLANTATION PATIOS	15 446 €	////////
GESTION TECHNIQUE CENTRALISÉE	66 022 €	26 022 €
SOLAIRE	25 891 €	6 000 €
POMPE À CHALEUR & FORAGE	71 699 €	36 000 €
RÉGULATION	32 910 €	16 910 €
<b>% DU COÛT TOTAL DE L'OPÉRATION</b>	<b>6,85 %</b>	<b>3,89 %</b>

Le surcoût de la part HQE® par rapport au montant total de l'opération est de 3,89%.

Le tableau donne les détails des différents postes. A noter : le surcoût est la différence entre le coût du poste chiffré avec et sans la démarche HQE®. Par exemple, la part HQE® du poste Pompe à chaleur & forage correspond à l'écart d'une chaufferie gaz et de l'installation actuelle !!!

En hiver le système a un COP supérieur à 4 et supérieur à 10 en été (free-cooling). C'est grâce à une bonne intégration des éléments du système (mise en place de la vitesse variable de la pompe du puits) et une mise en service rigoureuse de l'installation (loi d'eau sur la PAC, réglage des paramètres de la vitesse variable) qu'il est possible d'afficher ces bonnes performances.

- Le suivi réalisé par EDF R&D a permis d'affiner ces réglages et d'estimer les gains réalisées :
- 9,5 kWh/m²/an grâce à la vitesse variable mise en place sur la pompe de puits.
  - 3,5 kWh/m²/an grâce au paramétrage de la loi d'eau sur la PAC.

Le coût de revient du kWh thermique ou chaud est de 19,13 ct€/kWh chaud contre 35 ct€/kWh chaud issue d'une chaufferie gaz (rendement chaufferie inclus).

### Récupération des eaux pluviales

La récupération des eaux pluviales permet d'alimenter les toilettes. 123 m³ d'eau ont été récupérés pour une consommation totale sur cet usage de 632 m³ soit 20 % de couverture.

Un déficit de pluie de 30 % par rapport à la normale et un taux de récupération sur les toitures plates de 56 % expliquent l'écart entre l'estimation (600 m³/an) et les mesures.

### ECS solaire

Compte tenu de problèmes de métrologie, il n'est pas possible de présenter un bilan annuel. Néanmoins, les données recueillies sur la période d'avril 2006 à septembre 2006 montrent un taux de couverture variant de 65 à 85 %. A préciser : ce taux de couverture comprend les besoins en ECS et les pertes de la boucle de distribution.

## Conclusion

Pour un surcoût modeste, cette opération est un vrai succès. Elle montre qu'il est possible de construire des bâtiments sobres en énergie sans trop alourdir leurs investissements. Le suivi énergétique mis en place par EDF R&D et la forte implication du service technique de la mairie ont permis de faire que cette première opération certifiée HQE® soit un succès.

L'objectif de la deuxième année de mesure est d'arriver en dessous de la barre symbolique des 100 kWh/m²/an, ce qui est en bonne voie, car deux actions sont actuellement en cours :

- la réduction des consommations liées à l'informatique par une meilleure gestion des mises en veille et arrêt des PC,
  - l'amélioration de la gestion de l'intermittence du chauffage en profitant de l'inertie des planchers chauffants.
- Les premiers résultats sont prometteurs et les 100 kWh/m²/an sont atteignables. ■

4 panneaux solaires d'une surface de 8 m² pour la fourniture de 60% de l'Eau Chaude Sanitaire



>> Par J.Naveteur, EDF R&D  
C.Bruss CAF de LYON  
jose.naveteur@edf.fr  
christian.bruss@caflyon.cnafmail.fr

# Une expérience réussie de géothermie en région Rhône Alpes : la CAF de Lyon

## Bilan des 9 années de fonctionnement

Depuis 9 ans la CAF de Lyon est équipée d'une installation de Pompe à Chaleur sur nappe phréatique. Cette installation fait l'objet d'un suivi énergétique par EDF R&D, dont voici les principaux résultats sur 9 années de fonctionnement. Cet article présente la technologie de la thermofrigopompe ainsi que le bilan des consommations et des coûts d'exploitation énergétique.



Façade du bâtiment de la CAF de Lyon

**F**in 1997, la CAF de Lyon s'installe dans ses nouveaux locaux situés boulevard Vivier Merle à Lyon.

Ce bâtiment comporte des bureaux, des salles de réunion, une salle de conférence et un accueil pour les allocataires.

Soucieuse du futur coût d'exploitation, la CAF de Lyon avait demandé à son bureau d'études d'étudier différents modes de chauffage et rafraîchissement du site. Les études ont montré que la solution pompe à chaleur sur nappe phréatique était la plus performante.



Les pompes à chaleur

### Caractéristiques techniques du site

Le bâtiment a une surface de 16 633 m<sup>2</sup>, le coefficient de déperdition par les parois est de 0,42 W/m<sup>2</sup>.°C (pour G1 ref de 0,53 W/m<sup>2</sup>.°C).

L'installation comporte deux pompes à chaleur eau/eau (600 kW chaud, 600 kW froid), qui alimente un réseau de ventilo-convecteurs 4 tubes et des centrales de traitement comportant des récupérateurs afin de limiter la consommation d'énergie.

Les réseaux hydrauliques sont équipés de pompes à vitesse variable.

Le puits comporte deux pompes de forage à vitesse variable dont le débit maximum unitaire est de 100 m<sup>3</sup>/h.

A noter que les coûts d'investissements étaient en 1995 de :

- 149 euros/m<sup>2</sup>, pour le chauffage, la climatisation, la ventilation,
- 21 euros/m<sup>2</sup> pour la GTB<sup>(1)</sup>,  
**soit un total de 170 euros/m<sup>2</sup>.**

### Détails de quelques spécificités techniques

Les pompes à chaleur sont pilotées en mode thermofrigopompe.

Une thermofrigopompe est une pompe à chaleur réversible dont on peut utiliser simultanément le froid et le chaud. Elle constitue une solution optimale en terme de coût énergétique pour les bâtiments qui ont des besoins de froid et de chaud. Le régime de fonctionnement :

- En eau glacée est de 7 à 12°C l'été et 10 à 12°C l'hiver.

- En eau chaude, il est de 35°C pour +20°C à l'extérieur et de 45°C pour 0°C à l'extérieur

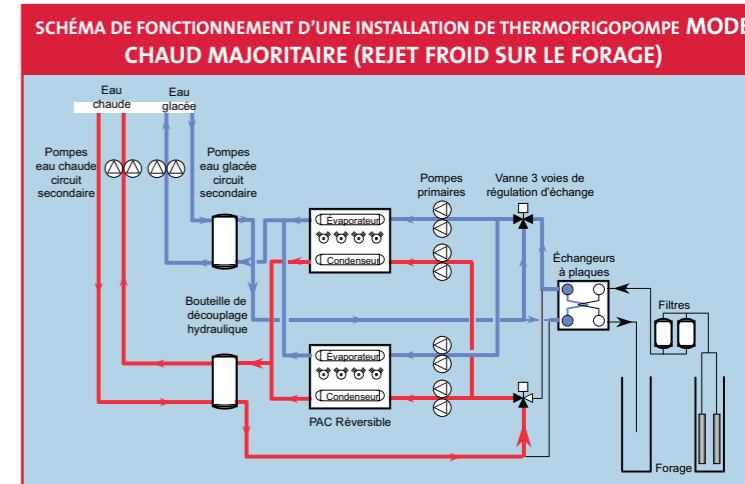
L'ensemble de l'installation est piloté par une GTB<sup>(1)</sup>.

(1) Gestion Technique de Bâtiment

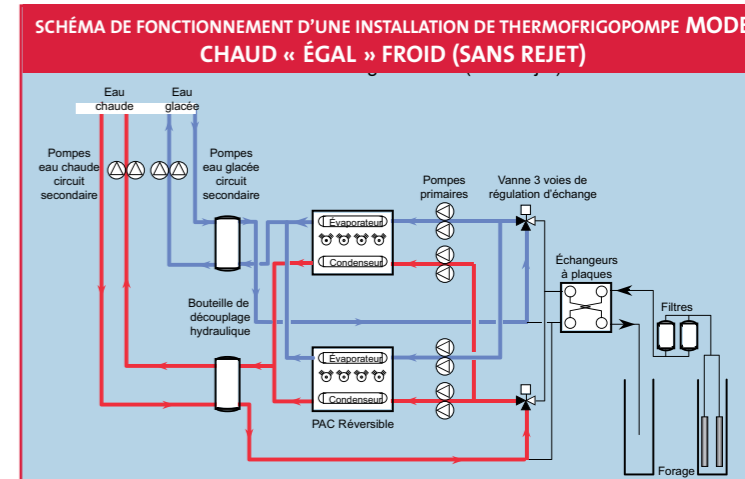
### Explication du fonctionnement d'une thermofrigopompe

Une thermofrigopompe peut fonctionner sous trois modes différents :

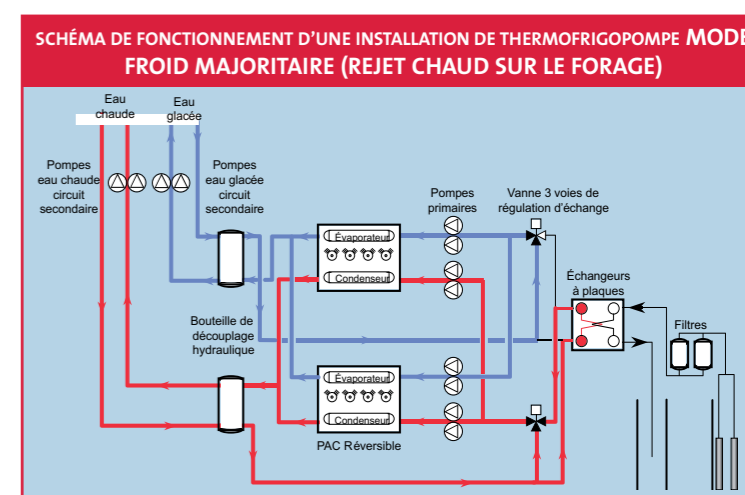
**1 > CHAUD MAJORITAIRE ET FROID MINORITAIRE.** Le bâtiment consomme plus de chaud que de froid (mi-saison et début d'hiver). Le froid excédentaire est évacué dans le forage géothermique.



**2 > CHAUD ÉGAL FROID.** Ce mode intervient, lorsque le bâtiment consomme tout le froid et tout le chaud produit. Le COP est maximum et aucune énergie n'est rejetée dans le forage géothermique.



**3 > CHAUD MINORITAIRE, FROID MAJORITAIRE.** Le bâtiment consomme alors plus de froid que de chaud (mi-saison chaude et début d'été). Le chaud excédentaire est alors rejeté dans le forage géothermique.



### La régulation

Elle repose sur un principe fondamental : « toujours répondre à la plus forte demande ».

La GTB doit mesurer en permanence les écarts de température sur les deux réseaux (chaud et froid). Selon le réseau le plus demandeur, elle détermine le mode de fonctionnement de la thermofrigopompe, en donnant la priorité au fonctionnement en chaud ou froid.

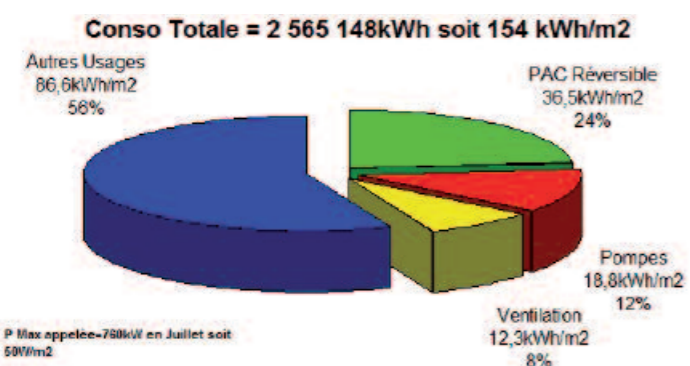
### Résultat des mesures

Ce site fait l'objet d'un suivi énergétique depuis 1998, l'installation a été instrumentée par EDF R&D au moyen de :

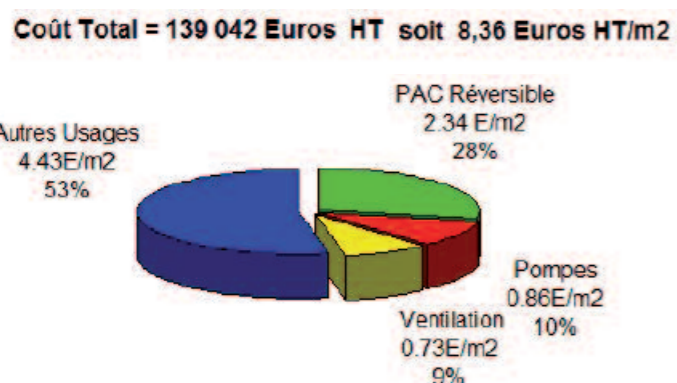
- 9 compteurs d'énergie électrique (dont 6 télé-relevables)
- 1 compteur de calories
- 1 compteur de frigories
- 1 système d'interrogation et de suivi à distance de la GTB

>> Par Claude Belot,  
Sénateur de la Charente-Maritime,  
Président du Conseil Général

#### MOYENNE ANNUELLE DES CONSOMMATIONS ENTRE 1998 ET 2006



#### COÛT DES CONSOMMATIONS MOYEN ANNUEL ENTRE 1998 ET 2006



#### Moyenne annuelle des consommations et des performances sur 9 années (1998 à 2006)

La consommation moyenne totale est 154 kWh/m<sup>2</sup> pour un coût moyen de 8,4 €HT/m<sup>2</sup>, la puissance maximum appelée est de 760 kW.

La consommation moyenne a été au minimum de 145 kWh/m<sup>2</sup> en 2000 et au maximum de 169 kWh/m<sup>2</sup> en 2003.

A noter qu'en moyenne dans le secteur des bureaux le ratio de consommation annuelle se situe à environ 250 kWh/m<sup>2</sup>.

Le coût d'exploitation a été au minimum de 7,7 €HT/m<sup>2</sup> en 2000 et au maximum de 9,03 €HT/m<sup>2</sup> en 2003.

Pour info, nous pouvons considérer qu'un bâtiment a un coût d'exploitation énergétique satisfaisant si son coût d'exploitation n'est pas supérieur à 10 €/m<sup>2</sup>.

La consommation de la PAC (moyenne sur 9 ans) et des pompes de puits est 39 kWh/m<sup>2</sup> (2,49 €HT/m<sup>2</sup>), elle a fournie en moyenne 66 kWh Chaud/m<sup>2</sup>.

Le coût moyen de production de MWh chaud/froid est de 16 €HT/MWh.

**Par rapport à une solution traditionnelle (chaufferie gaz et groupe froid) la solution PAC sur nappe permet une économie annuelle de 0,94 €HT/m<sup>2</sup>, soit une diminution du coût énergétique de la production de chaud et froid de 37 %. Elle permet une diminution des rejets de CO<sub>2</sub> de 14,8 kg de CO<sub>2</sub> par m<sup>2</sup> soit une économie de 70 %.**

Le Coefficient de Performance (COP)<sup>(1)</sup> de l'installation est sur les 9 années en moyenne de 3,8, c'est à dire que pour 1 kWh électrique consommé, l'installation en a fourni 3,8 sous forme de chaud ou froid.

#### Économie apportée par les pompes à vitesse variable

EDF avait préconisé la pose de pompes à vitesse variable sur les réseaux chaud, froid et sur les forages. Les économies engendrées par ces variateurs de fréquence qui pilotent les pompes sont les suivants :

- Les pompes de puits : 90 985 kWh soit 4 237 euros.
- Les pompes du circuit d'eau chaude : 81 858 kWh soit 3 707 euros.
- Les pompes circuit d'eau glacée : 77 969 kWh soit 3 859 euros.

Soit une moyenne de 250 722 kWh/an et 11 803 euros/an, ce qui représente 10 % de la consommation annuelle du bâtiment et 40 % de celle des PAC réversibles.

Le surcoût lié au découplage hydraulique plus variateurs de vitesse était de 36 k€ HT, ce qui fait un temps de retour de 3 ans !

#### Conclusion

Le suivi a montré qu'une installation de pompe à chaleur sur nappe phréatique est performante sur la durée, elle permet de très importantes économies d'énergies et financières tout en limitant l'impact sur l'environnement.

# L'utilisation de la géothermie à Jonzac une histoire de près de 30 ans

Les installations géothermiques de la ville de Jonzac, (département de la Charente-Maritime) fonctionnent depuis 1980, puisant une eau à 65°C dans les aquifères du Lias inférieur et moyen et du Trias situés entre 1670 et 1860 mètres de profondeur.

Cette eau géothermique permet aujourd'hui le chauffage du complexe aqualudique des Antilles de Jonzac et, dotée de vertus thérapeutiques, cette eau bienfaisante alimente également les thermes de la ville.



©C. Ducamp

Pancarte d'entrée, présentation du forage

Cette eau chaude est stockée dans les aquifères du Lias inférieur et moyen et du Trias.

Ces aquifères sont formés par des sables, des grès, des dolomies, des calcaires dolomitiques. L'épaisseur qui varie entre 18 mètres et 100 mètres est limitée par le socle granitique ou schisteux plus ou moins perméable (le fond) et par les marnes du Toarcien imperméables (le toit).

#### L'histoire

Dans le contexte de crise énergétique des années 70, la ville de Jonzac étudie dès 1977 la faisabilité d'un réseau de chauffage urbain géothermique pour alimenter les principaux bâtiments de la ville. En effet, deux forages pétroliers réalisés à proximité de la ville en 1959 et 1961, avaient révélé la présence d'une nappe d'eau chaude.

En novembre 1979, la ville de Jonzac entreprend un premier forage géothermique pour puiser cette eau chaude présente dans le sous-sol. Le succès est au rendez-vous : une eau à 65°C jaillit la nuit de Noël 1979.

Ce premier forage a été baptisé G.J.N.C.1.

#### Contexte géologique

La ville de Jonzac se situe au Nord du bassin aquitain, bassin sédimentaire limité par deux massifs anciens : le Massif Armoricaïn et le Massif Central séparés par le seuil du Poitou ; et une jeune chaîne de montagne, les Pyrénées.

Ces massifs anciens forment le socle du bassin aquitain. Ce socle est constitué de roches cristallines (granite) ou cristallophylliennes (schistes...) et s'enfoncent progressivement du nord vers le sud-ouest. Par exemple, on retrouve ce socle à Rochefort à 809 mètres, et à Jonzac, à 1871 mètres.

Le bassin aquitain, à la faveur des transgressions et des régressions successives, s'est progressivement comblé de roches sédimentaires : calcaires, argiles, sables qui se sont déposés en se superposant un peu comme un empilement d'assiettes.

Les eaux de pluies tombées sur les massifs anciens et au niveau du seuil du Poitou, s'infiltrent en emmagasinant de la chaleur à mesure qu'elles s'enfoncent très lentement vers le centre du bassin aquitain (gradient géothermique : +1°C tous les 33 mètres). C'est pourquoi, la configuration géologique de la ville de Jonzac permet de récupérer entre 1670 et 1860 mètres de profondeur de l'eau chaude à 65°C.

(1) COP = Énergie fournie au bâtiment en froid et chaud / Énergie électrique consommée par les PAC + la pompe de puits



Premier jaillissement du forage G.J.N.C.1

Au début, cette eau chaude constitue la principale source d'énergie du réseau de chaleur de la ville de 1981 à 1986. Pour compléter l'apport calorifique sur le réseau, des pompes à chaleur permettent à la fois d'abaisser la température des rejets du forage avant restitution au milieu naturel, et d'en récupérer le maximum de chaleur.

Parallèlement à la mise en place du réseau de chaleur (1980-1984), des recherches de la faculté de médecine et de pharmacie de Bordeaux, montrent la similitude de l'eau de source Jonzacaïse avec celles d'autres stations thermales. L'eau du forage (Source Soenna), est identifiée comme hyperthermale (supérieure à 40°C), bactériologiquement pure, et sulfatée mixte chlorurée sodique avec de nombreux oligo-éléments.

Le 4 août 1986, Jonzac ouvre sa station thermale, exploitée par la Chaîne Thermale du Soleil. L'eau géothermique du premier forage sera dorénavant exploitée exclusivement en eau géothermale. Cette eau bienfaisante bénéficie de trois agréments : rhumatologie, voies respiratoires et phlébologie. Plus de 7 500 curistes y sont accueillis en 2006. Ensuite, pour alimenter le réseau de chaleur de la ville de Jonzac, la géothermie a été

complétée par un four d'incinération d'ordures ménagères, mise en service en 1981, puis des chaudières à charbon et à paille.

Face à l'incontestable succès des thermes, il est rapidement apparu nécessaire de sécuriser la ressource thermique. En août 1993, la ville décide donc de creuser un deuxième forage (G.J.N.C.2). Il est basé sur le site de Beauregard, à un kilomètre du premier puits.

Durant toutes ces 26 années de fonctionnement, la « crête du froid » a été assurée par du fuel lourd, pour environ 10% de la consommation énergétique.

### L'utilisation des énergies renouvelables aujourd'hui à Jonzac

Aujourd'hui, le réseau de la ville de Jonzac s'étend sur une douzaine de kilomètres. Il est alimenté non plus par l'usine d'incinération qui a fermé ses portes en 2002, mais par deux chaudières bois d'une puissance de 3 MW chacune. Ce réseau est exploité en régie publique déléguée dans le cadre d'un contrat d'affermage. Le taux de couverture sur l'année des deux chaudières bois est de 90 %. Elles alimentent en chaleur l'équivalent de 1 800 logements.

C'est un réseau en perpétuelle évolution, une extension importante est à l'étude avec la création d'une troisième chaudière.

L'ouverture en 2002, du vaste complexe aqualudique des « Antilles de Jonzac » (gros consommateur d'énergie) a conduit à l'exploitation du second forage G.J.N.C.2 à des fins géothermiques. Cette source d'énergie couvre ses besoins thermiques à hauteur de 90 %, une pompe à chaleur récemment installée permet d'atteindre une telle optimisation. Parallèlement, le premier forage G.J.N.C.1 continue d'alimenter les thermes en eau géothermale pour sa qualité curative et en eau géothermique pour chauffer ses locaux.

### Caractéristiques du 1<sup>er</sup> forage géothermique : G.J.N.C.1

La méthode de forage employée a été le forage « Rotary ». La pénétration de l'outil s'effectue par abrasion et broyage du terrain, sans choc, uniquement par rotation.

La machine utilisée est une H 40, susceptible d'atteindre une profondeur de 2 000 m.

Le forage a nécessité l'intervention de près de 25 personnes ( foreurs, ingénieurs, géologues) qui se sont relayées pendant 45 jours 24 heures sur 24. Il a été réalisé de la façon suivante :

- De 0 à 30 mètres : Forage en 24" et mise en place d'un tubage de 18" 5/8 (473 mm) avec cimentation totale (chambre de pompage).
- De 30 à 320 mètres : forage en 17" et mise en place d'un tubage de 13" (339,7 mm) avec cimentation totale (chambre de pompage).
- De 320 mètres, au toit du réservoir (1 630 mètres) : forage en 8" 3/4 et descente du tubage de production de 7" (177,8 mm) avec cimentation sous pression deux étages.
- Dans l'aquifère : forage en 6" (152,4 mm) avec le recours à une crépine inox 6" selon la nature des terrains rencontrés.

La production est assurée par une pompe de 6" de diamètre nominal, de 6 m de hauteur, immergée à 260 mètres de profondeur, mise en place en février 1981. Le débit horaire varie entre 25 et 33 m<sup>3</sup>/heure.

#### COÛT DE L'OPÉRATION EN 1979

(en équivalent euros)

- Coût du forage : plus de 775 000 d'euros HT
- Coût du réseau : plus de 2,3 millions d'euros HT

**Coût total de l'opération : 3 millions d'euros.**

#### Les différents intervenants dans le projet

- La ville de Jonzac, maître d'ouvrage
- Le Bureau des Recherches Géologiques et Minières, maître d'œuvre pour la partie géologique et le forage.
- Le Cabinet M. Clayer, Ingénieur Conseil, maître d'œuvre pour la partie centrale de production et le réseau de surface.
- La Direction Départementale de l'Équipement, maître d'œuvre pour la mise en place de l'usine d'incinération et conducteur d'opération pour l'ensemble des travaux.

### 2<sup>e</sup> forage géothermique G.J.N.C.2

Une technique très similaire a été employée pour ce second forage.

#### Les différents intervenants dans le projet

Le second forage a également été effectué pour le compte de la ville de Jonzac par la société COFOR à l'aide d'un appareil MR7000, la maîtrise d'œuvre ayant été assurée par GEOTHERMA.

La surveillance géologique et technique des travaux a été réalisée quant à elle, par la société GEOSERVICES.

#### Le matériel :

##### Appareil :

- type : MR 7000
- capacité : 140 tonnes
- puissance : 2X475CV

##### Pompe :

- 2 pompes GARDNER – DENVER de type TRIPLEX PZ9 7" X 9"

### Les caractéristiques du forage

- Débit d'eau : entre 50 et 55 m<sup>3</sup>/heure
- Température de l'eau : entre 60°C et 65°C
- Puissance du forage : 1 300 KiloWatts
- La pompe de forage s'enfonce à 240 mètres dans le sol
- Profondeur du forage géothermique : 1 840 mètres

Pour chauffer le complexe aqualudique des Antilles de Jonzac, l'énergie calorifique de l'eau géothermique est récupérée par l'intermédiaire d'un échangeur à plaques et d'une pompe à chaleur de type eau-eau.



Remontée du train de tige



Différentes tailles et diamètres de tricônes

### Conclusion

En vingt ans, et grâce entre autre à l'exploitation des énergies renouvelables, la ville de Jonzac s'est beaucoup transformée. Le forage G.J.N.C.1 en a été le point de départ. En effet, du forage, a découlé, un réseau de chaleur, la création des thermes, la base de loisirs, le complexe aqualudique des Antilles de Jonzac, le casino, la maison des énergies, les résidences hôtelières...

De l'exploitation de ces deux sources d'énergie renouvelables (le bois et la géothermie), la ville de Jonzac tire de nombreux bénéfices :

#### Des bénéfices socio-économiques

- Pour la ville de Jonzac, une facture énergétique à la baisse.
- Pour les abonnés du chauffage urbain, une source énergétique économe et indifférente aux fluctuations des cours du pétrole.

- Environ 200 emplois dérivés des activités liés aux forages géothermiques et à l'installation des deux chaudières bois ainsi que tous les emplois indirects dans le secteur du tourisme (hébergements, restauration, prestataires de services) et du commerce de proximité.

#### Des bénéfices environnementaux

En substituant l'utilisation des énergies fossiles (principalement fioul) par la géothermie (3 millions de litres) et la biomasse (4 millions de litres), ce sont près de 7 millions de litres de fioul qui ne sont pas brûlés chaque année à Jonzac. La combustion de ces 7 millions de litres de fioul générerait l'équivalent de 9 000 tonnes de CO<sub>2</sub> rejetées dans l'atmosphère chaque année.

>> Par Dominique Tournaye, CFG Services  
d.tournaye@cfg.brgm.fr

# La géothermie en Chine Les actions entreprises par CFG Services

## 1 > Le problème de la pollution en Chine

La réduction de la pollution en Chine est un enjeu majeur. La Chine est le 2<sup>e</sup> pays émetteur de gaz à effet de serre derrière les USA, avec 14 % des émissions mondiales. Signataire du protocole de Kyoto, elle n'est pas tenue par des objectifs de réduction de ses émissions car considérée comme pays en développement. L'économie chinoise est actuellement une locomotive qui tire 70 % de son énergie du charbon, et les maladies respiratoires sont la 1<sup>re</sup> cause de mortalité (parmi les 10 villes les plus polluées au monde, 5 sont chinoises).

Dans la perspective des **JO de 2008**, et suivant en cela les directives du **11<sup>e</sup> plan quinquennal (2006-2010)** en ce qui concerne les ENR, la municipalité de Pékin met en place une vaste restructuration de son système de chauffage urbain, avec la promotion du gaz naturel et de la géothermie en substitution au charbon.

## 2 > La géothermie en Chine

### Les ressources

Les ressources géothermiques de la Chine sont abondantes et distribuées sur l'ensemble du territoire. Environ 250 prospectes Haute Température ont été reconnus, en particulier au Tibet, dans les provinces du Sichuan et du Yunnan et à Taïwan. Le potentiel national pour la production d'électricité est estimé entre 2 000 et 10 000 MWe selon différentes sources.

Les prospectes basse et moyenne température sont encore plus nombreux et distribués à travers tout le pays. Les provinces côtières du SE et les régions situées au NE et SE de Pékin possèdent des ressources liées à des circulations profondes. On recense aussi 9 bassins sédimentaires possédant des aquifères dont la température varie de 40 à 100°C. Ce type de ressources se retrouve sous Pékin et Tianjin.

### Les utilisations à fin 2004 (source : Proceedings WGC 2005, Antalya)

Actuellement la capacité de production électrique d'origine géothermique en Chine n'est que de 29 MWe (dont 18 en état de produire). La plupart des centrales sont situées au Tibet : Yangbajain (24 MW), Langjiu (2 MW), Nagqu (1,3 MW). Elles fournissent une part importante de l'électricité consommée à Lhasa. Deux autres petites centrales ont été installées au Guangdong (0,3 MWe) et au Hunan (0,3 MWe).

Les ressources basse et moyenne température sont largement utilisées pour des usages directs. En 2004, ils se répartissaient ainsi :

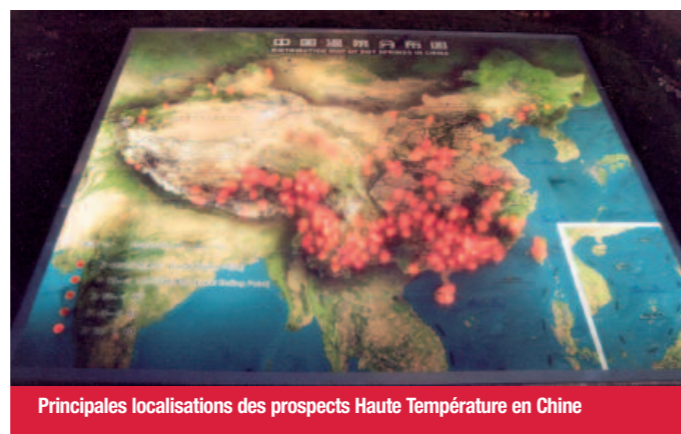
- le chauffage résidentiel (12,7 millions de m<sup>2</sup>, dont 9,2 pour la seule ville de Tianjin)
- l'agriculture (1,33 millions de m<sup>2</sup> de serres, notamment dans le Hubei)
- la pisciculture (4,45 millions de m<sup>2</sup> de bassins répartis sur 300 sites (Hubei, Guangdong et Fujian principalement)
- la balnéothérapie (1600 spas) et de très nombreuses installations individuelles.

La puissance thermique en 2004 était de 3 687 MW, avec une production estimée à 11 000 GWh, plaçant la Chine au 1<sup>er</sup> rang des pays utilisant la géothermie pour des usages directs.

## 3 > Les actions entreprises par CFG Services. Perspectives

### Le projet de chauffage urbain de Yanqing (ville située à 60 km au NO de Pékin)

Un protocole d'accord a été signé en décembre 2004 entre CFG Services d'une part et la « Beijing Tianyin Geothermal Development Cie » d'au-



tre part. Cette société a déjà réalisé des opérations sur Pékin et a été retenue par Yanqing et la municipalité de Pékin (Yanqing est un district du Grand Pékin) pour développer au maximum le recours à la géothermie en substitution au charbon. Après la faisabilité (pour laquelle la contribution de CFG Services a reçu le soutien de l'ADEME), l'accord prévoit la réalisation en commun du projet, dont une 1<sup>re</sup> phase de 1 000 000 m<sup>2</sup> doit être achevée avant les JO de 2008. A terme ce sont plus de 3 000 000 m<sup>2</sup> qui seront chauffés par géothermie, permettant de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 60 000 t/an (1<sup>re</sup> phase), puis de 180 000 t/an (programme global). Ces chiffres peuvent être rapprochés des 340 000 t de CO<sub>2</sub> économisés par an actuellement sur les opérations du bassin parisien.

5 forages sont déjà exploités à Yanqing, au sein d'un graben orienté NE-SO de 100 km de long et de 20 km de large. Les températures sont de l'ordre de 70°C en tête de puits.

L'expérience française intéresse particulièrement la Chine car les 25 années de recul sur l'exploitation du Dogger du bassin parisien sont une source unique d'informations techniques pour l'étude de la ressource, sa valorisation, la maîtrise des phénomènes de corrosion-dépôts, et la maîtrise sur le long terme de l'exploitation du réservoir avec réinjection. **La réinjection est une donnée nouvelle pour les chinois** : à fin 2002, 200 puits géothermiques avaient été forés

sur ce qu'on appelle « le Grand Pékin ». Mais l'exploitation sans réinjection s'est traduite par une chute de pression de 5,5 bar, conduisant à l'abandon de près d'une centaine d'ouvrages pour cause de rabattement trop important.

**Tous les nouveaux projets sont maintenant conçus obligatoirement en doublets pour assurer la pérennité des exploitations et de la ressource.**

Entre 7 et 10 doublets seront réalisés à Yanqing en 1<sup>re</sup> phase, et entre 20 et 30 sur l'ensemble du programme (l'optimisation sera réalisée étape par étape, selon la productivité des ouvrages et les simulations de l'exploitation de l'aquifère, avec l'appui prévu de l'Ecole des Mines de Paris).

D'un point de vue économique, la compétitivité de la géothermie se heurte au faible coût du chauffage charbon actuel, largement subventionné par l'Etat. Ainsi à Yanqing les habitants ne paient que 16,5 yuan/an/m<sup>2</sup> (soit 1,65 €/an/m<sup>2</sup>) pour leur chauffage charbon (le chiffre est de 30 yuan/an/m<sup>2</sup> pour Pékin).

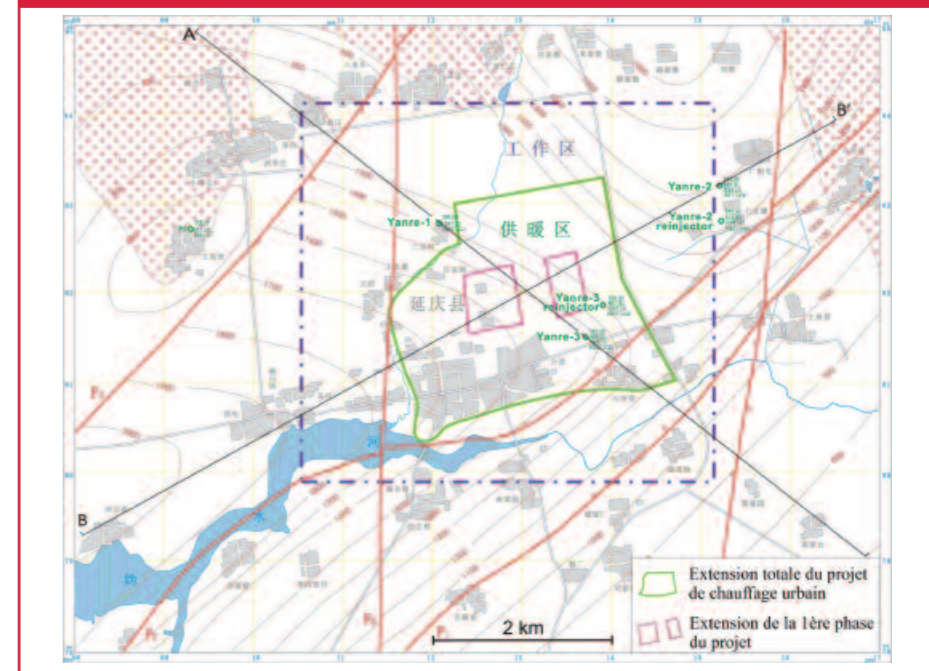
Le montage financier des opérations géothermiques doit donc s'accompagner d'une recherche équilibrée de soutien à la géothermie et à la valorisation du CO<sub>2</sub> évité. Un niveau d'aide comparable à ce qui est pratiqué en France (extensions de réseaux géothermiques), c'est-à-dire 600 €/t de carbone évité, permettrait d'assurer l'économie de la géothermie par rapport au charbon subventionné.

### Projets de production d'électricité géothermique dans les provinces du Sichuan et du Yunnan (au SO de la Chine, et à l'Est du Tibet).

CFG Services a réalisé une mission dans ces provinces en mai 2006, avec l'aide d'un financement AFD/FFEM<sup>(1)</sup>.

Des accords ont été passés avec les autorités provinciales pour entreprendre en commun une étude de faisabilité sur un prospect par province, choisi

**YANQING : Délimitation de la zone concernée par le projet de chauffage urbain par géothermie. En rouge, la 1<sup>re</sup> phase. En vert, l'extension globale (3 000 000 m<sup>2</sup>). Les 5 forages existants sont indiqués sur la figure (Yanre1, 2 et 3 ; 2 et 3 étant des doublets).**



en fonction de son potentiel prévisionnel mais aussi des perspectives favorables pour son développement, comme : accessibilité, proximité des centres de consommation et/ou des lignes HT permettant l'évacuation de l'énergie produite vers l'Est du pays. En effet les provinces du Sichuan et du Yunnan produisent actuellement une large part de leur électricité grâce aux ressources hydrauliques (40 % hydro et 60 % charbon au Sichuan ; 90 % hydro et 10 % charbon au Yunnan), à un coût annoncé inférieur à 4 € cents/kwh. Dans la reconfiguration du mix énergétique chinois, ces provinces doivent développer au maximum l'hydraulique et la géothermie pour alimenter les réseaux HT du projet titanesque « Transporter l'énergie d'Ouest en Est », via le couloir central pour le Sichuan et via le couloir Sud pour le Yunnan. Ceci réduira d'autant ce qui est produit actuellement par des centrales

thermiques au charbon dans les provinces de l'Est de la Chine, en plein boom économique mais très largement déficitaires en ressources énergétiques.

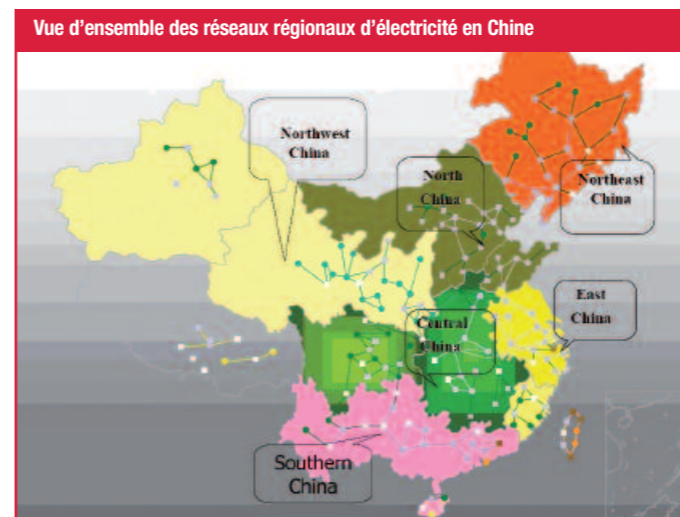
## 4 > Perspectives et réflexions

L'expérience acquise en France métropolitaine (chauffage urbain), dans les DOM en Guadeloupe et à l'export en Indonésie (production d'électricité), peut être valorisée en Chine sur les sujets évoqués précédemment. Elle contribuerait à accélérer le développement des projets et par là-même la production d'énergie propre contribuant de façon significative à la réduction de la pollution et des émissions de gaz à effet de serre.

Plus généralement, l'exportation de biens et services d'origine France est envisageable pour les 2 filières, chauffage urbain et production électrique, depuis les études préalables (identification de projets) jusqu'à la réalisation et l'exploitation. Le savoir faire français sur le Dogger du bassin parisien est reconnu internationalement. Les expériences réussies en matière de génération électrique existent et la prise de conscience mondiale en faveur des ENR pourrait inciter les industriels du secteur à (re)prendre une place sur ce marché.

Il reste que face à la concurrence et à un marché difficile, l'attractivité de l'offre française sera jugée globalement, depuis l'aide aux études, les modalités de financement et/ou cofinancement des projets, et bien sûr la qualité des propositions et des intervenants. ■

(1) AFD : Agence Française de Développement / FFEM : Fonds Français pour l'Environnement Mondial



# Les métiers de la géothermie

## Ingénieur de forage

>> Par Jean Yves Hervé, BRGM  
jy.herve@brgm.fr

L'accès aux ressources géothermales nécessite souvent la réalisation de forages pouvant atteindre des profondeurs de plus de mille mètres (il faut par exemple forer en moyenne à 1 800 mètres pour accéder à la nappe du Dogger dans le Bassin Parisien), voire à très grande profondeur (aux alentours de 5 000 mètres dans le cas du projet EGS de Soultz-sous-Forêts).

Les ingénieurs de forage chargés de réaliser des opérations de géothermie profonde se sont tout naturellement dirigés vers les technologies et les moyens utilisés par l'industrie du pétrole : entreprises et machines de forage, outils, produits et matériaux, sociétés de services spécialisées, etc... Néanmoins, la réalisation des forages géothermiques présente des particularités que les ingénieurs ont du prendre en compte dans leur activité. On citera ci-après, sans être exhaustif :

- Les débits d'exhaure des ouvrages géothermiques sont très largement supérieurs aux débits généralement exploités dans les forages pétroliers. Afin de limiter les pertes de charge qui pourraient s'avérer coûteuse en production, il faut, en géothermie, réaliser des ouvrages dans des diamètres beaucoup plus importants que ceux généralement considérés comme suffisants pour la production pétrolière à même profondeur. En ce qui concerne tout particulièrement les forages de production, il faut disposer, dans les 200 premiers mètres de l'ouvrage, d'une chambre de pompage d'un diamètre suffisant pour accueillir les pompes immergées susceptibles de fournir les débits d'exhaure attendus.
- Les fluides exploités en géothermie s'avèrent d'autre part singulièrement plus agressifs que la plupart des produits pétroliers aux propriétés le plus souvent autolubrifiantes. Il faut donc protéger autant que possible les ouvrages pour éviter leur détérioration. La corrosion des tubages a longtemps été un problème et malgré les progrès importants faits dans ce domaine (choix des matériaux, méthodes de traitement), la

corrosion continue à être un des éléments majeurs déterminant la durée de vie des ouvrages. La réflexion se poursuit afin d'apporter des réponses toujours plus efficaces à ce phénomène.

- Les chantiers sont très souvent réalisés en milieu urbain. Outre les problèmes d'accès – trouver l'espace nécessaire, faire pénétrer le matériel et installer un chantier de forage de type pétrolier en pleine ville peut parfois s'avérer une gageure – de multiples contraintes deviennent sensiblement plus aiguës lorsque les chantiers sont réalisés en zone habitée : la sécurité doit tenir compte de l'environnement urbain, les rejets doivent être strictement contrôlés, les dégagements d'odeurs (H<sub>2</sub>S notamment) et les nuisances sonores doivent être pris en compte. Les chantiers tournent en effet 24 heures sur 24, week-end et jours fériés inclus. Il a donc fallu mettre en place des procédures pour réduire le bruit provenant des activités des chantiers et limiter autant que possible la gêne pour les riverains : capotages des moteurs, insonorisation et matelassage de certains matériels, choix des horaires lors d'opérations particulièrement bruyantes. Il a fallu également mettre en œuvre ou développer des technologies particulières pour éviter les nuisances liées aux effluents : traitement in situ des boues de forage, stockage pour refroidissement et traitement des eaux d'essais, contrôle et surveillance des émissions d'H<sub>2</sub>S.
- Enfin, contrairement aux pétroliers, les terrains à traverser ne se limitent pas aux seuls bassins sédimentaires. Si, comme son homologue pétrolier, l'ingénieur de forage doit pouvoir forer au travers des terrains sédimentaires (cas classique de la géothermie basse énergie en Bassin Parisien), il doit pouvoir tout aussi bien faire face à des terrains volcaniques variés (ce qui est le cas quasi systématiquement en géo-



Forage géothermique, une manœuvre sur le train de tige, Fontainebleau

Copyright : © BRGM

thermie haute énergie) ou à des roches granitiques du socle (c'est le cas de la géothermie EGS à Soultz-sous-Forêts). Dans chaque type de terrain, il lui faut adapter les technologies et les outils dont il dispose pour répondre au mieux aux objectifs qui lui sont désignés par les responsables du projet et assurer la réalisation des ouvrages demandés.

Afin de minimiser les coûts d'investissement toujours importants que représentent les travaux de forage, les ingénieurs ont cherché à optimiser autant que possible certaines spécificités du forage géothermique. Ce travail a permis en particulier de réduire les délais et les coûts de réalisation des ouvrages lors des développements de champ. Un travail important a été progressivement mené pour adapter et sécuriser au mieux les différentes phases de forage. Cela a en particulier concerné le choix des types de tricones les mieux adaptés en fonction des terrains et des phases de forage, la précision des programmes de déviation, les enchaînements des séquences des différentes phases de travaux, l'organisation des approvisionnements, le suivi et le contrôle des chantiers. Les deux exemples ci-après illustrent ces actions d'optimisation :

- Optimisation des programmes de déviation : le rejet dans l'aquifère de l'eau géothermale refroidie après son passage dans les échangeurs implique de conserver une distance suffisante

entre le point de prélèvement et le point de réinjection pour éviter des interactions thermiques. La technique du doublet, un forage de production et un forage de réinjection, forés le plus souvent à partir d'une même plateforme, impose de réaliser des puits déviés afin d'obtenir un écart suffisant entre les deux puits au toit du réservoir. Dans le Dogger du Bassin Parisien, cette distance calculée par les hydrodynamiciens peut atteindre plus de 1 000 mètres pour une profondeur verticale de 1 600 mètres, alors qu'en surface les puits ne sont séparés que par une trentaine de mètres, ce qui conduit à des inclinaisons généralement comprises entre 30° et 60°. D'autre part la multiplication des projets dans une zone donnée implique de conserver des trajectoires strictement déterminées pour éviter les interférences avec des doublets voisins. L'ingénieur de forage a donc cherché à optimiser au mieux les programmes de déviation afin d'atteindre les cibles préalablement fixées par les hydrodynamiciens, tout en limitant autant que possible des corrections de trajectoire coûteuses et consommatrices de temps. Grâce à l'expérience, à une connaissance de plus en plus précise des terrains traversés, à l'analyse des caractéristiques mécaniques des roches, à la prise en compte des réactions anisotropiques de certaines formations, il est devenu possible de prévoir des programmes de déviation permettant d'atteindre les cibles visées avec une excellente précision et un minimum de corrections.

- Détermination et optimisation des programmes d'essais des puits, du matériel nécessaire et des mesures de contrôles spécifiques pour les cimentations, les tubages et les essais de réservoir. On citera entre autre le développement d'outils de diagraphies spécifiques pour mesurer et évaluer l'épaisseur ou l'état des tubages (multi-caliper), la mise au point de technique de stimulation des aquifères perméables profonds, ou encore l'élaboration d'unités de refroidissement et de traitement des eaux géothermales permettant leur rejet sans inconvénient dans les réseaux urbains.

Au sein du BRGM puis de CFG Services, les ingénieurs de forage ont ainsi participé, en reconnaissance ou en développement de champs, à la réalisation de dizaines d'ouvrages en France et dans le monde, forant des centaines de kilomètres de roches dans les terrains les plus variés, et développant un savoir faire et une technologie adaptée à la réalisation de tout type de forages géothermiques.

Ils participent également à la réalisation des mesures de contrôle des puits en activité, à l'entretien, au nettoyage ou à la restauration de puits anciens, ainsi qu'à la mise en œuvre des procédures de fermeture et d'abandon de ceux dont l'exploitation n'est pas poursuivie. Enfin, l'ingénieur de forage joue un rôle important sur les aspects sécurité du chantier en état garant de l'application des consignes de sécurité émises par l'entreprise de forage, de la sécurité environnementale du chantier ainsi que de la bonne application des règles de l'art. ■

Forage géothermique, une manœuvre sur le train de tige, La Villette, Paris



### >> Avril 2007 : Nouvelle norme AFNOR sur les forages d'eau et de géothermie

La norme FD X10-999 "Forage d'eau et de géothermie - Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages" vient d'être publiée par l'AFNOR en avril 2007. Elle est complétée par la norme NF X10-980 qui concerne les démarches administratives.

Un guide d'utilisation des ouvrages d'exploitation et de surveillance des eaux souterraines accompagne le texte, de même qu'un fascicule sur les démarches administratives à accomplir. La norme est applicable à tous les types d'ouvrages de reconnaissance, de surveillance et d'exploitation (captage ou réinjection) des eaux souterraines, ainsi qu'aux captages thermiques verticaux. Elle est destinée aux maîtres d'ouvrage publics ou privés, maîtres d'œuvre, bureaux d'études, hydrogéologues, foreurs, fournisseurs de matériel et d'équipement de forages ainsi qu'aux associations de consommateurs.

Pour consulter la notice détaillée, la commander : Boutique Afnor, <http://www.boutique.afnor.org/BGR1AccueilGroupe.aspx>  
La norme est au prix de : 21,20 HT en version papier ou électronique (format PDF)

### >> Évolution du marché des pompes à chaleur dans le résidentiel de 2002 à 2006

En 2006, la vente de pompes à chaleur aérothermiques et géothermiques s'est élevée à 53 000, ce qui fait de la France le deuxième marché européen derrière la Suède, mais devant la Suisse, l'Allemagne et l'Autriche, pays dans lesquels ces technologies se sont pourtant développées plus tôt. Les ventes de pompes à chaleur géothermiques ont progressé de près de 40% en un an, passant de 13 200 en 2005 à 18 450 en 2006.

Deux facteurs contribuent en particulier au décollage de ce marché :

- Le crédit d'impôt de 50% sur l'équipement associé au coût toujours élevé des énergies fossiles
- Une demande croissante des consommateurs de plus en plus sensibilisés aux problématiques liées à l'environnement

Pompes à Chaleur géothermiques

	2002	2003	2004	2005	2006
Détente Directe	4 500	5 400	6 800	7 800	9 600
Eau glycolée/Eau - Eau/Eau	3 200	3 600	4 900	5 400	8 850
<b>Total</b>	<b>7 700</b>	<b>9 000</b>	<b>11 700</b>	<b>13 200</b>	<b>18 450</b>

Si elle conserve ce rythme de croissance, la France deviendra vite le premier marché européen. En effet, alors que la PPI chaleur de 2006 prévoit pour les PAC l'installation de 100 000 machines par an, si le marché connaît une croissance équivalente dans les prochaines années, la production devrait dépasser ces objectifs et atteindre le chiffre de 150 000 par an.

Contact : AFPAC, Association Française pour les Pompes à Chaleur ([www.afpac.org](http://www.afpac.org))

## >> L'AFPAC lance la charte Qualité PAC

A l'instar des filières solaire thermique (Qualisol) et bois énergie (Qualibois) et alors que le marché des pompes à chaleur se développe très rapidement, l'AFPAC (Association Française pour les pompes à chaleur), soutenue par l'ADEME, engage la filière des pompes à chaleur dans une démarche qualité. Elle concerne aussi bien les matériels que les installateurs.

En effet, la démarche Qualité PAC comporte deux volets :

- **la marque NF PAC pour le matériel, qui veut garantir un niveau de qualité et de performance pour les pompes à chaleur : celle-ci comporte trois exigences et certifie**

- un COP (coefficient de performance) minimal de 3,3
- la puissance thermique récupérée au condenseur,
- le niveau de puissance acoustique.

- **la charte Qualité PAC pour l'installation, qui vise à mettre en avant et à garantir les compétences professionnelles des installateurs. QualiPAC repose sur trois supports qui font l'objet de la Charte QualiPAC :**

- la formation : elle est assurée par 5 centres de formation technique (mise à disposition depuis le 5 avril dernier) et est validée par une épreuve finale,
- le respect de la charte Qualité PAC, qui comporte 10 points sur le service au client, le service après vente et la mise en service notamment,
- les contrôles aléatoires sur le terrain, assurés par l'APAVE.

Cette démarche vise à fixer un cadre qualitatif permettant de promouvoir à la fois les produits et les professionnels. Elle ne revêt toutefois aucun caractère obligatoire, il s'agit d'une démarche volontaire tant pour les fabricants que pour les installateurs. Elle vise notamment à permettre aux consommateurs de comparer les produits sur des critères objectifs.

### Pour appliquer cela et le surveiller, l'AFPAC donne naissance à deux organismes :

- un Comité d'application de la Charte regroupant des professionnels membres de l'AFPAC et des représentants des consommateurs, dans le but notamment d'arbitrer les conflits entre usagers et installateurs,
- un organisme de gestion de la qualité, Gestion PAC en charge d'assurer le suivi et la gestion des composantes de la démarche Qualité.

Enfin, l'AFPAC remettra à chaque installateur QualiPAC un kit de moyens et guides techniques et promotionnels pour faciliter le travail des installateurs.

Contact : AFPAC, Association Française pour les Pompes à Chaleur ([www.afpac.org](http://www.afpac.org))

## ÉCO-BUILDING PERFORMANCE

Salon international de la performance énergétique et environnementale des bâtiments et des territoires.

> 18-20 septembre 2007

<http://www.ecobuilding-performance.com>

## GEOHERMAL RESOURCES COUNCIL

Annual Meeting

> 30 septembre - 1<sup>er</sup> octobre - John Ascuaga's Nugget Resort, Sparks, NV

Geothermal Resources Council: [grc@geothermal.org](mailto:grc@geothermal.org)

## FIRST EUROPEAN GEOTHERMAL REVIEW : GEOTHERMAL ENERGY

electric power production

> 29 - 31 octobre - Mainz, Allemagne

BESTEC GmbH : [review@bestec-for-nature.com](mailto:review@bestec-for-nature.com)

## BATIMAT 2007

> 5 - 10 novembre - Paris

<http://www.batimat.com/>

## POLLUTEC HORIZON 2007

> 27 - 30 novembre - Paris Nord Villepinte

Reed Exposition France : <http://www.pollutec.com/>

### S I T E I N T E R N E T

#### CLIMAMAISON.COM « LE GUIDE DU CONFORT THERMIQUE » <http://www.climamaison.com>

Le portail dédié aux professionnels du chauffage et du confort thermique XPAIR.COM ouvre un nouvel espace entièrement dédié au particulier : CLIMAMAISON.COM. Ce portail se présente comme un guide du confort thermique à destination du grand public. Les dossiers majeurs sont développés avec une approche simple, auxquels les énergies renouvelables n'échappent pas. Comme le chauffage bois, le solaire, la pompe à chaleur, etc... Chaque mois, un thème est « mis à l'honneur » sur la page d'accueil. Par exemple, Février est le mois consacré au dossier sur « la géothermie », Mars à « la pompe à chaleur » etc... En parallèle, chaque thème est commenté tous les mois en fonction de l'actualité par 3 intervenants dont un journaliste, un consultant et un expert. L'internaute peut s'abonner gratuitement en quelques clics aux sujets qui l'intéressent et qu'il sélectionne au fur et à mesure de leurs parutions : NEWSLETTERS thématiques, CHRONIQUES des consultants,... Il peut déposer son projet de chauffage dans la rubrique « J'AI UN PROJET » et contacter un ou des installateurs qualifiés faisant partie de réseaux professionnels.

### Vous souhaitez réagir à nos articles,

vous voulez annoncer des événements en rapport avec la géothermie, vous avez des informations ou vous souhaitez écrire un article,

contactez G. Delobelle

BRGM/Département Géothermie - BP 6009 - 45060 Orléans cedex 2

e-mail : [geothermie-citeg@brgm.fr](mailto:geothermie-citeg@brgm.fr)

DIRECTEUR DE PUBLICATION : Philippe Laplaige ADEME

RÉDACTEUR EN CHEF : Marie Laure Falque Masset, ARENE Ile-de-France

COMITÉ DE RÉDACTION : Fabrice Boissier / BRGM - A. Desplan / BRGM -

F. Sovignet / DRIRE Ile-de-France - D. Lenoir / Président de l'AGéMO -

N. Bommensatt / ADEME Ile-de-France - M. Amjahdi / ADEME Ile-de-France

ÉDITION - RÉALISATION : CONNEXTÉS - 02 38 55 32 70

Diffusion BRGM/DÉPARTEMENT GTH

ADRESSE BRGM

3, Avenue Claude-Guillemain - B.P. 36009 - 45060 Orléans CEDEX 2