



HAL
open science

ImPAC Lyon : évaluer l'impact environnemental et thermique de l'exploitation des aquifères superficiels pour la climatisation

Sophie Bezelgues-Courtade, Pierre Durst, Frédéric Garnier, Ioannis Ignatiadis

► **To cite this version:**

Sophie Bezelgues-Courtade, Pierre Durst, Frédéric Garnier, Ioannis Ignatiadis. ImPAC Lyon : évaluer l'impact environnemental et thermique de l'exploitation des aquifères superficiels pour la climatisation. Géosciences, 2013, 16, pp.64-69. hal-01061109

HAL Id: hal-01061109

<https://brgm.hal.science/hal-01061109>

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.



ImPAC Lyon : évaluer l'impact environnemental et thermique de l'exploitation des aquifères superficiels pour la climatisation

Face au fort développement de la géothermie de très basse énergie, des questions sont posées quant à son influence sur l'intégrité des aquifères exploités. La présente étude a eu pour objectif d'appréhender les incidences thermiques, physico-chimiques et microbiologiques d'une exploitation de très basse énergie, destinée à la climatisation, sur l'aquifère des alluvions du Rhône, à Lyon. Il s'agit d'une étude expérimentale qui repose sur un volet d'observations *in situ* et sur un ensemble de simulations en laboratoire.

Implantation d'un piézomètre d'observation devant la Maison de la Danse, Lyon.

An observation piezometer being installed in front of the "Maison de la Danse", Lyon. © BRGM.



Sophie Bézèlgués-Courtade

HYDROGÉOLOGUE
BRGM, DIVISION GÉOTHERMIE
s.bezelgues@brgm.fr



Pierre Durst

HYDROGÉOLOGUE
BRGM, DIVISION GÉOTHERMIE
p.durst@brgm.fr



Frédéric Garnier

MICROBIOLOGISTE
BRGM, DIVISION GÉOTHERMIE
f.garnier@brgm.fr



Ioannis Ignatiadis

MICROBIOLOGISTE
BRGM, DIRECTION EAU,
ENVIRONNEMENT ET ECOTECHNOLOGIES
i.ignatiadis@brgm.fr

En Europe, nombre de grandes agglomérations sont implantées sur de larges vallées alluviales aux caractéristiques hydrauliques intéressantes, sur lesquelles les installations géothermiques à usage de chauffage et de climatisation se multiplient de façon intensive, contribuant ainsi à la transition énergétique vers des énergies renouvelables. Néanmoins, les impacts environnementaux dus aux modifications thermiques liées au développement de ces installations géothermiques sont insuffisamment connus faute d'expérience en termes de caractérisation et de compréhension des mécanismes hydrogéologiques, géochimiques et microbiologiques associés. En particulier, s'il permet de s'affranchir des nuisances engendrées par les systèmes aérothermiques (bruit, rejet d'air chaud, risque de légionelles...) et propose un meilleur rendement énergétique, le développement des systèmes de climatisation sur aquifère est susceptible de provoquer le réchauffement des eaux souterraines. Les effets de ce réchauffement sur la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux doivent être évalués afin d'être pris en compte lors de

“ Le développement des systèmes de climatisation sur aquifère est susceptible de provoquer le réchauffement des eaux souterraines. ”



l'élaboration de règles de gestion de la ressource en eau souterraine et de la ressource énergétique du sous-sol.

Les agglomérations, comme celles de Paris, Strasbourg, Toulouse et Lyon, sont confrontées au développement des climatisations sur nappes d'eau souterraines. Cela est d'autant plus vrai pour ces deux dernières, où l'utilisation de la nappe pour le chauffage urbain, très peu développée, ne saurait compenser le réchauffement induit par la climatisation. Elles sont des cibles d'études privilégiées des phénomènes physiques, chimiques et microbiologiques induits dans les aquifères superficiels en contexte de développement de leur exploitation thermique. La ville de Lyon, en particulier, s'intéresse aux moyens de gestion pérenne de la ressource que constituent les eaux de nappe et pose la question des éventuels risques sanitaires susceptibles d'être induits par leur exploitation.

En effet, la nappe superficielle des alluvions du Rhône, au droit de l'agglomération lyonnaise, est l'objet depuis les années 1960 d'une exploitation géothermique qui s'est fortement développée depuis les années 1990. À partir de 2000, les premières interrogations concernant l'augmentation de la température de l'eau émergent suite à l'apparition de dysfonctionnements et de conflits d'usages : certaines installations montrent une hausse de la température des eaux pompées, une installation municipale est perturbée par un fort développement de bactéries filamenteuses, etc.

Des variations saisonnières de température ont été mises en évidence, avec des amplitudes de 1 à 2 °C, les secteurs à proximité du Rhône indiquant des températures globalement plus élevées (autour de 17 °C, jusqu'à environ 20 °C) que sur les secteurs est ou nord (entre 15 et 16 °C). En fin de saison de climatisation, des températures atteignant 30 °C sont relevées ponctuellement [(Murzilli et Galia (2010)].

Le projet ImpAC Lyon : une première évaluation de l'impact d'une exploitation

Le projet ImpAC Lyon, cofinancé par l'ADEME sur la période 2010-2011, a permis d'évaluer les impacts des variations de températures liées à l'exploitation géothermique des aquifères (à usage de climatisation) sur la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines [Bézelgues (2011) ; Durst *et al.* (2012)]. Les paramètres recherchés étaient : les teneurs en éléments majeurs et traces ; les teneurs en micropolluants organiques ; l'abondance, la diversité et l'activité de la

microflore non pathogène ; l'abondance de la microflore pathogène.

Le projet comprend des travaux expérimentaux réalisés *in situ* et en laboratoire.

Volet *in situ*

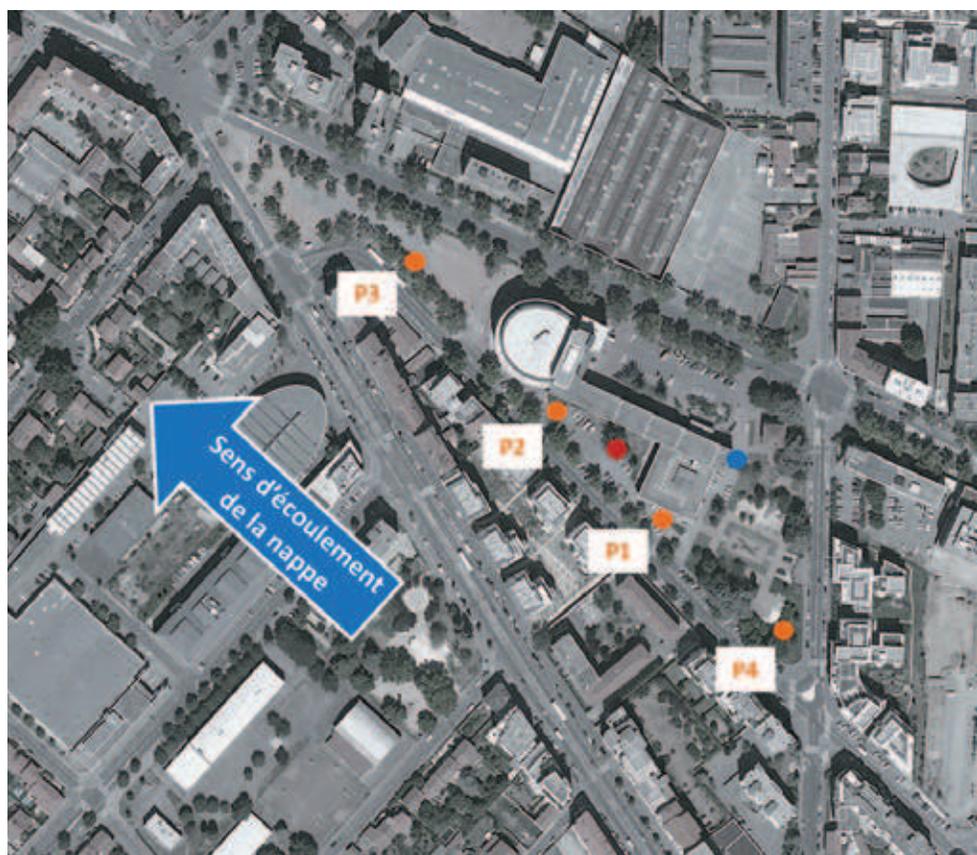
Après une première phase (en 2010) de sélection et d'équipement d'un site expérimental, l'action a été centrée sur l'acquisition de données et sur leur interprétation.

Le site retenu est celui de la mairie du 8^e arrondissement de Lyon. Une installation de géothermie sur nappe y est implantée. Il s'agit d'un doublet de forages fonctionnant uniquement en mode climatisation, à un débit de 40 m³/h pendant la moitié de l'année (mai-octobre). L'équipement du site (*figure 1*) a consisté à implanter quatre piézomètres d'observation de la nappe, répartis entre l'amont et l'aval du doublet, et à les instrumenter, ainsi que les forages de pompage et d'injection, pour un suivi en continu des paramètres physico-chimiques (conductivité, température, oxygène dissous, potentiel redox et niveau d'eau).

Figure 1 : Géométrie du dispositif expérimental *in situ*.

Figure 1: Geometry of the in-situ experimental rig.

Source : Google map.



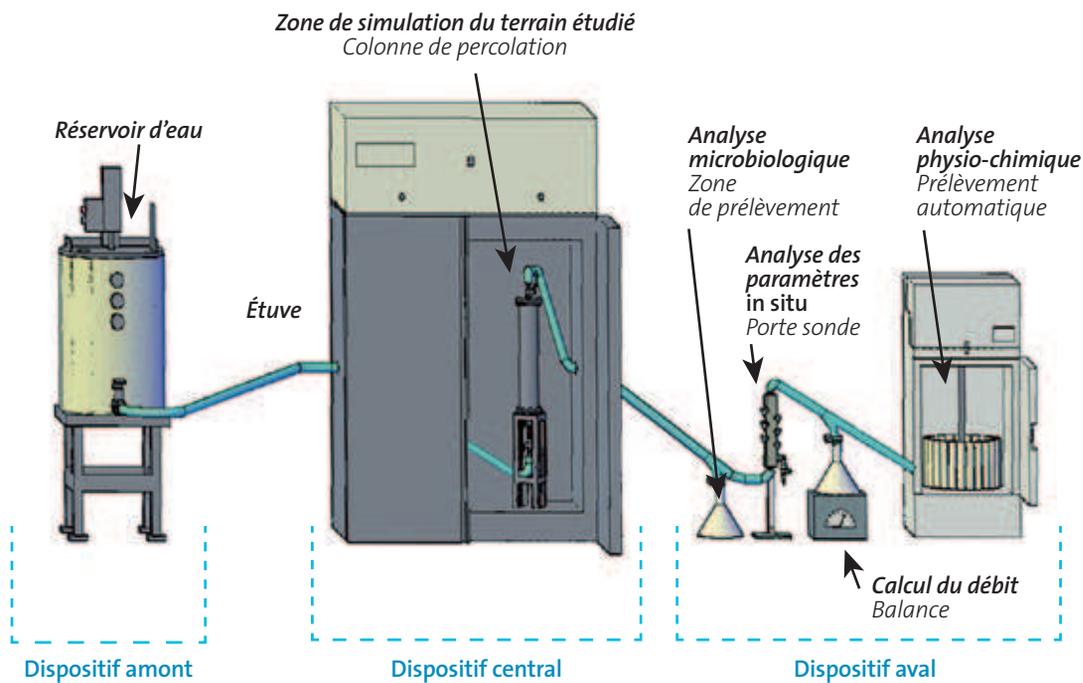


Fig. 2 : Le pilote BIOTHERMEX et son principe de fonctionnement.

Fig. 2: Underlying principle of the BIOTHERMEX pilot rig.

© BRGM (schéma), MEDDE - L. Mignaux (photo).



Les observations ont été complétées par neuf campagnes de prélèvements et d'analyses permettant de caractériser l'évolution des paramètres physico-chimiques (teneurs en éléments majeurs et traces, teneurs en micropolluants organiques) et microbiologiques dans les six points de mesure. L'interprétation des données physicochimiques a été accompagnée d'une modélisation géochimique.

Volet de laboratoire

En parallèle au suivi *in situ*, et dans le cadre de la thèse de F. Garnier [Garnier (2012)], appuyée par le projet BIOTHERMEX⁽¹⁾, un dispositif expérimental a été élaboré (figure 2). Il vise à reproduire, dans des conditions maîtrisées, les fluctuations de température et de qualité d'un fluide induites lors des cycles saisonniers de fonctionnement d'une installation géothermique. L'approche retenue, en condition dynamique (fluide en circulation dans une matrice rocheuse reconstituée), est essentielle, car elle permet d'intégrer les paramètres hydrodynamiques et de se rapprocher au mieux des conditions réelles d'aquifères superficiels [Garnier *et al.* (2011)]. Les fluides utilisés pour les expérimentations sur le pilote sont des eaux souterraines prélevées sur le site expérimental de Lyon ou sur d'autres sites (CTIFL à Balandran dans le Gard et BRGM à Orléans). Les matrices rocheuses de percolation ont été reconstituées à partir de matériaux rocheux issus des mêmes sites.

(1) BIOTHERMEX : évaluation BIOlogique de l'exploitation THERMique d'un aquifère : Expérimentation en laboratoire. Projet de recherche lancé en 2009 par le BRGM, en partenariat avec la région Centre et l'Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO).



Le suivi des paramètres physico-chimiques du site ne fait pas apparaître de perturbations géochimiques significatives.

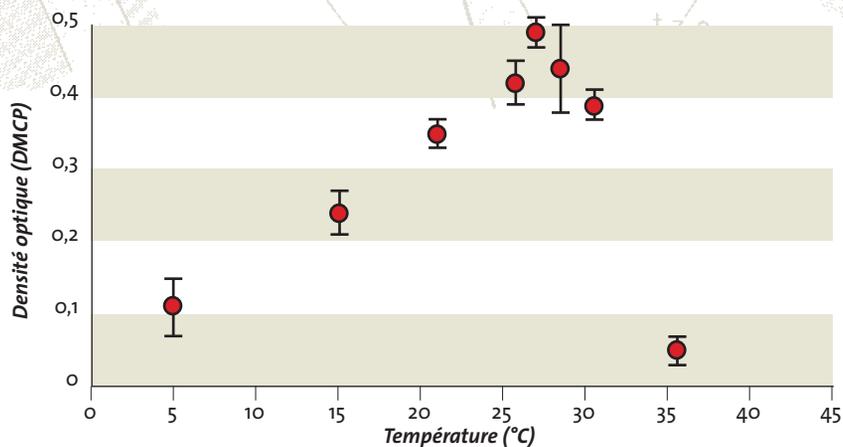
Résultats : un impact essentiellement thermique

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

Les teneurs initiales de l'eau souterraine en polluants organiques, trop faibles, n'ont pas permis d'émettre de conclusion quant à l'influence de la température sur ces composés dans les eaux souterraines. Du point de vue bactériologique, et pour des températures variant de 15 à 25 °C, une influence significative des rejets thermiques a été décelée sur l'ensemble des paramètres microbiologiques étudiés de la microflore non pathogène :

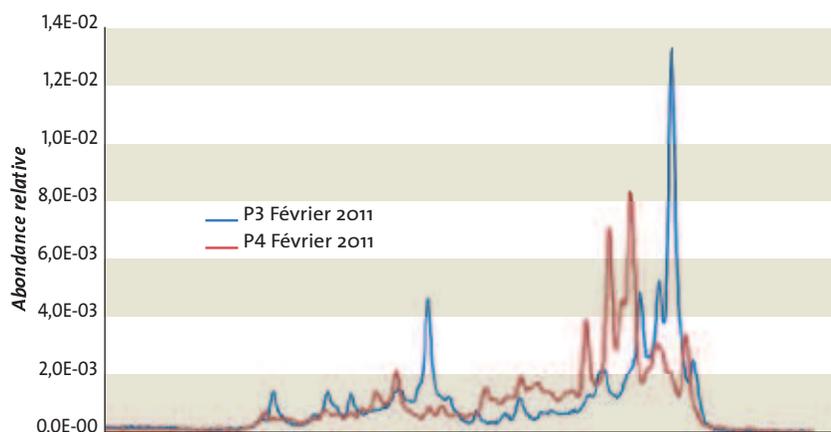
- la concentration bactérienne augmente avec la température ;
- certaines **activités biologiques** sont corrélées à la température :
 - l'activité « **dégradation de la matière organique** » (figure 3) est stimulée pour des températures de 5 à 28 °C et inhibée pour des températures inférieures à 5 °C et supérieures à 28 °C ;
 - l'activité « **dénitrification** » est stimulée pour des températures de 15 à 25 °C, mais reprend les mêmes valeurs qu'à 15 °C, lorsque la température monte à 35 °C ;
- la **diversité biologique** montre une variabilité spatio-temporelle, y compris hors zone d'influence thermique de l'installation (figures 4 et 5).

Globalement, les phénomènes observés sur la base de l'approche déployée dans cette étude indiquent une influence certaine de la température sur la microflore bactérienne autochtone, mais qui ne semble pas entraver le bon fonctionnement de l'écosystème. Une augmentation de température (dans la gamme 16-24 °C) est susceptible de stimuler certaines activités microbiologiques et donc les phénomènes d'atténuation naturelle (autoépuration) en milieu souterrain aquifère. Cependant, tous les types d'activités n'ont pu être étudiés, pas plus que les phénomènes d'adaptation à long terme.



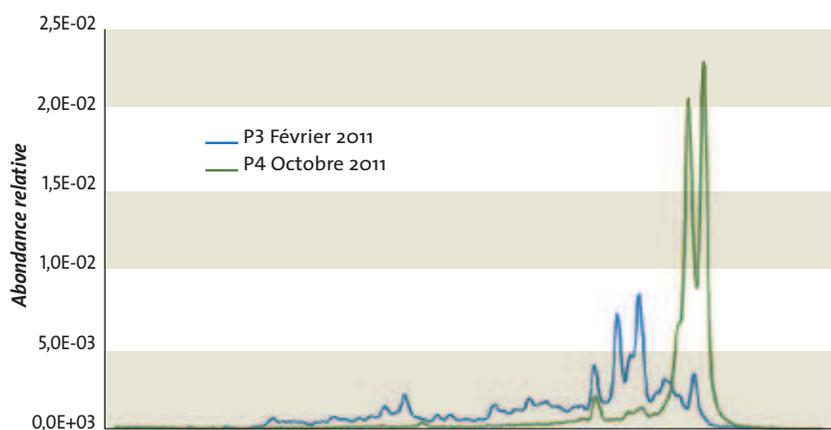
▲ Fig. 3 : Activité métabolique mesurée sur l'eau du site expérimental de Lyon incubée à différentes températures (DMCP = Développement moyen de la coloration ; indicateur de l'activité métabolique).

Fig. 3: Metabolic activity measured on water from the Lyon experimental site incubated at various temperatures (DMCP is the mean development of coloring, an indicator of metabolic activity). © BRGM.



▲ Fig. 4 : Exemple de variabilité spatiale des profils de diversités microbiologiques (obtenus sur des piézomètres non impactés thermiquement par l'installation géothermique : février 2011).

Fig. 4: An example of the spatial variability of the profiles for microbiological diversities (obtained from piezometers not thermally impacted by the geothermal system: February 2011). © BRGM.



▲ Fig. 5 : Exemple de variabilité temporelle des profils de diversités microbiologiques (obtenus sur des piézomètres non impactés thermiquement par l'installation géothermique : février 2011).

Fig. 5: An example of the temporal variability of the profiles for microbiological diversities (obtained from piezometers not thermally impacted by the geothermal system: February 2011). © BRGM.

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

Les impacts bactériologiques restent limités, mais des perturbations thermiques notables ont été mises en évidence.

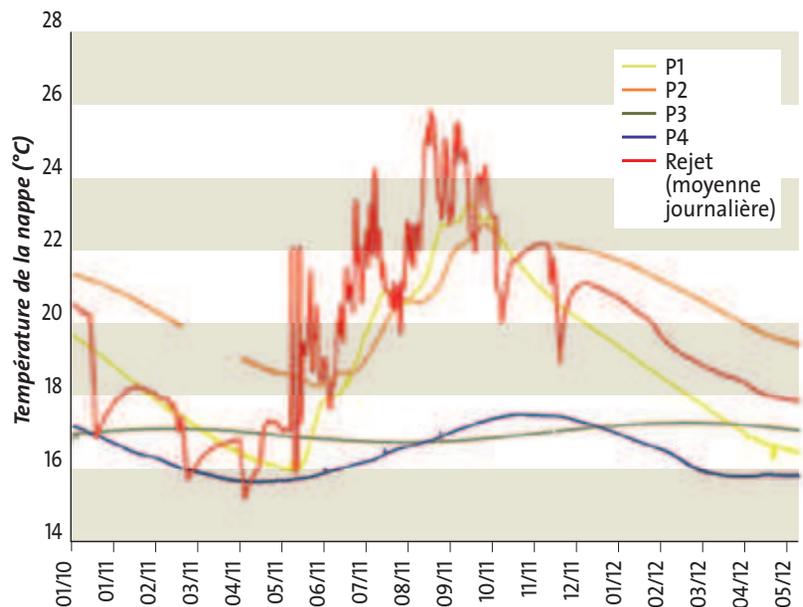
Si les impacts bactériologiques constatés sur le site d'étude restent limités, des perturbations thermiques notables ont été mises en évidence (figure 6) :

- la température de la nappe observée hors influence du fonctionnement du doublet indique une température moyenne annuelle relativement élevée, de l'ordre de 16,5 °C, qui traduit une influence du milieu urbain, sans qu'il soit possible de déterminer si elle est due ou non à d'autres installations de géothermie ;
- l'influence thermique de l'injection estivale d'eau chaude dans l'aquifère, dans les conditions actuelles d'exploitation (débit, ΔT), reste marquée sur toute la durée d'un cycle hydrologique à l'intérieur d'une aire d'influence correspondant à un panache orienté en direction de l'écoulement souterrain et limité à moins de 50 mètres à l'amont et 150 mètres à l'aval du forage de rejet. Au cours de l'étude, la température des deux piézomètres concernés s'est élevée (de +1 °C pour P2) d'une année sur l'autre. La poursuite de l'acquisition de données sur plusieurs cycles hydrologiques supplémentaires permettrait de déterminer si cette augmentation thermique inter-annuelle est continue ou résulte d'autres facteurs ponctuels ;
- en dehors de ce périmètre, il semble que la température de l'aquifère revienne à sa valeur « naturelle » hors période de fonctionnement de l'installation géothermique ;

- un phénomène de recyclage thermique est également mis en évidence : l'eau pompée au niveau du puits de production voit sa température influencée par la réinjection de l'eau réchauffée par la pompe à chaleur. Ce phénomène est lié à un dimensionnement défailant de l'installation (mauvais écartement des deux puits).

Ces perturbations observées à l'échelle d'un doublet géothermique sont révélatrices de dysfonctionnements certainement très courants sur les installations de climatisation exploitant l'aquifère, en particulier dans les secteurs où leur densité est élevée. La première conséquence est une dégradation des performances énergétiques de l'installation. La seconde est une augmentation progressive de la température de rejet au cours de la période de fonctionnement et donc une augmentation progressive de la température de la nappe, susceptible d'entraîner des conséquences environnementales sur l'aquifère considéré.

Les résultats obtenus sur le site expérimental de la mairie du 8^e arrondissement, à Lyon, et sur le pilote BIOTHERMEX ne permettent pas de mettre en évidence de perturbations physico-chimiques ou micro-biologiques significatives et nuisibles à l'équilibre de l'aquifère. Toutefois, les problématiques de la réponse des organismes



▲ Fig. 6 : Régime thermique de l'aquifère au droit de la mairie du 8^e arrondissement. Déc. 2010 - mai 2012.

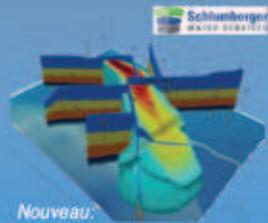
Fig. 6: The thermal regime of the aquifer vertically beneath the 8th district municipal office. Dec. 2010–May 2012. © BRGM.

Sols - Sédiments - Déchets - Eaux souterraines & superficielles - Air

La fiabilité de vos diagnostics environnementaux dépend de vos outils !



CTD-DIVER

Nouveau,
Logiciel Visual Modflow Flex

Humidimètres sols et matériaux



Stations météo GPRS



Variétés & Carottiers



Solutions technologiques pour l'environnement

SDEC France - ZI de la Gare - BP 27 Tauxigny - 37310 Reignac sur Indre - France
Tél: 02 47 94 10 00 - Fax: 02 47 94 17 13 - e-mail: info@sdec-france.com

Decouvrez nos équipements sur
www.sdec-france.com

pathogènes et du comportement de polluants organiques face à des sollicitations thermiques n'ont pas pu être appréhendées à Lyon en raison de l'absence de pollution aux pathogènes et de polluants organiques.

Le cas étudié (un seul site sans influence directe d'une autre installation) se caractérise par un défaut de dimensionnement susceptible d'induire un réchauffement de l'aquifère à l'échelle interannuelle, qui est probablement significatif des pratiques en matière de dimensionnement d'installations en milieu urbain (fortes contraintes d'espace). Dans ces conditions, il apparaît d'autant plus nécessaire de poursuivre les travaux entamés à Lyon, d'une part en étendant la gamme de températures étudiées pour l'impact bactériologique, d'autre part en généralisant l'étude thermique de la nappe à l'ensemble de l'agglomération et en prenant en compte son écoulement. L'objectif est d'assurer le bon état de la nappe et la pérennité de la ressource, grâce au bon dimensionnement des installations, en évitant une trop forte concentration et/ou en favorisant l'utilisation de la nappe pour le chauffage de manière à contrebalancer les effets de la climatisation.

Partenaires: BRGM, ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)



ImPAC Lyon: Evaluating environmental and thermal impacts caused by exploiting shallow aquifers for air conditioning

The objective addressed by the ImPAC Lyon project was to assess thermal, physico-chemical and microbiological impacts that might ensue when a ground water heat pump is installed. The experiment design was twofold, entailing a segment in the field at the 8th district municipal office (Lyon) and a laboratory segment where soil and water samples taken in the Lyon area were tested for a variety of temperatures. Regarding findings in the field, where temperatures ranged from 16 to 24 °C, only thermal disturbances, as opposed to physical and microbiological ones, were observed. Indeed, improper doublet design (which seems to be common practice in highly constrained urban environments) leads to the progressive warming of the aquifer from year to year. Thus, the work undertaken in Lyon would need to be extended to

deal with other temperature ranges. Concerning the laboratory experiments for this study (over a temperature range of 15 to 25 °C), while a detectable influence of temperature on the native bacterial microflora is noted, this does not appear to be liable to have a negative influence on the proper operation of the ecosystem. However, other environmental conditions have yet to be examined, notably to ascertain behavior under the impact of higher temperatures, which can be expected in the context of a high density of geothermal systems. With respect to pathogenic bacteria and organic pollutants, the good microbiological quality of groundwater in Lyon did not allow us to monitor the evolution of these organisms, which are virtually absent on the site. New projects would be needed to deal with this aspect.