



Full Length Research Paper

# Modélisation numérique des mécanismes d'atténuation naturelle des polluants organiques volatiles dans les sols du Burkina Faso : application au trichloréthylène (TCE)

Ouoba S.<sup>1</sup>, Cherblanc F.<sup>2</sup>, Bénét J.-C.<sup>2</sup>, Koulidiati J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement, Université de Ouagadougou, UFR-SEA, 03 BP 7021 (Ouagadougou, Burkina Faso)

<sup>2</sup>Laboratoire de Mécanique et Génie Civil, UMR CNRS 5508, Université Montpellier 2, Cc 048, Place Eugène Bataillon, 34000 (Montpellier, France)

Received April 2014 – Accepted December 2014



\*Corresponding author. E-mail: samuel\_ouoba1@yahoo.fr

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License.

## Résumé :

Cet article présente un modèle numérique sur les mécanismes d'atténuation naturelle des polluants organiques volatiles dans un sol du Burkina Faso. Les résultats du modèle montrent que plusieurs paramètres physicochimiques tels que la pression ambiante, la température, la teneur en matière organique, la porosité du sol, la taille des grains du sol, l'humidité relative influencent les mécanismes de transfert des polluants organiques volatiles dans le sol. Il a été notamment montré qu'au fur et à mesure que le polluant migre vers les horizons profonds du sol, les mécanismes d'atténuation naturelle sont quasi inexistant augmentant ainsi la persistance du polluant dans le sol. Aussi, les résultats du modèle ont montré que la faible solubilité de la plupart des polluants est un facteur favorisant leur persistance dans le sol entraînant par la même occasion une aggravation de la pollution des sols par les polluants organiques comme les pesticides. Enfin, l'aridité du sol a été identifiée comme un facteur qui limite considérablement les processus de transfert car les effets hygroscopiques résultant des forces de type Van Der Waals maintiennent les résidus de polluants fortement liés à la matrice solide du sol rendant quasi impossible leur extraction.

**Mots clés :** polluants organiques, volatile, atténuation naturelle, Burkina Faso, sol aride ; effets hygroscopiques.

## Cite this article:

Ouoba S.I, Cherblanc F.2, Bénét J.-C.2, Koulidiati J.I (2015). Modélisation numérique des mécanismes d'atténuation naturelle des polluants organiques volatiles dans les sols du Burkina Faso : application au trichloréthylène (TCE). Revue Cames – Sci. Appl. & de l'Ing., Vol. 1(2), 97-103. ISSN 2312-8712.

## 1. Introduction

Les principaux polluants organiques volatiles que l'on rencontre dans les sols du Burkina Faso sont essentiellement les pesticides ; ceci à cause de leur utilisation massive dans l'agriculture notamment dans la culture du coton. Les pesticides encore appelés biocides, biopesticides, produits phytosanitaires ou phytopharmaceutiques sont un groupe de substances hétérogènes du point de vue de leur cible, de leur structure chimique, de leur mode d'action et de leur toxicité. Ils sont destinés à repousser, maîtriser ou contrôler les organismes nuisibles y compris les vecteurs de maladies humaines ou animales et les espèces indésirables de plantes ou d'animaux. Ils sont également utilisés pour obtenir un supplément

alimentaire ainsi que pour protéger les hommes contre certaines maladies telles que la peste et le paludisme [Cetin et al., 2006 ; Feigenbrugel, 2005 ; Jenning, 1991]. On estime de nos jours que 50% de la population mondiale ne reçoit pas une ration alimentaire suffisante [Gilles, 1991] ; l'Afrique étant le continent le plus touché. D'après la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), c'est jusqu'à 50% de la production de coton qui seraient détruits en l'absence de traitement [Fournier, 1988]. En effet, la production agricole mondiale subit une baisse de 40% dues aux dégâts des parasites et des ravageurs des cultures [El Bakouri, 2002]. Ces pertes sont plus importantes dans les pays en voie de développement. En Afrique par exemple, la production

agricole subit une perte annuelle de 42% dont 13% sont imputables aux insectes, 13% aux maladies fongiques et 16 % aux mauvaises herbes [Gilles, 1991]. Cependant, l'utilisation des pesticides peut s'avérer très nuisible à l'environnement et à la santé humaine car certains pesticides comme les organophosphorés possèdent une toxicité aiguë très importante pour les vertébrés [Awasthi et al., 1999]. D'autres comme les organochlorés sont très redoutables par suite de leur toxicité à long terme [Awasthi et al., 2000 ; Gautier et al., 2003 ; Kathpal et al., 1997] ou la toxicité qu'ils peuvent acquérir par suite de leur accumulation dans l'environnement et de leur concentration progressive croissante dans les organismes des animaux par un processus de bioaccumulation. L'un des dangers majeurs est qu'ils sont très souvent sur-dosés (Sattler et al., 2007 ; Bürger et al., 2012) par rapport aux prescriptions du fabricant (Aubert and Enjolras, 2012) et utilisés sans qu'aucun minimum de précautions ne soient prises. Cette façon d'utiliser les pesticides présente plusieurs inconvénients pour l'homme, les animaux et les plantes [El Bakouri, 2002]. Plusieurs cas d'intoxication ont d'ailleurs été rapportés dans la littérature [Ramade, 1993 ; Savadogo, 2001]. La situation devient particulièrement critique lorsque les pesticides pénètrent dans le sol par des processus de transfert et s'y concentrent par le biais de processus de bioaccumulation, de bioamplification ou de biogéochimie ; ce qui constitue à long terme une menace sérieuse pour la nappe phréatique et les eaux de boisson. La communauté microbienne joue certes un rôle essentiel dans le processus de dégradation des pesticides [Bhat et al., 1998 ; Yu – Yunlong et al., 1997] car elle est capable de transformer les pesticides en d'autres substrats non toxiques et, éventuellement les utiliser comme source de carbone et d'énergie. Cependant, les données bibliographiques sur les résidus non assimilés restent parfois indisponibles. C'est pourquoi nous estimons qu'il serait bon d'étudier et de comprendre les mécanismes physiques qui vont conditionner le devenir de la quantité de pesticide restante dans le sol car l'état de pollution d'un sol joue un rôle important dans le contrôle de la production des cultures dans la qualité des eaux de surfaces et des nappes souterraines [Chen et al., 2005 ; Jantunen and Bidleman, 2000 ; Kumar and Philip, 2006].

## 2. Méthodologie

### 2.1. Motivations du choix du trichloréthylène (TCE) comme composé modèle

La validité d'un modèle numérique est toujours liée à la conformité des résultats de ce modèle à ceux de l'expérience d'où la nécessité d'effectuer plusieurs

campagnes expérimentales afin de vérifier la reproductibilité des paramètres recherchés. Cela suppose également que le temps de suivi du composé soit relativement court par rapport au temps imparti à l'expérimentation. C'est ainsi que notre choix a été porté sur le TCE pour quatre raisons essentielles : (i) il est relativement soluble dans l'eau ( $S > 1\text{g/litre}$ ) par rapport à certains polluants dont la solubilité est de l'ordre du mg voir du  $\mu\text{g}$  par litre d'eau. Il n'y a donc pas de possibilité d'adsorption des vapeurs de TCE sur les parois du dispositif expérimental lors des essais. (ii) il a une pression de vapeur saturante très élevée ( $\approx 7700\text{ Pa}$  à  $20^\circ\text{C}$  et près de  $12000\text{ Pa}$  à  $30^\circ\text{C}$ ) ce qui permet son suivi à l'aide du capteur DRUCK, utilisé au cours de l'expérience, dont l'incertitude est de  $\pm 40\text{ Pa}$ . (iii) on dispose de données bibliographiques suffisantes (pression de vapeur d'équilibre, solubilité, coefficient d'évaporation, isotherme de sorption, constante de Henry) sur le TCE et sa forte volatilité réduit considérablement le temps d'une campagne expérimentale. (iv) il entre également dans la fabrication de certains pesticides comme les insecticides [INERIS, 2005].

### 2.2. Hypothèses de travail et choix des variables

Le système étudié est un sol contenant une phase liquide composée d'eau et de polluant dissout, d'une phase gazeuse composée d'air, de vapeur d'eau et de vapeur de polluant. On pose les hypothèses suivantes :

- H1 : la phase solide est incompressible et chimiquement inerte,
- H2 : la température est uniforme et constante à  $30^\circ\text{C}$ ,
- H3 : la phase gazeuse se comporte comme un mélange de gaz parfaits,
- H4 : la phase liquide est une solution idéale diluée d'eau et de polluant,
- H5 : il n'y a pas de réactions chimiques en phases liquide et gazeuse. Les seuls phénomènes physico-chimiques pris en compte sont le changement de phase liquide-gaz de l'eau et du polluant,
- H6 : la pression de la phase gazeuse est uniforme, constante et égale à la pression atmosphérique. Ceci fournit une équation qui donne la masse volumique apparente de l'air.

Ainsi, les variables choisies pour définir l'état du système sont  $w$ ,  $C_a$ ,  $C_g$  et  $P$ .

### 2.3. Equations basiques

#### 2.3.1. Pour le polluant en phase aqueuse

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} + \underbrace{\nabla \cdot (C_a v_a)}_{\text{terme de filtration}} + \underbrace{\nabla \cdot J_a}_{\text{terme de diffusion}} = \underbrace{\hat{\rho}_a}_{\text{terme source/puits}} \quad (1)$$

Le terme de diffusion s'écrit :

$$J_a = -D_a \nabla C_a \quad (2)$$

et le terme source/puits est donné par :

$$\hat{\rho}_a = -L \frac{M}{\phi_g(w)R} \ln\left(\frac{P}{P_{aq}}\right) \quad (3)$$

Dans la relation (3) on a :

$$P_{eq} = K_H^s C_a \quad (4)$$

Où  $K_H^s$  est la constante de Henry du polluant dans le sol

### 2.3.2. Pour le polluant en phase vapeur

L'équation de transport du polluant en phase vapeur s'écrit :

$$\frac{\partial(C_g)}{\partial t} + \underbrace{\nabla \cdot J_g}_{\text{terme de diffusion}} = \underbrace{\hat{\rho}_g}_{\text{terme source/puits}} \quad (5)$$

où :

$$J_g = -D_g \frac{M}{RT} \nabla P \quad (6)$$

et :

$$\hat{\rho}_g = -\hat{\rho}_a \quad (7)$$

## 2.4. Discrétisation des équations de transport

La discrétisation, basée sur la méthode des volumes finis, est faite suivant un axe unidimensionnel ( $Z'Z$ ), orienté du bas vers le haut, en choisissant les inconnues au centre des mailles. Chaque inconnue du problème dépend de plusieurs paramètres et on obtient ainsi un système d'équations fortement non-linéaires. Les expressions réelles des fonctions n'étant pas connues, la méthode de dérivation s'appuie sur le développement de Taylor en admettant que chaque fonction est continue et dérivable sur l'intervalle d'étude. Pour la résolution des équations discrétisées, nous avons adopté un schéma implicite en temps qui tient compte de la méthode de discrétisation et un schéma amont décentré pour le flux de convection. Compte tenu de la non linéarité des équations de transport, nous avons adopté la méthode de Newton-Raphson pour la résolution numérique du problème.

## 3. Résultats et Discussion

La méthode adoptée dans ce manuscrit pour la détermination des paramètres phénoménologiques tels que le coefficient de changement de phase, la constante de Henry et l'activité du polluant, a déjà fait l'objet de plusieurs publications sur l'eau contenue dans un sol (Ouoba et al., 2010a), le trichloréthylène et l'heptane (Ouoba et al., 2010b) et d'un brevet d'invention aux Etats Unis (Bénet et al., 2012).

## 3.1. Evolution du processus de transfert par atténuation naturelle

### 3.1.1. Effet de la concentration initiale

Nous étudions dans cette section l'évolution du processus de transfert du trichloréthylène au cours du temps dans un échantillon de sol. Les figures 1 et 2 présentent les résultats d'une simulation obtenue à intervalle de temps régulier de 100.000 s pour  $C_0=1$  mg/L et  $C_0=1000$  mg/L sur une colonne de sol de 30 cm de hauteur. L'axe des abscisses est gradué en pourcentage de  $C_0$ . L'analyse des deux courbes montre qu'avec le temps, le pourcentage des pertes par atténuation naturelle se réduisent de façon significative. On peut constater cette réduction à travers la réduction des écarts relatifs entre deux courbes consécutives. Sur la figure 1, les valeurs de la concentration correspondant aux 5 courbes représentent respectivement 94 %, 84 %, 75 %, 67 % et 60 % de la concentration initiale  $C_0=1$  mg/L soit des écarts relatifs variables de 10 %, 9 %, 8 % et 7 %. Ces résultats montrent bien que le flux de volatilisation en surface diminue avec le temps lorsque la teneur en liquide et la concentration du TCE diminue. Ces observations sont valables sur la figure 2 pour laquelle les concentrations maximales des 5 courbes consécutives représentent 91 %, 78 %, 66 %, 57 % et 50 % de la concentration initiale  $C_0=1000$  mg/L soit des écarts variables de 13 %, 12 %, 9 % et 7 %.

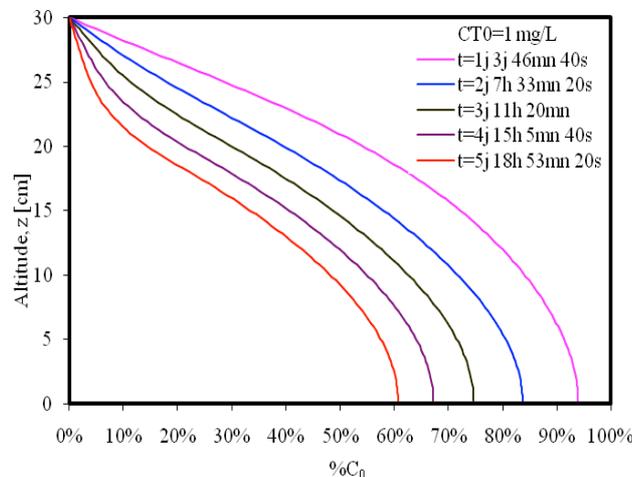


Figure 1. Profils de concentration du TCE pour  $w_0=4\%$ ,  $HR=30\%$  et  $C_0=1$  mg/L

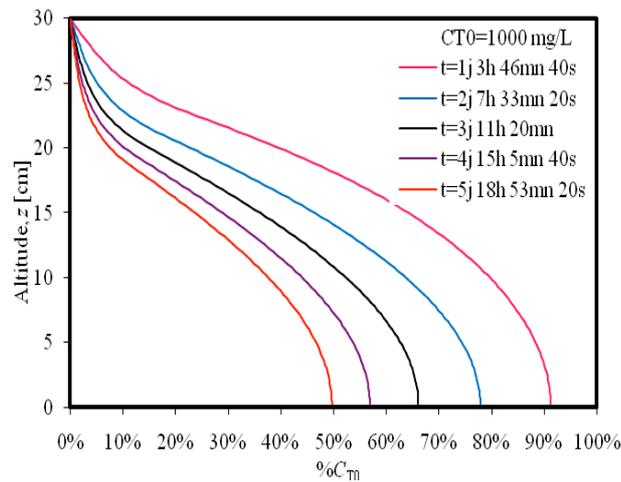


Figure 2. Profils de concentration du TCE pour  $w_0=4\%$ ,  $HR=30\%$  et  $C_0=1000$  mg/L

On constate d'ailleurs qu'au bout de 100.000 s, la concentration maximale dans l'échantillon a diminué de 6% pour une concentration initiale de 1 mg/L alors qu'elle serait diminuée de 9% pour une concentration initiale de 1000 mg/L. Ces résultats semblent indiquer que le flux de volatilisation, élevé au départ pour les fortes concentrations, diminue rapidement avec le temps. Dans une de nos précédentes publications (Ouoba et al., 2014) visant à montrer qu'il existe une couche limite du sol à l'intérieur de laquelle les transferts du TCE vers l'atmosphère sont favorables, des simulations ont été effectuées sur 13 valeurs différentes de  $C_0$  pendant un temps de simulation de 500.000 s. Les résultats montrent qu'en partant d'une concentration initiale de 1000 mg/L, la valeur de la concentration maximale dans l'échantillon passe de 100%, à l'instant initial à seulement 49%, au terme de 500.000s alors qu'elle serait passée de 100% à 81% pendant le même temps, pour une concentration initiale de 1 mg/L. Aussi, d'autres résultats obtenus sur 10 valeurs de  $C_0$  comprises entre 0,001 mg/L et 1000 mg/L montrent que le temps de simulation croît beaucoup lorsque la concentration initiale du TCE diminue. Nous avons donc conclu que pour les faibles concentrations, le coefficient de changement de phase du TCE tend vers zéro si bien que les pertes par

changement de phase sont considérablement réduites (Ouoba et al., 2014). En effet avec le temps, la teneur en liquide du sol diminue et les effets hygroscopiques deviennent suffisamment importants pour influencer considérablement sur le changement de phase ce qui montre clairement que les effets hygroscopiques modifient les cinétiques du TCE.

### 3.1.2. Effet de la profondeur d'infiltration du polluant dans le sol

Des tests numériques ont été réalisés afin d'étudier l'influence de la profondeur d'infiltration  $H$  du TCE sur les mécanismes de transfert du TCE dans le sol. Les figures 3 et 4 présentent les résultats pour trois valeurs différentes de  $H$  et pour deux valeurs de  $C_0$ , pour une teneur en eau initiale  $w_0=3\%$  et pour un temps de simulation de 500.000s. La Figure 3 montre clairement que la concentration maximale dans l'échantillon est passée de 1000 mg/L à l'instant initial à 904 mg/L pour  $H=100$  cm, 780 mg/L pour  $H=50$  cm et 479 mg/L pour  $H=30$  cm. Les résultats sont analogues pour une concentration initiale de 1 mg/L comme le montre la Figure 4.

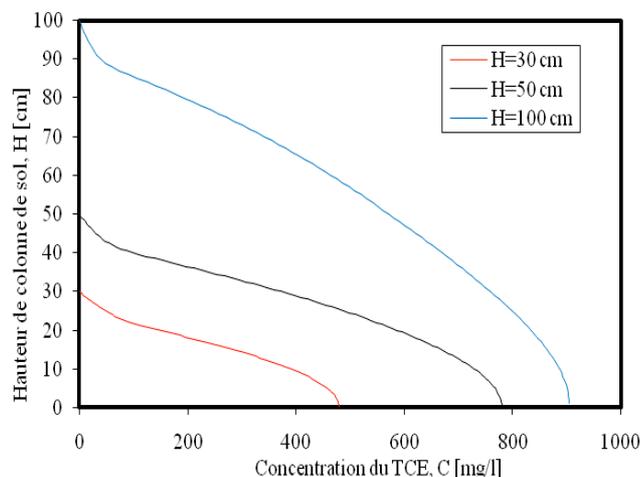


Figure 3. Profils de concentration du TCE pour  $C_0=1000$  mg/L,  $w_0=3\%$  et  $HR=30\%$

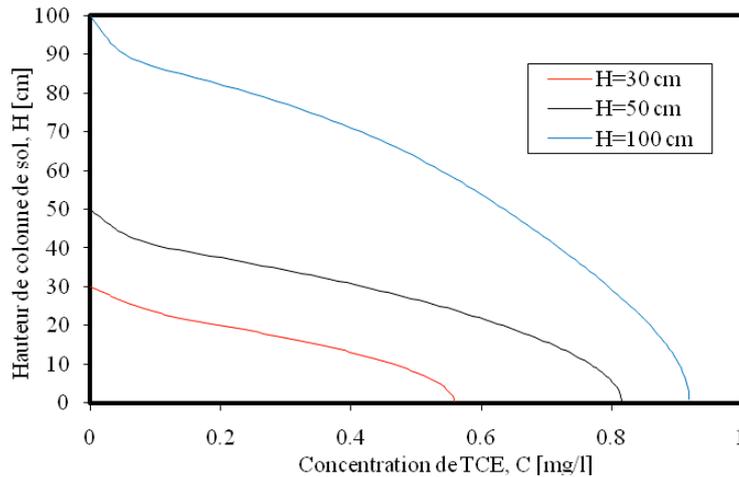


Figure 4. Profils de concentration du TCE pour  $C_0=1\text{mg/L}$ ,  $w_\theta=3\%$  et  $HR=30\%$

Cette énorme différence pourrait s'expliquer par la longueur du chemin caractéristique de diffusion. En effet dans les sols à faible teneur en eau, le mécanisme prioritaire de transfert en phase gazeuse est la diffusion. Plus la hauteur de diffusion augmente, plus la vapeur met du temps pour atteindre la surface libre où elle est transmise à l'environnement.

### 3.1.3. Loi mathématique sur les mécanismes d'atténuation naturelle du TCE

La Figure 5 donne l'évolution du temps, en fonction de  $H$ , pour ramener la concentration maximale dans le sol à 10% de sa valeur initiale. Ces résultats montrent qu'en partant d'une concentration initiale de 1000

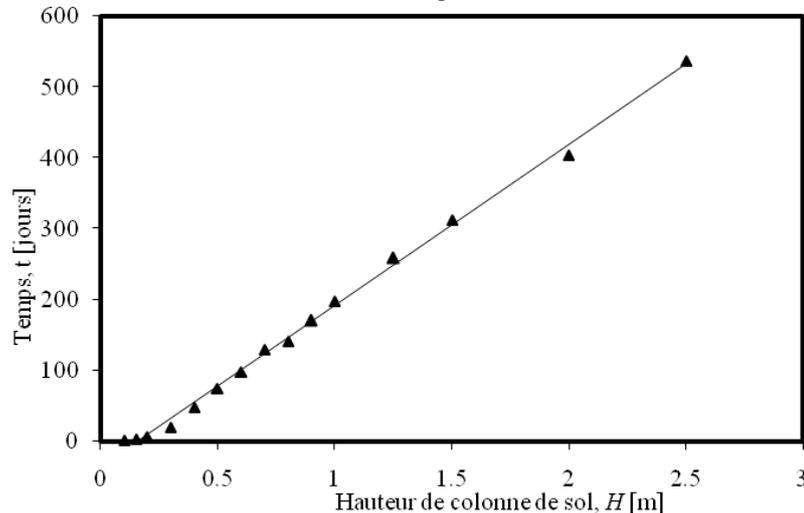


Figure 5. Courbe donnant le temps en fonction de la hauteur de colonne de sol pour que la valeur maximale de  $C$  soit égale à 10 % de  $C_0$  pour  $w_\theta=3\%$ .

La variation du temps,  $t$  (en jours) en fonction de la profondeur d'infiltration,  $H$  (en m) obéit à une loi linéaire dont l'expression mathématique est donnée par :

$$t = 227,4 * H - 35,4$$

Ceci nous permet de déduire que, par un processus d'atténuation naturelle, il faudrait entre 15 à 50 ans

mg/L, 19 jours suffisent pour que la valeur maximale soit ramenée à 10% de sa valeur initiale pour  $H=30$  cm alors qu'il faudrait 170 jours lorsque le TCE atteint une profondeur  $H=100$  cm et plus de 400 jours lorsque  $H=2$  m.

En conséquence, la profondeur d'infiltration est un paramètre très essentiel dans les processus d'atténuation naturelle du TCE. Plus le composé se trouve en profondeur, moins il est soumis aux phénomènes d'atténuation naturelle par évaporation et plus sa persistance augmente dans le sol. Ces résultats sont valables pour toute la gamme de concentrations étudiées.

Cette conclusion qualitativement évidente est ici étayée par nos calculs.

pour que la concentration du TCE qui se trouverait à une profondeur comprise entre 25 et 80 m (profondeur moyenne des forages), soit réduite à 10% de sa valeur initiale. Bien sûr ce résultat ne tient pas compte des autres mécanismes de dégradation tels que la biodégradation ou la dégradation chimique mais donne

une idée de l'aggravation de la pollution lorsque le composé arrive à s'infiltrer en profondeur.

#### 4. Conclusion

L'étude des mécanismes de transfert des polluants organiques volatiles telle qu'elle a été abordée dans cet article nous a permis de mieux comprendre quels sont les paramètres responsables de leur atténuation naturelle dans les sols. Ces mécanismes sont d'autant plus importants que le polluant est plus près de la surface du sol. Les vitesses d'évaporation diminuent énormément avec le temps lorsque les concentrations deviennent faibles et s'annulent presque totalement lorsque l'on s'approche du domaine des résidus « liés » où le polluant est fortement retenu par la matrice solide du sol rendant son extraction quasiment impossible. Les effets hygroscopiques constituent également un facteur limitant des transferts en rendant difficile l'évaporation des polluants volatiles. Ainsi, un sol à faible teneur en eau, comme c'est le cas pour la plupart des sols du Burkina Faso, peut favoriser la persistance d'un polluant volatile et constituer ainsi un facteur aggravant de la pollution. On a également montré qu'au-delà d'une certaine profondeur, l'atmosphère ambiante joue un rôle mineur sur l'atténuation naturelle du polluant si bien que dans ces conditions les seuls mécanismes susceptibles d'être à l'origine de la dissipation du polluant sont possiblement la biodégradation, la photo-dégradation, les réactions chimiques, etc.; phénomènes qui n'ont pas été pris en compte dans ce travail.

Enfin, la similitude du TCE par rapport aux pesticides nous amène à tirer les mêmes conclusions pour les pesticides surtout que la plupart d'entre eux sont beaucoup moins solubles que le TCE. Le risque de pollution persistante par les pesticides serait important dans les régions où se pratique une agriculture intensive utilisant massivement des pesticides. Cependant, il serait illusoire de penser ou de croire que les régions d'agriculture intensive sont les seules concernées. Ainsi, ces pesticides qui voyagent beaucoup par l'intermédiaire des mouvements des grandes masses d'air, vont pouvoir contaminer certainement l'ensemble d'un territoire, y compris le milieu urbain. Tôt ou tard donc, la plupart des pesticides arrivent sur le sol où ils seront soumis à un ensemble de mécanismes conditionnant leur devenir et leur dispersion vers les autres compartiments de l'environnement. En conclusion nous pouvons dire que le sol constitue la zone privilégiée où les pesticides finiront une bonne partie de leur vie.

#### Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration entre l'université de Ouagadougou au Burkina Faso et l'université Montpellier 2 en France et soutenu par le Ministère Français des Affaires Etrangères.

#### REFERENCES

- [1] B. Cetin, S. Ozer, A. Sofuoglu and M. Odabasi, "Determination of Henry's law constants of organochlorine pesticides in deionized and saline water as a function of temperature," *Atmospheric Environment*, Vol. 40, 2006, pp. 4538–4546.
- [2] V. Feigenbrugel, "Devenir atmosphérique des pesticides : Distribution entre les différentes phases de l'atmosphère et oxydation photochimique," *Thèse de doctorat à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg*, 2005, pp. 215.
- [3] A. L. Jenning, "Some economic and social aspect of pesticide use," In *Pesticides and Food Safety*; Tweedy, B. G., Dishburger, H. J., Ballantine, L.G, MCarthy, J., Eds., American Chemical Society: Washington, chapter II, 1991.
- [4] F. Gilles, "Pesticides and the thierd world," *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Vol. 32, 1991, pp. 11–31.
- [5] J. Fournier, "Chimie des pesticides. Cultures et Techniques. Agence de Coopération Culturelle et Technique," *Université d'Angers*, 1988, pp. 350.
- [6] H. El-Bakouri, "Etude de l'adsorption de l'endosulfan sur certaines matrices végétales," *Rapport de stage de recherche à l'université Abdelmalek Essaâdi de Tanger*, Réf : UFR/02-01, 2002.
- [7] N. Awasthi, A. Kumar, R. Makkar and S. S. Cameotra, "Biodegradation of soil applied endosulfan in the presence of a bio-surfactant," *Journal of Environmental Science and Health Part B*, Vol. 34, No. 5, 1999, pp. 793–803.
- [8] N. Awasthi, R. Ahuja and A. Kumar, "Factors influencing the degradation of soil applied endosulfan isomers," *Soil Biology and Biochemistry*, Vol. 32, No.11–12, 2000, pp. 1697–1705.
- [9] C. Gautier, S. Le Calvé and P. Mirabel, "Henry's law constants measurements of alachlor and dichlorvos between 283 and 298 K," *Atmospheric Environment*, Vol. 37, 2003, pp. 2347–2353.
- [10] T. S. Kathpal, A. Singh, J. S. Dhankhar and G. Singh, "Fate of endosulfan in cotton soil under sub-tropical conditions of northern India," *Pestic. Sci.*, Vol. 50, 1997, pp. 21–27.
- [11] C. Sattler, H. Kächele and G. Verch, "Assessing the intensity of pesticide use in agriculture," *Agriculture Ecosystem and Environment*, Vol. 119, 2007, pp. 299–304.
- [12] J. Bürger, F. de Mol and B. Gerowitt, "Influence of cropping system factors on pesticide use intensity - A multivariate analysis of on-farm data in North-East Germany," *European Journal of Agronomy*, Vol. 40, 2012, pp. 54–63.
- [13] M. Aubert and G. Enjolras, "The determinants of input use in agriculture: A dynamic analysis of the wine-growing sector in France," *Proceedings of the Sixth Annual Meeting of the American Association of Wine Economists*, Princeton, New Jersey, USA, 2012., pp. 22.
- [14] F. Ramade, "Dictionnaire Encyclopédique de l'Ecologie et des Sciences de l'Environnement," *Edition Edisciences internationale*, 1993, pp. 822.
- [15] P. W. Savadogo, "Etude de la biodégradation anaérobie des pesticides utilisés en agriculture au Burkina Faso: Cas particulier du Decis, de l'ultracide et du Sumithion," *Thèse de doctorat de spécialité sciences biologiques appliquées option : biochimie-microbiologie, UFR-SVT/CRSBAN/UO/Ouaga*, 2001, pp. 107.
- [16] T. K. Bhat, B. Singh, and O. P. Sharma, "Microbial degradation of tannins: a current perspective," *Biodegradation*, Vol. 9, 1998, pp. 343–357.
- [17] Y. Yu, F. Song and Z. Zheng, "Isolation and identification of a broad-spectrum bacterial strain (*Alcaligenes*) degrading pesticides," *Journal of Zhejiang Agricultural University (China)*, Vol. 23, 1997, pp. 111–115.
- [18] L. Chen, Y. Ran, B. Xing, B. Mai, J. He, X. Wei, J. Fu and G. Sheng, "Contents and sources of polycyclic



ISSN (Online) : 2312-8712

**Editeur en Chef** : SG Cames, Prof. Bertrand Mbatchi

**Directeur de Publication** : Le CAMES

**Rédacteur en Chef** : Prof. Meissa Fall, Université de Thiès

Rédacteurs : Dr Mapathé Ndiaye – Dr. Adama Dione

**Spécialiste PAO** : Diarga Diouf, Irempt/Resafad UCAD/Min. Education Sénégal

Génie de l'eau et de l'Environnement – Hydraulique  
Génie des Procédés – Géologie Appliquée - Hydrologie  
Génie Civil – Infrastructures – Géologie de l'Ingénieur  
Génie Electrique – Géologie Minière - Hydrogéologie  
Génie Mécanique – Mécanique - Modélisations  
Electronique – Automatisation -Génie Informatique  
Etc.

## Comité Internationale de lecture

1. Prof. **Yves BERTHAUD**, Directeur de l'UFR Ingénierie - Université de la Sorbonne - Pierre et Marie Curie (Paris VI) - [yves.berthaud@gmail.com](mailto:yves.berthaud@gmail.com) (*Mécanique*)
2. Prof. **Fabrice GATUINGT**, - ENS Cachan / Département/Secteur Génie Civil LMT - 61 Avenue du président Wilson 94230 CACHAN (Tél : 33 (0)1 47 40 53 69 - Fax : 33 (0)1 47 40 74 65) - [fabrice.gatuingt@dgc.ens-cachan.fr](mailto:fabrice.gatuingt@dgc.ens-cachan.fr) (*Génie Civil*)
3. Prof. Emeritus **Tuncer B. EDIL**, University of Wisconsin-Madison - 2226 Engineering Hall / 1415 Engineering Drive - Madison, WI 53706-1691 - Tel: 608/262-3225 - [edil@engr.wisc.edu](mailto:edil@engr.wisc.edu) (*Geotechnical Engineering*)
4. Prof. **Dante FRATTA**, Associate Professor, University of Wisconsin-Madison - 2208 Engineering Hall - 1415 Engineering Drive / Madison, WI 53706-1691 - Tel: 608/265-5644 - [fratta@wisc.edu](mailto:fratta@wisc.edu) (*Civil and Environmental Engineering*)
5. Prof. **James M. TINJUM**, - University of Wisconsin-Madison - 2214 Engineering Hall - 1415 Engineering Drive / Madison, WI 53706-1691, Tel: 608/262-0785 - [tinjum@epd.engr.wisc.edu](mailto:tinjum@epd.engr.wisc.edu) (*Civil and Environmental Engineering*)
6. Prof. **Serigne FAYE**, Département de Géologie - Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal) - [sfaye@ucad.sn](mailto:sfaye@ucad.sn) (*Hydrogéologie*)
7. Papa Malick NGOM, Département de Géologie - Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal) - [papam.ngom@ucad.edu.sn](mailto:papam.ngom@ucad.edu.sn) (*Géologie - Géologie de l'Ingénieur*)
8. Dr **Ayité Sénah Akoda AJAVON**, Maître de Conférences des Universités, ENSI - Université de Lomé - Lomé TOGO - [asajavon@yahoo.fr](mailto:asajavon@yahoo.fr) (*Génie Electrique*)
9. Dr. **Farid BENBOUDJEMA**, Maître de conférences HdR - ENS Cachan / Département/Secteur Génie Civil LMT - 61 Avenue du président Wilson 94230 CACHAN (Tél : 33 (0)1 47 40 53 69 - Fax : 33 (0)1 47 40 74 65) <http://www.lmt.ens-cachan.fr/benboudjema> - [farid.benboudjema@dgc.ens-cachan.fr](mailto:farid.benboudjema@dgc.ens-cachan.fr) (*Génie Civil*)
10. Prof. **Salif GAYE**, Directeur de l'IUT - Université de Thiès (Sénégal) - [sgaye@univ-thies.sn](mailto:sgaye@univ-thies.sn) (*Génie Mécanique*)
11. Prof. **Claude LISHOU**, ESP-Dakar (Université Cheikh Anta Diop de Dakar) - [claudelishou@gmail.com](mailto:claudelishou@gmail.com) (*Informatique*)
12. Prof. **Codou MAR**, ESP-Dakar (Université Cheikh Anta Diop de Dakar) - [cgmare@gmail.com](mailto:cgmare@gmail.com) (*Génie Chimique et Biologie Appliquée*)
13. Prof. **Joseph BATHIEBO** - Unité de Formation et de Recherche en Sciences Exactes et Appliquées (U.F.R. S.E.A.) - Tel.: +226 76 65 09 42 / [jbathiebo@univ-ouaga.bf](mailto:jbathiebo@univ-ouaga.bf); [djbathiebo@gmail.com](mailto:djbathiebo@gmail.com) (*Génie Civil*)
14. Dr **Félix Adangba AMARI**, Professeur de Génie Civil - Département Bâtiment & Urbanisme / Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro BP 1093 Yamoussoukro - Tel: (225) 07 87 52 99 / [amarifelixad@yahoo.fr](mailto:amarifelixad@yahoo.fr) (*Génie Civil*)
15. Prof. **Francois TSOBNANG**, 2iE, Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement - [ftsobnang@gmail.com](mailto:ftsobnang@gmail.com) (*Matériaux et Physique de l'Ingénieur*)
16. Dr **Roger Marcelin FAYE**, Maître de Conférences - Ecole Supérieure Polytechnique - B.P 5085 Dakar-Fann SENEGAL / [roger.faye@ucad.edu.sn](mailto:roger.faye@ucad.edu.sn) (*Génie Electrique*)

**Volume 1 - N° 2 :**

1. **Konaté, P. Yoboue, E. Soro, O. Asseu, P. Tety, X. Lin-Shi (2015)**. Implementations of a reduced-order Estimator for an Asynchronous Machine drive system. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), pp. 37-45. ISSN 2312-8712.
2. **Mahamane Djoudou (2015)**. Préparation et Calcul du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de la région lacustre de la rive gauche du Delta intérieur du Niger au Mali : Estimation de sa Précision. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 46-56. ISSN 2312-8712.
3. **Makhaly Ba, Babacar Diop, Oumar Kamara (2015)**. Etude comparative des caractéristiques des bétons hydrauliques et des bétons bitumineux à base de granulats de basaltes de Diack et de quartzites de Bakel. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 57-64. ISSN 2312-8712.
4. **Adama Dione, Meissa Fall, Yves, Berthaud, Farid Benboudjama, Alexandre Michou (2015)**. Implementation of Resilient Modulus - CBR relationship in Mechanistic-Empirical (M. -E) Pavement Design. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 65-71. ISSN 2312-8712.
5. **Seyni Ndoye, Mamadou Issa Ba, Serigne Faye (2015)**. Hydrodynamique de la nappe côtière du Saloum (Sénégal) : étude par modèle numérique. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 72-78. ISSN 2312-8712.
6. **Seybatou Diop, Momar Samb, Fary Diome, Meissa Fall (2015)**. Etude de caractérisation des matériaux de la carrière de Sindia (Sénégal occidental) pour une utilisation en géotechnique routière. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 79-85. ISSN 2312-8712.
7. **Moustapha Diène, Cheikh Hamidou Kane, Déthié Sarr (2015)**. Overview of the aquifer system in the Senegalese and Mauritanian sedimentary basin. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 86-91. ISSN 2312-8712.
8. **Mapathé Ndiaye, Mohamadou Moustapha Thiam, Seydou Coulibaly, Oustasse Abdoulaye Sall (2015)**. Astronomical Calibration of the Danian Formation of Ndayane : Paleogeographic and Paleoclimatic Implications. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 92-96. ISSN 2312-8712.
9. **Ouoba S., Cherblanc F., Bénét J.-C., Koulidiati J. (2015)**. Modélisation numérique des mécanismes d’atténuation naturelle des polluants organiques volatiles dans les sols du Burkina Faso : application au trichloréthylène (TCE). *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 97-103. ISSN 2312-8712.
10. **S. Gueye, I. Gueye, L. Thiaw, G. Sow, A. Ndiaye, M. Thiam (2015)**. Conception d’un régulateur solaire avec commande MPPT. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 104-108. ISSN 2312-8712.
11. **Fagla B. F. Z., Gradeck M., Baravian C., Vianou A., Dègan G., Lebouché M. (2015)**. Etude Thermique Expérimentale des Suspensions Newtoniennes en Solutions du Glucose et de l’Eau en Ecoulement dans une Conduite Horizontale à Section Constante. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 109-121. ISSN 2312-8712.
12. **Fagla B. F. Z., Gradeck M., baravian C., vianou A., lebouche M. (2015)**. Etude Thermique Expérimentale des Suspensions Non-Newtoniennes en Solution de Carboxyméthylcellulose en Ecoulement dans une Conduite Horizontale à Section Constante. *Revue Cames – Sci. Appl. & de l’Ing.*, Vol. 1(2), 122-133. ISSN 2312-8712.

aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides in vegetable soils of Guangzhou, China,” *Chemosphere*, Vol. 60, 2005, pp. 879–890.

[19] L. M. M. Jantunen and T. F. Bidleman, “Temperature dependent Henry’s law constant for technical toxaphene,” *Chemosphere – Global Change Science*, Vol. 2, 2000, pp. 225–231.

[20] M. Kumar and L. Philip, “Adsorption and desorption characteristics of hydrophobic pesticide endosulfan in four Indian soils,” *Chemosphere*, Vol. 62, 2006, pp. 1064–1077.

[21] Institut National de l’Environnement Industriel et des Risques (INERIS), “le trichloréthylène, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques,” INERIS–DRC-01-25590-00DR039.doc Version N°3-2, mars 2005.

[22] S. Ouoba, B. Cousin, F. Cherblanc and J.-C. Bénét, “Une méthode mécanique pour mesurer la pression de vapeur d’équilibre de l’eau dans un milieu complexe,” *Comptes Rendus de Mécanique*, Vol. 338, 2010a, pp. 113–119.

[23] S. Ouoba, F. Cherblanc, B. Cousin and J.-C. Bénét, “A New Experimental Method to Determine the Sorption Isotherm of a Liquid in a Porous Medium,” *Environmental Science and Technology*, Vol. 44, 2010b, pp. 5915–5919.

[24] J.-C. Bénét, B. Cousin, F. Cherblanc and S. Ouoba, “Device for measuring the activity of a liquid in a complex medium and associated method,” United States Patent Application Publication, Pub. n° US 20120266663A1, 2012.

[25] S. Ouoba, A. O. Dissa, M. Sougoti, F. Cherblanc, J.-C. Bénét and J. Kouliadiati, “Détermination d’une couche superficielle de sol favorable au transfert du Trichloréthylène (TCE) vers l’atmosphère,” *Afrique Science*, Vol. 10, 2014, pp. 60–72.