

## Accumulation des métaux lourds dans les sols agricoles irrigués par les eaux du bassin hydraulique de Sebou au niveau de la ville de Kenitra (MAROC)

### [ Accumulation of heavy metals in irrigated agricultural soils by the waters of hydraulic basin of Sebou in city of Kenitra (Morocco) ]

*Nabil Benlkhoubi<sup>1</sup>, Said Saber<sup>1</sup>, Ahmed Lebkiri<sup>1</sup>, El Housseine Rifi<sup>1</sup>, Elmostafa Elfahime<sup>2</sup>, and Abderrazzak Khadmaoui<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Department of Chemical,  
Laboratory of Organic Synthesis and Extraction Processes, Faculty of Science, University Ibn TOFAIL, BP 133 ,  
Kenitra, Morocco

<sup>2</sup>UATRS – CNRST,  
Angle Allal Fassi / FAR, Hay Riad 10 000,  
Rabat, Morocco

<sup>3</sup>Department of Biology,  
Laboratory of Genetics and Biometry, Faculty of Science, University Ibn TOFAIL, BP 133,  
Kenitra, Morocco

---

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This work has determined the distribution of metallic levels (Arsenic, Cadmium, Cobalt, lead, Nickel, Copper, Zinc and Chromium) in the agricultural soils (North West of Morocco) at two depths (0-15 cm and 15-30 cm). The average contents of Chromium and Cadmium in agricultural soils exceeded the limits imposed by the French standard AFNOR and the degree of pollution caused by waters of OUED SEBOU is more important than that of the OUED BEHT. The transfer of heavy metal in two depths of soil: 15-30 cm depended of clayey particle.

**KEYWORDS:** Sebou river, Beht river, clays, degree of pollution, depths of soils.

**RESUME:** Les sols agricoles irrigués via des stations de pompage des eaux de surface de OUED SEBOU et OUED BEHT au niveau de la ville de kenitra (nord-ouest du Maroc), ont été prélevés à deux profondeurs (couche : 0-15 cm et couche : 15-30 cm), afin de déterminer les concentrations de l’Arsenic, du Cadmium, du Cobalt, du Plomb, du Nickel, du Cuivre, du Zinc et du Chrome, contenus les supports solides du sol. Les résultats ont montrés des teneurs dépassant les teneurs recommandées par la norme AFNOR pour le Cr et le Cd concentrés dans les sols agricoles, ainsi le degré de pollution induit par les eaux d’OUED SEBOU est plus important que celui d’OUED BEHT. La diffusion des métaux lourds vers la profondeur des sols étudiés, dépendent principalement de la teneur en particules argileuses.

**MOTS-CLEFS:** Oued Sebou, Oued Beht, argiles, degré de pollution, profondeur du sol.

## 1 INTRODUCTION

Le bassin hydraulique de SEBOU qui est subdivisé de point de vue hydrologique en quatre ensembles, à savoir, le SEBOU (6000 km<sup>2</sup>), issu du moyen Atlas, L'OUERGHA (7300 km<sup>2</sup>), le BEHT (9000 km<sup>2</sup>) qui reçoit l'oued RDOM avant de rejoindre le SEBOU dans la plaine du Gharb et le bas SEBOU (6000 km<sup>2</sup>) qui constitue un chenal instable et insuffisant pour supporter les débits de crues, renferme près du tiers des eaux de surface du MAROC. Les ouvrages hydrauliques élaborés sur ce bassin, permettent d'aménager plus de 1000 mm<sup>3</sup>/ans d'eau pour l'irrigation [1].

Le sol constitue un milieu de réception, d'accumulation et de transfert des éléments de trace métalliques vers les cultures emblavées au niveau des surfaces contaminées. L'usage des eaux de surfaces du bassin hydraulique de Sebou qui reçoit une charge de 142 t/an d'éléments métalliques provenant, notamment des industries artisanales estimées à 2000 unités [2], et les eaux de surface d'OUED de BEHT qui rejoint l'OUED SEBOU dans la plaine du GHARB, peut générer une pollution métallique drainée le long de ces rivières qui va être transférée dans les sols à travers les eaux d'irrigations.

Afin d'orienter correctement les politiques de protection des sols, notre étude se propose d'évaluer les concentrations métalliques dans des sols agricoles irrigués par des stations de pompage des eaux émanant d'OUED SEBOU et d'OUED BEHT, au niveau de la ville de Kenitra.

## 2 MATERIELS ET METHODES

### 2.1 SITES D'ÉTUDES

Les surfaces agricoles étudiées ont été désignées le 21/04/2014, au niveau de deux communes rurales qui appartiennent à la ville de Kenitra nommées SIDI ALLA TAZI et MOGRANE. Ces surfaces irriguées à partir de quatre stations de pompage des eaux de surfaces émanant de l'OUED SEBOU et l'OUED BEHT sont situées à 27 Km (MOGRANE) et 44 Km (SIDI ALLAL TAZI) de la province de Kenitra.

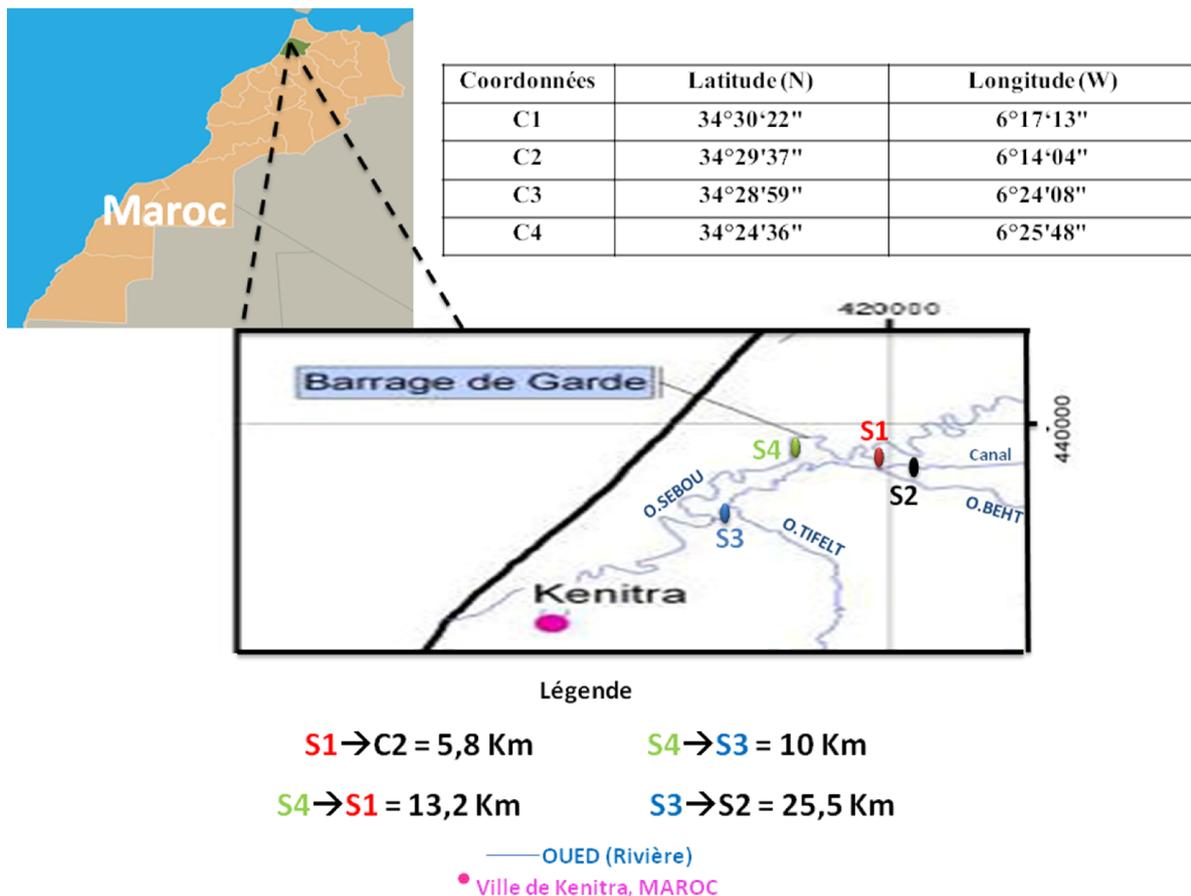


Fig.1. Localisation des sites d'étude sur OUED SEBOU et OUED BEHT

Deux surfaces ont été sélectionnées de chaque commune rurale en se basant sur la localisation des stations de pompage qui sont sous la direction de l'office régional de mise en valeur agricole du Gharb (ORMVAG). Ainsi les quatre terrains ont été classés comme suit (Figure 1) :

- S1 : terrains irrigués par la station de pompage des eaux de surface de SEBOU au niveau de SIDI ALLAL TAZI.
- S2 : terrains irrigués par une station de pompage élaborée sur un canal permettant de dévier l'écoulement des eaux de l'Oued BEHT afin de subvenir aux besoins des agriculteurs en matière d'irrigation de leurs cultures au niveau de SIDI ALLAL TAZI.
- S3 : terrains irrigués par la station de pompage des eaux de surface de BEHT au niveau de MOGRANE.
- S4 : terrains situés au niveau de MOGRANE et irrigués par les eaux de barrage de garde qui a pour fonction de limiter les pertes à la mer des eaux d'OUED SEBOU et le maintien du plan d'eau qui va servir comme source hydraulique d'irrigation.

## 2.2 MATÉRIELS UTILISÉS

Le sol a été prélevé en zigzag à partir de cinq points en moyenne de chaque site à l'aide d'une tarière hélicoïdale (Figure 2). Les sols de même profondeur et de la même zone sont mélangés, mis dans un sachet en plastique propre et étiqueté pour être transportés au laboratoire.



*Fig. 2. Prélèvement du sol à l'aide d'une tarière hélicoïdale, à deux profondeurs : 0 – 15 cm et 15 – 30 cm*

## 2.3 TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS ET MÉTHODES D'ANALYSES

Minéralisation du sol [3]: Une quantité de 1 g du sol de même profondeur tamisée à l'aide d'un tamis de 1 mm et séchée à 70°C pendant 48 h, a été calcinée dans un four à moufle à 450°C pendant 2 heures. L'échantillon a été ensuite repris dans 10 ml d'acide fluorhydrique à 50% pour être séché à nouveau dans un bêcher en téflon sur un bain de sable. La dissolution du résidu se fait par un mélange d'acide chlorhydrique et nitrique (7,5 et 2,5 ml). La suspension de la solution obtenue après filtration a été complétée à 50 ml par de l'eau distillée.

Analyses physicochimiques et dosage des éléments traces métalliques : Les analyses des paramètres physico-chimiques du sol ont été réalisées au sein du laboratoire de l'ORMVAG et la détermination des fractions métalliques (Chrome, Cobalt, Cuivre, Zinc, Arsenic, Plomb, Cadmium et Nickel) au niveau des supports élaborés, ont été lues à l'ICP-AES (Ultima 2) au Centre National de la Recherche Scientifique et Technique (Rabat). Le laboratoire d'analyse utilise des standards (précis de 1000 ppm de Jobin Yvon) certifiés par ISO 9001 quality assurance system.

La formule de conversion des concentrations métalliques du mg/l au mg/kg pour les supports solide est donnée comme suit :

$$\text{Céch (mg/kg)} = \text{Céch (mg/l)} * V_{\text{Minéralisation (l)}} / \text{Masse sec prise d'essai (kg)}$$

Avec  $C_{\text{éch}}$  (mg/kg) la concentration final du métal en mg/kg,  $C_{\text{éch}}$  (mg/l) la concentration final du métal en mg/l,  $V_{\text{Minéralisation}}$  le volume de l'échantillon après la minéralisation en L et Masse sec prise d'essai (kg) la masse de l'échantillon séchée avant calcination.

Degré de pollution métallique : Le degré de pollution métallique dans les sols étudiés a été évalué à travers l'indice de la charge de pollution (Pollution Load Index) [4], cet indice (PLI) est calculé en se basant sur le facteur de concentration de chaque métal, qui est donné comme suit :

$$CF = C_{\text{métal}} / C_{\text{valeur du fond}}$$

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \dots \times CF_n}$$
 ; si le PLI est supérieur à 1 le sol est pollué [5].

Avec : n est le nombre des métaux analysés

C valeur du fond est la valeur du fond géochimique du métal dans le sol. Cette dernière a été assimilée aux valeurs des concentrations métalliques dans un sol normal (Tableau 1):

**Tableau 1. Concentrations métalliques dans un sol normal [6]**

Eléments	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Sol normal	6	0.35	8	70	30	50	35	90

### 3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

#### 3.1 RESULTATS D'ANALYSES DES SOLS AGRICOLES

Le tableau 2 représente les résultats du pH, de la granulométrie et des concentrations métalliques qui caractérisent les sols agricoles. Cependant La granulométrie des quatre surfaces correspond à une texture limono-argileuse et toutes les zones sont dotées d'un pH alcalin. Pour ce qui est concentrations des fractions métalliques dans le sol, les résultats révèlent parfois des teneurs élevées selon la profondeur du sol. Particulièrement pour le sol 4 dont la teneur du Co contenu dans la couche : 15-30 cm, excède les limites recommandées par la norme AFNOR (N F U 44-041). Cependant les concentrations du Cr et Cd dans tous les sols dépassent les teneurs moyennes fixées par la même norme.

Tableau 2. Caractéristiques des sols agricoles des différentes zones d'études

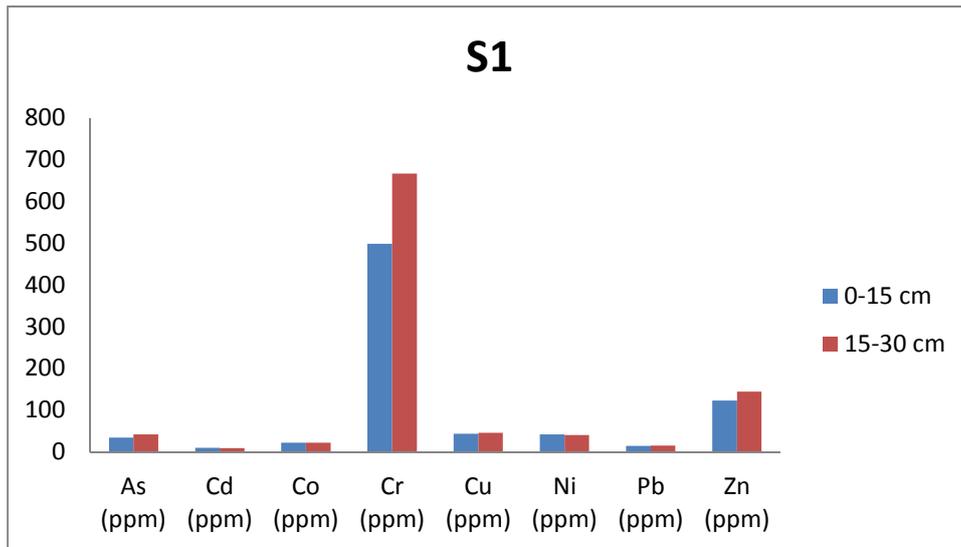
	S1	S2	S3	S4	Standards
pH (sols)	8,07	8,52	8,21	8,23	
Argile %	40,26	48,2	41,18	48,68	
Limon fin %	31,02	27,95	35,64	28,73	
Limon grossier %	16,46	16,98	22,26	25,03	
Sable fin %	12,89	4,55	0,9	0,72	
Sable grossier %	1,93	0,81	0,63	0,41	
Sol (0-15) cm :					
As (ppm)	34,4	25,45	≤LQ	40,2	-
Cd (ppm)	9,5	5,65	7,2	8,9	2
Co (ppm)	21,75	15	13,5	27,2	30
Cr (ppm)	499	239,7	391,7	366,85	150
Cu (ppm)	43,4	22,35	48,5	42,25	100
Ni (ppm)	41,65	27,6	38,05	46,65	50
Pb (ppm)	14,4	19,65	36,55	36,25	100
Zn (ppm)	122,7	74,55	91,7	133,3	300
Sol (15-30) cm :					
As (ppm)	41,95	27,55	21,85	44,15	-
Cd (ppm)	9,2	8,9	8,15	8,55	2
Co (ppm)	21,7	23,55	18,1	33,25	30
Cr (ppm)	667,5	533,2	364,35	190,3	150
Cu (ppm)	45,7	49,2	44,8	46,7	100
Ni (ppm)	40,6	43,35	37,25	45,5	50
Pb (ppm)	14,8	7,15	20,25	34,65	100
Zn (ppm)	144,45	112,45	108,6	104,78	300

### 3.2 EVOLUTION DES CONCENTRATIONS MÉTALLIQUES À DIFFÉRENTS PROFONDEURS DES SOLS

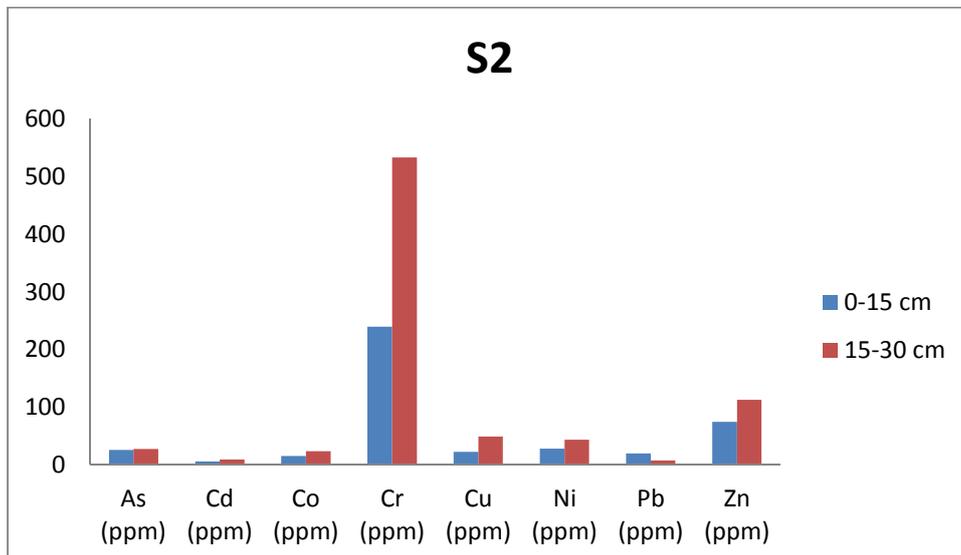
Le PH faiblement alcalin des sols étudiés, favorisent la rétention des métaux lourds présents dans les eaux d'irrigation par les particules d'argiles [7] contenues dans les sols agricoles étudiés, ainsi pour la structure argileuse le maintien des éléments de traces métalliques se fait par adsorption via la formation de liaison covalente entre le métal et les groupes -OH terminaux de la surface du solide ou par adsorption par échanges d'ions basée sur la substitution ionique au niveau de l'espace lamellaire des argiles [8].

La concentration des fractions métalliques d'une zone à l'autre et leurs migrations vers la couche : 15-30 cm, présente une fluctuation grâce aux propriétés physicochimiques des sols et des eaux d'irrigation (pH et granulométrie) [9]. En effet selon la nature du métal, les constats suivants ont été distingués (Figure 3, Figure 4, Figure 5 et Figure 6) :

- Arsenic (AS) : les sols irrigués via les eaux d'OUED SEBOU présentent des teneurs élevées par rapport à OUED BEHT, ainsi les concentrations de l'As sont plus importantes en progressant vers la profondeur.
- Cadmium (Cd) : La concentration diminue en profondeur pour tous les sols irrigués par les eaux de SEBOU et accroît pour les sols irrigués via les eaux de BEHT.
- Cobalt (Co) : La plus grande concentration a été déterminée dans le sol irrigué via les eaux de barrage de garde (S4). Cependant, la répartition du Co est équitable entre les deux couches pour le sol S1.
- Chrome (Cr) : la concentration baisse en moitié de la couche : 0-15 cm à la couche 15-30 cm pour le sol qui renferme plus d'argile et moins de sable (S4).
- Cuivre (Cu) : la teneur est répartie de manière presque équitable entres les deux couches pour tous les sols à l'exception du sol S2, où la concentration augmente en moitié en progressant vers la profondeur.



*Fig.3. Evolution des fractions métalliques au niveau du sol agricole S1*



*Fig.4. Evolution des fractions métalliques au niveau du sol agricole S2*

- Nickel (Ni) : on constate le même comportement du Cu, c'est-à-dire des concentrations presque identiques pour les sols S1, S3 et S4 et une progression en moitié de la teneur en profondeur pour le sol S2.
- Plomb (Pb) : les plus fortes concentrations au niveau des deux couches ont été enregistrées dans le sol irrigué par les eaux de barrage de garde et dans la couche : 0-15 cm pour le sol S3. Cependant la migration vers la profondeur est équitable pour les sols S1 et le S4, ainsi la diffusion recule en progressant vers la couche 15-30 cm concernant les sols S3 et S2.
- Zinc (Zn) : le sol contenant plus d'argile et moins de sable enregistrent une diminution de la concentration dans la profondeur (S4), par contre pour les sols S1 le S2 et le S3, on constate une progression de la teneur dans la couche 15-30 cm.

Le Cr utilisé en tannerie au niveau de la ville de Fes pour la transformation de la peau animal en cuire, est rejeté dans le bassin hydraulique de SEBOU qui rejoint OUED BEHT dans la plaine du GHARB [10]. L'usage de ces eaux de surface pour l'irrigation induit la transformation de ce polluant métallique vers les sols agricole [11], chose qui explique l'abondance du Cr dans tous les terrains étudiés.

### 3.3 VARIATION DU PLI A TRAVERS LES PROFILS DES SOLS

Concernant le sol S3 (0-15) cm le nombre des métaux analysés (n) a été évalué à 7, car l'arsenic était inférieur aux limites de détection de l'appareil. Pour le reste des sols, le PLI a été calculé sur la base des huit métaux analysés (n=8).

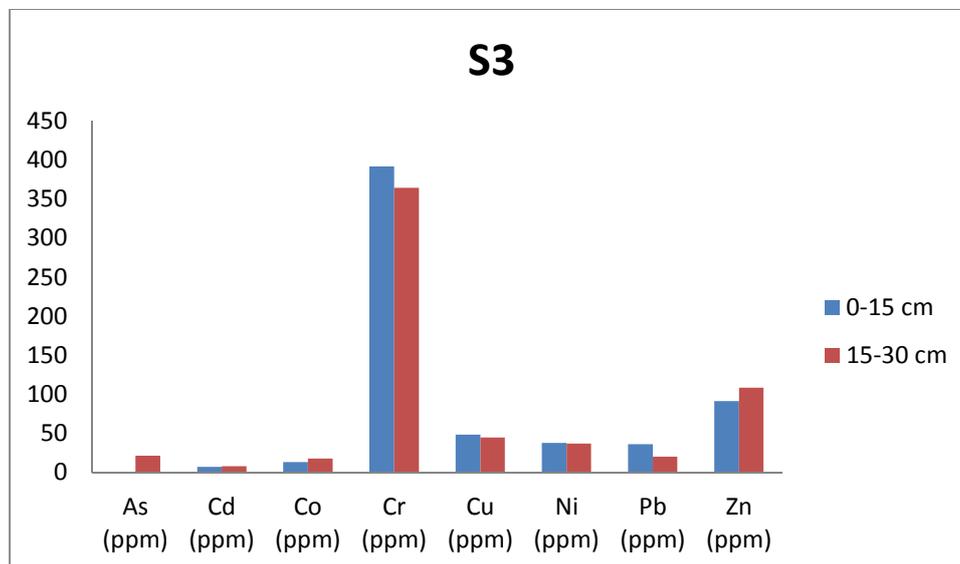


Fig.5. Evolution des fractions métalliques au niveau du sol agricole S3

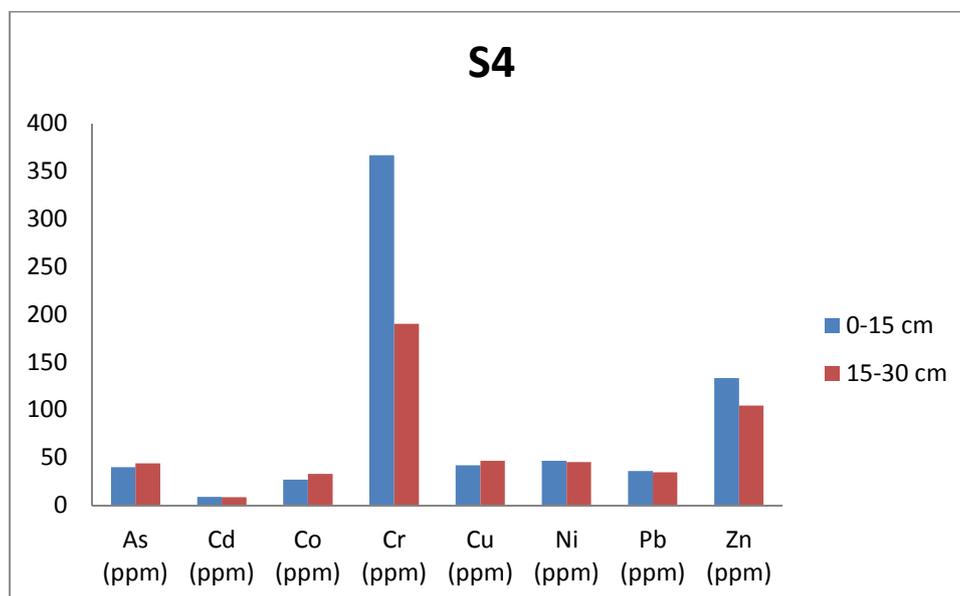


Fig.6. Evolution des fractions métalliques au niveau du sol agricole S4

Les valeurs du PLI des différents profils des sols illustrées par la Figure 7, sont supérieures à 1, donc les zones étudiées présentent un degré de pollution métallique. En effet les sols irrigués via les eaux d'OUED BEHT illustrent des indices inférieurs aux sols irrigués par les eaux d'OUED SEBOU, d'où les sols S2 et les sols S3 sont moins pollués par rapport aux sols S1 et sols S4. La pollution métallique diminue de la couche : 0-15 cm à la couche 15-30 cm pour le sol qui contiennent plus d'argile (S4) et moins de sable, tandis que l'atténuation de la teneur en argile et l'augmentation du pourcentage de sable, induit une croissance de la pollution dans la couche 15-30 cm par rapport à la couche 0-15 (S1, S2 et S3).

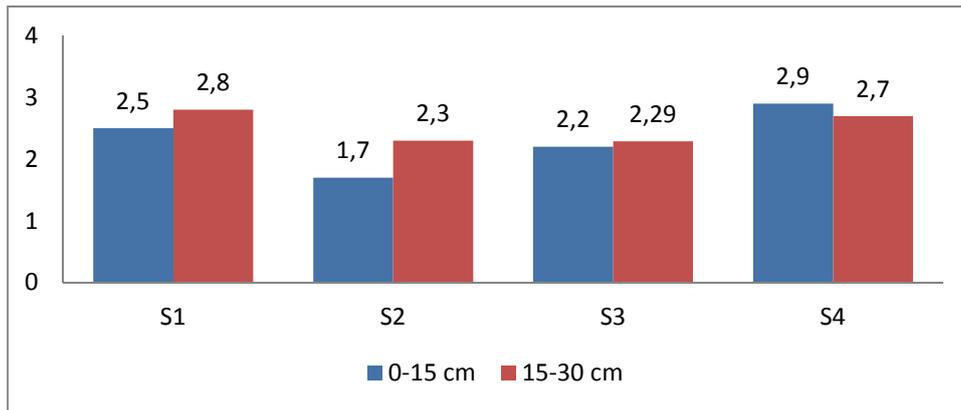


Fig.7. Variation du PLI à travers les profils des sols

#### 4 CONCLUSION

Les zones d'étude qui appartiennent aux communes rurales de SIDI ALLAL TAZI et de MOGRANE révèlent des concentrations métalliques excédant les seuils recommandés par la norme AFNOR (N F U 44-041), particulièrement pour le Cr et le Cd au niveau de toutes les surfaces agricoles. L'indice de la charge de pollution (PLI) des sols varie selon la source d'irrigation, en effet l'utilisation des eaux de surface de SEBOU en irrigation, génère une pollution élevée par rapport à l'usage des eaux de surface de BEHT. La migration de l'As, le Cr et le Zn vers la profondeur (15-30 cm) diminue pour le sol contenant plus d'argile et moins de sable (Sol4), cependant les facteurs contrôlant la mobilité et l'accumulation des fractions métalliques dans le sol pour ces zones sont la granulométrie et la nature des eaux de surface employées pour l'irrigation, puisque le pH est presque identique dans les différents terrains étudiés.

#### REMERCIEMENTS

On tient à remercier tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin à l'élaboration de ce travail de recherche, et plus particulièrement les techniciens de l'ORMVAG qui nous ont aidé à la localisation de la station de pompage ainsi que la surface agricole irriguée via cette dernière.

#### REFERENCES

- [1] A.B.H.S, Bassin hydraulique : Eaux de surface. Agence du bassin hydraulique du sebou.
- [2] A.B.H.S, Etude stratégique d'intervention de l'A.B.H. Atelier de concertation du 9 septembre 2004. Agence du Bassin Hydraulique du Sebou, 2004: p. 45.
- [3] AFNOR, Norme Française X 31-151 Méthode de minéralisation des boues et des sols, 1984. p. 17.
- [4] Tomlinson, D., et al., Problems in the assessments of heavy metal levels in estuaries and formation of a pollution index. Helgol Meeresunters, 1980. 33: p. 566-575.
- [5] Harikumar, P., U. Nasir, and M.M. Rahma, Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. International Journal. Environmental Science Technology, 2009. 6: p. 225-232.
- [6] Bowen, H.J.M., Environmental chemistry of elements. Academic Press, 1979: p. 333.
- [7] Coic, Y. and M. Coppenet, Les oligo-éléments en agriculture et élevage, incidences sur la nutrition humaine. INRA Editions, Paris, 1989.
- [8] Éléments traces métalliques - Guide méthodologique. Recommandations pour la modélisation des transferts des éléments traces métalliques dans les sols et les eaux souterraines, 2008, MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE, FRANCE.
- [9] Tomgouani, K., K.E. MEJAHED, and A. BOUZIDI, Evaluation de la pollution métallique dans les sols agricoles irrigués par les eaux usées de la ville de Settat (Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, 2007: p. 89-92.
- [10] A.B.H.S, L'AVENIR DE L'EAU, L'AFFAIRE DE TOUS, AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE DU SEBOU, 2006: p. 8.
- [11] KASSAOUI, H., et al., BIOACCUMULATION DE MÉTAUX LOURDS CHEZ LA TOMATE ET LA LAITUE FERTILISÉES PAR LES BOUES D'UNE STATION D'ÉPURATION. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 2009: p. 77-92.