



# Quatrièmes Rencontres nationales de la **Recherche sur les sites et sols pollués**

26 et 27 novembre 2019, Le Belfroi de Montrouge  
(Portes de Paris)

**Candidature pour :**

- Communication orale  Communication poster  Vidéo de 180s  
 Communication poster avec présentation d'outil

## **Titre : Tests d'outils innovants pour la caractérisation haute résolution des sites pollués**

**Les auteurs : Valérie GUERIN<sup>1</sup>, Olivier ATTEIA<sup>2</sup>, Jean-Marie CÔME<sup>3</sup>, Julien MICHEL<sup>4</sup> et Elicia VERARDO<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> : Unité Sites Sols et Sédiments Pollués, BRGM, 3 av. C. Guillemin BP 36009 45060 ORLEANS cedex 2,  
[v.guerin@brgm.fr](mailto:v.guerin@brgm.fr)

<sup>2</sup> : EA 4592, Bordeaux-INP, 1 Allée Daguin 33607 Pessac, [olivier.atteia@ensegid.fr](mailto:olivier.atteia@ensegid.fr)

<sup>3</sup> : GINGER-BURGEAP, Département R&D, 19 rue de la Villette 69425 Lyon Cedex 03,  
[jm.come@groupeginger.com](mailto:jm.come@groupeginger.com)

<sup>4</sup> : INERIS, Parc Technologique ALATA, BP2, 60550 Verneuil-en-Halatte, France, [julien.michel@ineris.fr](mailto:julien.michel@ineris.fr)

<sup>5</sup> : G&E Transfert - PoCible, 1 Allée Daguin 33607 Pessac, [elicia.verardo@ipb.fr](mailto:elicia.verardo@ipb.fr)

\* contact en cas de question sur les travaux présentés

### **Résumé**

La caractérisation de la pollution du milieu souterrain d'un site est un enjeu essentiel pour définir les actions de remédiation et atteindre les objectifs associés. Parmi les verrous récurrents à cette caractérisation, se situent la complexité des sites, les hétérogénéités géologiques des sols, les grandes différences de comportement et de mobilité des polluants d'intérêts. La compréhension de la distribution des polluants et des contextes physiques dans lesquels ils se situent représente une clé du succès d'une opération de remédiation.

La caractérisation des pollutions, par l'intermédiaire d'un prélèvement classique d'eaux souterraines réalisé dans un piézomètre, fournit généralement une information trop partielle pour permettre d'établir un schéma conceptuel de qualité des milieux complexes. Dans pareil cas, des prélèvements multiniveaux et l'acquisition de données complémentaires aux données de qualité chimiques des eaux sont indispensables.

Cette étude organise un atelier participatif pour tester différents outils innovants de caractérisation détaillée des matrices souterraines :

- Mesures de flux de nappe (sens, vitesse ...),
- Mesures multiniveaux de la matrice eau (concentrations, flux...).

Les résultats attendus portent sur des connaissances partagées des périmètres d'utilisation de ces outils (typologies de site, géologie, hydrogéologie, contaminants...), des conditions opérationnelles de leur mise en œuvre (conditions d'accès à la technique, facilités d'utilisation, compétences nécessaires, coûts associés, ...), de leurs performances techniques (précisions, incertitudes, quantifications, ...), de leurs limites (selon les différents contextes de sites...).

Cette comparaison doit favoriser l'appropriation d'outils innovants (français et étrangers) pour une caractérisation détaillée de sites pollués (D-L-NAPL), permettant de mieux comprendre les dynamiques et le fonctionnement des systèmes. Elle pourrait permettre de proposer des schémas conceptuels plus précis pour une meilleure connaissance des transferts et une meilleure conception des opérations de remédiation.

## Introduction

La caractérisation des pollutions des eaux souterraines est souvent réalisée dans un forage par prélèvement ponctuel. Or dans le cas de sites présentant de fortes hétérogénéités géologique et hydrogéologique et/ou d'environnements fortement contaminés notamment par des composés de type L-D-NAPL avec une migration complexe, le niveau de connaissance offert par ces mesures ponctuelles ne permet généralement pas l'élaboration d'un schéma conceptuel de fonctionnement suffisant pour envisager une bonne gestion du site.

Ainsi, depuis 2012, l'US EPA a développé le concept de « HighResolution Site Characterization<sup>1</sup> » (HRSC) afin de répondre à ce besoin de caractérisation détaillée des sites. Ce concept porte sur la réalisation d'un nombre et d'une typologie de mesure adaptés à la problématique pour parvenir à définir avec une plus grande certitude la distribution des polluants et les contextes physiques dans lesquels ils se situent.

Une première façon d'atteindre cet objectif est de réaliser des prélèvements en nappe à plusieurs niveaux. Elci, 2001 [1] et Zinn et Konikow (2007) [2] ont montré que de très faibles différences de charge (pression d'eau) au sein de l'aquifère peuvent générer des flux ambiants verticaux dans les puits. Une longue zone crépinée aura tendance à augmenter l'occurrence et l'intensité de ces flux. En conditions de pompage, la baisse de charge, induite dans le puits s'homogénéise sur toute la hauteur quasi instantanément ce qui n'est pas le cas du milieu poreux environnant. Il est donc considéré comme délicat de faire des prélèvements suffisamment représentatifs à des niveaux spécifiques au sein d'une zone crépinée en raison de l'homogénéisation des flux générés lors de la mise en pompage [1]. Aussi, pour discrétiser verticalement des niveaux de prélèvements au sein de forages avec des crépines longues, il est primordial de disposer de systèmes spécifiques de prélèvement multiniveaux

De nouveaux outils de prélèvement permettent également d'avoir accès non plus, uniquement, à une mesure ponctuelle mais à une mesure intégrative. Ces échantillonneurs passifs ont fait l'objet de projets récents pour qualifier leur utilisation pour les eaux souterraines ([3], [4] et [5]). Certains sont d'ores et déjà normalisés aux USA alors que leur utilisation en France et en Europe est, à notre connaissance, anecdotique [6].

Enfin, pour une bonne gestion des eaux souterraines contaminées, d'autres paramètres que ceux portant sur leur qualité chimique, doivent également être mesurés. La connaissance des flux ou de la perméabilité des terrains traversés sont souvent nécessaires pour définir la méthode de remédiation du site et en optimiser au mieux la mise en œuvre.

Afin de démocratiser l'utilisation de ces nouveaux outils et approches, cette étude vise à organiser un atelier participatif pour les tester en conditions réelles.

## Matériel et méthodes

Les 2 domaines de caractérisation suivants sont explorés :

- Mesures de flux de nappe (sens, vitesse ...) (Tableau 1),
- Mesures multiniveaux de la matrice eau (concentrations, flux...) (Tableau 2),

Les différents outils d'ores et déjà sélectionnés sont détaillés dans les tableaux suivants.

**Tableau 1. Outils de mesures de flux de nappe**

Nom de l'outil	Principales caractéristiques
Colloidal Borescope	Mesure directe à une profondeur donnée dans un ouvrage, de la direction, du sens et de la vitesse d'écoulement des eaux souterraines en se basant sur le mouvement de particules de taille inférieure à 10 µm.
DVT (Direct Velocity Tool)	Mesure directe et rapide (5-10 min) des vitesses de Darcy horizontales sur un niveau défini (30 cm de hauteur) Permet le calcul de flux si associé au préleveur ciblé

<sup>1</sup> EPA's definition of HRSC is: High-resolution site characterization (HRSC) strategies and techniques use scale-appropriate measurement and sample density to define contaminant distributions, and the physical context in which they reside, with greater certainty, supporting faster and more effective site cleanup.

**Tableau 2. Outils de mesures multiniveau**

Nom de l'outil	Principales caractéristiques
Préleveur ciblé	Prélèvement interpackers d'eau dans un forage + possibilité de test hydraulique pour déterminer la conductivité hydraulique locale (sur 30 à 80 cm de hauteur)
Echantillonneur passif de flux iFLUX	Composé de cartouches rigides de 16,5 cm de longueur. A chaque profondeur de mesure, 2 cartouches sont mises en série : l'une pour la mesure des vitesses d'écoulement des eaux souterraines et l'autre pour la mesure des concentrations en contaminants. Le diamètre d'une cartouche correspond exactement au diamètre interne du piézomètre à équiper.
PEMN	Préleveur passif à cellule ouverte dans lequel sont intégrés des mini-packers délimitant des chambres de prélèvement et dont les cellules peuvent être directement utilisées comme contenant de l'échantillon à analyser. Pas d'échantillonnage pluri-décimétrique. Dispositif modulable, en termes de nombre de cellules et de distance entre cellules de prélèvement

Des fournisseurs d'autres solutions techniques identifiés seront également invités à participer ([7]).

Les résultats obtenus avec les différents outils seront comparés afin de définir la meilleure fenêtre d'utilisation de chacun d'entre eux et de montrer l'apport de ses outils par rapport à des prélèvements classiques. Ces résultats pour la comparaison d'outils de prélèvement viendront compléter les résultats obtenus par d'autres études. Par exemple Vernes et al. [8] ont montré que le système de pompe à vessie placé entre 2 packers mis au point par la société PLM permet de restituer au mieux les hétérogénéités verticales de teneurs en chlorures. Barnier et al. [9] ont également montré l'apport de tels outils dans un contexte de pollution par les solvants chlorés.

Le test des outils de mesure de flux viendra quant à lui compléter les résultats obtenus par Essouayed et al. [10]

## Résultats et discussion

Les tests seront réalisés courant 2019 sur deux sites réels, les premiers résultats seront disponibles pour novembre 2019.

Chaque outil testé dans le cadre de cette démarche fera l'objet d'une fiche technique qui contiendra la description du principe de fonctionnement, le mode opératoire sur site, la fenêtre d'applicabilité optimale ainsi que des éléments de coûts (coûts d'achats ou de location, temps de mise en œuvre, consommables associés, compétences requises).

Des vidéos facilitant l'appropriation de la mise en œuvre des outils sur site seront également réalisées.

Par ailleurs, les résultats de leur mise en œuvre ainsi que certains des outils utilisés seront exposés lors des Rencontres Recherche de l'ADEME de 11/2019.

## Conclusions et perspectives

Cette comparaison d'outils doit favoriser l'appropriation d'outils innovants (français et étrangers) pour une caractérisation détaillée de sites pollués (D-L-NAPL). Elle permettra de mieux comprendre les dynamiques et le fonctionnement des systèmes étudiés, de proposer des schémas conceptuels plus précis de ce fonctionnement et une meilleure conception des opérations de remédiation.

Ce travail sera une vitrine pour des outils développés en France et une qualification d'outils existants mis au point dans d'autres pays.

## Références

- [1] Elci, B.A., Molz, F.J., Waldrop, W.R. (2001). Implications of observed and simulated ambient flow in monitoring wells. *Ground Water* 39, 853–862.
- [2] Zinn, B.A., Konikow, L.F. (2007). Effects of intraborehole flow on groundwater age distribution. *Hydrogeology Journal* 15, 633–643. doi:10.1007/s10040-006-0139-8.

[3] Michel, J. (2013). Groundwater quality measurement with passive samplers – Code of best practices, INERIS reference: DRC-13-102468-03494A (projet CityChlor)

[4] Michel, J., Lemoine, M., Quiot, F. (2014). Utilisation d'outils de caractérisation des eaux souterraines, des sols, des gaz du sol et de l'air intérieur de sites contaminés par des solvants chlorés en milieu urbain (projet CaraCityChlor).

[5] Michel, J., Lemoine, M. (2014). Mesure de la qualité des eaux souterraines à l'aide d'échantillonneurs passifs dans le contexte des sites pollués (projet PassCityChlor).

[6] Norme ASTM (2014). Standard Guide for Selection of Passive Techniques for Sampling Groundwater Monitoring Wells, D7929 2014-08, © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

[7] Vergnes, J.-P., Boisson, A., Guérin, V., Arnaud, L. (2018). Réflexion sur le protocole de purge des forages d'eau : de l'expérimentation à la modélisation. Rapport final. BRGM/RP-66698-FR, 35 p., 15 ill., 4 ann.

[8] Halla, P., Söhlmann, R., Klaas, N., Heitmann, T., Skodic, B. (2012) The Thermo Flowmeter System – a High Sensitivity Sensor for the Measurement of Vertical Flow in Ground Water Monitoring Wells, Nicole award 2012, 7p.

[9] Barnier, C., Palmier, C., & Atteia, O. (2013). Validation of a multilevel sampling device to determine the vertical variability of chlorinated solvent in a contaminated aquifer. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 34(12). <http://doi.org/10.1080/09593330.2012.758665>.

[10] Essouayed, E., Annable, M.D., Momtbrun, M., Atteia, O. (2018). An innovative tool for groundwater velocity measurement compared with other tools in laboratory and field tests. *J. Hydrology X*, vol. 1, in press.

## Remerciements

Cette opération est co-financée par l'ADEME.