

## MODÉLISATION DÉTERMINISTE DES ÉCOULEMENTS ET DU TRANSPORT DE CONTAMINANTS POUR LA DÉTERMINATION DES ZONES DE PROTECTION EN BELGIQUE

DASSARGUES A. (1 & 2), HALLET V. (1)

- (1) Laboratoires de Géologie de l'ingénieur, d'Hydrogéologie et de Prospection Géophysique (L.G.I.H.), Université de Liège Bat. B19, B-4000 LIÈGE, Belgique  
(2) Hydrogéologie, Instituut voor Aardwetenschappen, Katholieke Universiteit Leuven, Redingenstraat 16, B-3000 LEUVEN, Belgique

### RÉSUMÉ

*Afin de limiter les risques de contamination des captages, des périmètres de prévention sont prévus par les lois. L'extension de ces périmètres est généralement définie en fonction du temps de transfert d'un polluant miscible dans la partie saturée de la nappe. Une méthodologie complète est décrite impliquant, in fine, des modélisations des écoulements et du transport de contaminants en zone saturée. La discrétisation du modèle est réalisée en fonction des informations obtenues par l'étude hydrogéologique et la prospection géophysique, elle tient compte de façon déterministe de l'hétérogénéité de l'aquifère et du contexte hydrogéologique. La calibration est réalisée sur les résultats des essais de pompage, des piézométries mesurées et des essais de traçage. Une fois calibré, des injections fictives de polluant en différents nœuds du modèle permettent de définir des isochrones représentant les temps de transfert de 24 heures ou de 50 jours.*

**Mots clés :** eau souterraine, captages, protection, modèles.

### ABSTRACT

#### DETERMINISTIC MODELLING OF GROUNDWATER FLOWS AND POLLUTANT TRANSFER FOR THE PROTECTION ZONING IN BELGIUM

*In order to decrease the contamination risk for pumping wells, prevention zones are foreseen in the regulation. Delineation of these zones is generally based on dissolved pollutant transfer times in the saturated zone of the aquifer. A complete methodology is described involving, at the last stage, a groundwater model for flow and transport in the saturated zone. The discretization of the model is based on all collected information from geology and geophysical prospecting. It takes deterministically the aquifer heterogeneity and the hydrogeological context into account. The calibration is performed on results from pumping tests, piezometric measurements and tracer tests. After calibration, pollutant injections are simulated at different nodes of the model. Transfer times to the pumping well are computed and isochrone lines can accordingly be drawn for 24h and 50 days.*

**Keywords:** groundwater, pumping well, protection, models.

### 1. INTRODUCTION

Afin de limiter les risques de contamination des captages, des périmètres de prévention sont mis en place. L'extension de ces périmètres est définie en fonction du temps de transfert d'un polluant dans la partie saturée de la nappe. Sont présentés ci-dessous les moyens à mettre en œuvre afin de définir les périmètres de manière objective et scientifique en se basant sur une bonne connaissance du cadre hydrogéologique de la nappe sollicitée par le captage. La méthodologie décrite ci après (DASSARGUES, 1994) est systématiquement appliquée lors des études relatives à la détermination des zones de prévention réalisées pour les grandes compagnies de distribution d'eau de Région Wallonne de Belgique (la politique de l'eau étant 'régionalisée' en Belgique).

### 2. ASPECTS LÉGAUX

La législation belge définit trois zones distinctes dont les spécificités peuvent être résumées comme suit. La zone I (zone de prise d'eau) est délimitée par une ligne située à une distance de dix mètres des limites extérieures des installations en surface strictement nécessaires à la prise d'eau. La zone IIa (zone de prévention rapprochée) est comprise entre le périmètre de délimitation de la zone I et une ligne située à une distance de l'ouvrage de prise d'eau correspondant à un temps de transfert jusqu'à l'ouvrage égal à 24 heures dans le sol saturé. Cependant, en milieu karstique, tous les points de pénétrations préférentiels (dolines et portes) dont la liaison avec le captage est établie sont classés en zone IIa. La zone IIb (zone de prévention éloignée) est comprise entre le périmètre extérieur de la zone IIa et le périmètre situé à une distance de l'ouvrage correspondant à un temps de transfert de l'eau souterraine jusqu'à l'ouvrage de prise d'eau égal à 50 jours dans le sol saturé. La zone III (zone de surveillance) englobe l'entière du bassin hydrographique et du bassin hydrogéologique situé à l'amont du point de captage. La législation a défini diverses mesures de protection à prendre au droit des quatre zones de prévention. Pour financer les recherches relatives à la délimitation des zones de prévention et indemniser tout particulier ou toute société dont les biens doivent être mis en conformité avec la législation, une redevance de 3 francs belges est prélevée sur chaque m<sup>3</sup> fourni par les sociétés d'eau.

Une série de mesures de prévention sont édictées pour chaque type de zone. Par exemple dans les zones IIa sont interdits : (a) l'utilisation et le stockage de produits dangereux (liste exhaustive), (b) les décharges, (c) les dépôts d'engrais ou de pesticides, (d) les puits perdus, (e) les terrains de camping, de sport et de loisirs, (f) les abreuvoirs, (g) les bassins d'orage non étanches, (h) les parkings de plus de cinq voitures, (i) les nouveaux cimetières, (j) les enclos couverts pour animaux, etc. Sont toutefois permis : (a) l'usage domestique d'hydrocarbures, pourvu qu'ils soient stockés dans des récipients étanches installés sur des surfaces imperméables équipées d'un système de collecte garantissant l'absence de tout rejet, (b) les dépôts d'effluents d'élevage s'ils sont contenus dans des récipients étanches ou stockés sur sol étanche avec mise en place d'un système de collecte garantissant l'absence de tout rejet liquide, etc. Si les mesures définies précédemment s'avèrent être insuffisantes, le Ministre peut imposer des mesures plus restrictives dans des zones déclarées très vulnérables.

piézomètres et forages. Les hétérogénéités mises en évidence lors des prospections permettront, lors de la modélisation déterministe, de discrétiser le site étudié en tenant compte de zones affectées de paramètres hydrodynamiques différents.

### 5. FORAGES

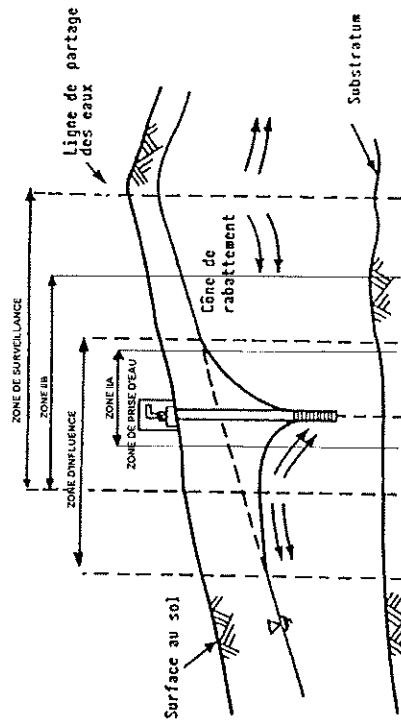
Une campagne de forage (5 à 8 piézomètres selon l'importance du captage et la complexité de la géologie) est ensuite réalisée : ces forages sont implantés en fonction des résultats de l'étude géophysique. Les piézomètres forés permettent de préciser les données acquises précédemment (géologie, piézométries, axes fissurés). Sur base des essais de pompage, les paramètres hydrodynamiques de la nappe (perméabilité, porosité) et le rayon d'influence du puits auront été estimés. Si ces forages sont utilisés dans le cadre des essais de traçage, les distances entre le captage et les piézomètres seront limitées à quelques centaines de mètres.

### 6. ESSAIS DE TRAÇAGE

Les essais de traçage consistent à injecter des traceurs dans les piézomètres forés aux alentours des captages. Des échantillons sont prélevés régulièrement au droit des captages et analysés. Les courbes de restitution du traceur permettent de définir les temps de transfert entre le ou les piézomètres et le puits d'exploitation. Le choix des traceurs et les quantités injectées sont fonction de nombreux critères parmi lesquels on peut citer l'hydrochimie de la nappe, la distance entre le point d'injection et le captage, la perméabilité de l'aquifère, le débit capté, le comportement hydrodynamique et adsorptif du traceur, etc. Des méthodes analytiques permettent, dans des cas simples, d'obtenir une première approximation des valeurs des paramètres de transport du milieu (porosité et dispersivité). L'allure de la courbe fournit des informations quant à l'importance relative des différents processus de transport : (a) une première arrivée rapide, suivie d'une augmentation brusque des concentrations démontre l'importance des phénomènes d'advection, (b) une courbe étalée et presque symétrique est liée à une importante dispersion hydrodynamique; (c) une décroissance lente des concentrations est due aux phénomènes de retard (adsorption-désorption, effets d'eau immobile, etc.).

### 7. MODÉLISATION MATHÉMATIQUE

La discrétisation est réalisée en fonction des informations obtenues par l'étude hydrogéologique et la prospection géophysique : elle tient compte de l'hétérogénéité de l'aquifère (variations latérales ou verticales). Les paramètres d'écoulement sont calibrés en fonction des résultats des essais de pompage et des différentes situations piézométriques mesurées. Les paramètres de transport sont calibrés par la simulation des essais de traçages et l'ajustement des paramètres pour obtenir des courbes de restitution simulées similaires aux courbes mesurées (résultats des essais de traçages). On considère que la calibration obtenue reflète de manière optimum l'ensemble des données disponibles (DEROUANE, et DASSARGUES, 1998). Bien qu'une calibration ne soit jamais unique, on ne considère pas, à ce stade, l'incertitude qui lui est liée. Des recherches sont entamées aux LGIH de l'Université de Liège (RENTIER *et al.*, 1999) pour assortir à la démarche actuelle qui est purement déterministe, une étude basée sur des simulations conditionnelles qui permettrait en principe d'associer aux résultats trouvés un degré de certitude.



### 3. ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE PRÉLIMINAIRE

Elle permet de préciser la nature, l'extension et l'hydrodynamisme de la nappe sollicitée par le captage. Elle comprend une étude morpho-structurale réalisée à partir de cartes topographiques ou de photographies aériennes permettant de délimiter le bassin versant au droit duquel est situé le captage, de repérer les cours d'eau, points d'eau ou sources et de localiser des linéaments. Ces derniers peuvent être dus à des accidents tectoniques majeurs qui, ayant fissuré les roches, constituent des axes d'écoulement préférentiel des eaux souterraines. Une étude géologique régionale et locale permet de définir la nature, l'extension et les hétérogénéités des formations aquifères exploitées ainsi que la direction des bancs et des fractures affectant ces formations. Une étude hydrogéologique ainsi que la synthèse des données météorologiques et hydrologiques (précipitation, évapotranspiration, ruissellement, débits à l'exutoire, ...) permettent de réaliser un bilan hydrogéologique de la nappe. Les valeurs d'infiltration ainsi calculées seront utilisées lors de la modélisation mathématique. La collecte et la synthèse des données hydrogéologiques de la région (localisation des puits et piézomètres, mesures des niveaux d'eau) permettent de dresser des cartes piézométriques pour déterminer le bassin hydrogéologique et la direction d'écoulement de la nappe, sans négliger les fluctuations piézométriques saisonnières. Un inventaire des données relatives au captage et piézomètres environnants (logs de forage, équipement, essais de pompage) est réalisé. L'interprétation des essais de pompage fournit des premières valeurs des paramètres d'écoulement (perméabilité, porosité, coefficient d'emmagasinement).

### 4. CAMPAGNE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE

Les campagnes de prospection géophysique (méthodes électriques, sismiques, magnétiques, électromagnétiques) ont pour objectif de préciser la géologie au droit du site, l'hétérogénéité du sous-sol et de mettre en évidence des axes de fractures constituant des zones d'écoulement préférentiel. L'interprétation de la campagne géophysique, associée à toutes les données récoltées précédemment, permettra de localiser les sites de nouveaux

Une fois calibré, les injections de polluant sont simulées à partir de différents nœuds du modèle permettant, in fine, de définir des isochrones représentant les temps de transfert de 24 heures (zone IIa) ou de 50 jours (zone IIb) (DASSARGUES *et al.*, 1996). Le modèle mathématique réalisé dans le cadre de la détermination des zones de protection est remis à la société de distribution d'eau qui peut l'utiliser comme outil de gestion afin d'optimiser les débits prélevés de manière à réduire les effets négatifs éventuels. En cas de pollution accidentelle, le modèle pourra également servir à définir les mesures d'assainissement à mettre rapidement en œuvre.

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DASSARGUES A., 1994 - Applied methodology to delineate protection zones around pumping wells. *Journal of Environmental Hydrology*, IAEH, vol.2, n°2, pp.3-10.

DASSARGUES A., BROUYERE S., DEROUANE J., 1996 - From calibration on tracer test data to computation of protection zones: upscaling difficulties in a deterministic modelling framework. in Calibration and Reliability in Groundwater Modelling. *Proc. of ModelCare'96*, K. Kovar & P. Van Der Heijden Eds., Golden, IAHS Publ. n°237, pp. 253-264.

DEROUANE J., DASSARGUES, A., 1998 - Delineation of groundwater protection zones based on tracer tests and transport modelling in alluvial sediments. *Environmental Geology*, 36 (1-2), pp. 27-36.

RENTIER C., BROUYERE S., DASSARGUES A., 1999 - Calibration and reliability of an alluvial aquifer model using inverse modelling and sensitivity analysis. *ModelCare'99, Pre-published Proceedings*, Eds. Stauffer F., Kinzelbach W. Kovar, K and Hoehn E., vol.1, pp. 343-348.

### MODÉLISATION DE L'HYDRODYNAMIQUE EN MILIEU POREUX : APPLICATION DU CHAMP CAPTANT DU POLYgone (STRASBOURG)

STOECKEL M.-E., ACKERER P., MOSÉ R.

Laboratoire d'Hydrodynamique des Milieux Poreux, Institut de Mécanique des Fluides, 2. rue Bousisingault - 67000 STRASBOURG

### RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est de collecter les informations indispensables à la modélisation de l'hydrodynamique du champ captant du Polygone, produisant 70 % de l'eau potable de la Communauté Urbaine de Strasbourg, et d'en préciser les difficultés. Par une modélisation simple, en deux dimensions, une première approche de la piézométrie est obtenue sur un domaine transfrontalier centré sur le Polygone. La résolution de l'hydrodynamique est effectuée par une méthode basée sur les éléments finis et les valeurs des paramètres sont obtenues par calage multi-échelle.

L'important réseau hydrographique aux abords du Polygone est pris en compte mais rend la modélisation très complexe. La piézométrie globale du domaine est obtenue mais il reste de nombreuses incertitudes sur les échanges nappes-rivières et sur d'autres données essentielles à une modélisation à plus faible échelle du Polygone.

**Mots clés :** Milieu poreux - Modélisation - Aquifère - Champ captant - Paramétrisation multi-échelle.

### ABSTRACT

#### GROUND WATER MODELLING : APPLICATION TO THE WELL FIELD OF STRASBOURG

The main water catchment field of Strasbourg. The Polygone, produces 70% of the drinking water for the city. In order to protect it against pollution events, a better knowledge of its hydrodynamics is required. Indeed, even if the global piezometric field is known, it remains numerous uncertainties due to the very complex hydrographic network. The aim of the study is to underline difficulties of such a flow modelling and to collect required data for a simple, bi-dimensional flow computation.

The studied area is situated partly in France and partly in Germany and the Polygone is just in the middle of the domain. The modelling takes in account the complex hydrographic network. Finite elements are used for flow computation and parameters are estimated by multi-scale calibration. The piezometric field is approached, however the Polygone area has to be studied more accurately and additional data are required to better determine exchange rates between the aquifer and the hydrographic network.

**Keywords:** Porous media - Flow modelling - Aquifer - Water catchment - Multi-scale calibration.