

IMPACT DES ACTIVITÉS INDUSTRIELLES SUR LA POLLUTION DE LA NAPPE D'EAU DE LA VILLE DE SOUK AHRAS, ALGÉRIE. -CAS D'UNE UNITÉ DE PRODUCTION DE PEINTURES-

GHERIS A/Rahim*, MEKSAOUIN Mohammed**, MESSAOUDENE A***

*Centre universitaire de SOUK AHRAS, département de génie civil, SOUK AHRAS, ALGERIE
BP 1553 Route ANNABA- SOUK AHRAS 41000 ALGÉRIE.
Email : a.gheris@caramail.com

**Université de BADJI MOKHTAR, département d'hydraulique, BP 12- Sidi Amar, ANNABA 23000. ALGÉRIE
Email : m.meksaouin.com@caramail.com

*** Université de BADJI MOKHTAR Faculté de médecine de ANNABA, laboratoire de toxicologie, BP 12- Sidi Amar, ANNABA 23000. ALGÉRIE. Email : beya.mess@caramail.com

RESUME

La pollution des aquifères est un fléau qui tend à s'accroître dans la plupart des zones industrielles du pays. Il est clair que ce sujet particulièrement sensible suscite l'inquiétude fondée de l'opinion publique. Le stockage des produits chimiques (en particulier le stockage de déchets en surface, et dans une moindre mesure, les sols pollués accidentellement) nécessite une bonne connaissance des couches géologiques afin d'évaluer l'impact d'une éventuelle propagation d'éléments de pollution chimique dans les eaux souterraines. A cet effet, l'une des méthodes envisagée consiste à injecter dans le sol différents éléments et à mesurer l'évolution de leurs concentrations. On détermine ensuite une configuration géologique correspondant aux observations. Une autre méthode est celle qui utilise la simulation numérique bi et tridimensionnelle en vue de modéliser et prédire l'évolution de la concentration à travers les couches du sol. Nous nous sommes donc attachés, dans ce travail, à déterminer sur un exemple (cas d'une usine de production de peintures de la ville de SOUK AHRAS, ALGERIE), l'évolution de la pollution des eaux souterraines, en utilisant une méthode basée sur la résolution numérique du problème inverse de la relation classique de diffusion, dans les milieux poreux.

MOTS CLES

Site contaminé. Eau souterraine polluée. Modèle. Modélisation. Environnement

1. INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE:

Dans la théorie classique du drainage, les écoulements sont supposés être verticaux dans la zone non saturée (ZNS) et horizontaux dans la nappe, c'est le concept de la couche de mélange. Or de nombreux auteurs (Vauclin et al, 1979 ; Clement et al, 1996 ; Romano et al, 1999 ; Kao et al, 2001 ; Silliman et al, 2002) soulignent l'existence d'une part significative de l'infiltration qui s'écoule horizontalement dans cette zone. Donc la zone non saturée (ZNS), joue un rôle très important dans le processus d'infiltration, car c'est dans cette interface que les échanges d'eau, polluants et microorganismes vers la nappe ou vers l'atmosphère se produisent. Nous étudierons premièrement l'évolution de l'état de la concentration de la pollution des eaux souterraines au voisinage du domaine étudié par la résolution de l'équation qui régit le transport des particules (équation de la diffusion), en choisissant une forme précise des coefficients de diffusion et nous calculerons la concentration résultante. Dans une deuxième étape, on cherche à retrouver ces coefficients de diffusion par un problème inverse, à partir de la seule donnée des concentrations disponibles (pollution actuelle) prélevées sur différents points d'eau, pour cela, nous avons procédé à une série de prélèvements d'eau au niveau des différents puits de la zone étudiée, ces derniers ont été soumis à des essais de potabilité et de pollution au niveau du laboratoire de toxicologie du CHU ANNABA. Par la suite, nous avons cherché à minimiser la différence quadratique entre les champs de concentration actuelle et cible, calculée lors de la première étape. Le fait que les données du problème inverse ne sont pas issues de mesures effectuées sur le terrain mais d'une simulation numérique a un double avantage: on peut utiliser un modèle physique simplifié, et on peut comparer le champ de diffusion solution du problème inverse au champ de diffusion initial (qui est en pratique inconnu). Notre travail s'articule ainsi sur l'estimation du risque de contamination des eaux souterraines engendrée par les activités industrielles de l'unité de production des peintures de la ville de SOUK AHRAS sur la santé de la population locale.

2. DEFINITION:

Dans notre travail, nous considérons que l'évolution de la concentration de la pollution suit la relation classique de diffusion dans un milieu poreux :

$$\frac{\partial c}{\partial t}(x,t) - \text{div}(D(x)\nabla c(x,t)) + R\eta(x)c(x,t) = 0 \quad (1)$$

Où $c(x,t)$ est la concentration qui dépend de la position de la source et du temps, $\eta(x)$ la porosité, $D(x)$ la diffusion et R le coefficient de retards. Pour la condition initiale, la concentration est nulle à l'instant initial $t = 0$. Pour les conditions aux limites, on suppose que le flux est partout nul, sauf au niveau de la source d'injection dans laquelle la concentration diminue au cours du temps, c'est à dire:

$$D\nabla c(x,t) \cdot n = g \quad \text{sur } \Gamma_{inj} \quad (2)$$

Nous cherchons à déterminer les champs de et de diffusion et de porosité étant donnée la concentration c en pollution, mesurée sur une partie du domaine.

2.1. LE PROBLEME DIRECT:

Soit Ω un espace ouvert borné. On suppose que la frontière $\partial\Omega$ se décompose en trois parties disjointes.

$$\partial\Omega = \Gamma_{inj} \cup \Gamma_N \cup \Gamma_D \quad (3)$$

La frontière Γ_{inj} correspond à la source de la pollution, le long de laquelle le flux est donné par une fonction g . On impose de plus des conditions de type Neumann est homogène sur Γ_N et Dirichlet homogène sur Γ_D

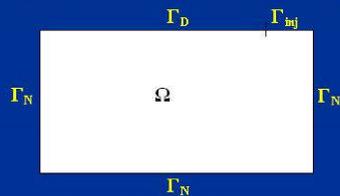


Figure1. Domaine de travail.

A l'équilibre, la concentration $c(x)$ est régie par l'équation de diffusion,

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial t}(x,t) - \text{div}(D\nabla c) + R\eta c = 0 & \text{dans } \Omega \\ c(t=0, x) = c^0 = 0 & \text{dans } \Omega \\ D\nabla c \cdot n = g & \text{sur } \Gamma_{inj} \\ D\nabla c \cdot n = 0 & \text{sur } \Gamma_N \\ c = 0 & \text{sur } \Gamma_D \end{cases} \quad (4)$$

Où $D(x)$ et $\eta(x)$ sont respectivement les coefficients de diffusion et de porosité, tandis que R est le coefficient de retard. La formulation variationnelle associée à l'équation aux dérivées partielles (1), consiste à déterminer

$$c(x,t) \in V := \{H^1(\Omega \times \Omega); c = 0 \text{ sur } \Gamma_D\}$$

Tel que

$$\int_{\Omega} \left(\frac{dc}{dt} + D\nabla c \cdot \nabla \phi + R\eta c \phi \right) dx = \int_{\Gamma_{inj}} g \phi ds \quad \text{pour tout } \phi \in V \quad (5)$$

Pour la résolution numérique de la formulation variationnelle (5), nous discrétisons la dérivée temporelle.

$$\frac{dc}{dt} \approx \frac{c^n - c^{n-1}}{\Delta t}$$

Ainsi, c^n approximation de la concentration au temps $n\Delta t$ est une solution du problème Variationnel.

$$\int_{\Omega} \frac{c^n(x) - c^{n-1}}{\Delta t} \phi + D\nabla c^n \cdot \nabla \phi + R\eta c^n \phi dx = \int_{\Gamma_{inj}} g \phi ds \quad (6)$$

Pour tout $\phi \in V$ cette dernière formulation est résolue à l'aide d'une approximation par élément fini de Lagrange P1.

2.2. PROBLEME INVERSE:

La résolution pratique du problème inverse consiste à minimiser une fonctionnel coût, erreur quadratique entre les données calculées et les données "observées", Allaire (2004). A cet effet, une méthode de type gradient est utilisée.

Dans notre travail, nous considérons deux types de fonctionnelles, l'une évaluant l'erreur quadratique sur une partie du bord, l'autre sur tout le domaine Ω ,

$$J_1(D, \eta) = \|c(D, \eta) - c_d\|_{L^2(\Gamma_D)}^2 \quad (7)$$

Soit,

$$J_2(D, \eta) = \|c(D, \eta) - c_d\|_{L^2(\Gamma_D)}^2 \quad (8)$$

Où $c_d = c(D_d, \eta_d)$ est la concentration de référence. C'est la solution du problème direct pour des coefficients de diffusion et de porosité D_d et η_d donnés.

2.3. OPTIMISATION PARAMETRIQUE:

Afin d'implanter une méthode de type gradient en vue de minimiser J_1 ou J_2 , il est nécessaire de déterminer leurs dérivées par rapport aux paramètres D et η

2.3.1. CALCUL DES GRADIENTS PAR ETAT ADJOINT:

On cherche à déterminer D et η correspondant à une concentration donnée c_d . On introduit la fonctionnelle

$$J_1^t(D, \eta) = \int_{\Gamma_D} (c(x, t_T) - c_d(x, t_T))^2 ds + \int_{\Omega} \int_{0}^{t_T} (c(x, t) - c_d(x, t))^2 ds dt \quad (9)$$

Où c est la solution de (4). Afin de déterminer les dérivées de J_1^t par rapport à D et η , nous introduisons le Lagrangien.

$$L(D, \eta, c, p) = \int_{\Gamma_D} (c(x, t_T) - c_d(x, t_T))^2 ds + \int_{\Omega} \int_{0}^{t_T} (c(x, t) - c_d(x, t))^2 ds dt - \int_{\Omega} \int_{0}^{t_T} p \left(\frac{\partial c}{\partial t} + D\nabla p \cdot \nabla c + R\eta c \right) ds dt + \int_{\Gamma_{inj}} p g ds dt \quad (10)$$

On en déduit l'équation d'état adjoint par le calcul de la dérivée $\frac{\delta L}{\delta q}$ ou $q \in C^0$ et $q(t=0)=0$:

$$\begin{cases} -\frac{\partial p}{\partial t} - \text{div}(D(x)\nabla p(x,t) + R\eta(x)p(x,t)) = 0 & \text{dans } \Omega \\ p(t_T, x) = 2(c - c_d) & \text{dans } \Omega \\ D\nabla p \cdot n = 2(c - c_d) & \text{sur } \Gamma_{inj} \\ D\nabla p \cdot n = 0 & \text{sur } \Gamma_N \\ p = 0 & \text{sur } \Gamma_D \end{cases} \quad (11)$$

On note $p(D, \eta)$ la solution de ce problème. La dérivée J_1^t de par rapport à D . Pour tout fonction test E , on a :

$$\left\langle \frac{\delta J_1^t}{\delta D}, E \right\rangle = - \int_{\Omega} \int_{0}^{t_T} \nabla c \cdot \nabla p E ds dt \quad (12)$$

Les dérivés par rapport à η s'obtiennent de manière similaire. Notons à nouveau que le calcul des dérivées de J_2^t ou J_1^t de nécessite le stockage de la concentration c et de l'état adjoint p à tous les instants $n\Delta t$, ce qui s'avère coûteux dès que le pas de discrétisation Δt est petit.

3. MESURES TOXICOLOGIQUES ET ANALYSE ANALYTIQUE:

Notre site d'étude se trouve à l'extrême nord de la ville de SOUK AHRAS dans le nord-est de L'ALGÉRIE. Sur environ 15Ha de surface que couvre l'installation de l'unité de production des peintures (source de la contamination) figure2. Nous avons effectué douze campagnes de prélèvements d'échantillons d'eaux à partir de trois puits (SP01, SP02, SP03). Elle s'est étalée sur une période de deux mois du 12/2006 au 12/2007. Des analyses physico-chimiques de potabilité et de pollution ont été effectuées au laboratoire de toxicologie du CHU de Annaba. Les paramètres analysés sont les suivants : Nitrites, Ammonium, Sulfates, Chlorures. La figure3 représente la variation de ces paramètres en fonction du temps.



Figure2. Vue aérienne de l'usine de production des peintures ville de SOUK AHRAS SP01, SP02, SP03 puits de prélèvement, A-A coupe verticale.

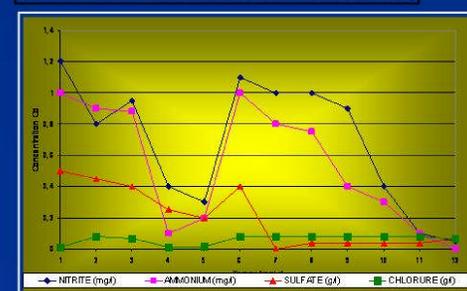


Figure3. Variation des paramètres de pollution, valeurs moyennes des trois zones de prélèvement.

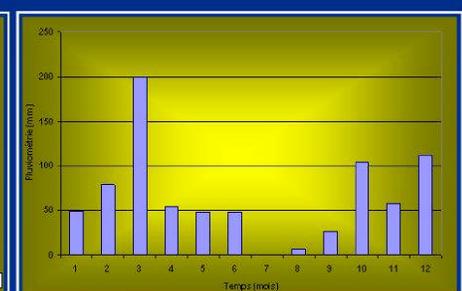


Figure4. Valeurs mensuelles de la pluviométrie de la région de SOUK AHRAS.

Nous remarquons, que les nitrites et l'ammonium sont supérieurs à la normes de l'OMS (0,5mg/l pour les nitrites et 0,1mg/l pour l'ammonium, 200mg/l pour les sulfates) et ceci durant presque toute la durée de l'étude, ainsi que les sulfates sont élevés pendant les six premiers mois. Ces valeurs élevées rendent compte de la présence d'une pollution aux alentours de l'usine de peinture. Rappelons que les nitrites et l'ammonium sont des indicateurs de la pollution. Si on compare l'évolution des concentrations en fonction de la pluviométrie, on remarque qu'il n'y a pas de relation directe entre les deux. En effet, on pourrait s'attendre un à phénomène de lessivage, due à la grande quantité de pluie enregistrés pendant les trois premiers mois figure4, mais ce n'est pas le cas. Au contraire, pendant cette période on enregistre des valeurs maximales de nos concentrations.

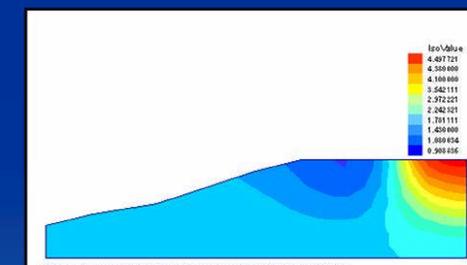


Figure5. Valeurs de la concentration donnée.

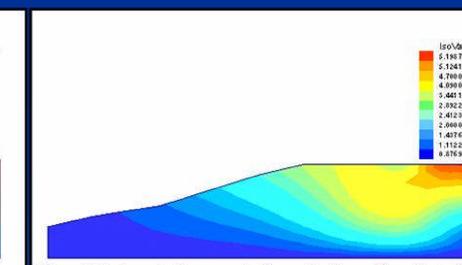


Figure6. Valeurs de la concentration calculée après optimisation.

5. CONCLUSION:

La méthode d'optimisation utilisée dans ce travail a permis d'obtenir une bonne décroissance de la fonction de moindre carré correspondante à des approximations du champ de concentration du polluant. La résolution du problème inverse nous a permis d'étudier la répartition de la concentration au niveau du sous sol à partir de simple mesures de toxicité effectuées en aval, ainsi cette technique nous a permis d'éviter l'utilisation de méthodes de détection destructives très coûteuses (sondages). Remarquons aussi que la région où se sont effectuées les prélèvements n'a pas d'activité agricole. Donc, les valeurs élevées de certains paramètres ne peuvent être que d'origine industrielle. Plusieurs améliorations peuvent être apportées, principalement à l'équation de diffusion, en ajoutant le terme de la convection. Enfin, il faut compléter les analyses au laboratoire en dosant d'autres éléments de pollution comme les métaux lourds (plomb, cadmium).

6. REFERENCES:

- Allaire, G., Silva, D., Pantz, O., 2004, "Determination of diffusion coefficients on a reverse problem". Ecole polytechnique. Centre de mathématiques appliquées, France, RI n°560:4-6.
- Anguela, T.P., 2004, "Study of the transfer of water and solutions in a soil, drained artificially superficial tablecloth". Doctorate thesis, ENGREF, Paris, France, 210pp.
- Clement T.P., Wise, W.R., Molz, P.J., Wen, M., 1996, "A comparison of modeling approaches for steady-state unconfined flow". Journal of Hydrology, 181(1-4): 189-209.
- Extrait de la vue aérienne de la ville de SOUK AHRAS, centre nationale de cartographie et de télédétection, Alger, Algérie.
- F. Hecht, O. Pironneau, A. Le Hyaric, K. Ohtsuka, 2002, "FreeFem++ Version 2.11". <http://www.freefem.org/ff++>
- Kao, C., Bouarfa, S., Zimmer, D., 2001, "Steady state analysis of unsaturated flow above a shallow water-table aquifer drained by ditches". Journal of Hydrology, 250: 122-133.
- Romano, C.G., Frind, E.O. et Rudolph, D.L., 1999, "Significance of unsaturated flow and seepage faces in the simulation of steady-state subsurface flow". Ground Water, 37(4): 625-632.
- Silliman, S.E., Berkowitz, B., Simunek, J. et van Genuchten, M.T., 2002, "Fluid flow and solute migration within the capillary fringe". Ground Water, 40(1): 76-84.
- Vauclin, M., Kanji, D. et Vachaud, G., 1979, "Experimental and numerical study of a transient, two-dimensional unsaturated-saturated water-table recharge problem". Water Resources Research, 15: 1089-1101.