



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Evaluation de la pollution métallique des points de décharge des eaux usées de la région de Beni Mellal-Khenifra (Maroc) : utilisation d'*Eisenia fetida* (Savigny, 1826) comme bioindicateur

Nadia TALBI¹, Abdelali ROUHI^{2*}, Mohamed. MERZOUKI¹ et Hasna MERZOUKI¹

¹Laboratoire de Génie Biologique, Faculté des Sciences et Techniques, B.P 523, 23000, Beni Mellal, Maroc.

²Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation (CRMEF), Beni Mellal, Maroc.

*Auteur correspondant ; E-mail : rouhiabdelali@gmail.com ; Tél : (0212) 6 62 65 34 76.

Received: 12-07-2024

Accepted: 02-10-2024

Published: 31-10-2024

RESUME

En aval des stations d'épuration, les eaux usées traitées contiennent divers éléments traces métalliques (ETM) qui s'accumulent dans les écosystèmes naturels, atteignant des niveaux toxiques et causant d'importants impacts écologiques. Le but de cette étude est d'évaluer les concentrations en ETM dans les sites exposés à l'épandage de ces eaux, dans la région de Béni Mellal (Maroc), en utilisant le ver *Eisenia fetida* comme bioindicateur. Pour ce faire, des échantillons du ver de terre ont été prélevés en 2022 selon un pas bimestriel sur trois sites. Les concentrations en ETM (Cd, Zn, Cu, Cr, Pb, Al, Fe et Mn) dans les tissus d'*E. fetida* ont été déterminées par spectrométrie d'émission atomique couplée à un plasma induit (ICP). Les résultats montrent que la bioaccumulation des ETM est fonction du site, du mois de prélèvement ainsi que de l'élément métallique en question. Le calcul de l'indice de pollution métallique (IPM), a montré que les trois sites sont pollués. Les vers provenant du site (KH) présentent les concentrations les plus élevées en Cd et en Cu, tandis que ceux du site (BM) accumulent principalement le Cu et le Cr. Pour le Zn, il est fortement bioaccumulé par les spécimens du site (AZ). Globalement, une similarité est observée entre les sites (BM) et (KH).

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Ver de terre, bioaccumulation, métalliques, eaux usées.

Assessment of metal pollution at wastewater discharge points in the Beni Mellal-Khenifra region (Morocco): use of *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as a bioindicator

ABSTRACT

Downstream of wastewater treatment plants, wastewater contains various metallic trace elements (ETM) which accumulate in natural ecosystems, reaching toxic levels and causing significant ecological impacts. The aim of this study is to evaluate ETM concentrations in sites exposed to the spreading of this water, in the region of Béni Mellal (Morocco), using the worm *Eisenia fetida* as a bioindicator. To do this, samples of the earthworm were taken in 2022 every two months at three sites. The concentrations of ETM (Cd, Zn, Cu, Cr, Pb, Al, Fe and Mn) in the tissues of *E. fetida* were determined by atomic emission spectrometry coupled to induced plasma (ICP). The results show that the bioaccumulation of trace metal elements depends on the site, the month of sampling, and the specific metal element. The calculation of the Metal Pollution Index (MPI) indicated that all three sites are polluted. Worms from site (KH) exhibit the highest levels of Cd and Cu, while those from site

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

9726-IJBSCS

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v18i5.32>

(BM) mainly accumulated Cu and Cr. As for Zn, it is bioaccumulated in large quantities by specimens from the site (AZ). In general, a similarity between the two sites (BM) and (KH) is observed.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords : Earthworm, bioaccumulation, trace elements, wastewater.

INTRODUCTION

La dégradation des quatre composantes qui constituent le milieu naturel à savoir, l'eau, le sol, l'air et les êtres vivants est en partie le résultat des rejets des eaux usées industrielles et domestiques. Au Maroc, les effluents générés par ces différentes activités, sont rejetés dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable ou traités d'une manière inadéquate. Environ 30% de la pollution totale rejetée atteint directement les cours d'eau, tandis que le sol et le sous-sol en reçoivent 27% (Ministère de l'environnement, 2002). Ils sont à l'origine de nombreux contaminants (Nahli et al., 2016). Ces composés pouvant ainsi avoir un impact négatif de longue durée sur le fonctionnement des écosystèmes. Les éléments traces métalliques (ETM) sont entre autres, parmi les contaminants qui constituent une véritable menace pour la santé. Une fois dans le milieu naturel, ils se répartissent entre la phase aqueuse, les sédiments et les organismes (Togbe et al., 2019). Ces éléments ne sont pas dégradés ou éliminés par les mécanismes naturels, leur temps de résidence dans les sols semble nettement plus grand, voir même permanent et sont des éléments très toxiques même à des concentrations très faibles (Kabata Pendias, 2011).

De nombreux éléments traces métalliques n'ont aucun rôle biologique comme le cadmium (Cd), le mercure (Hg), le plomb (Pb), l'aluminium (Al), l'arsenic (AS), le cobalt (Co)... Ils affectent les enzymes et entraînent la mort des cellules (Tchounwou et al., 2012). Par contre, certains sont essentiels à faible concentration pour le métabolisme cellulaire et le bon fonctionnement de l'organisme. Mais, ils deviennent potentiellement toxiques à forte concentration

comme le fer (Fe), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le chrome (Cr), le manganèse (Mn)... (Siddiquee et al., 2015 ; Igiri et al., 2018).

Les organismes (aquatiques ou terrestres) possèdent la capacité d'accumuler et de concentrer les métaux absorbés à partir de leur milieu de vie : c'est la bioaccumulation. L'augmentation chez ces organismes des teneurs en métaux, qu'ils soient essentiels ou non, présente une toxicité ou même une létalité, d'où la nécessité du suivi de la bioaccumulation de ces métaux dans les études écotoxicologiques (Amiard-Triquet, 2006).

Bon nombre d'oligochètes vivent à l'intérieur des sédiments dans les zones d'épandage des eaux usées. Les activités biologiques générées par ces organismes sont particulièrement favorables à l'enfouissement et à la concentration des polluants à l'intérieur du substrat. Par conséquent, ils représentent l'un des groupes de macro invertébrés les plus utilisés pour les études à caractère écotoxicologique. Les vers de terre sont parmi d'autres, restent un bon modèle pour évaluer les risques de contamination par les éléments traces métalliques des sols (Toure et al., 2017) et du milieu naturel en général. Ils sont connus, depuis longtemps, comme des accumulateurs des éléments traces métalliques (Gish et Christensen, 1973 ; van Hook, 1974 ; van Rhee, 1977 ; Morgan et Morgan, 1993). Leur pouvoir accumulateur découle d'une part, de leurs activités d'ingénierie de l'écosystème (Lavelle et Spain, 2001), et de leur anatomie et leur style de vie d'autre part, en créent deux interfaces cutanée et alimentaire entre l'organisme et les constituants du sol. L'espèce *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) appelée communément "ver du fumier" de la famille des Lumbricidae est le ver de terre qui se développe dans les couches

superficielles du sol. Elle est largement utilisée dans les études écotoxicologiques et peut être utilisée comme un très bon indicateur pour surveiller la contamination des sols (Hirano et Tamae, 2011).

Ce travail avait pour principal objectif d'évaluer la pollution du milieu récepteur par les ETM qui proviennent des eaux usées traitées dans la région de Béni Mellal-Khénifra (Maroc), en déterminant leur concentration dans les tissus d'*E. fetida*, ainsi que leur répartition spatiale et temporelle.

MATERIEL ET METHODES

Description des sites d'étude

L'échantillonnage a été effectué en trois sites pollués dans la région de Beni Mellal-Khénifra au centre du Maroc. Ils sont tous à proximité des points de décharge des eaux usées urbaines provenant des stations d'épuration : Le site de Beni Mellal (BM) (32°21'46"N ; 6°22'29"W), le site d'Azilal (AZ) (31°56'18"N ; 6°37'10"W) et le site Khouribga (KH) (32°50'31"N ; 6°56'29"W) (Figure 1). Les sites (BM) et (AZ) sont impactés par des perturbations à dominance urbaine et agricole, tandis que le site (KH) est caractérisé de plus par l'industrie minière (phosphates). Les trois sites sont éloignés d'une centaine de kilomètres environ.

Matériel

Le matériel et les appareils utilisés dans ce travail sont : une balance de précision, un bain de sable, une étuve, un mortier en porcelaine, un spectromètre d'émission atomique à plasma et couplage inductif (ICP-AES) type Perkin Elmer, (modèle Optima 8000 DV) et le matériel biologique représenté par le ver *E. fetida*.

Méthodes

Prélèvement des échantillons

Le matériel biologique utilisé dans notre travail était un annélide oligochète de la famille des Lumbricidés représenté par *E.*

fetida. En plus de ses caractéristiques écotoxicologiques, le choix de cette espèce était basé sur sa très grande répartition géographique et son abondance sur l'ensemble des sites étudiés. Au niveau de chaque site de prélèvement, des vers adultes ont été retirés du sol à la main selon un pas bimestriel pendant l'an de 2022. Ils ont été transportés dans leur sol humidifié au laboratoire dans des récipients en plastique. Au laboratoire, et après avoir nettoyé, les spécimens ont été purgés pendant 48 h en contact avec un papier filtre imbibé avec de l'eau distillée, ce qui a permis d'éliminer le contenu de leur tube digestif. Les individus ont ensuite été rincés à l'eau distillée, égouttés sur papier filtre et conservés séparément au congélateur (-25°C).

Extraction et dosage des éléments traces métalliques

Pour le dosage des métaux, les animaux ont été mis à sécher à l'étuve à 70°C pendant 24h. La matière sèche ainsi obtenue a été pesée puis broyée. Une quantité de 0,3 g de poudre de chaque échantillon a été mise dans des tubes avec un mélange de 3 ml d'acide Nitrique et de 2 ml d'acide chloridrique durant une heure à température ambiante ; puis pendant 3 heures à 110°C dans un bain de sable. Les minéralisats ainsi obtenus ont été filtrés à 0,45µm (filtre de Whatman), ajustés à 20 ml à l'eau bidistillée puis conservés à 4°C jusqu'à l'analyse. Huit éléments métalliques ont été mesurés : Cd, Zn, Cu, Cr, Pb, Al, Fe et Mn. Les mesures des métaux ont été effectuées par ICP (spectrométrie d'émission atomique couplée à un plasma induit). Les résultats sont exprimés en µg/g de poids sec.

Calcul de l'Indice de pollution métallique

L'Indice de Pollution Métallique (MPI) est calculé pour mettre en évidence les sites d'étude à fortes concentrations de métaux, Il est calculé en utilisant la formule donnée par Usero et al. (1997), selon l'équation :

$$MPI = (M_1 \times M_2 \times M_3 \dots M_n)^{1/n}$$

Où Mn est la concentration de l'élément métallique n dans les tissus des spécimens

exprimés en $\mu\text{g/g}$ de poids sec, et n est le nombre total de métaux. Quand $\text{MPI} > 1$, cela signifie que le site est pollué mais lorsque $\text{MPI} < 1$ indique le contraire.

Analyses statistiques

Les concentrations des éléments traces métalliques dans les animaux sont exprimées en moyenne (\pm écart type). La différence entre les concentrations d'une part en fonction du site et d'autre part par rapport à la date de

prélèvement a été évaluée en utilisant l'analyse de variance (ANOVA) complétée par le test Newman-Keuls. Les similarités entre les sites étudiés d'une part et les métaux analysés d'autre part ont été estimées par l'analyse des dendrogrammes établis par les indices de similarité de Bray-Curtis. Ces différentes analyses ont été réalisées à l'aide des logiciels: Statistica (version 5), BioDiversity Pro statistical (version 2.0) et Excel.

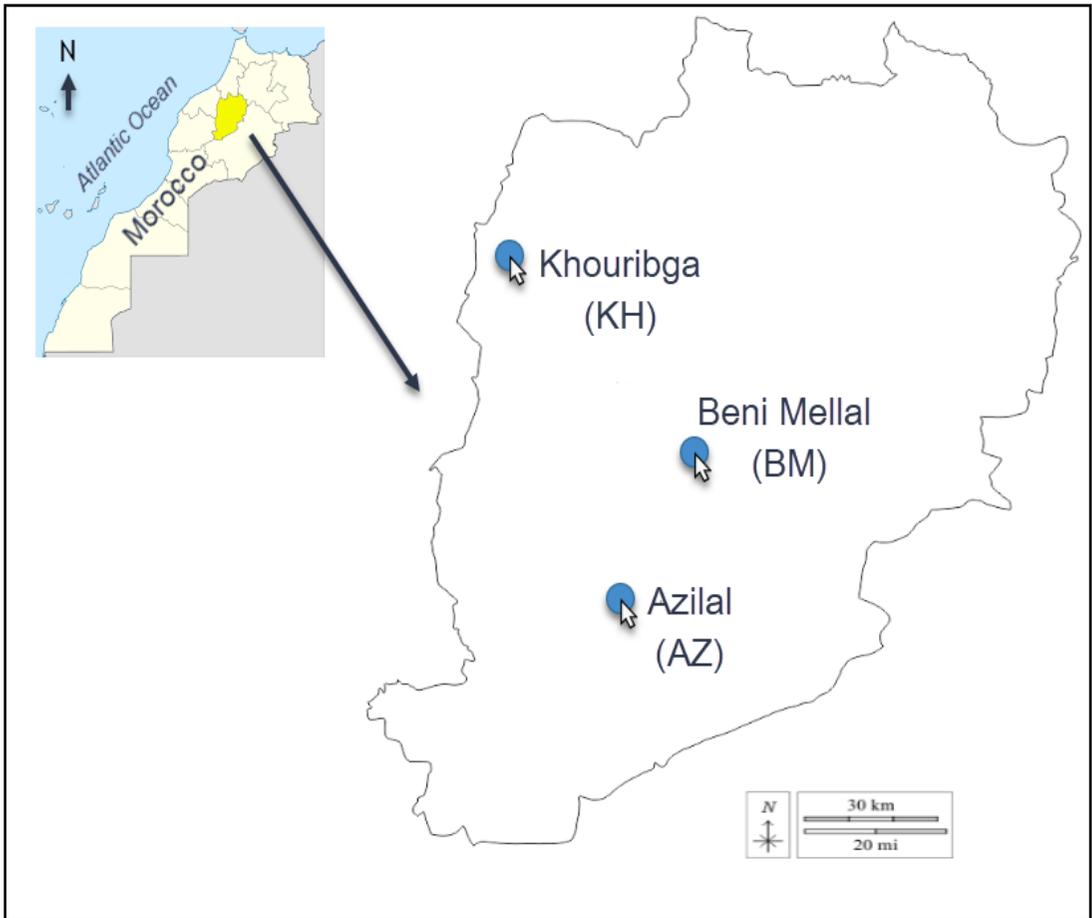


Figure 1 : Localisation des sites d'étude (AZ, BM et KH), Maroc.

RESULTATS

Evolution spatio-temporelle des teneurs métalliques

Les concentrations moyennes (\pm écart type) des huit éléments traces métalliques mesurées chez les vers de l'oligochète *E. Fetida* récoltés dans les trois sites étudiés sont représentées dans le Tableau 1 : Les valeurs moyennes annuelles enregistrées ont été classées dans l'ordre décroissant suivant : Fe > Al > Zn > Mn > Pb > Cu > Cr > Cd. L'analyse de variance (ANOVA) nous a permis de constater la présence de quelques éléments traces à des teneurs variables et statistiquement hautement significative en fonction d'un site à un autre, tels que le Cd, le Zn, le Cu et le Cr ($F = 138,46$, $p = 0,0000$; $F = 24,92$, $p = 0,0000$; $F = 10,13$, $p = 0,0002$; $F = 7,72$, $p = 0,0012$). De même, des variations hautement significatives des concentrations en fonction des mois sont aussi observées chez les vers des trois sites de prélèvement étudiés.

Pris séparément élément par élément, nous avons constaté que les concentrations du Cadmium varient de $0,17$ à $4,22 \mu\text{g.g}^{-1}$ de poids sec. La valeur la plus élevée de Cd a été enregistrée chez les animaux du site KH en septembre 2022. Alors que la teneur la plus faible a été observée chez les vers du site (AZ) en mai 2022. L'analyse de variance complétée par le test Newman-Keuls a montré que le site KH a enregistré les valeurs les plus élevées en cadmium sur l'ensemble des mois d'étude. Alors que le site de (BM) a été classé en deuxième position. Pour le Zn, les teneurs ont variées entre un minimum de $57,25 \mu\text{g.g}^{-1}$ signalé à (BM) au mois de mai 2022 et un maximum de $412,49 \mu\text{g.g}^{-1}$ enregistré au niveau de (AZ) en mars 2022. À l'exception des animaux prélevés en Janvier à (BM), les vers du site (AZ) présentaient des concentrations largement supérieures à celles enregistrées chez les individus des deux sites (BM) et (KH). Elles oscillaient entre $132,49$ et $412,49 \mu\text{g.g}^{-1}$ en mai et mars respectivement. Aucune différence n'a été signalée entre les deux sites (BM) et (KH). Le site de Khouribga (KH) a été

caractérisé par les niveaux les plus élevés en Cu pendant tous les mois de prélèvement (à l'exception de mars 2022). Les valeurs oscillaient entre $4,34 \mu\text{g.g}^{-1}$ en mars et $12 \mu\text{g.g}^{-1}$ en mai 2022. Cependant, la bioaccumulation du Cu entre les deux sites (KH) et (BM) est statistiquement similaire pendant les mois de janvier, mars et juillet 2022. Concernant le Cr, les teneurs ont varié entre 0 et $7,05 \mu\text{g.g}^{-1}$ enregistrées respectivement au niveau de (KH) et (BM) au mois de septembre. Pour l'Al, la valeur maximale a été enregistrée au cours du mois de septembre ($725,30 \mu\text{g.g}^{-1}$) à (BM). La plus faible valeur est notée au même mois ($4,54 \mu\text{g.g}^{-1}$) à (KH). A l'exception du pic maximal enregistré au mois de septembre 2022 chez les animaux du site de (BM) ($3717,97 \mu\text{g.g}^{-1}$), la concentration du Fe dans les tissus d'*E. fetida* a varié successivement entre $266,36 \mu\text{g.g}^{-1}$ et $1272,49 \mu\text{g.g}^{-1}$ aux mois de mai et septembre 2022 dans le site (AZ). Les contenus des tissus en Pb variaient de $6,28 \mu\text{g.g}^{-1}$ (dans la station BM) à $10,22 \mu\text{g.g}^{-1}$ (dans la station KH). La bioaccumulation de ce métal par les animaux n'était pas significative d'une station à l'autre mais très significative d'un mois à l'autre. Quant au Mn, la concentration maximale a été enregistrée chez les vers de la station (BM) en septembre ; soit $61,74 \mu\text{g.g}^{-1}$; alors que la valeur minimale était de $8,95 \mu\text{g.g}^{-1}$ en mars chez les animaux issus de (KH).

Classification hiérarchique des métaux et des sites d'étude

L'analyse du dendrogramme de la Figure 2 montre le degré de similitude entre les différentes stations qui est basé sur la concentration en métaux des tissus d'*E. fetida*. Cette représentation permet de distinguer deux assemblages avec un niveau de similarité supérieur à 69,72%. Le premier groupe a été formé par le site de (AZ), alors que le deuxième groupe comprenait (BM) et (KH). Le dendrogramme donné par la Figure 3 représente le degré de similitude entre les huit ETM dans la chaire d'*E. Fetida*. L'analyse nous a fait apparaître quatre différents

groupes : le premier a été constitué par le Fe, le deuxième a été établi par le Zn et l'Al, le troisième a inclus le Pb, le Cu et le Mn, alors que le quatrième a regroupé le Cd et le Cr. La forte affinité entre le Cu et le Pb (85,56%) prouve l'origine similaire des deux métaux, à la différence du Fe qui peut provenir d'une source différente. La similitude enregistrée entre le Pb, le Cu et le Mn (51,35%) ainsi qu'entre le Cd et le Cr (50,71) suggère que ces métaux ont la même origine qui serait différent de celui concernant le Zn et l'Al (54,78%).

Indice de pollution métallique (MPI)

L'analyse des résultats basés sur le calcul de l'indice de pollution métallique (MPI) (Tableau 2) permet de mettre en évidence des valeurs élevées (largement supérieur à 1) durant tous les mois et pour les trois sites étudiés. Elles variaient entre 6,68 et 39,14. En général, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans les deux sites (BM) et (KH). Ces valeurs témoignent de la présence d'une pollution métallique dans les trois sites. Aucune différence significative spatiale ou temporelle n'a été observée.

Tableau 1 : Variation spatiale et temporelle des ETMs au niveau des tissus d'*E. Fetida*.

		ETMs (µg/g,Ps)							
Sites	Mois	Cd***	Pb ^{NS}	Al ^{NS}	Cr**	Zn***	Cu***	Fe ^{NS}	Mn ^{NS}
(AZ)	Janvier_22	0,39±0,03	9,06±0,83	163,55±31,70	1,5±0,15	211,52±8,43	7,16±0,41	675,74±106	16,8±0,99
	Mars_22	0,49±0,06	7,85±0,52	141,62±5,62	0,64±0,03	412,49±9,76	5,45±0,16	767,6±19,98	12,52±0,16
	Mai_22	0,17±0,02	7,65±0,35	48,69±9,21	0,53±0,06	132,49±2,87	4,54±0,54	266,36±21,41	14,07±0,90
	Juillet_22	0,44±0,01	10,02±0,44	245,51±34,22	2,58±0,07	198,98±9,30	7,3±0,35	1272,49±60,98	30,99±1,27
	Septembre_22	0,49±0,02	7,41±0,46	39,88±5,36	0,02±0,03	237,72±6,10	4,84±0,22	379,81±12,14	9,41±0,23
	Novembre_22	1,07±0,05	7,72±0,52	126,95±9,42	1,11±0,37	158,04±9,64	3,05±0,11	865,14±47,64	23,78±0,74
	Moy (±Ect)	0,51±0,30^a	8,29±1,030^a	127,7±76,06^a	1,06±0,90^a	225,21±99,21^a	5,39±1,63^a	704,52±360,73^a	17,93±8,04^a
(BM)	Janvier_22	0,36±0,01	9,66±0,85	98,27±8,20	1,36±0,10	266,87±8,08	7,18±0,20	390,41±13,48	11,83±0,32
	Mars_22	0,5±0,02	6,96±0,47	139,66±15,28	1,08±0,07	78,46±2,69	4,62±0,15	636,8±35,20	16,85±0,56
	Mai_22	0,88±0,03	8,13±0,32	85,74±8,87	1,07±0,16	57,25±0,80	9±0,42	494,25±11,66	14,9±0,34
	Juillet_22	0,6±0,08	8,34±0,91	33,73±0,46	0,81±0,13	57,44±5,33	7,67±0,48	296,67±32,60	13,33±1,19
	Septembre_22	1,32±0,07	8,65±1,26	725,3±43,48	7,05±0,34	61,19±2,84	6,72±0,15	3717,97±255,79	61,74±3,47
	Novembre_22	0,83±0,04	6,26±1,20	155,15±15,70	1,93±0,18	58,14±4,06	4,44±0,33	833,11±30,54	28,51±1,79
	Moy (±Ect)	0,75±0,34^a	8±1,21^a	206,31±257,84^a	2,21±2,40^b	96,56±8,83^b	6,6±1,78^a	1061,53±1315,03^a	24,53±19,18^a
(KH)	Janvier_22	2,64±0,07	9,79±1,37	60,48±5,77	1,09±0,19	64,67±1,58	7,35±0,12	315,23±0,88	18,07±0,14
	Mars_22	2,23±0,18	7,34±0,55	22,03±1,12	0,01±0,01	90,51±2,18	4,34±0,22	337±2,51	8,95±0,19
	Mai_22	2,81±0,07	10,22±0,77	253,75±7,98	6,73±0,20	61,15±2,38	12±0,20	1067,47±46,34	27,33±0,84
	Juillet_22	2,73±0,21	8,12±0,94	27,33±2,93	0,91±0,06	58,74±2,70	7,95±0,50	294,69±19,68	10,55±0,64
	Septembre_22	4,22±0,28	6,82±0,70	4,54±1,78	0,01±0,01	67,85±1,12	9,67±0,17	381,31±11,70	12,12±0,52
	Novembre_22	4,11±0,11	8,75±0,59	224,54±12,66	20,8±0,07	70,81±5,38	8,24±0,68	928,61±67,10	20,04±4,01
	Moy (±Ect)	3,12±0,83^b	8,51±1,34^a	98,61±110,33^a	1,92±2,57^b	68,95±11,43^b	8,26±2,54^b	554,04±347,89^a	16,18±6,98^a

ETMs :éléments traces métalliques ; Moy : moyenne ; Ect : écart-type ; NS : non significatif, P >0,05 ; ** : hautement significatif, p< 0,01 ; *** : très hautement significatif, p< 0,001 ; pour chaque métal les stations avec la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 95%.

Tableau 2 : Indice de Pollution Métallique (MPI) chez l’Oligochaete *E. Fetida* dans la région de Beni Mellal-Khénifra.

Indice	MPI		
	(AZ)	(BM)	(KH)
janv-22	18,69	15,91	16,14
mars-22	17,16	14,58	6,74
mai-22	9,66	14,95	31,82
juil-22	25,15	11,15	12,97
sept-22	7,66	39,14	6,68
nov-22	18,10	17,68	34,09
Moyenne	16,07	18,90	18,07
Test ANOVA	Station	(F=0,13; P=0,87)	
	Mois	(F=0,32; P=0,89)	

MPI : Indice de pollution métallique

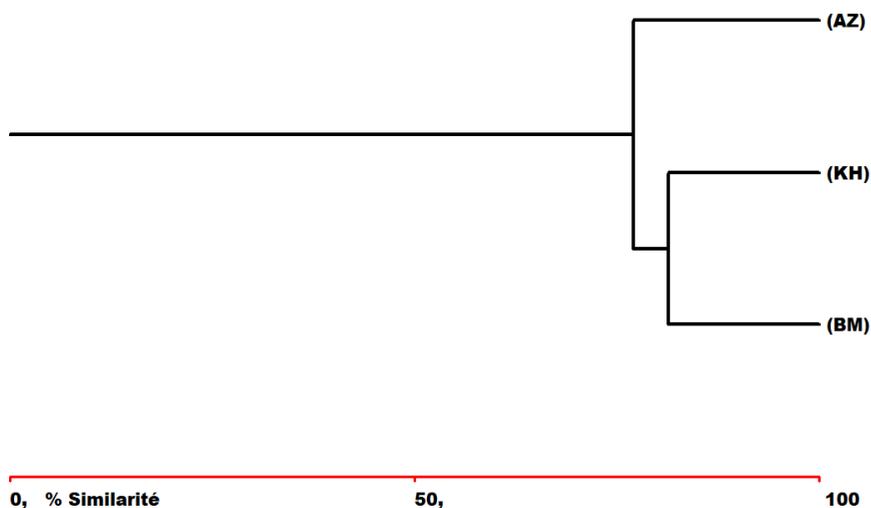


Figure 2 : Dendrogramme issu d’une analyse de regroupement hiérarchique (coefficient de Bray-Curtis) des 3 sites d’échantillonnage de la région de Beni Mellal-Khénifra.

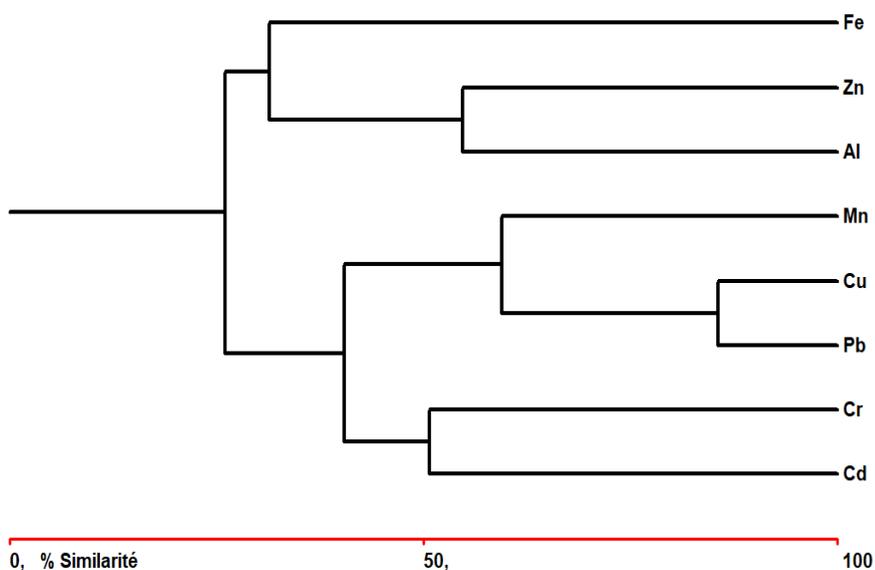


Figure 3 : Dendrogramme issu d'une analyse de regroupement hiérarchique (coefficient de Bray-Curtis) des éléments traces métalliques accumulés dans les tissus d'*E. fetida* de la région de Beni Mellal-Khénifra.

DISCUSSION

L'indice de pollution métallique (MPI) est considéré comme un bon outil de surveillance pour évaluer la contamination des écosystèmes par les éléments traces métalliques. Il permet de différencier les milieux pollués de ceux non pollués (Boudjema et al., 2022 ; Kouali et al., 2022). Dans le présent travail, les valeurs élevées des MPI enregistrées chez les vers des trois sites pourraient être expliquées par la charge polluante charriée par les eaux usées urbaines épandues dans le milieu naturel même si qu'elles sont traitées. En effet, Azami et ses collaborateurs (2015) ont montré que certains éléments métalliques (Cu, Zn, Pb et Fe) dans les eaux usées brutes du site d'Azilal (AZ) dépassent les normes fixées par les autorités marocaines.

En général, quel que soit la performance de la station d'épuration utilisée (lagunage, boue active), une quantité importante de la charge métallique sous différentes formes peut se retrouver dans l'eau à l'aval (Nahli et al., 2016). Cependant, la dilution de ces polluants

dans l'eau permettra la limitation de leurs effets. Au contraire, le sédiment du milieu récepteur constitue une forme de persistance plus prolongée dont on ignore en général la capacité de restitution de sa contamination solide ou contenue dans son eau interstitielle (Lafaurie et al., 1992).

La différence dans la bioaccumulation des ETM (Cd, Zn, Cu et Cr) par la même espèce *E. fetida* en fonction du site de prélèvement suggère tout d'abord une différence dans la source de contamination. Khouribga (KH) par exemple, est une ville minière de 216.828 habitants. Elle est considérée comme la plus importante zone de production des phosphates du monde. Le taux plus ou moins élevé de Cd et de Cu en comparaison avec les autres sites trouve son explication dans les différentes sources qui sont probablement en relation avec l'industrie des phosphates d'une part et du fond géochimique de la province d'autre part. Plusieurs travaux de recherche réalisés sur les annélides polychètes (Rouhi et al., 2013) et les gastéropodes (Fahmi et al., 2023) montrent que

ces métaux sont issus du traitement de l'extraction des phosphates. Les ETM peuvent pénétrer dans le sol à partir de différentes sources telles que les pesticides, les engrais, les matières organiques et inorganiques, ainsi que les résidus de boues d'épuration (Capri et Trevisan, 2002). Beni Mellal (BM) et Azilal (AZ) sont deux villes purement agricoles ; l'utilisation des engrais et des pesticides dans plusieurs cultures constitue une source non négligeable des ETM. Le sulfate de cuivre mélangé à la chaux est utilisé par exemple comme fongicide (Sollmann, 1957). Ces derniers éléments vont se retrouver tôt ou tard dans le milieu naturel pendant les précipitations.

Par ailleurs, la variation temporelle de l'accumulation des ETM a été bien démontrée par plusieurs auteurs chez différentes espèces d'annélides polychètes (Ferssiwi, 2007 ; Rouhi et al., 2013) et oligochètes (van Straalen et al., 2001, Hobbelen et al., 2006). C'est un fait frappant dans la littérature que les concentrations corporelles des métaux traces accumulés, essentiels ou non essentiels, varient considérablement entre les Invertébrés, même lorsqu'il s'agit d'espèces phylogénétiquement très proches (Rainbow, 1998 ; Rainbow et al., 2000). Cette variation dépend de plusieurs facteurs qui sont aussi bien abiotiques (tels que la variation de température, de salinité, du pH du milieu) que biotiques qui regroupent tous les processus physiologiques liés au cycle de reproduction de l'espèce et qui influent la variation du poids de l'animal. Tischer et al. (2002) ont montré que dans les conditions de pH faible (pH <3,5), le taux de transfert des ETM en particulier le Cd et le Zn du sol vers l'organisme de plusieurs espèces de vers de terre est plus élevé. Cela était expliqué par la part la plus importante de la fraction mobile des métaux dans le sol. La biodisponibilité des polluants dépend aussi de l'état physico-chimique sous lequel ils sont présents dans les différents compartiments de l'écosystème (Richards et al., 1998 ; Filipek et al., 2001). Li et al. (2009) ont constaté que l'augmentation de la teneur en Cd²⁺ libre dans la solution du sol augmentait la teneur en Cd chez *E. fetida*.

En plus des paramètres externes, la biodisponibilité des métaux est liée à l'organisme considéré et à son mode de vie. Le mode de nutrition par exemple détermine la fraction métallique ciblée et par conséquent sa biodisponibilité (Lebourg et al., 1996). Les vers de terre épigés comme *E. Fetida* vivent principalement en surface et se nourrissent de fragments organiques en décomposition. Ils peuvent accumuler des ETM dans le sol soit par absorption cutanée dans l'eau interstitielle du sol ou la digestion des particules et/ou des constituants organiques du sol qui contiennent un niveau élevé de ETM dans le tube digestif (Hobbelen et al., 2006 ; Srut et al., 2019). Cependant, Dans des sols avec de faibles concentrations en ETM, l'ingestion par voie orale de particules de sol et d'aliments biologiques est probablement plus important que l'absorption cutanée pour l'accumulation des ETM chez les vers de terre (Becquer et al., 2005 ; Lanno et al., 2019). Loin du niveau de contamination du sol, l'accumulation des ETM par les vers de terre est affectée par divers facteurs comme la nature de l'espèce, les propriétés physicochimiques du sol et d'autres conditions du milieu de vie telles que l'humidité et la température du sol (Xiao et al., 2022).

Conclusion

Cette étude avait pour objectif de déterminer la teneur des éléments traces métalliques dans les tissus du ver *H. fetida* prélevé à trois points de déversement des eaux usées traitées dans la région de Béni Mellal-Khénifra (Maroc), afin de mettre en évidence l'impact de ces effluents liquides sur le milieu récepteur. Les indices de pollution métalliques ont montré que les trois sites ont été pollués. Les concentrations des métaux ont montré une variation qui dépend du site de prélèvement et du métal en question. Ces variations sont liées à l'origine et la charge polluante des eaux usées concernées. Cette bioaccumulation suggère une contamination d'origine anthropique, potentiellement attribuables aux activités industrielles liées aux exploitations des phosphates (sur le site KH), aux pratiques agricoles comme l'utilisation d'herbicides et

d'engrais (dans les trois sites), ainsi qu'aux activités domestiques. Cette accumulation des métaux dans la chair du macrofaune du sol du milieu récepteur pourrait poser de sérieux risques sanitaires pour l'écosystème en général, d'où la nécessité de la mise en place d'un système d'évaluation de la performance des stations d'épuration mise en place dans la région.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts pour cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

NT: auteur principal du travail, elle a participé à toutes les étapes de sa réalisation. AR et MM : ont contribué aux analyses des données ainsi qu'à la supervision de tout le travail. HM : a contribué aux analyses des ETM.

REFERENCES

- Amiard JC, Geffard A, Amiard-Triquet C, Crouzet C. 2007. Relationship Between Lability of Sediment-Bound Metals (Cd, Cu, Zn) and their Bioaccumulation in Benthic Invertebrates. *Estuar. Coastal. Shelf Sci.*, **72**: 511-521. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2006.11.017>
- Azami Idrissi Y, Alemad A, Aboubaker S, Daifi H, El kharrim K, Belghyti D. 2015. Caractérisation physicochimique des eaux usées de La ville d'Azilal-Maroc. *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, **11**(3): 556-566. URL: <https://ijias.issr-journals.org/issue.php?issue=41>
- Becquer T, Dai J, Quantin C, Lavelle P. 2005. Sources of Bioavailable Trace Metals for Earthworms from a Zn, Pb and Cd Contaminated Soil. *Soil. Biol. Biochem.*, **37**(8): 1564-1568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.01.007>
- Boudjema K, Badis A, Moulai-Mostefa N. 2022. Study of Heavy Metal Bioaccumulation in *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck 1819) from Heavy Metal Mixture using the CCF design. *Environ. Technol. Innov.*, **25**: 102-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102202>
- Capri E, Trevisan MI. 2002. Metalli pesanti di origine Agricola nei suolici nelle Acque Sotterranee. Pitagora Editrice: Bologna, Italy.
- Fahmi F, Sif A, Rouhi A. 2023. Identification and Count of Immune Cells of the Marine Gastropod *Phorcus lineatus* (Da Costa, 1778) from the El Jadida Coastline (Atlantic coast, Morocco). *Cah. Biol. Mar.*, **64**: 299-308. DOI: <https://dx.doi.org/10.21411/CBM.A.3DF5DDF3>
- Ferssiwi A. 2007. Accumulation du cadmium, Cuivre et Zinc dans le sédiment et chez quatre espèces d'Annélides Polychètes du littoral d'el Jadida (côte atlantique marocaine): Implication des protéines type metallothioneines. Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali, Maroc, p. 214.
- Filipek-Mazur B, Mazur K, Gondek K. 2001. The effect of Organic Fertilisers on Distribution of Heavy Metals Among Fractions in Soil. *Rost. Vyroba.*, **47**: 23-128. DOI: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20013056796>
- Gish CD, Christensen RE. 1973. Cadmium, Nickel, Lead and Zinc in Earthworms from Roadside Soil. *Environ. Sci. Technol.*, **7**: 1060-1062. DOI: <https://doi.org/10.1021/es60083a011>
- Hirano T, Tamae K. 2011. Earthworms and Soil Pollutants. *Sensors.*, **11**(12): 11157-11167. DOI: <https://doi.org/10.3390/s111211157>
- Hobbelen PHF, Koolhaas JE, van Gestel CAM. 2006. Bioaccumulation of Heavy Metals in the Earthworms *Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa* in relation to total and Available Metal Concentrations in Field Soils. *Environ. Pollut.*, **144**(2): 639-646. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.01.019>

- Igiri BE, Okoduwa SI, Idoko GO, Akabuogu EP, Adeyi AO, Ejiogu IK. 2018. Toxicity and Bioremediation of Heavy Metals Contaminated Ecosystem from Tannery Wastewater: A review. *J. Toxicol.*, **2018**. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/2568038>
- Kabata-Pendias A. 2011. *Trace Elements in Soils and Plants* (4nd edn). CRC Press: Boca Raton, USA. DOI: <https://doi.org/10.1201/b10158>
- Kouali H, Chaouti A, Achtak H, Elkalay K, Dahbi A. 2022. Trace metal contents in the mussel *Mytilus galloprovincialis* from Atlantic Coastal Areas in Northwestern Morocco: Levels of Contamination and Assessment of Potential Risks to Human Health. *Mar. Pollut.*, **179**: 113680. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113680>
- Lafaurie M, Narbonne JF, Galgani F. 1992. Indicateurs Biochimiques De Contamination de l'Environnement Marin. *Analysis*, **6**: 27-33. URL: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00165/27651/>
- Lanno RP, Oorts K, Smolders E, Albanese K, Chowdhury MJ. 2019. Effects of Soil Properties on the Toxicity and Bioaccumulation of Lead in Soil Invertebrates. *Environ. Toxicol. Chem.*, **38**(7): 1486-1494. DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.4433>
- Lavelle P, Spain AV. 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers: New York. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-017-5279-4>
- Lebourg A, Sterckeman T, Ciesielski H, Proix N. 1996. Intérêt de Différents Réactifs d'Extraction Chimique pour l'Evaluation de la Biodisponibilité des Métaux en Traces du Sol. *Agronomie*, **16**: 201-215. DOI: <https://doi.org/10.1051/agro:19960401>
- Ministère de l'Environnement du Maroc. 2002. Bulletin Normes marocaines, Bulletin officiel du Maroc, N° 5062 du 5 décembre 2002 portant sur la fixation des Normes de Qualité des Eaux Destinées à l'Irrigation. Rabat, Maroc.
- Morgan JE, Morgan AJ. 1993. Seasonal Changes in the Tissue Metal (Cd, Zn and Pb) Concentrations in two Ecophysiologically Dissimilar Earthworm Species: Pollution Monitoring Implications. *Environ Pollut.*, **82**: 1-7. DOI: [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(93\)90155-H](https://doi.org/10.1016/0269-7491(93)90155-H)
- Nahli A, Hebabaze S, Iounes N, Belhouari A, Chlaida M. 2016. Etude de la Contamination Métallique des Sédiments de Surface de l'Oued Hassar après installation de la station d'épuration (StEp) de Médiouna (Casablanca, Maroc). *Bull. Institut. Sci.*, **38**: 1-14. URL : <http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2017/11/Nahli%20et%20al.%201-14.pdf>
- Rainbow PS, Amiard-Triquet C, Amiard JC, Smith BD, Langston WJ. 2000. Observations on the Interaction of Zinc and Cadmium Uptake Rates in Crustaceans (amphipods and crabs) from coastal sites in UK and France Differentially Enriched with Trace Metals. *Aquat. Toxicol.*, **50**: 189-204. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(99\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(99)00103-4)
- Rainbow PS. 1998. Phylogeny of trace metal accumulation in crustaceans. In *Metal Metabolism in Aquatic Environment*, Langston WJ, Bebianno MJ (eds). Chapman & Hall: London; 285-319. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4757-2761-6_9
- Richards BK, Steenhuis TS, Peverly JH, Mc Bride MB. 1998. Metal Mobility at an old, Heavily Loaded Sludge Application Site. *Environ. Pollut.*, **99**: 365-377. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00011-6)
- Rouhi A, Sif J, Chemaa A. 2013. The evaluation of Metal Pollution on the littoral d'El Jadida city (Morocco, Atlantic Ocean): using *Arenicola grubii* (Polychaeta: Nereididae) as Biological Indicator. *Cah. Biol. Mar.*, **54**: 53-56. DOI:

- <https://dx.doi.org/10.21411/cbm.a37d740bb>
- Siddiquee S, Rovina K, Azad SA. 2015. Heavy Metal Contaminants Removal from Wastewater Using the Potential Filamentous Fungi Biomass: a review. *J. Microb. Biochem. Technol.*, **7**(6): 384–393. DOI: <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000243>.
- Sollmann T. 1957. A Manual of Pharmacology. (8th ed), p. 948. Phil-adelphia: Saunders.
- Srut M, Menke S, Hockner M, Sommer S. 2019. Earthworms and Cadmium – Heavy Metal Resistant Gut Bacteria as Indicators for Heavy Metal Pollution in Soils? *Ecotox. Environ. Saf.*, **171**: 843–853. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.102>.
- Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. 2012. Heavy Metal Toxicity and the Environment. In *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, Luch A (ed). Springer: Basel; 133-164. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Tischer S, Lampe S, Tanneberg H. 2002. Bodenbiologische Untersuchungen an anthropogenen Standorten im National park Hochharz. Berichte Landesamt Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft, p. 172-175.
- Togbe AMO, Kouame KV, Yao KM, Ouattara AA, Tidou AS. 2019. Évaluation de la Contamination des Eaux de la Lagune Ebrié (Zones IV et V), Côte d'Ivoire en arsenic, plomb et cadmium : Variations Spatio-temporelles et Risques Sanitaires. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13**(2): 1162-1179. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.45>
- Toure M, Tiho S, Ehouman NM, Kpan KG. 2017. Distribution et Structure des Communautés de vers de Terre et leur Corrélation avec des Eléments Traces Métalliques (ETM) le long des bordures de l'autoroute du Nord en Côte-d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(5): 2277-2293. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.26>
- Usero J, Gonzales-Regalado E, Gracia I. 1997. Trace Metals in Bivalve Molluscs *Ruditapes decussatus* and *Ruditapes philippinarum* from the Atlantic Coast of southern Spain. *Environ. Int.*, **23**: 291-298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(97\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(97)00030-5).
- Van Hook RI. 1974. Cadmium, Lead and Zinc Distributions Between Earthworms and Soils: Potentials for Biological Accumulation. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **12**: 50951-2. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01684990>
- Van Rhee JA. 1977. Effects of Soil Pollution on earthworms. *Pedobiologia.*, **17**(3): 201-208. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-4056\(23\)00171-3](https://doi.org/10.1016/S0031-4056(23)00171-3).
- Van Straalen NM, Butovsky RO, Pokarzhevskii AD, Zaitzev AS, Verhoef SC. 2001. Metal Concentrations in Soil and Invertebrates in The Vicinity of a Metallurgical Factory near Tula (Russia). *Pedobiologia.*, **45**: 451-466. DOI: <https://doi.org/10.1078/0031-4056-00099>
- Xiao R, Ali A, Xu Y, Abdelrahman H, Li R, Lin Y, Bolan N, Shaheen SM, Rinklebe J, Zhang Z. 2022. Earthworms as Candidates for Remediation of Potentially Toxic Elements Contaminated Soils and Mitigating the Environmental and Human Health Risks: a review. *Environ. Int.*, **158**: 106924. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106924>