

Bioaccumulation des éléments traces chez les cultures fourragères (cas de Bersim : *Trifolium alexandrinum*)

[Bioaccumulation of trace elements in forage crops (Bersim : *Trifolium alexandrinum*)]

Said Saber¹, Nabil Benkhoubi¹, Ahmed Lebki¹, El Housseine Rifi¹, Elmostafa Elfahime², and Abderrazzak Khadmaoui³

¹Department of Chemistry, Laboratory of Organic Synthesis and Extraction Processes,
Faculty of Science, University Ibn TOFAIL, Kenitra, Morocco

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

³Department of Biology, Laboratory of Genetics and Biometry, Faculty of Science, University Ibn TOFAIL, 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: The present study was conducted to evaluate the bioaccumulation of metallic elements in forages (case Bersim) irrigated by water of Sebou and Beht River. Seven metallic elements (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) were analyzed by Inductively Coupled Plasma (ICP). The results showed that the levels of Cd in irrigation water exceeded levels established by Moroccan standards, the concentrations of Cd and Cr in soil (0-15 cm) beyond the limits recommended by the AFNOR and contents of Cd, Cu and Ni in the edible portion of Bersim are higher than those fixed by the FAO / WHO (2001) and WHO / EU (1983). The transfer factors of Zn and Cu is high compared to other metallic elements (Co, Cd, Ni, Pb and Cr). Indeed, the high absorption of trace-elements by the Bersim tissue may be associated with the chemical form of the metal in the soil matrix, the physicochemical characteristics of the soil and to the nature of the plant species. Bioaccumulation of metallic elements identified in green fodder is caused by the use of the surfaces waters of Sebou and Beht as a source of irrigation.

KEYWORDS: Morocco, Sebou and Beht River, metallic elements, irrigation water, Bersim, soils, ICP.

RÉSUMÉ: La présente étude a permis d'évaluer la bioaccumulation des éléments métalliques chez les cultures fourragères (cas de Bersim) irriguées par les eaux de surface de Sebou et Beht. Sept éléments métalliques (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) ont été analysés par spectrométrie d'émission à source plasma (ICP). Les résultats obtenus ont montré que les teneurs en Cd chez les eaux d'irrigation excèdent les seuils fixés par la norme Marocaine, les concentrations du Cd et du Cr chez le sol (0-15 cm) dépassent les limites recommandées par la norme AFNOR et les teneurs des éléments Cd, Cu et Ni dans les parties comestibles de Bersim sont plus élevées que celles fixées par la FAO/WHO (2001) et WHO/EU(1983). Les facteurs de transfert du Zn et Cu sont élevés par rapport aux autres éléments métalliques (Co, Cd, Ni, Pb et Cr). En effet, l'absorption élevée de certains éléments traces, par les tissus du Bersim peut être associée à la forme chimique du métal dans la matrice du sol, aux caractéristiques physicochimiques du sol et à la nature des espèces végétaux. La bioaccumulation des éléments métallique identifiée dans les fourrages verts, est causées par l'usage des eaux de surfaces de Sebou et Beht comme source d'irrigation.

MOTS-CLEFS: Maroc, Bassins de Sebou et Beht, Eléments métalliques, Bersim, eaux d'irrigation, sols agricoles, ICP.

1 INTRODUCTION

La culture de bersim ou trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum*) est très répandue dans le bassin méditerranéen. Au Maroc, il est très utilisé pour l'alimentation des bovins laitiers (riche en matières azotées). Bien adapté au climat il permet plusieurs coupes dans l'année, avec des rendements importants, il a donc une vocation en tant que culture fourragère

principale pour apporter un complément protéique en vert. Parmi les ressources en eau menacées se trouve les Bassins de Sebou et Beht (affluent de la rive gauche de l’oued Sebou). Sebou c’est le premier bassin versant au Maroc du point de vue apports d’eau, évalués à 6,6.109 m3/an. Il constitue une source d’alimentation en eau d’irrigation d’une zone agricole nationale de près de 267 600 ha et recèle 30 % des ressources globales nationales qui se trouvent actuellement très menacées [1]. Beht est un cours d’eau pérenne et relativement puissant , il prend naissance du Moyen Atlas. Les apports moyens annuels de l’oued Beht sont de l’ordre de 410 Mm3 [2]. Les deux bassins reçoivent une charge en éléments métalliques dépassant 140 T/an provenant essentiellement des industries artisanales estimées à pas moins de 2000 unités [3] , par conséquent, toute la pollution drainée le long de ce cours d’eau est transférée dans les sols à travers les eaux d’irrigation et par la suite dans les cultures et enfin à l’homme. Le but de cette étude est d’évaluer les concentrations de sept éléments métalliques (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) chez les cultures fourragères (cas de Bersim) cultivées dans des sols affectées par les eaux de surfaces de Sebou et Beht.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 SITE D’ÉTUDE

Les échantillons de Bersim, de sol et des eaux de surfaces de Sebou et Beht, ont été récoltés à partir de quatre surfaces (F1, F2, F3, F4) situées à 27 Km (Mograne) et 44 Km (Sidi Allal Tazi) de la province de Kenitra (Figure 1). Les supports de même nature qui appartiennent à une zone analogue ont été mélangés et subdivisés pour obtenir quatre échantillons à analyser de chaque point de prélèvement.

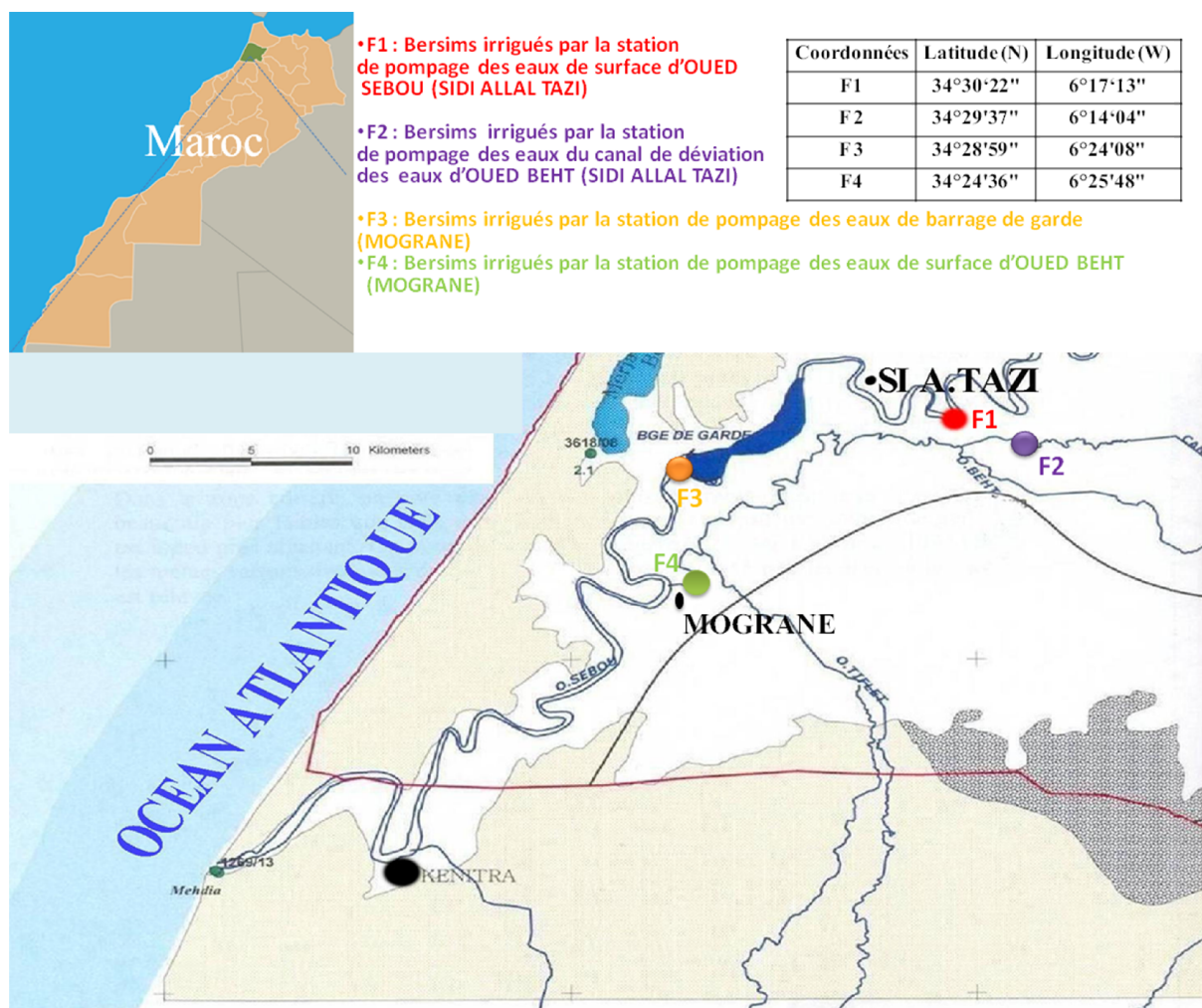


Fig.1. Localisation des sites d’étude sur les deux bassins Sebou et Beht

2.2 PRÉLÈVEMENT DU SOL

Le sol a été recueilli via 5 points de prélèvement à l'aide d'une tarière hélicoïdale, à une profondeur de 0 à 15. Les sols de même zone ont été mélangés, mis dans un sachet en plastique et transportés au laboratoire. Le sol a été séché à l'air libre, tamisé à 2 mm afin d'éliminer les matériaux indésirables tels que les pierres et les cailloux. Les paramètres physicochimiques du sol (pH, conductivité électrique, granulométrie, capacité d'échange cationique) ont été obtenus selon les méthodes d'analyse des sols au sein de l'office régional de mise en valeur agricole d'Elgharb (ORMVAG).

2.3 PRÉLÈVEMENT DES CULTURES

Les échantillons de la plante (Bersim) récoltées (Cinq points en moyenne pour une zone) de chaque zone de prélèvement (F1, F2, F3, F4), ont été mis dans un sachet en plastique propre et étiqueté pour être acheminé au laboratoire où elles ont été lavées et rincées par l'eau du robinet.

2.4 MINÉRALISATION DU SOL

Une quantité de 0,5 à 1g de sol a été calcinée dans un four à moufle à 450°C pendant 2 heures. Chaque échantillon, préalablement broyé, est placé dans un bécher en Téflon et additionné à 10 ml de l'acide fluorhydrique (HF) à 50% pour être séché à nouveau sur un bain de sable jusqu'à siccité. Le résidu obtenu est repris à chaud par un mélange d'acide chlorhydrique et nitrique (7,5 et 2,5 ml) concentré jusqu'à dissolution totale. La suspension obtenue après sa décantation est transvasée dans une fiole de 50 ml. Elle est ensuite jaugée par de l'eau distillée puis homogénéisée. En présence de composés réfractaire et/ou de fortes concentrations en silice, un résidu subsistera toujours. La silice peut être éliminée en répétant la première étape une seconde fois (HF-H Cl) [4].

2.5 MINÉRALISATION D'EAU

Un échantillon de 10 ml d'eau, sans calcination préalable, a été repris par 10 ml d'acide fluorhydrique (HF) à 50 % et séché à nouveau dans un bécher en téflon sur un bain de sable. La dissolution du résidu obtenu se fait par addition de 7,5 ml d'acide chlorhydrique et 2,5 ml d'acide nitrique purs. Le bécher est recouvert d'un verre de montre puis placé sur plaque chauffante jusqu'à disparition des vapeurs rousses synonyme d'une minéralisation complète. La solution obtenue est complétée à 10 ml par de l'eau distillée. Des blancs de minéralisation ont été menés conjointement [4].

2.6 MINÉRALISATION DU MATÉRIEL VÉGÉTAL

Une prise d'essai de 1 à 2 g de végétal a été séchée à 70°C pendant 48 h, broyé, et calcinée dans un four à moufle à 450°C pendant 4 heures. Les cendres obtenues sont minéralisées par l'eau régale (25% HNO₃ et 75% HCl), puis ramené à sec sur un bain de sable jusqu'à la décoloration de la solution. On redissout le résidu obtenu dans 10 ml de HCl (5%), puis on le filtre à 0,45 µm, avant de le diluer avec HCl (5%) jusqu'au volume final de 20 ml [4].

Les analyses des paramètres physico-chimiques du sol et de l'eau d'irrigation ont été réalisées au sein du laboratoire de l'ORMVAG et la détermination des fractions métalliques (Chrome, Cobalt, Cuivre, Zinc, Plomb, Cadmium et Nickel), ont été lues à l'ICP-AES (Ultima 2) au Centre National de la Recherche Scientifique et Technique (Rabat).

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

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

Avec :

$C_{\text{éch}} \text{ (mg/kg)}$: Concentration final du métal en mg/kg.

$C_{\text{éch}} \text{ (mg/l)}$: Concentration final du métal en mg/l.

$V_{\text{Minéralisation}}$: Volume de l'échantillon après la minéralisation en L.

$\text{Masse sec prise d'essai (kg)}$: Masse de l'échantillon séchée avant calcination.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 ANALYSE DES EAUX D'IRRIGATION

Les résultats des mesures de pH et des teneurs en fractions métalliques obtenus sont représentés par le tableau 1.

Tableau 1. Le pH et caractéristiques métalliques (mg/l) des eaux d'irrigation

Paramètres	F1	F2	F3	F4	Moyens	Normes marocaine Pour l'irrigation
pH	7,95	7,22	7,91	7,76	7,71	6,5-8,5
Cd	0,042	0,037	0,058	0,049	0,042	0,01
Co	0,034	0,032	0,066	0,076	0,052	0,5
Cr	0,218	0,232	0,411	0,698	0,389	1
Cu	0,117	0,088	0,211	0,184	0,150	2
Ni	0,132	0,088	0,214	0,323	0,189	2
Pb	0,296	0,175	0,438	0,389	0,324	5
Zn	0,556	0,119	0,311	0,410	0,349	2

Les résultats des analyses métalliques montrent que les teneurs en Cd chez les eaux d'irrigation excèdent les seuils fixés par la norme Marocaine. Les paramètres physico-chimiques des eaux d'irrigation décident le transfert de micropolluant métallique vers les cultures agricoles [5]. En effet, le pH neutre à faiblement basique (7,71) des eaux d'irrigations entrave le passage des éléments traces vers les plantes [6].

3.2 ANALYSE DU SOL

Le tableau 2 représente les caractéristiques physicochimiques et métalliques des supports solides des sols.

Tableau 2. Caractéristiques physicochimiques et métalliques (mg/kg) des sols de différentes zones d'étude

Paramètres	F1	F2	F3	F4	Moyennes	Normes	
pH	8,07	8,52	8,23	8,21	8,25	-	
Argile (%)	40,26	48,2	48,68	41,18	44,58	-	
Limon fin %	31,02	27,95	28,73	35,64	30,83	-	
Limon grossier %	16,46	16,98	25,03	22,26	20,18	-	
Sable fin %	12,89	4,55	0,72	0,90	4,76	-	
Sable grossier %	1,93	0,81	0,41	0,63	0,94	-	
CEC	30,5	35,5	35,5	32,5	33,5	-	
Taux de M.O(%)	1,25	2,10	2,10	1,67	1,78	-	
Profondeur (0-15) :						AFNOR	Sols agricole*
Cd	8,2	7,34	7,42	8,7	7,91	2	1-300
Co	23	17,3	25,44	15,72	20,36	30	20-50
Cr	467,8	260,54	376,18	401,47	376,49	150	50-200
Cu	39,91	24,6	40,38	50,4	38,82	100	60-150
Ni	44,5	25,3	47,11	40,53	39,36	50	20-60
Pb	12,68	17,38	34	38,37	25,60	100	20-300
Zn	113,94	69,43	143,59	87,41	103,59	300	1-300

Les zones étudiées sont caractérisées par un pH basique des sols (8,25), des teneurs faibles en matière organique (1,78), capacité d'échange cationique (CEC) moyenne (33,5) et une texture d'argile limoneuse. Les résultats des analyses métalliques montrent que les teneurs en Cd et Cr chez le sol (0-15) excèdent les seuils fixés par la norme AFNOR ceci est expliqué par les rejets urbains (industriels, activités artisanales) et l'activité agricole.

3.3 ANALYSES DE LA PLANTE

Les résultats des fractions métalliques contenues dans les différents échantillons de Bersim récoltées à travers les surfaces étudiés, ont été regroupés dans le tableau 3. Les moyens et les écarts des concentrations des éléments métalliques ont été calculés et comparés aux limites (FAO/WHO, WHO/EU) dans chaque station d'irrigation.

Tableaux 3. Teneurs métalliques (mg/ kg) dans les parties comestibles de Bersim cultivée dans des sols irriguées par les eaux de Sebou et Beht

Métaux	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
F1	0,28	0,25	0,34	7,38	4,00	1,29	8,79
F2	0,80	0,46	1,71	14,77	1,17	5,57	26,90
F3	0,66	0,35	1,13	11,07	1,99	2,40	15,23
F4	0,65	0,50	1,00	13,67	1,96	4,08	31,01
Moyens ± écart	0,60 ±0,22	0,39 ±0,11	1,05 ±0,56	11,72 ±3,28	2,28 ±1,20	3,33 ±1,88	20,48 ±10,3
Limites FAO/WHO [7]	0,02-0,2	-	-	5	0,2	0,5-1	100
Limites WHO/EU [8]	0,01	-	0,1	0,2	0,2	5	-
Kabata-Pendias et Mukherjee *[9]	0.005–0.04	0.005–0.27	0.01–0.41	3–8	0.06–1.3	0.2–2.4	1.2–27

(*) : Teneurs moyennes des éléments métalliques dans les cultures agricoles emblavées dans les sols normaux.

En plus des caractéristiques physicochimiques du sol et des eaux d'irrigation ayant une influence sur la bioaccumulation des métaux lourds dans les tissus végétaux, les espèces et le génotype de la plante peuvent également affecter l'absorption totale d'un élément trace par les cultures. Les plantes cultivées sur des sols irriguées par les eaux de surfaces polluées illustrent des concentrations élevées en éléments traces qui dépassent les limites proposées par des fondations standards telles que la FAO / OMS, l'OMS / UE ([10],[11]).

Cadmium : Le cadmium n'est pas un élément nutritif essentiel et peut avoir des effets toxiques à des faibles concentrations. Dans des conditions normales, les plantes n'absorbent que des petites quantités de Cd du sol. Le rapport entre le Cd et le Zn dans les tissus végétaux est considérée comme biologiquement important [12]. Concernant l'étude actuelle, le rapport Cd/Zn pour le Bersim est de 0,029 (>0,01), cette faible valeur peut être expliquée par le pH du sol (8.25) et la forme chimique du Cd (CdCO₃) dans les solutions de sol. La teneur moyenne en Cd dans le Bersim est de 0.6 qu'est au-dessus des valeurs limites tolérables par la norme FAO/WHO et WHO/EU.

Cobalt : Le cobalt est aussi un micronutriment important pour certaines bactéries fixatrices d'azote, comme Rhizobium, il est donc essentiel pour de nombreuses légumineuses [12]. Kabata-Pendias et Mukherjee [9] ont indiqué que les plantes à feuilles, comme la laitue, le chou et les épinards ont une teneur relativement élevée en Co, alors que sa teneur est inférieure dans les fourrages, ce qui est en accord avec la présente étude où la teneur moyenne en Co dans les parties comestibles du Bersim est de 0,39 mg/kg (Tableau 3).

Chrome : Bien que les deux formes de Cr (Cr (III) et Cr (VI)) puissent être toxiques pour les plantes et les animaux, la toxicité du Cr (III) se produit à des concentrations plus élevées et cette forme est en fait un nutriment essentiel pour les humains et les autres animaux. D'autre part, le Cr (VI) est toxique à des concentrations beaucoup plus faibles et tend à être plus mobile et plus biodisponible que le Cr (III) dans l'environnement ([12], [9]).

Pour l'étude actuelle, la teneur moyenne en Cr (total) dans les parties comestibles de Bersim est de 1,05 mg/kg (Tableau 3). Elle est plus élevée que la limite donnée par l'OMS/UE. Elle est aussi supérieure à la teneur maximale en Cr typiquement associée à des plantes cultivées dans un sol normal non affectée (0,1 à 0,5 mg/kg) mais inférieure au niveau toxique (5 mg/kg) pour les plantes rapportées par [9]. Compte tenu des conditions actuelles de la zone d'étude, le Cr est susceptible d'être présent principalement sous la forme Cr (OH)₃, qui est généralement inaccessible aux plantes.

Cuivre : Le cuivre est un élément essentiel, car il est impliqué dans un nombre de processus physiologiques. En excès, le cuivre absorbé peut être considéré comme un élément toxique qui conduit à l'inhibition de la croissance. L'excès de ce métal peut également endommager la membrane et la répression des activités enzymatiques [14]. Pour la plupart des

espèces cultivées, le niveau critique pour la toxicité du cuivre dans les feuilles est au-dessus de 20 mg/kg. La biodisponibilité du cuivre est considérablement réduite lorsque le pH dépasse 7. L'augmentation du pH dans une solution de sol, peut être accomplir par chaulage, qui conduit à la formation des produits d'hydrolyse ayant des affinités différentes pour les sites d'échange des particules argileuses ([12], [9]). Dans cette étude, la teneur moyenne en Cu dans le Bersim est de 11,72 mg/kg, qu'est plus élevée que les limites de FAO/OMS et OMS/UE (Tableau 3), elle est également au-dessus du niveau tolérable (5 mg/kg) pour les plantes cultivées mais elle ne dépasse pas les niveaux toxiques (20 mg/kg). L'absorption du Cu dans les tissus de la plante est affectée non seulement par la concentration de Cu dans le sol (c'est à dire, la géologie naturelle et les sources anthropiques) mais aussi par la forme chimique de Cu et les caractéristiques du sol. Pour les sols recueillis dans cette étude, les valeurs de pH étaient supérieures à 7 et les concentrations de CaCO₃ étaient élevées. Donc les espèces hydrolysées de cuivre, telles que CuOH⁺, Cu(OH)₂⁻, Cu(OH)₃⁻ et Cu(CO₃)₂⁻, peuvent être plus favorable pour l'absorption par les plantes.

Nickel : Le nickel est omniprésent dans l'environnement, il est un constituant normal des tissus végétaux. De nombreuses espèces végétales naturelles accumulent dans leurs tissus des niveaux relativement élevés de Ni. Comme nombreux éléments métalliques, les concentrations du Ni dans divers tissus végétaux sont affectées par les propriétés du sol et par la forme dans laquelle se trouve le Ni [14]. Les teneurs moyennes en Ni dans les plantes alimentaires cultivées dans divers pays varient entre 0,06 et 1,3 mg / kg (Tableau 3). La teneur moyenne mesurée du Ni dans cette étude était de 2,28 mg/kg, qui est approximativement 10 fois plus grand que les limites donnée par la FAO / OMS et par l'OMS / UE (0.2 mg/kg) (Tableau 3). La teneur élevée en Ni dans les échantillons de bersim prélevée peut être due aux différentes caractéristiques d'absorption.

Plomb : Le plomb est une substance toxique connue pour les animaux et les plantes et très persistant dans l'environnement. Comme le Cd, il n'est pas un élément nutritif essentiel pour les plantes. Les cultures cultivées dans des lieux non contaminés ont généralement des niveaux relativement bas des métaux, y compris le Pb [9]. Les teneurs moyennes en Pb dans les plantes alimentaires cultivées dans plusieurs pays varient entre 0,2 et 2,4 mg/kg (Tableau 3).

La teneur moyenne mesurée en Pb dans les échantillons de Bersim était 3,33 mg/kg (Tableau 3) qui est au-delà des valeurs limites données par la FAO/WHO (0,5-1 mg/kg) et ne dépasse pas celle donnée par la WHO/EU (5 mg/kg). Adriano, D.C [12] a constaté que les espèces végétales comme la morphologie des feuilles sont des facteurs importants qui influent sur la rétention et l'absorption du Pb car le sol dans la zone d'étude était légèrement alcalin et de structure argileuse, donc la biodisponibilité du Pb pour les plantes peut être limitée.

Zinc : Le zinc est un nutriment essentiel pour les plantes, il assume des fonctions métaboliques essentielles, y compris la structure moléculaire des enzymes. La gamme des concentrations moyennes de zinc dans les plantes alimentaires est de 1,2 à 27 mg/kg (Tableau 3). L'apport quotidien tolérable par l'homme concernant le Zn est entre 0,3 et 1 mg/kg selon l'OMS / EU. Dans les tissus végétaux, la teneur en zinc est plus élevée dans les racines, suivie de feuillage, branches, et enfin le tronc principal ou de la tige [9]. Cette étude montre que la teneur moyenne en Zn dans le Bersim est de 20,48 mg/kg qui est dans la gamme donnée par [9] (1,2 à 27 mg/ kg) pour les plantes alimentaires cultivées dans divers pays (Tableau 3), et ne dépasse pas la limite fixée par FAO/WHO (100 mg/kg). Les teneurs en Zn dans les échantillons de Bersim sont plus élevées par rapport aux autres éléments (Figure 2) suite à la combinaison de plusieurs facteurs, y compris l'interaction avec le phosphore.

Les résultats représentés par la figure 2 qui illustre la variation des teneurs métalliques au sein de la partie comestible du bersim, montrent que grâce à sa haute teneur en cellulose et protéines, le bersim est capable d'accumuler les ions divalents (éléments métalliques), dans l'ordre de spécificité suivant : Zn²⁺ >> Cu²⁺ >> Pb²⁺ > Ni²⁺~Cr²⁺ > Cd²⁺~Co²⁺.

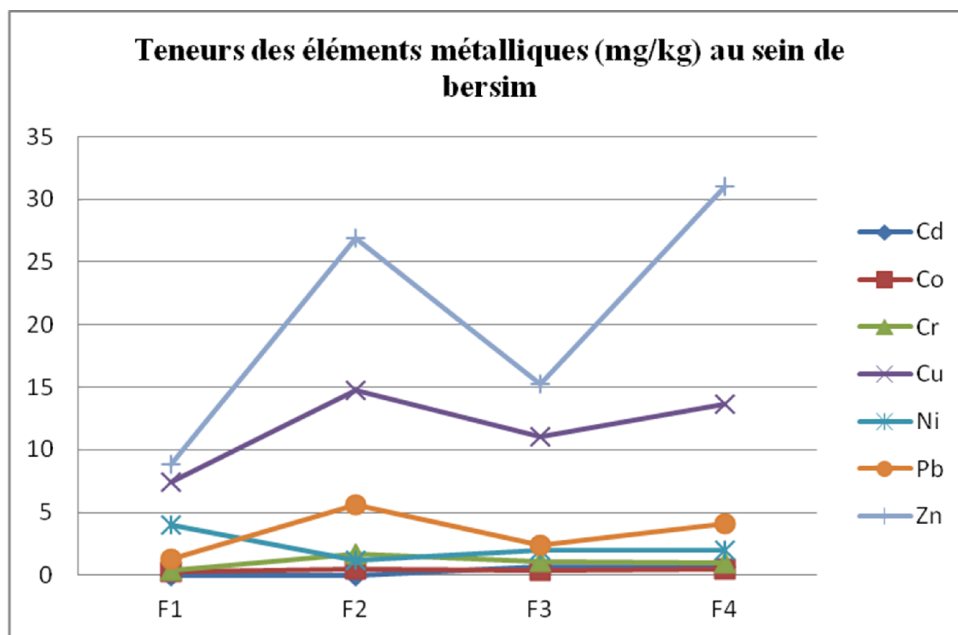


Fig.3. Teneurs des éléments métalliques (mg/kg) au sein de bersim

3.4 CALCUL DU FACTEUR DE TRANSFERT

L'absorption des éléments métalliques du milieu de croissance est évaluée par le rapport des concentrations de ces éléments dans les plantes et dans le sol. Le facteur de transfert (FT) est un facteur premier contrôlant l'exposition des consommateurs (l'homme) aux risques des métaux ([9],[15]). Il est calculé par la relation suivante :

$$FT = C_{\text{plante}} / C_{\text{sol}} \quad \text{avec :}$$

C_{plante} : Les concentrations des éléments métalliques dans la plante (partie consommable).

C_{sol} : Les concentrations des éléments métalliques dans le sol.

Tableau 4 . Facteur de transfert des éléments métalliques du sol (0-15 cm) vers la partie comestible de Bersim.

Eléments	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
F1	0,034	0,010	0,0007	0,185	0,089	0,102	0,077
F2	0,108	0,026	0,0065	0,600	0,046	0,320	0,387
F3	0,088	0,013	0,0030	0,274	0,042	0,070	0,106
F4	0,072	0,031	0,0025	0,271	0,048	0,106	0,354

Les résultats du tableau 4 montrent que les facteurs de transfert du Zn et de Cu sont élevés par rapport aux autres éléments métalliques (Co, Cd, Ni, Pb et Cr) ceci est expliquée par les interactions entre le phosphore, le zinc, le calcium et le cuivre dans le sol et les plantes qui peuvent jouer un rôle dans l'amélioration de l'absorption des deux éléments. Une faible teneur en matière organique (de 1,25 à 2.10 %) peut encourager une plus grande mobilité et d'améliorer l'absorption par les tissus de la plante. Les oligo-éléments (Zn, Cu ...) sont indispensables en faibles quantités, à la croissance des plantes, afin d'éviter les risques liés à leur carence.

4 CONCLUSION

Dans cette étude, on a étudiée la bioaccumulation des éléments métalliques chez les cultures fourragères (Bersim) irriguées par les eaux des stations de pompage des bassins Sebou et Beht. Les résultats obtenus ont montré que les teneurs en Cr et Cd sont plus élevés que les seuils fixés par la norme AFNOR dans les échantillons des sols agricoles, les concentrations du Cd chez les eaux d'irrigation sont supérieures que celles fixées par la norme Marocaine et les teneurs des éléments Cd, Cu et Ni dans les parties comestibles de Bersim étaient respectivement de 0.60, 11.72 et 2.28 mg/kg, qui sont

plus élevées que celles fixées par FAO/WHO (2001) et WHO/EU(1983). En effet, les teneurs et les facteurs de transferts du Zn et Cu dans les échantillons de Bersim sont plus élevés par rapport aux autres éléments en raison d'une combinaison de plusieurs facteurs liés aux propriétés du sol et à la nature de l'espèce végétale. La bioaccumulation des éléments métallique identifiée dans les fourrages verts, est causées par l'usage des eaux de surfaces de Sebou et Beht comme source d'irrigation. Ainsi le bersim est capable d'accumuler les ions divalents (éléments traces), dans l'ordre de décroissant suivant : $Zn^{2+} \gg Cu^{2+} \gg Pb^{2+} > Ni^{2+} \sim Cr^{2+} > Cd^{2+} \sim Co^{2+}$.

RÉFÉRENCES

- [1] Administration de l'hydraulique (1991), Ressources en eau dans le bassin de l'oued Beht (Province de Khémisset). Publication de l'Administration de l'Hydraulique, Ministère des Travaux Publics de la Formation Professionnelle et de la Formation des Cadres, Février 1991.
- [2] A.B.H.S. 2006. Système de redevance du Bassin Hydraulique du Sebou. Bulletin n° 16. 21 p. Inédit.
- [3] A.B.H.S. 2010. Etude du coût de dégradation du Sebou. Etude menée par le Département de l'Environnement et l'Agence du Bassin Hydraulique du Sebou en collaboration avec l'AFD et WWF. 48 p. Inédit.
- [4] Tauzin C., Juste C. 1986. Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93. Ministère de l'environnement, France.
- [5] Tremel-Schaub A. et Feix I. 2005. Contamination des sols, transfert des sols vers les plantes, édition 2, 413 p.
- [6] Godin, 1982. Sources de contaminations et enjeux. Séminaire : «Eléments traces et pollution des sols», 4-5 mai 1982 Paris, PP 3-12.
- [7] FAO/WHO, 2001. Codex Alimentarius Commission Food Additives and Contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards Program, ALINORM 01/12A:1-289.
- [8] WHO/EU, 1983. WHO and EU Drinking Water Quality Guidelines for Heavy Metals and Threshold Values Leading to Crop Damage.
- [9] Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B., 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer, New York.
- [10] Chary, N.S., Kamala, C.T., Raj, D.S.S., 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 69(3), 513–524.
- [11] Avci, H., 2012. Trace metals in vegetables grown with municipal and industrial wastewaters. *Toxicol. Environ. Chem.* 94(6), 1125–1143.
- [12] Adriano, D.C., 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments, second ed. Springer-Verlag, New York.
- [13] Alaoui-Sossé, B., Genet, P., Vinit-Dunand, F., Toussaint, M-L., Epron, D., Badot, P-M., 2004. Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Sci.* 166, 1213–1218.
- [14] Yusuf, K., Fariduddin, Q., Hayat, S., Ahmad, A., 2011. Nickel: an overview of uptake, essentiality and toxicity in plants. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 86(1), 1–17.
- [15] Zhuang, P., McBride, M.B., Xia, H., Li, N., Li, Z., 2009. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Sci. Total Environ.* 407 (5), 1551–1561.