



Contamination des sols d'une décharge non contrôlée par les métaux lourds : cas de la décharge Ahfir- Saidia (Maroc oriental) [Soil contamination of the landfill uncontrolled by heavy metals: case of the landfill of Ahfir-Saidia (Eastern Morocco)]

F. Nhari^{1,2*}, M. Sbaa^{1,2}, J. L. Vassel³, M. Fekhaoui⁴, M. El Morhit⁴

¹ Centre Oriental des Sciences et Technologies de l'Eau, Oujda, Maroc.

² Laboratoire d'écologie générale et d'hydrologie, Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier-Oujda, Maroc.

³ Université de Liège, Arlon, Belgique.

⁴ Université Mohammed-V-Souissi, Laboratoire de Microbiologie, Equipe de Recherche Hygiène-Eau- Environnement, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Rabat, Maroc.

Received 19 Feb 2014 ; Revised 21 June 2014 ; Accepted 2 July 2014.

* Auteur correspondant : E-mail: fouziahe4790@gmail.com, tel (212677596224)

Abstract

Implementing landfill solid waste without any prior treatment and without any protection of the soil in landfill sites constitutes a risk factor of contamination of soil and groundwater. Large quantities of heavy metals (in solid forms) were buried during storage of municipal or industrial waste. Heavy metals are present in the most part of the constituents of waste (batteries, electrical wires...). The objective of this study is to establish a diagnosis of the state of pollution of the soil at the level of the uncontrolled discharge of Ahfir-Saidia by a discharge soil sampling and analysis of heavy metals by ICP-AES. Analysis of heavy metals in the soil at a depth ranging from 0 to 20 cm and then 20 to 40 cm showed that the presence of Pb, Zn, Ni, Cr, As and Co are present in significant quantities. In contrary, Cd concentrations are very low. In the end, this study aims to : protect men, animals, plants and their biota as well as water, soil and air against harmful or uncomfortable due to waste and preventively limit pollution of the environment by waste.

Keywords: solid waste, uncontrolled discharge, pollution, heavy metals, quality of soil, Eastern Morocco.

Résumé

La mise en décharge des déchets solides, sans aucun traitement préalable et sans aucune protection des sous sols des sites de décharges, constitue un facteur de risque de contamination des sols et des eaux de la nappe phréatique. De grandes quantités de métaux lourds (sous formes solides) ont été enfouies au cours du stockage des déchets urbains ou industriels. Les métaux lourds sont présents dans la plus part des constituants des déchets (Piles, fils électriques...). L'objectif de cette étude est d'établir un diagnostic de l'état de la pollution des sols au niveau de la décharge incontrôlée d'Ahfir-Saidia, par un échantillonnage des sols de la décharge et une analyse des métaux lourds présents par ICP-AES. L'analyse des métaux lourds présents dans le sol aux deux profondeurs choisies : 0-20 cm et 20-40 cm, a montré la présence de Pb, Zn, Ni, Cr, As et Co en quantité non négligeable, tandis que celle de Cd est très négligeable.

Mots clés : déchets solides, décharge non contrôlée, pollution, métaux lourds, qualité du sol, Maroc oriental.

Introduction

Le problème des sols contaminés est aujourd'hui très préoccupant pour les pays émergents. Les métaux lourds tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), et le mercure (Hg) ne peuvent pas être biodégradés et donc persistent dans l'environnement pendant de longues périodes. De plus ils sont continuellement rajoutés dans les sols par diverses activités. Ainsi, par exemple en agriculture par l'application de boues d'épuration ou bien en industrie dans le domaine de la métallurgie. En effet, l'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut se répercuter sur la santé de l'Homme et de nombreux animaux [1,2]. De nombreuses activités industrielles : exploitations minières, cokeries et industries dérivées du charbon, métallurgie, sidérurgie... ont laissé derrière elles de nombreux sites dont les sols sont potentiellement pollués par diverses substances chimiques organiques (hydrocarbures, HAP, BTEX, PCB, solvants halogénés...) ou inorganiques (cyanures, arsenic, Cd, chrome (Cr), Cu, nickel (Ni), Pb, Zn...). A ceux-ci s'ajoutent les sites marqués par des pratiques inadéquates en matière de gestion de déchets (décharges non contrôlées, remblais de

déchets miniers ou industriels...), ou des pollutions accidentelles [3]. La pollution des eaux peut être due à l'industrie qui, par le biais des émanations gazeuses ou par les rejets liquides ou solides, contribue à la dégradation de la qualité des eaux [4]. Les lixiviats de décharge sont une des nuisances associées à de tels sites. Ces liquides issus des déchets contiennent une quantité significative de polluants à la fois organiques et inorganiques auxquels s'ajoutent des métaux lourds. De ce fait une pollution du sol ainsi que celle de la nappe phréatique, par percolation de ces lixiviats, sont donc deux risques majeurs à craindre. En effet, les lixiviats constituent le principal vecteur du transport de la pollution métallique. Ainsi des teneurs élevées en métaux lourds dans les sols sont en générale liés à la proximité de nombreuses industries [5]; les rejets atmosphériques, les déversements et l'entreposage associés à ces activités industrielles ont contaminé les terrains industriels ainsi que les sols environnants. Malheureusement l'absence de normes de contrôle et de préoccupation environnementales par divers acteurs, jusqu'à une époque récente, peuvent expliquer l'ampleur actuelle de la contamination de nombreux sols au Maroc [6].

L'objectif de ce travail est une contribution à l'étude de l'impact des déchets solides sur le sol au niveau de la décharge incontrôlée d'Ahfir-Saidia, où les déchets sont déversés directement sans aucun tri ni prétraitement préalable, par un échantillonnage de sols de la décharge et une analyse des métaux lourds présents par ICP-AES.

2. Matériel et méthodes

2.1. Description du site d'étude

La décharge d'Ahfir-Saidia est située à environ 15 km au Nord d'Ahfir et 7 Km au Sud de Saidia, en zone rurale est fait partie de la commune de Laâtamna. Le site est accessible à partir de la route nationale RP18 et atteint une superficie de l'ordre de 4 Ha. La décharge reçoit les déchets ménagers de trois communes : deux communes urbaines celles d'Ahfir et Saidia et une commune rurale celle de Laâtamna, soit une quantité de déchets annuelle estimée à 11794 tonnes. La totalité de déchets est déversée directement sur le sol sans aucun traitement des ordures ni protection du sol (**fig. 1**), c'est un exemple de décharge de type sauvage.

2.2. Échantillonnage et analyse chimique

17 points d'échantillonnages, localisés en grande partie au nord de la décharge, ont été prospectés, soit 34 échantillons de sols différents qui ont pu être prélevés au niveau de la décharge d'Ahfir-Saidia durant toute l'année 2007. Dans chaque point d'échantillonnage, deux prélèvements de sols aux profondeurs respectives de 0-20 et 20-40 cm sont réalisés. Les sols prélevés ont été séchés à l'étuve pendant 24 h à 105°C puis tamisés à travers un tamis de moins de 2 mm d'ouverture de maille et en fin broyés. A partir de chaque échantillon de sol sec, ainsi préparé, 150 mg ont été minéralisés à 120°C pendant 4 h en présence de 4 ml d'acide fluorhydrique et 2 ml d'un mélange d'acide chlorhydrique et d'acide nitrique. Les analyses des métaux lourds ont été effectuées par ICP-AES au niveau du Centre Nationale pour la Recherche Scientifique et Technique (CNRST).

2.3. Analyse statistique

La localisation spatiale des différents prélèvements des analysés, ce qui correspond aux points GPS relevés sur le site d'étude et qui sont symbolisés par des points, est représentée sur les figures 2 à 7, réalisées à l'aide d'un logiciel type « Surfer ».

3. Résultats

Les teneurs en métaux lourds dans nos échantillons sont représentés sur les figures 2 à 7.

L'analyse des différentes figures montre une grande variabilité quantitative et qualitative des métaux lourds dans le sol de la décharge d'Ahfir-Saidia. Concernant la teneur des métaux lourds celle-ci varie selon le type de métal étudié et selon l'échantillon analysé.

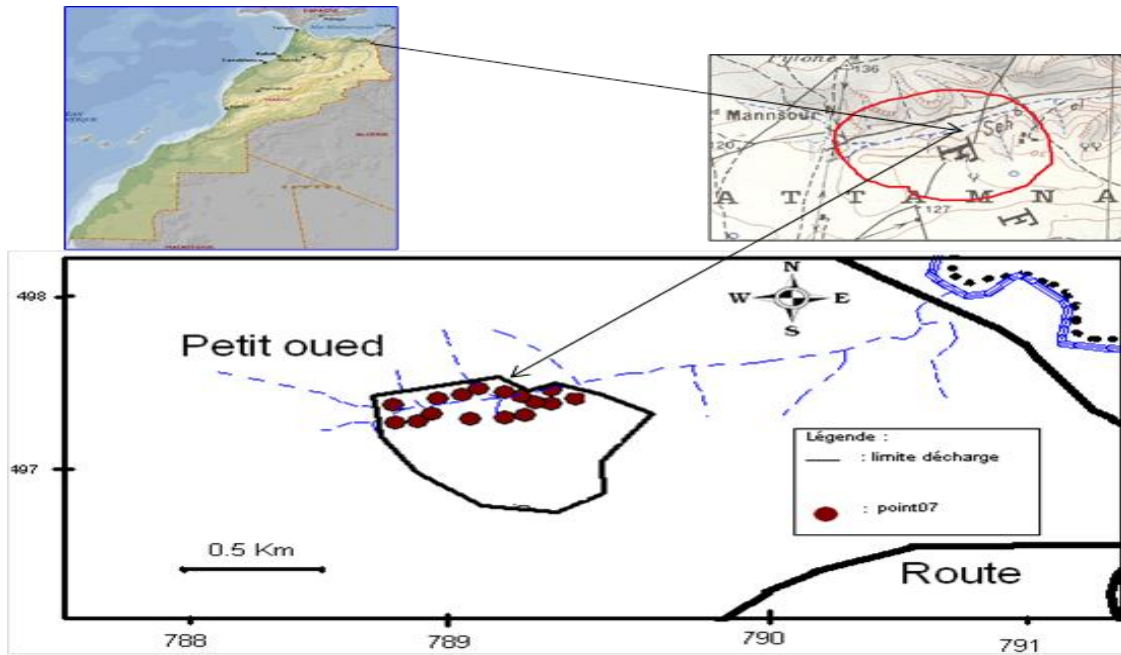


Figure 1 : Localisation de la décharge d'Ahfir-Saidia

3.1. Plomb (Pb)

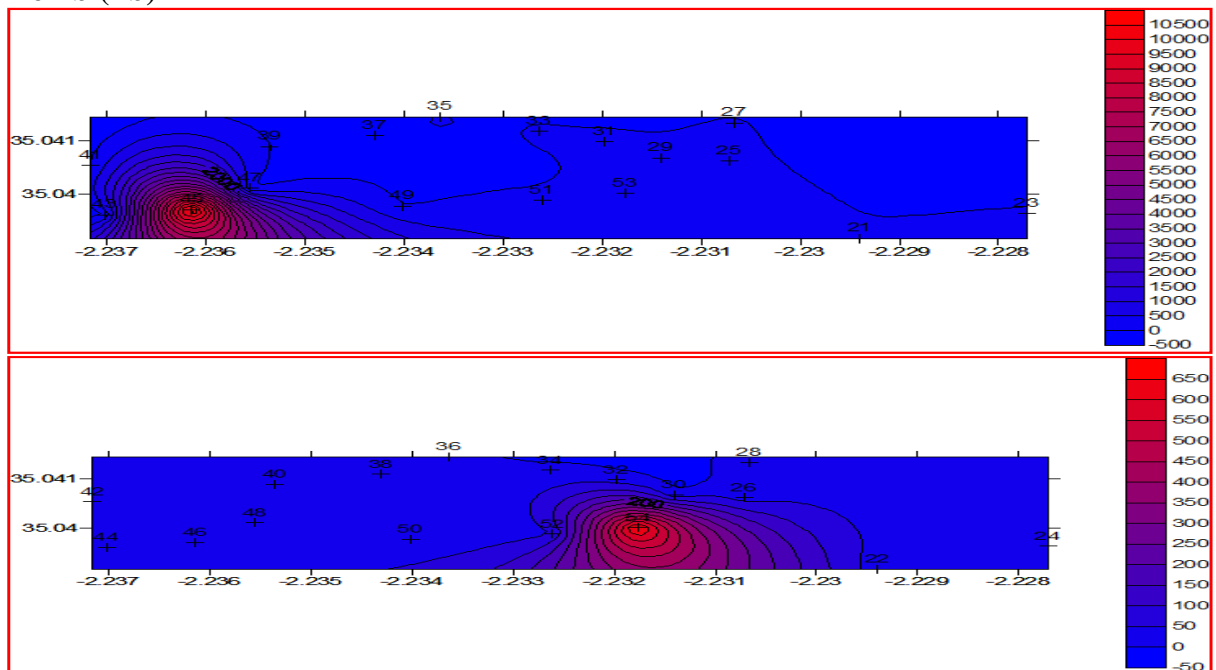


Figure 2 : Distribution du Pb au niveau de la décharge d'Ahfir-Saidia aux profondeurs de 0-20 cm (en dessus) et 20-40 cm (en dessous)

Un seul clivage a été détecté dans des sites différents dont les coordonnées respectivement ($x=-2,2365$; $y=35,039$ et $x=-2,2325$; $y=35,040$) pour les 2 profondeurs (0-20 et 20-40 cm). Le Pb existe dans toute la décharge et que sa distribution est variable selon la profondeur. En effet, à la profondeur entre 0 et 20 cm, la teneur du Pb est comprise entre une valeur minimale de 10,53 mg/kg et une valeur maximale de 10784 mg/kg et cela pour les coordonnées géographiques comprises entre $x = 35,04$ et $y = -2,236$; tandis que pour la profondeur comprise entre 20 et 40 cm la teneur du Pb est comprise entre une valeur minimale de 10,34 mg/kg et une valeur maximale de 675,65 mg/kg et cela pour des coordonnées géographiques à $x = 35,04$ et $y = -2,2315$.

3.2. Zinc (Zn)

La teneur du Zn n'existe pas dans toute la décharge à une profondeur de 20-40 cm. Par contre à 0-20 cm sa distribution est variable selon les coordonnées géographiques. En effet, dans la profondeur de 0-20 cm, La teneur du Zn est comprise entre $x=-2,2294$ et $y=35,039167$ avec un clivage situé entre 50 et 75 mg/kg. La valeur minimale est (24,74 mg/kg) et valeur maximale est (114,86 mg/kg). Alors que pour la profondeur de 20-40 cm, la valeur du Zn est comprise entre une valeur minimale de 27,52 mg/kg et une valeur maximale de 193,83 mg/kg et cela pour des coordonnées géographiques à $x=-2,23072$ et $y=35,04062$ avec un clivage situé entre 25 et 30 mg/kg (figure 3).

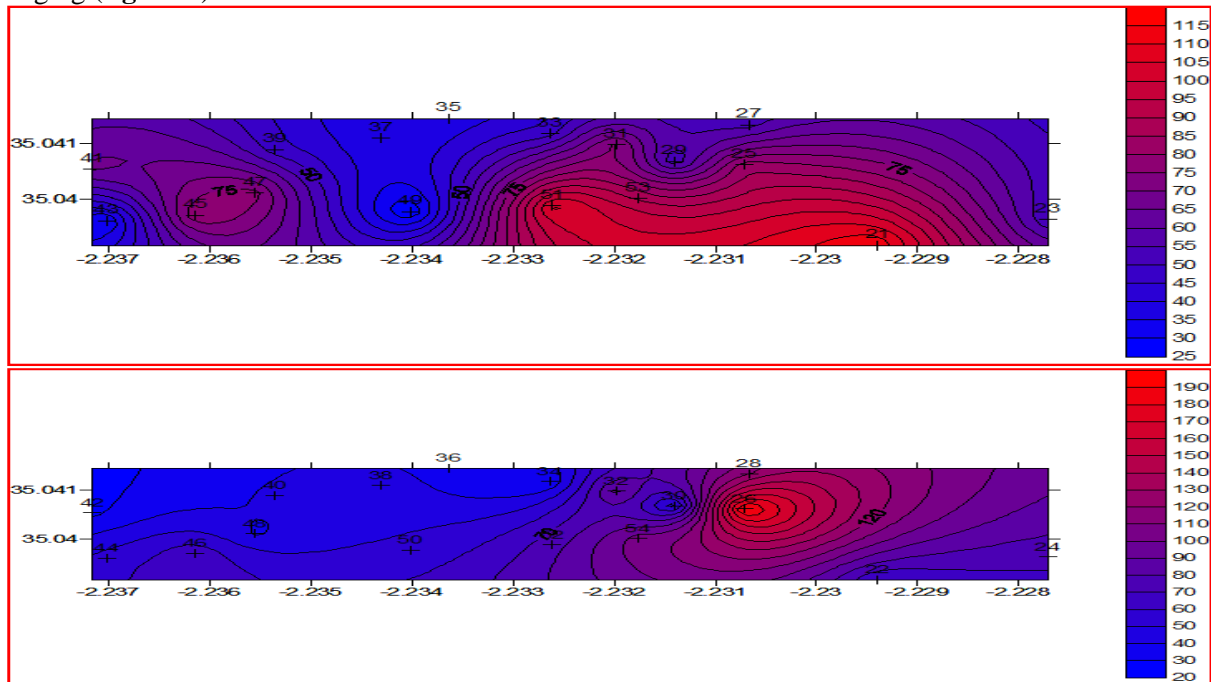


Figure 3 : Distribution du Zn au niveau de la décharge d'Ahfir et Saidia, 0-20 cm (en dessus) et 20-40 cm (en dessous)

3.3. Nickel (Ni)

La teneur du Ni est variable selon les profondeurs 0-20 et 20-40 cm (Fig. 4).

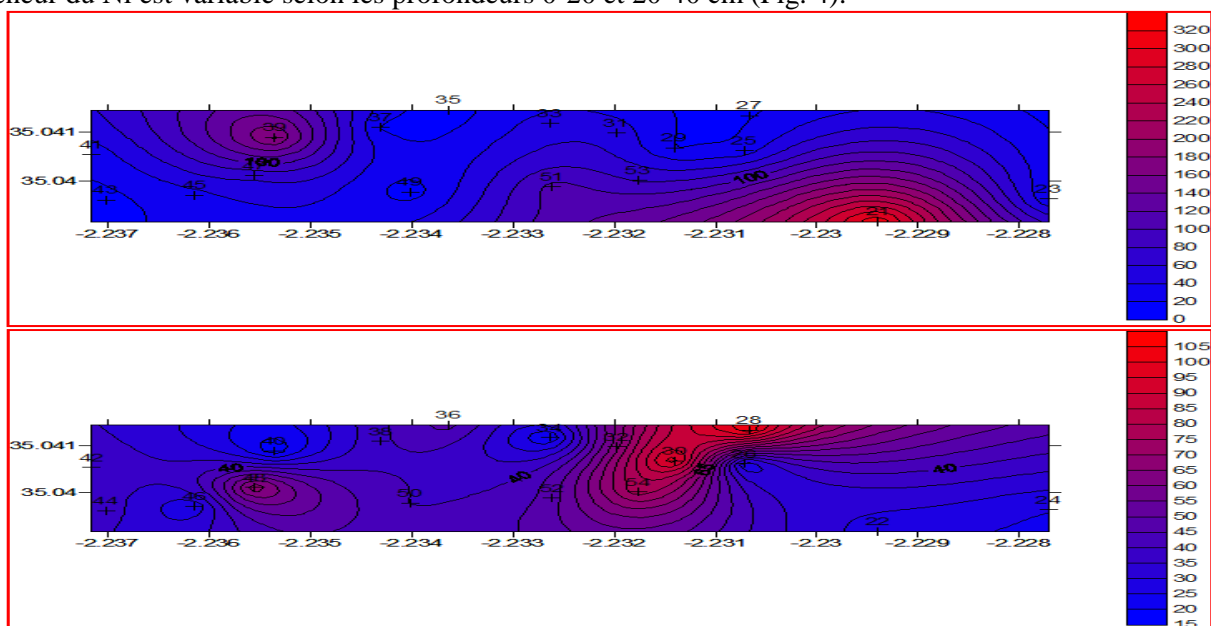


Figure 4 : Distribution du Ni au niveau de la décharge d'Ahfir et Saidia, 0-20 cm (en dessus) et 20-40 cm (en dessous)

En effet, à la profondeur de 0-20 cm, la teneur du Ni est comprise entre une valeur minimale (10,93 mg/kg) et valeur maximale (319,49 mg/kg) et cela pour les coordonnées géographiques à $x=-2,2294$ et $y=35,039167$ et à la profondeur de 20-40 cm, la teneur du Ni est comprise une valeur minimale (16,22 mg/kg) et valeur maximale (104,32 mg/kg) et cela pour les coordonnées géographiques à $x=-2,23067$ et $y=35,04134$.

3.4. Chrome (Cr)

La distribution du teneur du Cr est variable selon la profondeur (Fig. 5). En effet, à la profondeur de 0-20 cm, un seul clivage a été enregistré entre 21 et 220 mg/kg. La teneur du Cr est comprise entre une valeur minimale (24,36 mg/kg) et valeur maximale (437,75 mg/kg) et cela pour les coordonnées géographiques à $x=-2,2294$ et $y=35,039167$ et pour la profondeur de 20-40 cm, la distribution du Cr a connu 2 clivages. Le 1^{er} clivage est situé entre 45 et 46 mg/kg et le 2^{ème} clivage est situé entre 26 et 32 mg/kg. La teneur du Cr est comprise entre une valeur minimale (22,89 mg/kg) et valeur maximale (120,44 mg/kg) et cela pour les coordonnées à $x=-2,23264$ et $y=35,04118$.

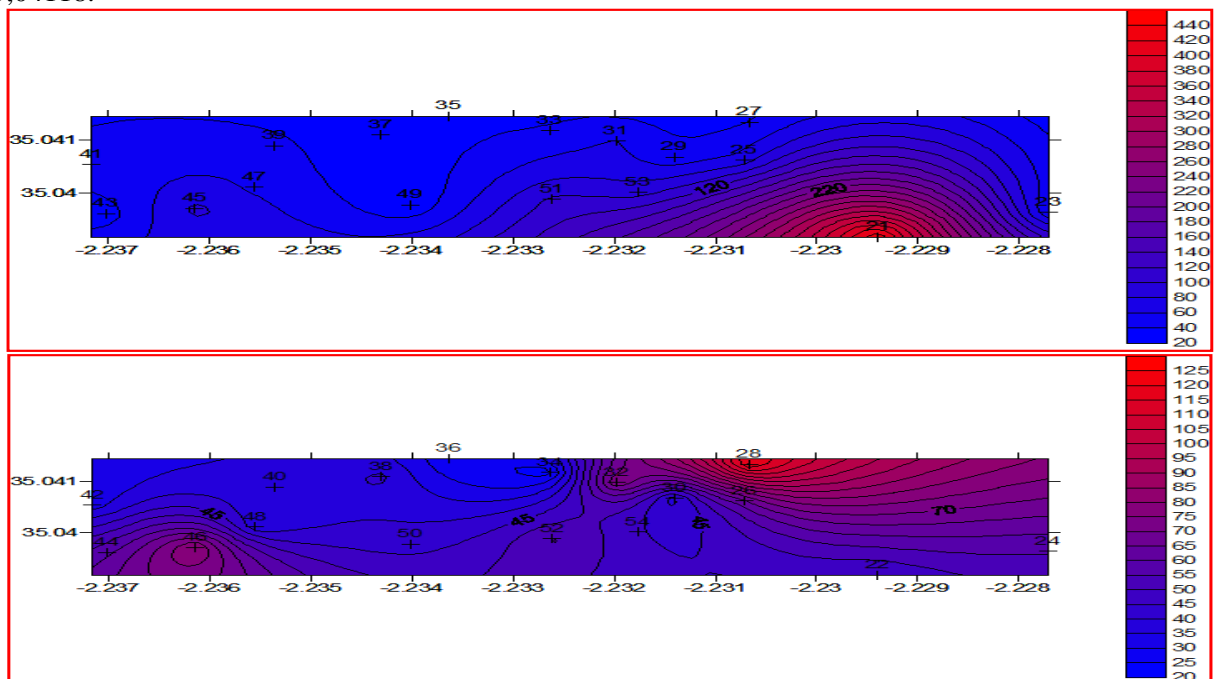


Figure 5 : Distribution du Cr au niveau de la décharge d’Ahfir et Saidia, 0-20 cm (en dessus) et 20-40 cm (en dessous)

3.5. Arsénique (As)

La distribution de l’As est similaire selon les 2 profondeurs (0-20 et 20-40 cm) (Fig. 6). En effet, elle a noté un seul clivage. À la profondeur de 0-20 cm l’As est comprise entre une valeur minimale (19,37 mg/kg) et valeur maximale (65,02 mg/kg) et cela pour les coordonnées à $x=-2,32264$ et $y=35,04118$ et à la profondeur de 20-40 cm, l’As est comprise entre une valeur minimale (19,57 mg/kg) et valeur maximale (77,88 mg/kg) et cela pour les coordonnées à $x=-2,23264$ et $y=26,968$.

3.6. Cobalt (Co)

La distribution de Co est variable selon les profondeurs étudiées (Fig. 7). En effet 2 clivages différents ont été enregistrés. À la profondeur de 0-20 cm, le Co est comprise entre une valeur minimale (5,76 mg/kg) et valeur maximale (2258 mg/kg) et cela pour les coordonnées à $x=2,23264$ et $y=35,04118$ et 20-40 cm, le Co est comprise entre une valeur minimale (6,95 mg/kg) et valeur maximale (26,98 mg/kg) et cela pour les coordonnées à $x=-2,23067$ et $y=35,04134$.

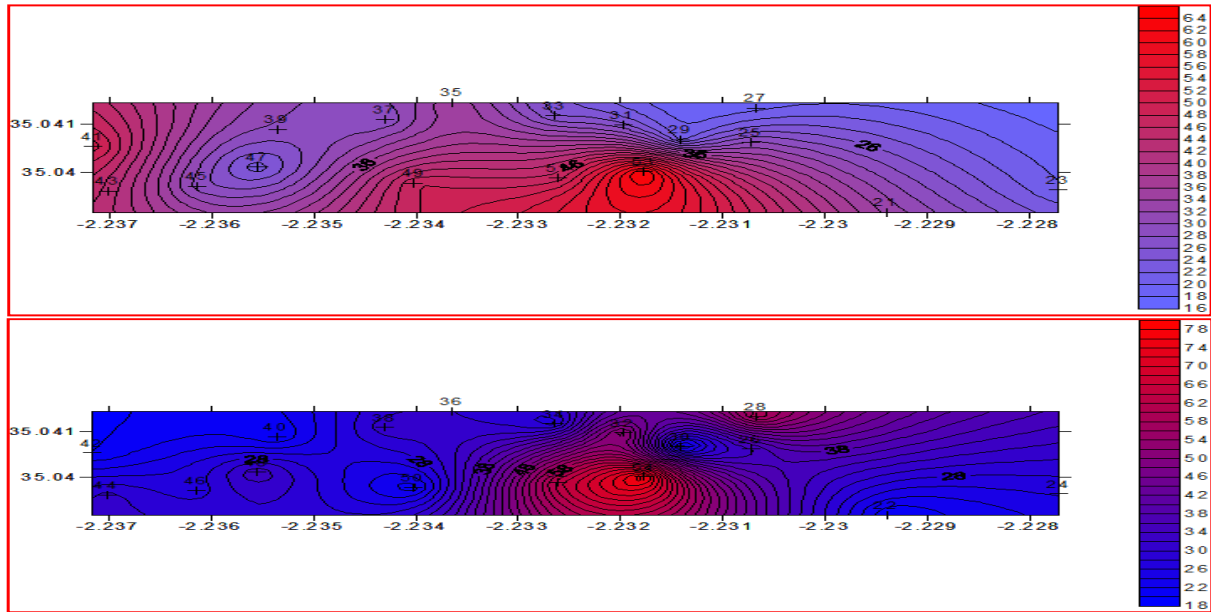


Figure 6: Distribution d'As au niveau de la décharge d'Ahfir et Saidia, 0-20 cm (en dessus) et 20-40 cm (en dessous)

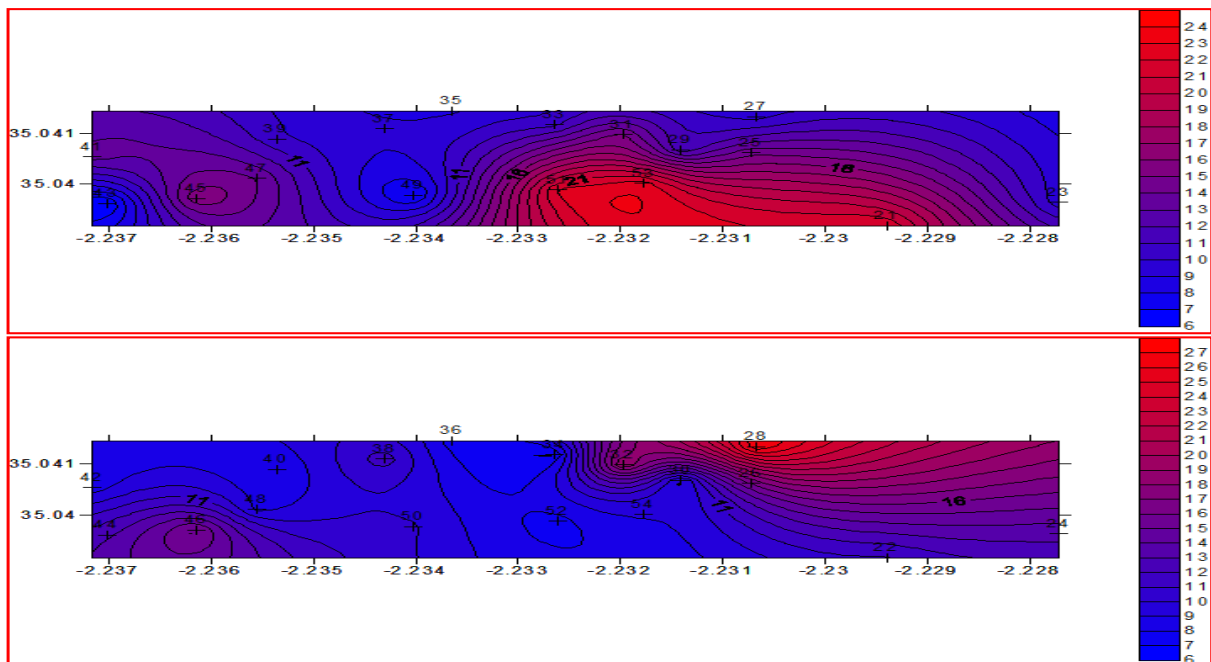


Figure 7: Distribution du Co au niveau de la décharge d'Ahfir et Saidia, 0-20 cm (en dessus) et 20-40 cm (en dessous)

Les métaux se répartissent dans les sols sous des formes variées. On les trouve sous forme échangeable entre les argiles et la matière organique et/ou sous forme de complexes ou associés à des molécules organiques. Ils peuvent être inclus dans des phases cristallines ou directement adsorbés sur des particules d'oxydes ou d'hydroxydes de fer, d'aluminium et de manganèse. En fin, ils peuvent être retenus dans les restes d'un organisme vivant qui les contenait. La forme sous laquelle un métal se présente dans le sol dépend de plusieurs facteurs tels que leur composition minéralogique, les conditions de salinité, de pH, d'oxydo-réduction, de la granulométrie et la teneur en eau du sol de la présence de ligands en solution et de micro-organismes, Tous ces facteurs peuvent influencer soit la solubilisation des métaux soit au contraire leur précipitation ou leur adsorption dans le sol [7,8]. Dans ce travail, nous avons analysé différents échantillons prélevés au niveau du sol de la décharge d'Ahfir-Saidia contaminée par différents éléments métalliques et cela dans le but de répondre à

une question principale : l'analyse des sols permet-elle de refléter l'impact des polluants sur l'écosystème de notre étude. Dans une précédente étude [9] portant sur le fond pédogéochimique français, l'auteur définit les valeurs seuils de certains métaux pour leurs sols contaminés : le Ni à 31,0 mg kg⁻¹, le Pb à 34,0 mg kg⁻¹ et le Zn à 80,0 mg kg⁻¹. Ces valeurs sont faibles par rapport à celles obtenues dans notre étude. Au regard des résultats précédents, les concentrations métalliques du sol étudié auraient dues être importantes. Ainsi que d'autres auteurs [10] ont montré que les concentrations de Pb, Zn, Ni et Cr sont plus élevées que celles rapportées dans notre étude (Tableau II).

Tableau II. Comparaison des teneurs métalliques moyennes de la décharge de notre étude avec les normes et d'autres décharges mondiales exprimées en (mg/kg)

Nom des	Pb	Zn	Ni	Cr	As	Co	Références
France	34,00	80,00	31,10	-	-	-	[9]
France	8640	640	321	1224	-	-	[11]
India	10	50	40	100	5	-	[12]
India	206,4	122,30	48,00	127,90	51,70	-	[10]
France	100,00	300,00	50,00	150,00	-	30,00	[13]
Canada*	70,00	200,00	50,00	64,00	12,00	-	[14]
P = 0 à 20 cm	656,46	62,87	62,42	75,74	33,96	13,03	Présente étude
P = 20 à 40 cm	61,80	68,05	47,20	51,51	34,92	11,91	

*V.M.R : Valeurs maximales recommandées

La concentration moyenne du **Pb** détectée dans la profondeur 0-20 cm dépasse largement les normes (tableau II). En effet, le Pb trouvé dans le sol existe sous forme de 2 états d'oxydation où l'ion Pb⁺² devient moins soluble dans les conditions oxydantes ; cela peut être expliqué par les valeurs du pH du sol dans notre site d'étude qui varient de 7,04 à 8,40. A des pH plus élevés, le Pb forme un complexe avec la matière organique ; et des niveaux plus élevés de Pb peuvent être attribués au déversement des déchets industriels chimiques d'origine anthropique [10]. La plus forte concentration de **Ni** enregistrée à la profondeur de 0 à 20 cm (Tableau II) dépasse largement les normes recommandées par CCME [14] et AFNOR [13]. Cette augmentation du Ni ne peut être expliqué que par l'accumulation du Ni dans les roches. D'après certains auteurs ont noté que la concentration en Ni des roches sédimentaires serait comprise entre 20 et 40 mg/kg ; elle dépasserait 100 mg/kg dans les roches éruptives mais serait très faible (<10 mg/kg) dans les roches granitiques [9]. La concentration moyenne du **Cr** dans notre étude et à la profondeur de 0 à 20 cm est plus élevée que celle trouvée par CCME [14]. Par contre elle est très faible par rapport aux normes d'AFNOR (Tableau II). La forte concentration du Cr ne peut être expliquée que par son origine anthropique dans les déchets solides, où environ 30% de Cr provient de l'emballage plastique [15]. La concentration moyenne d'**As** est plus élevée par rapport à celle trouvée par CCME [14] (Tableau II). Dans notre décharge le sol a pu être pollué par l'As dont l'origine est forte probablement anthropique. En effet, dans le sol, l'As existe soit comme l'arséniate, As (V) (AsO₄³⁻) ou comme l'arsénite, As (III) (ASO₂⁻). La toxicité d'un composé contenant l'As dépend de son état de valence (valence zéro, trivalent ou pentavalent), sa forme (minérale ou organique), et les facteurs modifiant son absorption et son élimination. Ainsi, l'As inorganique est généralement plus toxique que l'As organique, et l'arsénite trivalent est plus toxique que le pentavalent [10]. La concentration moyenne du **Co** est faible en comparaison avec les normes AFNOR – NFU 44 -041 (Tableau II). Selon Baize [9], des teneurs très élevées en Co (100 à 200 mg/kg) ont été détectées dans certaines roches magmatiques basiques ou ultrabasiques si en comparant avec notre résultat. Les concentrations de Zn et d'As sont riches en surface du sol et sa concentration diminue avec la profondeur (Zn=62,87 mg/kg à 0- 20 cm et Zn =68,05 mg/kg à 20-40 cm ; As=13,03 mg/kg à 20 cm et As

=11,91 à 40 cm). Ces résultats sont similaires à ceux trouvés dans les études antérieures ([10] ; tableau II). Cette situation ne peut être expliquée que par le phénomène de relargage [16]. Les concentrations de ces polluants sont nettement supérieures à celles généralement rencontrées dans d'autres décharges d'ordures ménagères à cause du climat semi-aride et du type de déchets enfouis, les différences observées dans les quantités retenues par les sols peuvent s'expliquer par la forme chimique sous laquelle, chaque métal se trouve dans le sol, la quantité et la nature des éléments pouvant former des complexes avec chaque métal (argile, matière organique, oxyde de fer...) et le pH de la solution du sol. Plusieurs auteurs ont montré que les éléments traces ont un comportement différent selon leur forme chimique. Ils ont montré également que la forte oxygénation du sol permet d'obtenir les conditions d'oxydoréduction favorable à la rétention des métaux [17].

Conclusion

Les résultats de cette étude ont mis en évidence la pollution générée par les lixiviats de la décharge d'Ahfir-Saidia, surtout par le Pb qui dépasse les normes recommandées. Aussi, les teneurs en métaux lourds varient avec les points de prélèvements dans la décharge et la profondeur du sol analysé. L'analyse des échantillons de sol de la décharge a montré une distribution spatiale importante de tous les métaux lourds analysés : Pb, Zn, Ni, Cr, As et Co. Les résultats de cette étude ont révélé que les sols de la décharge sont considérablement contaminés par de nombreux métaux dont les concentrations sont proches ou bien dépassent largement les valeurs seuils recommandées. Pour toutes ces raisons nous recommandons une surveillance périodique de l'ensemble de la décharge afin de préserver l'environnement des effets négatifs des métaux toxiques dans la zone d'étude. Aussi, étant donnée l'impact de la décharge et l'ampleur de la lixiviation des métaux lourds présents dans les déchets sur l'ensemble de l'écosystème, il serait judicieux d'instaurer un système de tri et de décontamination des ordures ménagères avant leurs dépôts dans toute décharge pour mieux préserver aussi bien la santé de l'Homme que de tout son environnement dont la vie y dépend.

Références

1. Wang Q., Matsufuji Y., Dong L., Huang Q., Hirano F & Tanaka A. *Waste Management* 26 (2006) 815–824.
2. El Morhit M., Fekhaoui M., El Morhit A., Elie P. & Yahyaoui A. *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (6): (2013) 893–904.
3. Schadeck S. Bureau d'études Siterem. 46 p. (2007).
4. Mokhtaria MM., Eddine BB., Larbi D., Azzedine H., Rabah L. *Courrier du Savoir*, 08: (2007) 93-99.
5. Ouali Alami F-Z, El Abidi A., Mouhir L., Fekhaoui M., Serghini A., El Morhit M. *ScienceLib Editions Mersenne*. 5, 130305: (2013) 2111-4706.
6. El Morhit M. Fekhaoui M., El Abidi A., Yahyaoui A., Hamdani A. *Déchets - Revue Francophone d'écologie industrielle* – N°61 (2011) 7-17.
7. Laperche V., Dictor M. C., Clozel-Leloup B., Baranger PH. BRGM 2003-POLA 06. 56 p (2004).
8. El Morhit M. Diplôme d'Etudes Supérieures Approfondies. Université Ibn Tofail. Faculté ès-sciences-Kenitra, Maroc, 76 p. (2005).
9. Baize D. (2000). Guide des analyses en pédologie. — 2^{ème} édition. — Paris : INRA, 2000. — 257 p.
10. Vandana Parth N., Murthy N., Praveen Raj Saxena. *E3 Journal of Environmental Research and Management* .2 (2). (2011) 027-034.
11. Remona E., Bouchardonb J.-L., Corniera B., Guyb B., Leclerca J.-C., Faurea O., *Environmental Pollution* 137 (2005) 316-323.
12. Murthy NN. *Hyderabad, India* (2008) 1-12.
13. AFNOR (Association française de normalisation). Qualité des sols. Recueil de normes françaises. 3^e édition. Paris – La défense. 534 pages (1996).
14. CCME. Interim Canadian environmental quality criteria for contaminated sites, CCME, Winnipeg (1999).
15. Jung CH., Matsuto T., Tanaka N. Flow analysis of metals in a municipal solid waste management system. *J. Waste Manage.* 26: (2006) 1337-1348.
16. El Morhit M., Fekhaoui M., Serghini A., El Blidi S., El Abidi A., Bennaakam R., Yahyaoui A. & Jbilou M. *Bull. Inst. Sci.* 30: (2008) 39-47.
17. El Morhit M., Fekhaoui M., Elie P., Girard P., Yahyaoui A., El Abidi A. & Jbilou M. *Cybiuim* 33 (3): (2009) 219–228.

(2014) <http://www.jmaterenvirosci.com>