

Simulation numérique en 3D de l'impact de l'activité d'une unité de production de peintures sur la nappe phréatique de la ville de Souk Ahras

A.Gheris¹, M.Meksaouine², A.Messaoudene³, M.Megueddem³

¹ Laboratoire InFraRes, Centre Universitaire de Souk Ahras, BP1553, Souk Ahras, 41000, Algérie. a.gheris@hotmail.com

² Département d'hydraulique, Université Badji-Mokhtar, Annaba, 23000, Algérie.

³ Laboratoire de Toxicologie, Département de Pharmacie, Université Badji-Mokhtar, Annaba, 23000, Algérie. Beya.mess@hotmail.com

³ Laboratoire de Toxicologie, Département de Pharmacie, Université Badji-Mokhtar, Annaba, 23000, Algérie. myrmeg@hotmail.com

Résumé— Les pollutions d'origine industrielles, sont majoritairement dues à la mauvaise gestion des sites et zone d'activités industrielles, favorisant ainsi l'infiltration de substance chimique de la surface du sol. Cette étude a été réalisée afin d'évaluer la répartition spatio-temporelle du plomb (Pb^{+2}), cadmium (Cd^{+2}) et le chrome (Cr^{+2}) éléments chimiques toxiques entrant dans la composition des peintures produites au niveau de l'usine de production de peintures de Souk Ahras. En premier lieu, notre étude a mis en évidence la présence de ces métaux lourds dans les échantillons collectés et ceci à différent degré de concentrations. Par la suite ces données ont été utilisées pour simuler et prédire le risque de propagation de la pollution vers les puits d'approvisionnement en eau utilisés par la population locale.

Mots clés: pollution, nappe phréatique, modélisation, métaux lourds, environnement

Abstract—The original pollution industrial, is mostly due to the sites bad management and industrial activity zone, allowing the infiltration of chemical from the soil surface. This study was conducted to assess the spatial-temporal distribution of plumb (Pb^{+2}), cadmium (Cd^{+2}) and chromium (Cr^{+2}), are toxic chemicals used in the composition of the paintings produced at Plant production of paints in Souk Ahras city. First, our study has revealed the presence of heavy metals in samples collected at different concentration levels. Subsequently these data were used to simulate and predict the risk of spreading the pollution to water supply wells used by local people.

Key words: pollution, groundwater, modeling, heavy metals, environment

I. INTRODUCTION

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact de l'unité de production des peintures de la ville de Souk Ahras (ENAP) en matière de pollution du sous sol, sur l'ensemble de la région avoisinante. En sachant que cette région regroupe un grand nombre d'habitation (environ 20000 habitons).

II. PREMIERE PARTIE (ETUDE TOXICOLOGIQUE)

2.1 Définition.

Une peinture (ou un vernis) est une préparation fluide (liquide, pâteuse ou pulvérulente) qui peut s'étaler en couche mince sur toutes sortes de matériaux (appelés subjectiles) pour former après séchage ou réticulation (durcissement) un revêtement mince (film ou feuil), adhérent et résistant, jouant un rôle protecteur et/ou décoratif. Notre choix s'est porté sur l'étude et l'analyse de l'impact de trois types d'éléments minérales entrent dans la fabrication des peintures à savoir : le plomb, le cadmium et le chrome sur le risque de contamination de la nappe d'eau et du sous sol du site de l'étude. Ce choix s'explique par le rôle négatif de ces éléments sur la santé publique (toxicité) et sur l'environnement (pollution).

2.2 Profil locale du site d'étude

L'usine de production des peintures ENAP représente une grande installation industrielle couvrant une surface de 5Ha (250x200) m. Elle est composée de plusieurs unités de productions et de stockages de produits finis et de matière première. L'ENAP est alimenté en eau à partir de la conduite d'eau de SOUK AHRAS. Le volume est estimé à 4000 m³/mois soit 134 m³/j. Les besoins réels en eau sont estimés à 5000 m³/mois soit 167 m³/j, soit un déficit de 33 m³/j. Pour remédier à ce déficit l'usine a procédé à la réalisation de deux forages d'eau de 150m de profondeur pour chacun.

Lors des travaux de forage, nous avons procédé à la récupération d'échantillons de sol et d'eau sur plusieurs profondeurs, ces échantillons ont été soumis aux analyses physico-chimiques et toxicologiques qui ont été réalisés au niveau du laboratoire du génie civil du centre universitaire de SOUK AHRAS pour les essais d'identifications physiques des sols et au laboratoire de toxicologie du CHU de Annaba et au niveau du Centre National de Toxicologie (CNT) à Alger pour la

détection et le dosage des métaux lourds (Pb^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+2}).

2.3 Caractéristiques physique du sol

Les caractéristiques physiques du sol sont mesurées à partir des échantillons prélevés, ils sont représentés sur les figures 1 et 2.

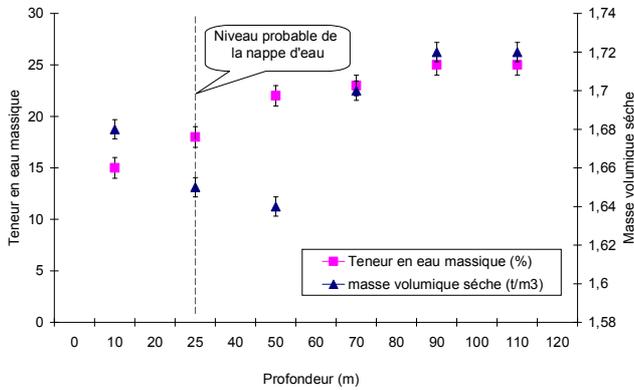


Fig.1 Masse volumique apparente sèche et teneur en eau massique en fonction de la profondeur, obtenue par pesée après prélèvement.

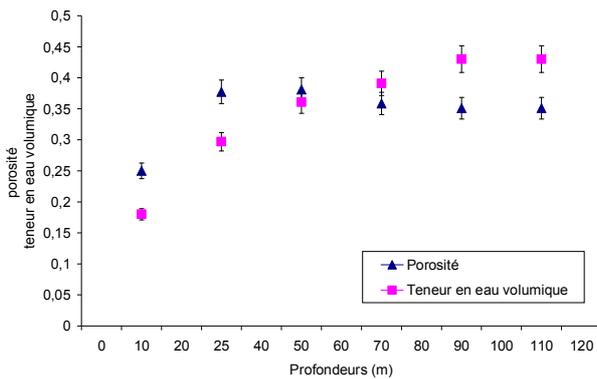


Fig.2 Porosité et teneur en eau volumique en fonction de la profondeur, calculée à partir de mesures de la masse volumique du solide et de la masse volumique apparente sèche.

2.4 Dosage des métaux lourds (Pb^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+2}) dans le sol

Le but de ce dosage est double : premièrement quantifier le niveau des métaux lourds formant le contaminant étudié dans les échantillons de sol prélevé, et deuxièmement la détermination du coefficient de répartition (de distribution) nécessaire pour la modélisation[2], [3].

Matériels: pour les besoins du protocole expérimental nous avons utilisé : un Four à moufle, un bain de sable, une capsule en porcelaine, un Erlenmeyer en verre, une balance de précision, un appareil SAA (A800) (Spectrophotomètre d'Absorption Atomique), Réactif chimique: Acide nitrique, Acide chlorhydrique supra-pur [7], [9].

Méthode: mode de prélèvement: les sols sont échantillonnés sur une profondeur qui varie de 0 à

150m. Les échantillons sont placés dans des sacs plastiques dûment identifiés, tableau 1.

Préparation des échantillons: les échantillons sont homogénéisés, puis séché à $105^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$, les échantillons sont ensuite tamisés à 2mm.

Minimalisation à chaud: les échantillons sont minéralisés par dessiccation acide à l'eau régale. Chaque échantillon a fait l'objet à une prise d'essai de $0.4g \pm 0.5mg$, chaque prise est placée dans un Erlenmeyer en verre ou elle reçoit 3ml d'eau déminéralisé, 7.5 ml d'acide Chlorhydrique (38% Normapur) et 2.5ml d'acide nitrique (65% Normapur). Le mélange est fermé hermétiquement et laissé à température ambiante pendant 12h. Le minéralisat est ensuite concentré par ébullition pendant 2h. Après refroidissement, le volume est ajusté à 20ml avec de l'eau déminéralisée. Des blancs de minéralisat (sans sol) sont préparés simultanément[7], [9].

Analyse: le dosage des métaux dans le minéralisat est réalisée par spectrométrie d'absorption atomique en mode flamme ou en four[7], [9].

Tab.1 Profondeur des prélèvements

Réf	2A	4A	9A	7A	1A	3A	5B	8B	6B	10B
Prof (m)	0	30	57	67	72	150	30	43	62	75

III. DETERMINATION DU COEFFICIENT DE REPARTITION K_D (METHODE TUBE À ESSAI):

Le tube à essai est l'instrument le plus simple pour mesurer l'adsorption des contaminants sur les sols. Le principe consiste à mélanger une masse de sol avec un volume de solution de concentration connue (prélevé). Puis, la suspension est agitée durant un temps précis à température constante. Enfin, cette suspension est centrifugée et filtrée pour récupérer le surnageant[12]. La concentration de contaminant restant en solution permet de calculer la quantité de contaminant adsorbé par le sol selon la loi suivante:

$$Q = \frac{V}{m} (C_0 - C) + Q_0 \quad (01)$$

C : concentration de contaminant restant en solution ($mol.L^{-1}$), C_0 : concentration de contaminant initialement présent en solution ($mol.L^{-1}$), Q : concentration de contaminant adsorbé sur le sol ($mol.kg^{-1}$), Q_0 : concentration de contaminant initialement adsorbé sur le sol ($mol.kg^{-1}$), V : volume de solution (L), m : masse de sol (kg). Il est fréquent de considérer que Q_0 est négligeable. Le rapport entre la concentration de contaminant retenu sur la phase solide Q et la concentration de contaminant restant en solution C est appelé «coefficient de Partage», ou encore

«coefficient de distribution » (Limousin *et al.* 2007[8]), est donnée par la formule suivante:

$$Kd = \frac{Q}{C} \quad (02)$$

3.1 Dosage des métaux lourds (Pb, Cd, Cr) dans le sol

La concentration de plomb ou du cadmium adsorbé sur le sol a été calculée selon l'équation (01), ce qui a permis de construire les isothermes d'adsorption du plomb, cadmium et du chrome[6] (Fig.3).

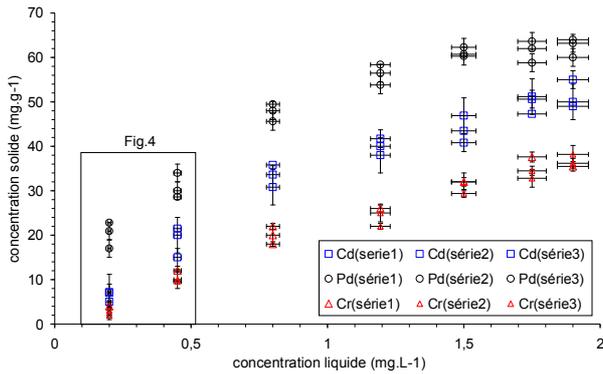


Fig.3 Isothermes d'adsorption du Plomb, Cadmium et du Chrome sur le sol (tamisée à sec à 2 mm) après 72 h de temps de contact (rapport sol/solution : 0,4 kg.L⁻¹).

Les trois isothermes peuvent être considérées comme linéaires en dessous de 0,44 mg.L⁻¹ (Fig.4).

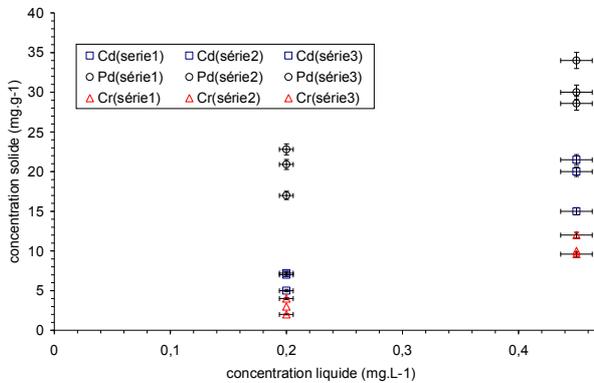


Fig.4 Les isothermes d'adsorption du Plomb, Cadmium et du Chrome, pour des concentrations inférieures à 0,45 mg.L⁻¹

Nous trouvons ainsi les valeurs des coefficients de partage (distribution) et les coefficients de régression r² déduite des équations des droites obtenues, regroupées dans le tableau suivant:

Tab.2 Coefficient de partage des métaux prélevé

Métaux	Coefficient de partage Kd	Coefficient de régression r^2
Plomb	24.465	0.8947
Cadmium	24.809	0.9304
Chrome	19.224	0.9692

Un coefficient de partage unique de 24 L.g⁻¹ peut être

retenu pour les deux éléments (Pb⁺², Cd⁺²). Concernant le Chrome, ce coefficient est en accord avec les valeurs moyennes rencontrées dans la littérature pour ce type de sol (ex. : Reynolds *et al.* 1982 ; International Atomic Energy Agency, 1994 ; Ohnuki, 1994 ; Environmental Protection Agency, 1999 ; Szenknect *et al.*, 2005[12]).

IV. DEUXIEME PARTIE, SIMULATION NUMERIQUE

Le but de cette partie est double, en premier lieu nous utilisons la simulation numérique à l'aide du logiciel Visual MODFLOW[14] afin de représenter la répartition spatiale de l'état de contamination actuelle dans le sous sol du site étudié. Par la suite nous utilisons le logiciel pour la prédiction dans le temps de l'évolution et la migration de la contamination vers les zones sensibles (puits d'eau, zone résidentielle). Le site est représenté par l'usine de production des peintures. La géologie du terrain se compose d'une formation argilo marneuse sableuse à graveleuse[6].

4.1 Module Création et définitions du modèle d'écoulements

L'élaboration du modèle d'écoulement du flux passe par l'attribution au modèle physique une série de conditions aux limites et aux frontières, de la charge hydraulique ainsi que le niveau piézométrique de la nappe d'eau. Les caractéristiques géomorphologiques du site sont illustrées dans la figure suivante:

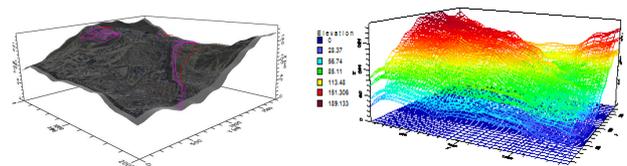


Fig.5 Vue tridimensionnel du modèle physique du site.

Par la suite nous avons procédé à l'introduction des paramètres géotechniques, épaisseurs des couches, paramètres physiques des sols recentrés (densité sèche, humide, tenue en eau, perméabilités).

4.2 Module créations du model de transport des contaminants

Dans cet exemple, la contamination qui sera simulé est celle du plomb, cadmium et le chrome. Différentes propriétés de sorption et de réactives (coefficients de distribution, coefficient de dégradation) sans introduite pour chaque couche, les propriétés et les procédés pour le modèle de transport sont introduite en utilisant les mêmes types d'outils graphiques que pour les propriétés du modèle d'écoulement.

V. RESULTATS DE LA SIMULATION ET DISCUSSIONS

Les figures suivantes représentent les états de la contamination actuelle estimée à 30ans après le début de la production de l'usine, ainsi que l'évolution future de la pollution. Ces figures nous montre que la distribution de la contamination par le plomb est relativement similaire à celle du cadmium, cela est dû à une similitude dans leurs coefficients de partage.

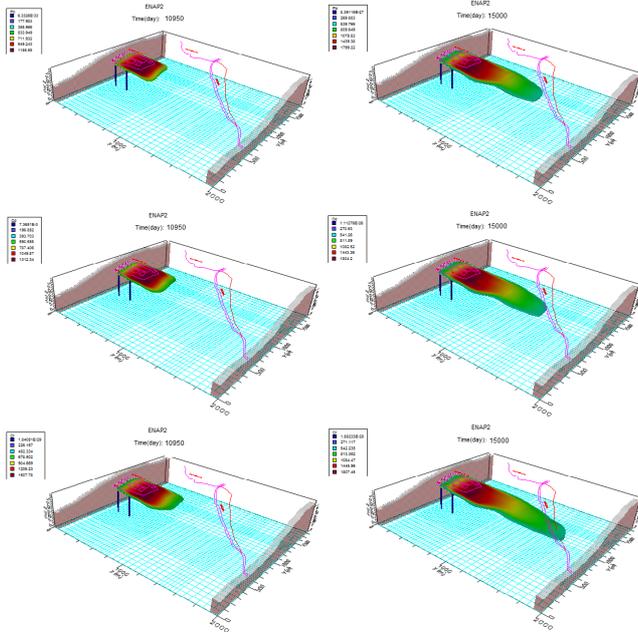


Fig.6 Etat de la concentration du Pb^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+2} . Respectivement, états accueil, état future après 10ans

Nous pouvons remarquer qu'à l'état actuel, cette pollution touche une bonne partie de la zone résidentielle où des grands nombres de maisons s'approvisionnent en eau au niveau des puits et fontaines publique. La projection future nous montre que la répartition spacial ainsi que les taux de concentrations des agents polluant ont tendance à augmenter, touchant et affectent une vaste zone de populations

VI. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons mis évidence l'impact très nocif de l'usine sur l'environnement. En effet, à partir de 15ans d'exploitation de cette usine la nappe d'eau se trouve très contaminé par les métaux lourds (Pb^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+2}). Ces résultats ont été confirmés par les analyses de toxicité effectuées au centre nationale de toxicologie, où des concentrations très importantes de métaux lourds nocif à la santé de la population ont été trouvées dans les échantillons de sols et d'eau. D'où l'urgence de modifier la politique de la gestion envirenementale de cette unité.

VII. REFERENCES

- [1] Baird, A.J. & Gaffney, S.W, "Solute movement in drained fen peat: A field tracer study in a Somerset (UK) wetland". *Hydrological Processes*, 14(14): 2489-2503, 2000.
- [2] Bradl, H.B. "Adsorption of heavy metal ions on soils and soil contsituents". *Journal of Colloid and Interface Science*, 277, 1-18, 2004.
- [3] Brooks, R.H. & Corey, A.T. Hydraulic properties of porous media, Hydrology Paper 3, Colorado State Univ., Fort Collins, CO, 1964.
- [4] Clement, T.P., Wise, W.R., Molz, F.J. & Wen, M. "A comparison of modeling approaches for steady-state unconfined flow". *Journal of Hydrology*, 181(1-4): 189-209, 1996.
- [5] Domenico, P.A. & Schwartz, F.W. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, New York, 807 pp, 1990.
- [6] Gheris, A. "Les sols contaminée, modélisation et prédiction du transport des particules dans un aquifère (cas de la ville de Souk Ahras)". Thèse de doctorat, université de Guelma, 2009.
- [7] Jeannat, R., Lemiére, B. et chiron, S. "Guide méthodologique pour l'analyse des sols pollués". Orléans:Edition du BRGM, 83p, 2001.
- [8] Limousin.G, Gaudet. JP, Charlet.S, Szenknect. S. "Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement". *Applied Geochemistry*, 22 (2007) 249-275, 2007.
- [9] Lemiére, B et al."Guide sur le comportement du polluants dans les sols et les nappes". Orléons:Editions d BRGM, 119p, 2001.
- [10] Mualem, Y., "A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media", *Water Resour. Res.*, 12(3), 513-522, 1976.
- [11] M. E. Ossmani. "Méthodes numériques pour la simulation des écoulements miscibles en milieux poreux hétérogènes". PhD thesis, Université de Pau et des pays de l'adour, France, 2005.
- [12] Szenknect, S., Ardois, C., Gaudet, J.-P., Barthe's, V. "Reactive transport of ^{85}Sr : static and dynamic experiments and modeling". *J. Contam. Hydrol.* 76, 139-165, 2005.
- [13] Šimůnek, J., and M. Th. van Genuchten, "Numerical model for simulating multiple solute transports in variably-saturated soils", Pro. Water Pollution III: Modelling, Measurement, and Prediction, Ed. L. C. Wrobel and P. Latinopoulos, Computation Mechanics Publication, Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton, UK, pp. 21-30, 1995.
- [14] Visual MODFLOW Premium 2009. Schlumberger Water Services, www.swstechnology.com.