

Développement d'une stratégie de localisation d'une source de contaminants en nappe : mesures innovantes et modélisation inverse

Mots clés

Localisation de sources de polluants

Eaux souterraines

Mesures de vitesses

Direct Velocity Tool

Flux massiques

Hétérogénéité

Modélisation inverse

Data Worth

Caractérisation de site réel

Résumé

De nombreux pays développés, à l'exemple de la France, ont connu et connaissent actuellement de nombreuses activités industrielles pouvant engendrer des contaminations dans les eaux souterraines sur des surfaces très réduites. Du fait de l'écoulement des eaux souterraines, ces pollutions menacent d'une part les milieux naturels environnants et d'autre part les personnes pouvant vivre à proximité. La gestion et la dépollution de ces sites contaminés peuvent être complexes et demandent un investissement important pour localiser les sources de contaminations, zones émettrices des flux de polluants les plus importants. Des techniques dites HRSC (*High Resolution Site Characterisation*) ont été développées et sont de plus en plus utilisées afin de définir de manière efficace les caractéristiques du sous-sol, de décrire les hétérogénéités et donc de mieux localiser

les sources. Néanmoins, les techniques HRSC utilisant une Geoprobe avec le MIP (*Membrane Interface Probe*) ou HPT (*Hydraulic Profiling Tool*) demandent un investissement économique important et ne sont pas adaptables à tous les sites (présence de gros graviers, de roches indurées ou contraintes dues aux machines dans une usine). D'autres méthodes ont ainsi été développées pour localiser les zones sources notamment à partir d'outils d'estimation de flux et/ou d'outil de modélisation.

Des outils opérationnels existent afin de mesurer les flux de polluants indirectement dans les puits de forage, en combinant mesures de vitesse des eaux souterraines et mesures de concentration en polluant. Ces outils existants présentent néanmoins de nombreuses contraintes sur le temps ou la robustesse de la mesure. L'un des premiers objectifs de la thèse a donc été de développer un outil innovant afin de mesurer la vitesse des eaux souterraines dans un puits. L'outil développé appelé DVT (*Direct Velocity Tool*) a permis de répondre aux différentes contraintes imposées par les outils existants et de mesurer des vitesses d'écoulement très lentes en seulement quelques minutes (5 – 10 minutes) sur une portion isolée de la crépine du puits. Le principe consiste à injecter de manière continue un traceur au niveau de la paroi crépinée. La concentration du mélange homogène (entre les eaux souterraines et traceur) est mesurée afin de déduire à partir d'une équation de mélange, la vitesse des eaux souterraines traversant le puits.

En combinant le DVT avec une mesure locale de concentration, il est possible de calculer le flux de polluant passant par le puits et ainsi définir plus précisément la portion de zone source conduisant au flux de polluant maximum. Des essais en laboratoire et des tests en site réels ont été réalisés en comparaison avec d'autres outils existants.

L'autre partie de la thèse concerne l'utilisation de la modélisation inverse pour la localisation de source. Ces 30 dernières années, divers articles scientifiques décrivent l'utilisation de plusieurs méthodes pour localiser une source de contaminant sur des cas synthétiques et plus rarement sur des cas réels. D'après la bibliographie, peu d'études traitent le sujet sur un champ de conductivité hydraulique inconnu et en présence d'une dispersivité inconnue, ce qui est généralement proche d'une problématique de site réel. L'objectif a donc été de développer une stratégie de

modélisation afin de localiser une source de contaminants et d'estimer les paramètres définissant les caractéristiques du domaine (champ de conductivité hydraulique et dispersivité longitudinale). Pour cela, l'étude s'est faite sur deux cas synthétiques en utilisant la méthode d'optimisation non linéaire de la suite PEST++, mettant en jeu l'algorithme de *Gauss-Levenberg-Marquardt* (GLMA). Les codes MODFLOW et MT3DMS sont utilisés pour les simulations. Pour adapter les méthodes à une véritable gestion de sites pollués, une stratégie itérative globale est développée en imposant un ajout limité de nouvelles observations à chaque phase de modélisation. Cette stratégie est basée sur l'approche de type *Data Worth* (DW), c'est à dire une analyse de la variance de la position de la zone source liée aux nouveaux points d'observation. Les positions des sources estimées sur les deux cas synthétiques ont permis d'évaluer la méthode mise en place et de juger son applicabilité à une problématique réelle.

Cette stratégie de localisation de source est ensuite appliquée sur un site réel à partir de phases de mesures de vitesses au DVT et de concentrations. En amont de cette stratégie, une campagne de type Geoprobe a été réalisée au tout début de l'étude afin de comparer ces résultats avec la stratégie de localisation de source. L'optimisation non linéaire mise en place sur site et le DW ont permis de localiser les points de forage à mettre en place sur site, tout en prenant en compte les différentes contraintes liées au site. La stratégie utilisée a permis de localiser une source avec des corrélations entre données observées et simulées acceptables. Néanmoins, en analysant plus précisément les résultats, le champ de conductivité hydraulique estimé par l'optimisation ne correspond pas à la réalité. De plus, des mesures au DVT et de concentrations ont permis d'évaluer les flux massiques de contaminants, mettant en valeur deux zones de flux distinctes. En analysant le ratio des polluants du site, il apparaît que deux panaches sont potentiellement présents. Ainsi, une phase de modélisation pour localiser deux sources a été lancée afin d'estimer (i) la présence potentielle de ces sources et (ii) la chimie de la zone étudiée (transport réactif). Cette nouvelle phase d'optimisation a permis d'estimer la localisation des deux sources, avec (i) de bonnes corrélations entre données observées et simulées et (ii) un champ de conductivité hydraulique estimé beaucoup plus proche de la réalité. Les résultats obtenus sont finalement comparés aux mesures Geoprobe qui a pu confirmer la présence d'une des deux sources identifiées.