



Journal of Applied Biosciences 188: 19783- 19798
ISSN 1997-5902

Évaluation et risque sanitaire de la bioaccumulation de métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb et le zinc) chez le chou (*Brassica Oleracea* L.) produit en agriculture urbaine : Cas du périmètre maraicher de Dogona (Bobo-Dioulasso)

Issaka SENOU^{1,2*}, Boukaré NACANABO³, Hassan B NACRO³ et Antoine N SOME¹

¹Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (IDR), Université Nazi BONI. BP 1091 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

²Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université de Dédougou (UDDG), BP : 176, Dédougou, Burkina Faso

³Laboratoire d'Étude et de Recherche sur la Fertilité du Sol (LERF), Institut du Développement Rural (IDR), Université Nazi BONI. BP 1091 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

*Auteur de la correspondance : issakasenou@gmail.com

Submission 6th February 2023. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 31st August 2023.
<https://doi.org/10.35759/JABs.188.1>

RESUME

Objectifs : Dans l'optique d'évaluer le potentiel de bioaccumulation des métaux lourds chez le chou cultivé sur le périmètre maraicher de Dogona.

Méthodologie et résultats : Un dispositif expérimental en Bloc de Fisher complètement randomisé, constitué de trois blocs et quatre traitements, a été mis en place. Les traitements étaient constitués de dose (0, 20, 40 et 60 t/ha) de déchets urbains solides. Les échantillons d'organes du chou ainsi que du sol ont été prélevés avant et après récolte pour déterminer la teneur des métaux lourds. Les résultats ont montré que les teneurs élevées sont enregistrées au niveau des feuilles (T2 (Cd) : 7,23 mg/kg ; T3 (Cu) : 10,36 mg/kg ; T3 (Pb) : 69,36 mg/kg et T0 (Zn) : 33,83 mg/kg).

Conclusion et applications des résultats : Les valeurs de TF (>1) et de BCF (Cd : 1,01 ; Cu : 1,36 et Pb : 3,24 mg/kg) indiquent respectivement que le chou est une plante phytoextractrice et accumulatrice du Pb, du Cu et du Cd (BCF>1). Les teneurs au niveau foliaire (FF et FB) du Cd, du Cu et du Pb sont largement supérieures aux normes OMS dans tous les traitements. Les valeurs de DJE et de QD obtenues (DJE > VTR et QD > 1) indiquent que la consommation du chou produite sur le périmètre maraicher de Dogona entraîne l'ingestion d'une quantité importante du Cd et du Pb par les consommateurs pour les feuilles fraîches et bouillies et par conséquent présente un risque sanitaire élevé pour le consommateur.

Mots clés : déchets urbains solides, Métaux lourds, bioaccumulation, chou, Bobo-Dioulasso

Evaluation and health risk of the bioaccumulation of heavy metals (cadmium, copper, lead and zinc) in cabbage (*Brassica Oleracea* L.) produced in urban agriculture: Case of the market gardening perimeter of Dogona (Bobo-Dioulasso)

ABSTRACT

Objectives: In the optics to assess the bioaccumulation potential of heavy metals in cabbage grown on the Dogona market garden perimeter.

Methodology and results: A completely randomised Fisher block design, consisting of three blocks and four treatments, was set up. The treatments consisted of doses (0, 20, 40 and 60 t/ha) of urban solid waste. Cabbage organ samples as well as soil samples were taken before and after harvest to determine the content of heavy metals. The results showed that the high levels are recorded in the leaves (T2 (Cd) : 7.23 mg/kg ; T3 (Cu) : 10.36 mg/kg ; T3 (Pb) : 69.36 mg/kg and T0 (Zn): 33.83 mg/kg).

Conclusion and applications of results: The TF (>1) and BCF values (Cd : 1.01; Cu : 1.36 and Pb: 3.24 mg/kg) indicate respectively that cabbage is a phytoextractive and accumulative plant for Pb, Cu and Cd (BCF>1). The contents at leaf level (FF and FB) of Cd, Cu and Pb are largely higher OMS standards in all treatments. The DJE and QD values obtained (DJE > VTR and QD > 1) indicate that the consumption of cabbage produced on the market garden perimeter of Dogona leads to the ingestion of a large quantity of Cd and Pb by consumers for the leaves. Fresh and boiled and therefore presents a high health risk for the consumer.

Keywords: Urban solid waste, heavy metals, bioaccumulation, cabbage, Bobo-Dioulasso

INTRODUCTION

Le Burkina Faso connaît ces dernières années un développement industriel et une explosion démographique qui favorisent la production excessive des déchets. Selon Nouma (2002), la production annuelle de déchets solides dans la ville de Bobo Dioulasso était estimée à 107 229 tonnes. Cette urbanisation galopante entraîne une forte demande en produits alimentaires dans les villes ; ce qui favorise le développement de l'agriculture urbaine et péri urbaine. Selon Kaboré (2010), cette forme d'agriculture est l'unique activité et source de revenus de 43% des céréaliers, 83% des maraichers et 91% des pépiniéristes. En effet le maraichage qui occupe une place importante dans les activités socio-économiques repose en générale sur un usage intensif, voir abusif d'intrants (engrais minéraux, déchets organiques, produits phytosanitaire, eaux usées) avec des conséquences souvent néfastes pour la santé humaine et l'environnement (Abdulkadir *et al.*, 2013 ; Son *et al.*, 2017). Cependant, le faible pouvoir d'achat des

agriculteurs et la flambée des prix des engrais minéraux ont orienté la majorité des producteurs maraichers vers les déchets urbains. L'application répétée de déchets urbains solides aux sols peut entraîner une accumulation de métaux lourds dans le sol entraînant la contamination de ces sols en métaux lourds et le transfert de ces contaminants vers les plantes et l'environnement (Ilboudo, 2014). Les métaux lourds tels que le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc et le mercure 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 telle que : l'agriculture par l'application de boues d'épuration et de déchets urbains ou dans l'industrie métallurgique. L'accumulation des métaux lourds dans l'environnement peut se répercuter sur la santé des êtres humains et des animaux (Wang *et al.*, 2003). En effet les métaux lourds absorbés par les végétaux

entrent dans la chaîne alimentaire et entraînent un phénomène de bioconcentration à chaque passage dans le maillon trophique supérieur (Gonzales *et al.*, 2008 ; McLean *et al.*, 2009). Cette accumulation de métaux lourds s'avère dangereuse pour la santé. Par exemple, une forte teneur en plomb ou en mercure dans le corps humain affecte le système nerveux central (saturnisme), les cellules sanguines et les reins. Le cadmium est également très toxique, particulièrement au niveau des reins, et se révèle vraisemblablement cancérigène (De Burbure *et al.*, 2006) cité par Senou, (2014). Les enquêtes menées par (Senou *et al.*, 2019) ont montré que 60 à 80% des producteurs ignorent les risques sanitaires qu'encourt la population en consommant les produits issus des périmètres maraichers. Le risque de transfert de polluants dans la chaîne alimentaire justifie la nécessité d'évaluer le niveau de contamination du chou. En effet, au Burkina Faso le chou occupe la troisième place parmi les cultures maraichères après l'oignon

MATERIEL ET METHODES

Description de la zone d'étude : L'étude a été menée à Bobo-Dioulasso, ville située à l'ouest du Burkina Faso dans la région des Hauts-Bassins. L'essai a été mis en place en milieu paysan dans une unité d'exploitation sur le périmètre maraicher de Dogona. Cette unité a

bulbe et la tomate en termes de superficie et de chiffre d'affaires (MAAH, 2019). Des travaux antérieurs, conduit par Dan-Badjo *et al.*, (2013) au Niger et Yehouenou Azehoun Pazou *et al.*, (2020) au Bénin ont montrés des contaminations en métaux lourds du chou produit en agriculture urbaine. L'objectif global est d'évaluer les niveaux de contamination des métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn) du chou et de déterminer les risques sanitaires encourus. Pour ce faire, des objectifs spécifiques ont été émis :

Objectif spécifique 1 : Déterminer le niveau de bioaccumulation des métaux lourds (Cd, Cu, Pb et Zn) dans les différents organes du chou ;
Objectif spécifique 2 : Comparer les teneurs de métaux lourds dans les feuilles du chou avec les normes prescrites par l'OMS ;

Objectif spécifique 3 : Déterminer le niveau de risque sanitaire encouru par la consommation des feuilles du chou produites sur le périmètre maraicher de Dogona.

pour coordonnées géographiques 11°12'16,789" de latitude nord et 4°16'50,1589" de longitude ouest. La figure ci-dessous indique la situation géographique de la zone d'étude.

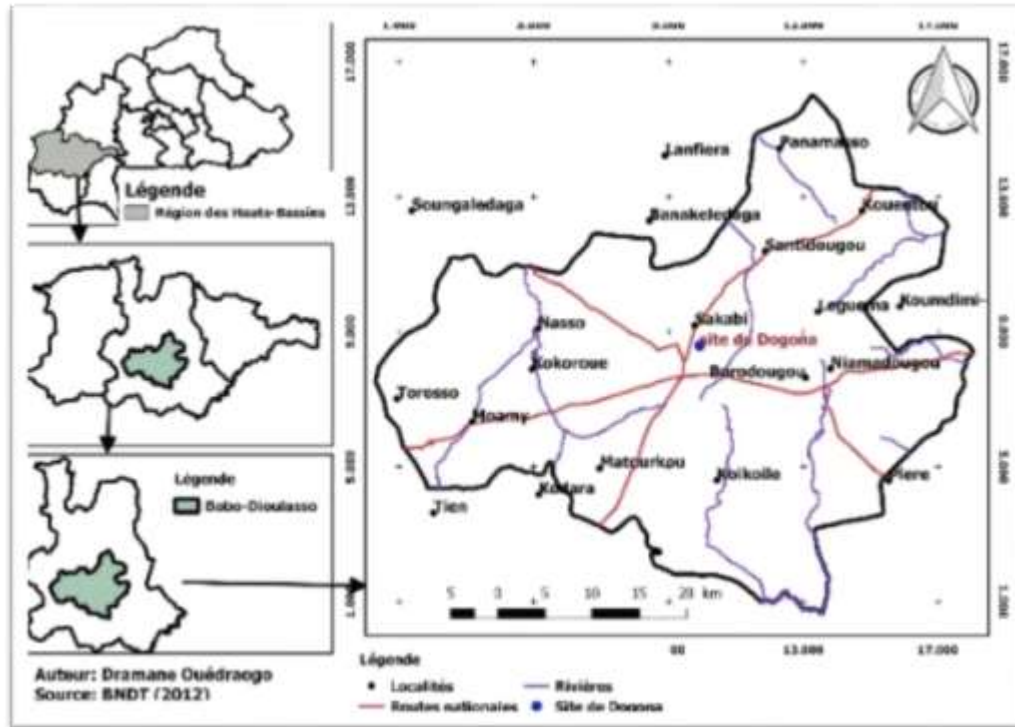


Figure 1 : Carte de localisation du site d'étude

Méthodologie : Un dispositif expérimental en bloc de Fisher de 12 parcelles élémentaires a été mis en place. Il comprend trois blocs et de quatre traitements. Les traitements sont constitués par les doses de déchets apportés. Ces déchets proviennent des dépotages d'ordure de Dogona. Ils sont constitués d'ordures ménagères, industriels, des boues d'épuration et des déchets bio-médicaux. Ces déchets ont d'abord été triés avant leur application au sol. Les traitements sont les suivants : T0 : sans apport de déchets urbains solides ; T1 : apport de 20 t/ha soit 6,45 kg de déchets ; T2 : apport de 40 t/ha soit 12,9 kg de déchets ; T3 : apport de 60 h/ha soit 19,35 kg de déchets. Une planche a été confectionnée et planée pour la mise en place de la pépinière. Un semis manuel en lignes espacées de 20 cm a été fait. Les plants de *Brassica Oleracea* ont été repiqués au stade 3 à 4 feuilles avec un écartement de 0,5 m entre les lignes et 0,4 m sur les lignes. L'entretien a consisté essentiellement à la réalisation de sarclages, à l'apport de fumure minérale, à la protection

phytosanitaire et à l'apport régulier d'eau par irrigation à l'aide des arrosoirs. Le NPK (15-15-15) a été appliqué au 15^e et au 30^e JAR à la dose de 350 kg/ha. Quant à l'urée (46%N), elle a été fractionnée et apportée aux 21^e, 35^e et 49^e JAR à la dose de 70 kg/ha.

Analyse physico-chimique des prélèvements d'échantillons de sol et de plantes : Le sol a été prélevé avant et après récolte sur l'horizon 0-20 cm. Quant aux plantes, trois ont été récoltées par parcelle élémentaire pour constituer un échantillon composite. Les différentes parties végétales (racines, tiges et feuilles) du chou sont séparées, lavées à l'eau distillé puis séché à température ambiante.

Traitement des données et analyse statistique : Les données ont été saisies à l'aide d'Excel 2013. L'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel R (version 3.6.1). Un test de normalité est effectué et suivant le résultat les variables ont été soumises soit à un test non paramétrique (test de Kruskal-Wallis), soit à une ANOVA. La comparaison des moyennes pour l'ANOVA est faite par le test

de Tukey. Deux indicateurs à savoir le facteur de bioconcentration (BCF) et le facteur de translocation (TF) ont été calculés :

- Le facteur de bioconcentration (BCF) permet d'évaluer le potentiel d'accumulation du chou en le classant dans une des catégories de plantes selon la valeur du BCF. Lorsque le facteur de bioconcentration est inférieur à 1 la plante est classée dans la catégorie des plantes ordinaires (plantes non accumulatrices), cependant lorsqu'il est supérieur à 1 la plante est classée parmi les accumulatrices et si le facteur de bioconcentration est supérieur à 10 la plante est qualifiée d'hyperaccumulatrice. Le BCF se calcule en faisant le rapport entre la concentration du métal lourd dans la plante par celle du sol (Ghosh et Singh, 2005).

- Le facteur de translocation (TF) permet d'évaluer la capacité de translocation d'un métal lourd des racines vers les parties aériennes. Selon la valeur du TF on peut classer le chou dans une des deux catégories suivantes. Lorsque le TF d'un élément donné est inférieur à 1 la plante est classée dans la catégorie des phytostabilisatrices (plante accumulant les métaux lourds dans ses racines) pour cet élément sinon elle est classée parmi les phytoextractrices (plante accumulant les métaux lourds dans ses parties aériennes). Le TF se calcule en faisant le rapport entre la concentration du métal lourd des parties aériennes par celle des racines (Mattina *et al.*, 2003).

RESULTATS

Teneurs en métaux lourds dans les déchets urbains : Les résultats de l'analyse des teneurs

en métaux lourds des déchets urbains sont représentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Teneurs en métaux lourds dans les déchets

Teneurs en métaux lourds (mg/kg de déchets)				
	Cd	Cu	Pb	Zn
DUS	9,80	29	49,80	133
Normes Allemandes	1	75	100	300
Normes Burkinabè	3	300	180	600
Normes Françaises	3	300	180	600

Effet des différentes doses de déchets urbains sur la contamination des sols en métaux lourds : La figure 2 présente l'effet des différents traitements sur les teneurs en métaux lourds des sols avant et après la récolte.

Teneurs en métaux lourds dans les organes du chou : Les teneurs en cadmium, cuivre, plomb et zinc dans les différents organes végétaux du chou sont illustrés dans le tableau 2.

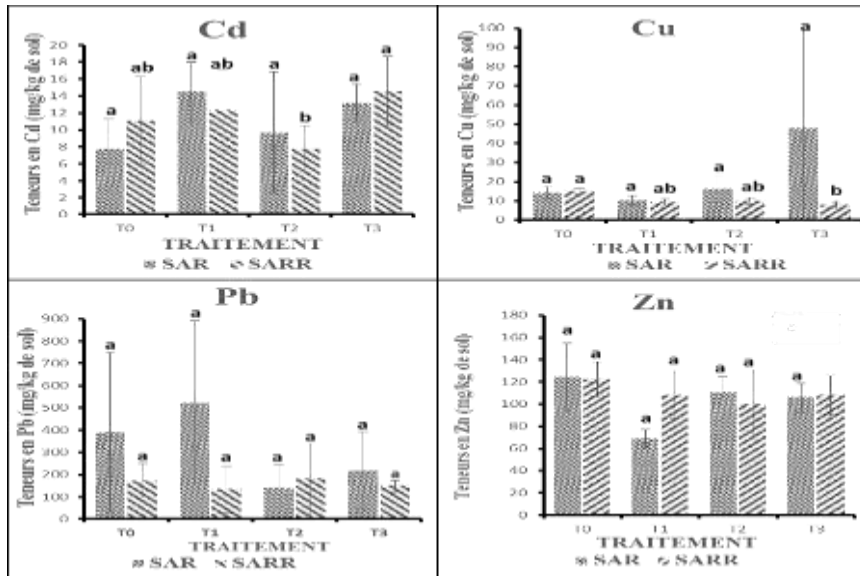


Figure 2: Teneurs des différents métaux lourds dans le sol (mg/kg de sol) SAR : Sol avant repiquage SAAR : Sol après récolte

Tableau 2 : Teneurs en métaux lourds dans les organes du chou

Organes/ traitements		Teneurs en métaux			
		Cd	Cu	Pb	Zn
Racines	T0	4,33a ± 1,27	7,67a ± 4,22	38,60a ± 40,60	73,33a ± 12,54
	T1	5,10a ± 2,45	7,00a ± 0,00	27,63a ± 20,87	68,00a ± 11,17
	T2	5,47a ± 3,53	8,33a ± 2,25	52,30a ± 33,57	72,33a ± 14,16
	T3	3,06b ± 0,40	4,33a ± 1,86	69,83b ± 26,03	24,16a ± 9,59
Probabilité (5%)		0,711	0,659	0,131	0,822
Tiges	T0	7,83a ± 1,21	2,66b ± 1,36	32,70a ± 98,34	24,66a ± 14,54
	T1	5,00ab ± 1,50	4,66a ± 1,36	43,60ab ± 22,35	27,00a ± 7,79
	T2	5,86ab ± 3,09	5,00a ± 0,89	52,80ab ± 18,23	34,33a ± 6,08
	T3	3,06b ± 0,40	4,33a ± 1,86	69,83b ± 26,03	24,16a ± 9,59
Probabilité (5%)		0,004	0,071	3,754	0,282
Feuilles	T0	5,01a ± 1,80	7,55a ± 2,87	37,78c ± 4,58	33,83a ± 5,90
	T1	5,63a ± 1,56	7,06a ± 1,27	45,10bc ± 9,04	28,00a ± 17,59
	T2	7,93a ± 1,57	8,73a ± 0,63	55,20ab ± 5,59	32,66a ± 13,42
	T3	6,63a ± 3,17	10,38a ± 2,50	69,96a ± 20,78	28,00a ± 11,20
Probabilité (5%)		1,297	0,108	0,002	0,711
Seuil de toxicité pour l'homme (CODES STAN 193-1995 ; OMS, 2004) en mg/kg de MS		0,1	9	0,2	15

Facteur de bioconcentration : Les facteurs de bioconcentration (BCF) obtenus ont été calculés à partir des moyennes de chaque

traitement au niveau de chaque métal. Les BCF pour le Cd, le Cu, le Pb et le Zn calculés sont illustrés par la figure 2. La valeur

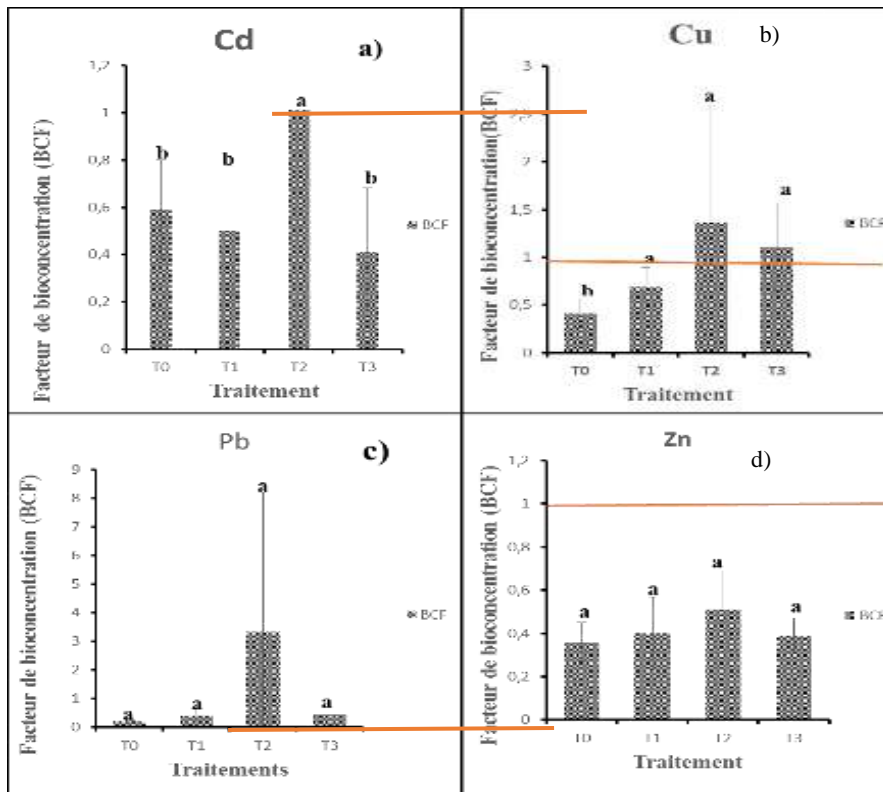


Figure 2 : Facteurs de bioconcentration dans les différents traitements

Facteur de translocation : Le tableau 3 présente les résultats de calcul de facteur de

translocation (TF) des métaux lourds dans les feuilles et tiges du chou par traitement.

Tableau 3 : Facteur de translocation

Métaux lourds/ traitements		Organes	
		Tiges	Feuilles
Cd	T0	2,00a ± 0,84	1,21a ± 0,51
	T1	1,25a ± 0,74	1,70a ± 1,54
	T2	2,27a ± 2,24	2,67a ± 2,70
	T3	0,78a ± 0,57	1,21a ± 0,05
Probabilité (5%)		0,397	0,491
Cu	T0	0,41a ± 0,27	1,25a ± 0,90
	T1	0,66a ± 0,19	1,00a ± 0,18
	T2	0,64a ± 0,22	1,12a ± 0,31
	T3	0,50a ± 0,19	1,37a ± 0,70
Probabilité (5%)		0,825	0,898
Pb	T0	1,56a ± 0,92	1,80a ± 1,12
	T1	2,21a ± 1,47	2,30a ± 1,20

	T 2	1,31a ± 0,75	1,43a ± 0,72
	T3	1,52a ± 0,87	1,39a ± 0,59
Probabilité (5%)		0,489	0,375
Zn	T0	0,34a ± 0,20	0,46a ± 0,06
	T1	0,39a ± 0,04	0,40a ± 0,22
	T2	0,47a ± 0,01	0,43a ± 0,09
	T3	0,35a ± 0,10	0,43a ± 0,24
Probabilité (5%)		0,180	0,879

Comparaison des teneurs de métaux lourds dans les feuilles fraîches et bouillies du chou : La figure 3 montre des teneurs

moyennes du Cd, du Cu, du Pb et du Zn dans les feuilles fraîches (FF) et feuilles bouillies (FB) du chou.

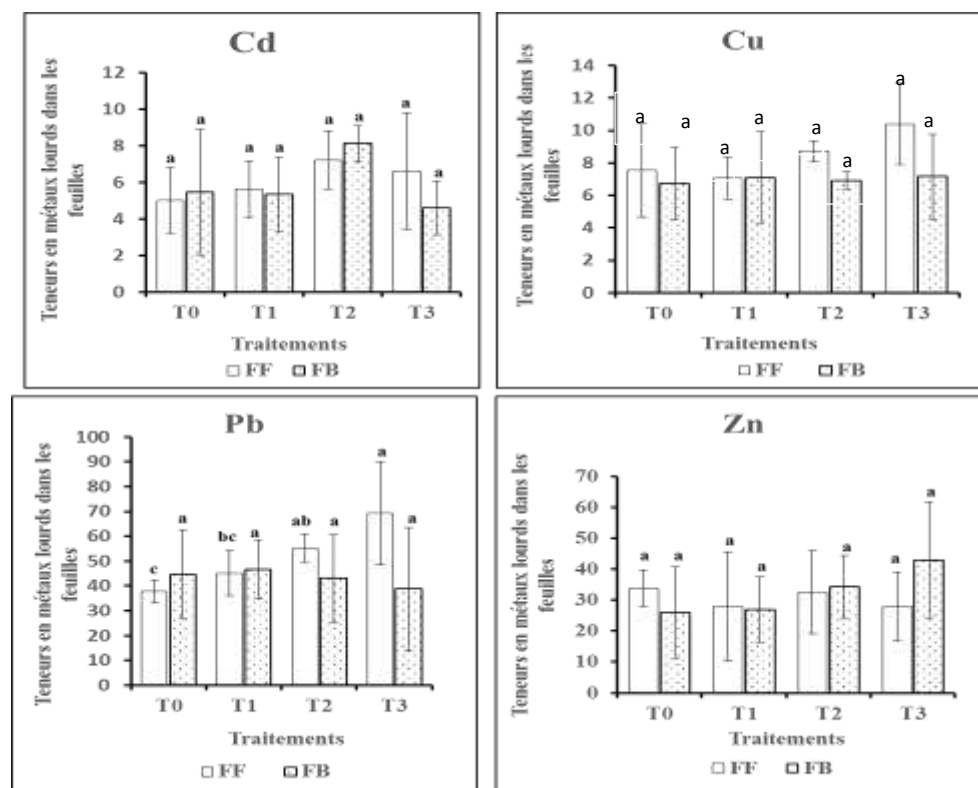


Figure 3 : Comparaison des teneurs en métaux lourds dans les feuilles **FF** : feuille fraîche **FB** : feuille bouillie

Comparaison des teneurs des métaux lourds dans les feuilles du chou avec les normes OMS : La figure 4 montre les teneurs

moyennes des feuilles fraîches du chou des différents métaux étudiés et leurs normes respectives préconisée par l'OMS (1984).

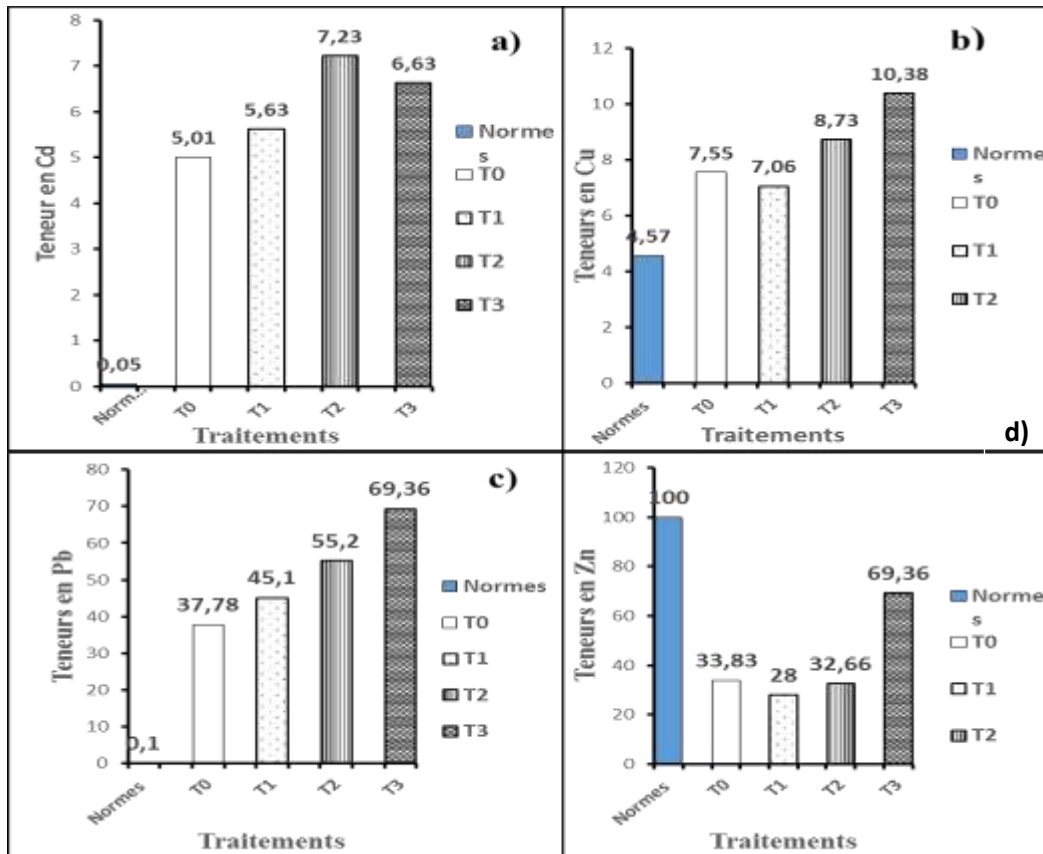


Figure 4 : Comparaison des teneurs moyennes des métaux lourds dans les feuilles avec les normes OMS

Dose journalière d'exposition (DJE) aux métaux lourds

Tableau 4 : présente les degrés d'expositions journalières des consommateurs.

Métaux lourds/traitements		Dose Journalière d'Exposition (DJE)			VTR (mg/kg/j)
		Enfants	Adultes/ homme	Adultes/femm	
Cd	T0	0,014a ± 0,004	0,004a ± 0,001	0,005a ± 0,001	2.10⁻⁴
	T1	0,015a ± 0,004	0,004a ± 0,001	0,005a ± 0,001	
	T2	0,019a ± 0,004	0,006a ± 0,001	0,007a ± 0,001	
	T3	0,018a ± 0,008	0,005a ± 0,002	0,006a ± 0,002	
Probabilité (5%)		0,319	0,246	0,273	
Cu	T0	0,020a ± 0,004	0,006ab ± 0,002	0,007a ± 0,002	0,5
	T1	0,010a ± 0,004	0,005 b ± 0,001	0,007a ± 0,001	
	T2	0,023a ± 0,001	0,007ab ± 0,000	0,008a ± 0,000	
	T3	0,028a ± 0,006	0,009a ± 0,001	0,010a ± 0,002	
Probabilité (5%)		0,103	0,026	0,169	
Pb	T0	0,103 c ± 0,012	0,032c ± 0,004	0,037 c ±	3,6.10⁻³
	T1	0,123bc ± 0,024	0,039bc ± 0,007	0,004	
	T2	0,150ab ± 0,015	0,047ab ± 0,004	0,044bc ±	
	T3	0,189a ± 0,056	0,059a ± 0,017	0,009	

				0,054 ab ± 0,009 0,068a ± 0,020	
Probabilité (5%)		0,002	0,002	0,002	
Zn	T0	0,092a ± 0,016	0,029a ± 0,004	0,033a ± 0,005	0,3
	T1	0,076a ± 0,047	0,024a ± 0,014	0,027a ± 0,017	
	T2	0,088a ± 0,036	0,028a ± 0,011	0,032a ± 0,012	
	T3	0,076a ± 0,030	0,024a ± 0,009	0,027a ± 0,010	
Probabilité (5%)		0,711	0,711	0,794	

Risques sanitaire liés aux métaux lourds : Les résultats des calculs du Quotient de Danger (QD) sont illustrés dans la figure 5.

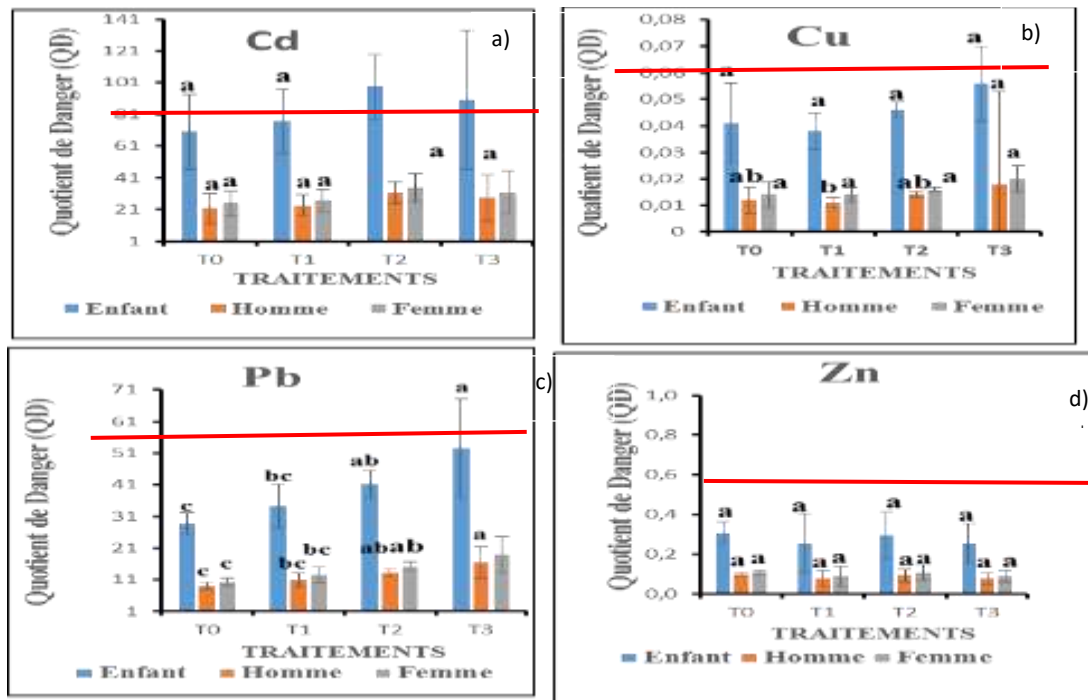


Figure 5 : Risque sanitaire lié à la consommation du chou

DISCUSSION

Teneurs en métaux lourds des déchets urbains : L'analyse des métaux lourds contenus dans les déchets urbains solides présente des teneurs assez élevées en Cu, en Pb et en Zn. Néanmoins ces teneurs restent inférieures aux normes burkinabè. Ces résultats sont similaires à ceux de Ouédraogo (2019) et Ouattara (2020) qui eux aussi avaient également constatés des teneurs en Cu, en Pb

et en Zn inférieures aux normes Burkinabè lors de leurs travaux sur des sites maraichers. En revanche la teneur en Cd est plutôt supérieure à la norme Burkinabè (3 mg/kg de déchets). Ces différences pourraient être dues à la nature des déchets utilisés. Toutefois un risque d'accumulation des métaux reste très probable du fait des applications répétées et abusives des déchets sur ce site.

Effet des différentes doses de déchets urbains sur la contamination des sols en métaux lourds : L'analyse des métaux lourds dans les sols avant repiquage des traitements T0 qui n'avaient reçu aucun apport de déchets urbains solides pendant l'étude a indiqué des teneurs assez élevées en Cd, en Pb et en Zn. Ces teneurs sont supérieures aux seuils tolérables des métaux lourds dans les sols contaminés qui sont de 0,35 mg/kg pour Cd, 35 mg/kg pour le Pb et 90 mg/kg pour le Zn (Kabata-Pendias, A. et Pendias, H. 2001). D'une part ces résultats pourraient s'expliquer par l'apport antérieur des déchets urbains sur la parcelle expérimentale par les producteurs. Cet apport continu contribue à augmenter continuellement les teneurs en métaux lourds dans les sols. D'autre part les métaux lourds existent naturellement dans la roche mère et est libérés à la suite des phénomènes d'érosion et d'altération qu'elle subit. Nos résultats sont corroborés par ceux de Konaté (2018), qui avait également évalué la teneur des métaux dans les sols avant repiquage sur ce même site. Dans ses travaux il avait également constaté des teneurs élevés et supérieures aux seuils de toxicité au niveau du Cd, du Pb et du Zn dans le sol. Par ailleurs, la teneur en Cu pour le T0 des sols avant repiquage reste inférieure au seuil tolérable qui est de 30 mg/kg. Nos résultats sont en désaccord avec ceux de Konaté (2018) et Ouédraogo (2019). Les sols ayant reçu des doses de déchet (T1, T2, T3) ont présenté des teneurs plus élevés en métaux lourds au niveau du Cd, du Cu et du Pb pour la majorité des traitements par rapport au témoin. Pour le Cd et le Pb, nos résultats corroborent ceux de Senou (2014) qui avait trouvé que l'apport des déchets urbains permet une augmentation des teneurs des métaux lourds dans les sols. Quant au Zn, la concentration en métaux lourds a plutôt diminuée avec l'apport des déchets. Ceci pourrait être expliqué par l'hétérogénéité de la distribution du Zn dans le sol. Ces résultats sont en accord avec les résultats de Yé (2007) qui avait trouvé que les

teneurs en métaux lourds des sols n'étaient pas forcément fonction de la dose de déchets apportés. D'une manière générale, les teneurs des métaux lourds dans les sols à la récolte (SAR) ont diminuées excepté les traitements T2 (Pb), T3 et T0 (Cd) et T1 (Zn). Pour le Zn et le Cu nos résultats sont similaires à ceux de Ouédraogo (2019) qui avait constaté une diminution des concentrations en Cu et en Zn des sols du semis à la récolte du maïs produit sur le périmètre maraicher de Sakabi. Cette baisse de teneurs pourrait s'expliquer d'une part un phénomène de lixiviation des métaux vers les horizons profonds. Selon Yé (2020), les teneurs des métaux lourds diminuent des horizons des surfaces vers les horizons de profondeurs. D'autre part la diminution du Cu et du Zn pourrait s'expliquer par la forte mobilité et solubilité (Adriano, 2001) et la forte capacité phytoextractrice de ses métaux lourds par le chou.

Potentiel de bioaccumulation des métaux lourds par le chou : Les résultats ont montré que le chou a accumulé des métaux lourds dans ses organes et ce quel qu'en soit le traitement appliqué. Toutefois les teneurs sont en générale supérieures aux seuils de toxicité pour l'Homme. En effet les feuilles du chou ont enregistré les fortes teneurs en Cd, en Cu et en Pb comparativement aux tiges et aux racines. Ceci serait dû au potentiel de transfert des métaux des racines vers les parties aériennes. Selon Miquel (2001), dans ses travaux avait trouvé que le Cd passe plus facilement dans les parties aériennes du chou. Au niveau de tous les organes du chou, les teneurs moyennes en Cd, en Pb et en Zn sont nettement supérieures au seuil de toxicité pour l'Homme établit par l'OMS (1984). Nos résultats corroborent ceux de Ban-Badjo (2013) qui avait également trouvé des teneurs en Cd, en Pb et en Zn élevées dans les organes du chou prélevé dans la vallée de Gounti Yena en Niamey au Niger. Cependant, nous enregistrons une teneur moyenne en Cu inférieur à la norme phytotoxique excepté le traitement T3 au

niveau des feuilles. Les teneurs en métaux lourds obtenues au niveau des organes du chou dans les différents traitements sont largement supérieures à la concentration critique pour la consommation humaine excepté le Cu.

Les facteurs de bioconcentration (BCF) du chou sont supérieurs à 1 uniquement au niveau des traitements T2 du Cd et du Pb. Les BCF sont également supérieurs à 1 au niveau du Cu mais inférieurs à 1 à des doses de déchets inférieurs à 40t/ha. Quant au Zn le BCF est inférieur à 1 et ce quel qu'en soit le traitement. Nos données révèlent que le chou est une espèce accumulatrice de Cd, de Pb et du Cu. Nos résultats sont corroborés par ceux de Yehouenou Azehoun Pazou *et al.*, (2020) qui avaient également trouvé que le chou est une culture accumulatrice de Pb et de Cu. Ouattara (2020) qui avait effectué les mêmes travaux sur la laitue dans le périmètre maraicher de Kodené, dans la ville de Bobo-Dioulasso avait révélé que la laitue accumule le Cd, le Pb et du Cu.

Facteur de translocation (TF) : Les résultats obtenus suite aux calculs des facteurs de translocation ont révélé des valeurs supérieures à 1 pour le Cd, le Cu et le Pb, ceci permet de classer le chou parmi les plantes phytoextractrices pour ces métaux. En effet le chou transfère préférentiellement le Cd, le Cu et le Pb des racines vers les parties aériennes. D'emblée, le Cd et le Pb sont accumulés dans les tiges et les feuilles. En revanche le Cu est beaucoup plus accumulé dans les feuilles. Nos résultats sont similaires à ceux de Ouédraogo (2019) et Ouattara (2020) qui ont trouvé des TF montrant un transfert de métaux des racines vers les organes aériens avec l'apport croissant de déchets respectivement chez le maïs et la laitue cultivé sur des périmètres maraichers. Le transport de ces éléments toxiques vers les parties aériennes pourrait s'expliquer d'une part par l'efficacité des systèmes transporteurs non spécifiques. Selon Kramer *et al.*, (2007) l'efficacité de l'acheminement des métaux lourds vers les parties aériennes est liée à la

présence importante de transporteurs membranaires tels que des ATPases membranaires au niveau des tissus conducteurs. Ces protéines permettent de transférer des métaux lourds dans le xylème des tissus racinaires puis de le libérer dans les organes aériens. D'autre part, le transport pourrait être favorisé par la compétition entre les métaux lourds et les éléments nutritifs de la plante du chou. En effet selon Sanita di Toppi et Gabbrielli (1999) et Greger (1999), certains métaux lourds comme le Cd ont la capacité d'emprunter les mêmes transporteurs que les éléments nutritifs de la plante et se retrouver dans tous les organes. Quant au Zn les valeurs de TF sont inférieures à 1 et ce quel qu'en soit l'organe et le traitement. En effet le Zn est stabilisé au niveau des racines, ceci pourrait s'expliquer par le fait que le Zn dispose de peu de transporteurs ou parce qu'il ne peut pas concurrencer les autres éléments chimiques. Ce résultat est conforme à celui de Ouédraogo (2019) qui a montré que le Zn est concentré au niveau des racines par rapport aux organes aériens.

Teneurs des métaux lourds dans les feuilles du chou avec les normes OMS : Les feuilles du chou, qui sont la partie comestible, présentent des teneurs en Cd, en Cu et en Pb largement supérieures aux limites maximales préconisées par le comité d'expert de l'OMS et ce, quelle que soit la dose de déchets apportée. En effet même les teneurs constatées au niveau des traitements sans apport de déchets pendant l'étude se justifieraient par le fait que le site de Dogona soit déjà à un niveau de contamination avancé du fait de l'utilisation anarchique des intrants chimiques, l'utilisation continue des déchets urbains sans compostage préalable, l'utilisation des eaux de qualité douteuse pour l'irrigation. Tous ces facteurs contribueraient énormément à la forte contamination de ce site en métaux lourds. Dan-Badjo *et al.*, (2013) ont obtenu les mêmes résultats sur le chou produit dans la vallée de Gounti Yena au Niger. Nos résultats corroborent ceux de Yehouenou

Azehoun Pazou *et al.*, (2020), qui avaient également constaté que les cultures maraîchères en particulier le chou présentait des teneurs élevées en Cd, en Cu et en Pb. Le chou est l'un des plus grands bioconcentrateurs de métaux lourds. Les teneurs en métaux lourds ont augmenté dans les feuilles avec les doses de déchets. Ce qui explique une relation entre les doses des déchets et la biomasse foliaire du chou. Ce résultat s'expliquerait par la disponibilité accrue d'éléments minéraux et la richesse des déchets en matière organique. Les propriétés fertilisantes des déchets urbains solides seraient donc à l'origine. Le lien entre les doses des déchets et la biomasse foliaire des plantes a été montré par Senou (2014). Cet auteur a montré que les apports des déchets urbains augmentent la biomasse foliaire des plantes pendant le temps de culture. Par ailleurs la teneur en Zn est restée inférieure aux limites maximales préconisées par le comité d'expert de l'OMS et ce, quelle que soit la dose de déchets apportée. Comme il avait été constaté précédemment au niveau des facteurs de translocation pour le Zn qui est inférieurs à 1 ; montrant un très faible transfert du Zn des racines vers les organes aériens. Ceci pourrait expliquer la faible teneur du Zn dans les feuilles du chou qui pourrait être due à une faible teneur de Zn dans le sol ou à une faible disponibilité de transporteurs. Nos résultats sont similaires à ceux de Hannatou *et al.*, (2011) et Singb *et al.*, (2012) qui après évaluation avaient trouvés des faibles teneurs en Zn dans les feuilles d'épinard produite à Cocody.

Risque sanitaire lié à la consommation du chou : Les résultats des calculs montrent que les Dose Journalière d'Exposition (DJE) pour le Cd et le Pb sont supérieurs à la Valeur Toxicologique de Référence (VTR) qui est de 2.10^{-4} mg/ kg/ j de Cd fixé par l'ATSDR et $3,6.10^{-3}$ mg/ kg/ j de Pb fixé par l'OMS. Ceci

pourrait s'expliquer par la toxicité élevée de ces deux métaux lourds. En effet l'ingestion de ces métaux, même à de très faible quantité s'avérerait dangereuse pour la santé humaine tant chez les enfants que chez les adultes. Quant au Cu et au Zn, les résultats montrent des DJE inférieurs à la VTR (0,5 mg /kg /j pour le Cu et 0,3 mg /kg /j pour le Zn) pour toutes doses de déchets apportées et toutes les catégories de consommateurs. Ceci pourrait s'expliquer par le faible taux de toxicité du Cu et du Zn par rapport aux Cd et au Pb. En effet le Cu et le Zn qui, des oligo-éléments indispensables aux processus physiologiques majeurs (respiration et photosynthèse) chez les plantes (Kabata-pendias et pendias, 2001) pourrait expliquer la faible DJE car une partie de ses éléments est absorbée par le chou pour son métabolisme. Nos résultats sont corroborés par ceux de Ouattara (2020), qui avait effectivement évalué les DJE des 4 métaux chez la laitue cultivée sur le périmètre maraicher de Kodéni avec des apports croissants de déchets. Les quotients de danger (QD) sont largement supérieurs à 1 aux niveaux du Pb et du Cd pour les trois catégories de consommateur et ce quel qu'en soit la dose de déchets apportée. Ce qui veut dire que l'apparition d'un effet toxique lié à l'ingestion de ces métaux lourds à partir de la consommation du chou produite sur le site de Dogona est très probable. Les QD obtenus au niveau du Zn et du Cu (QD < 1) indiquent que la survenue d'un effet toxique lié à l'ingestion de ces métaux lourds à travers la consommation du chou produite sur le site de Dogona, est très peu probable. De ce fait, les consommateurs de chou en général et des choux produits sur le site de Dogona courent le risque de contracter des pathologies tel que le saturnisme, les troubles osseux, les troubles du développement psychomoteur et intellectuel, une atrophie des organes sexuels, une insuffisance rénale.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Il ressort des résultats obtenus, que l'apport des DUS a permis d'augmenter significativement la teneur en Cd des SAR à l'inverse du Cu, du Pb et du Zn dont les teneurs n'ont pas varié significativement par rapport au sol sans apport de déchet. Les teneurs des métaux lourds au niveau des sols ont baissé dans les sols après récolte comparées aux SAR, excepté les traitements T0 et T3 au niveau du Cd, T2 et T1 respectivement du Pb et du Zn. En conséquence, on a remarqué que les différents organes du chou ont accumulés des métaux lourds quel qu'en soit les doses de déchets apportées. Aussi, les valeurs des facteurs de translocation (TF) et des facteurs de bioconcentration (BCF) indiquent respectivement que le chou est une plante phytoextractrice et accumulatrice du Cd, du Pb et du Cu ($BCF > 1$), mais une plante non accumulatrice de Zn ($BCF < 1$). Les analyses au laboratoire montrent que les teneurs au niveau foliaire (feuilles fraîches ou feuilles bouillies)

de tous les métaux lourds étudiés excepté le Zn sont largement supérieures aux normes de l'OMS (1984), et ce, quelle que soit la dose de déchets apportée. Il ressort des calculs des doses journalières d'exposition et des quotients de danger, que la consommation du chou produit sur ce site entraîne l'ingestion d'une quantité importante de Cu, du Cd et du Pb par les consommateurs et présente donc un risque sanitaire élevé (DJE supérieures aux VTR et QD supérieurs à 1). Le chou produit sur le périmètre maraîcher de Dogona accumule les métaux lourds dans tous ces organes, avec des teneurs importantes au niveau des feuilles. La consommation du chou produite sur le périmètre maraîcher de Dogona entraîne l'ingestion d'une quantité importante du Cd et du Pb par les consommateurs pour les feuilles fraîches et bouillies et par conséquent présente un risque sanitaire élevé pour le consommateur.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdulkadir A, Leffelaar PA, Agbenin JO, Giller KE. 2013. Nutrient flows and balances in urban and periurban agroecosystems of Kano, Nigeria. *Nutr Cycl Agroecosyst* 95: 231–254. DOI: 10.1007/s10705-013-9560-2.
- Adriano, D.C. 2001. Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. 2nd Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg. 223-232.
- De Burbure C., Buchet J. P., Leroyer A., Nisse C., Haguenoer J. M., Mutti A., Smerhovsky Z., Cikrt M., Trzcinka-Ochocka M., Razniewska G., Jakubowski M. and A. Bernard. 2006. Renal and neurologic effects of cadmium, lead, mercury, and arsenic in children : evidence of early effects and multiple interactions at environmental exposure levels. *Environmental Health Perspectives*. 144 : 584 - 590.
- Gosh, G. and Singh, P. 2005. Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced chromium by accumulator and high biomass weed species. *Applied Ecology and Environmental Research* 3, 67-79
- Gonzales X.I., Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. 2008. Heavy metal transfers between trophic compartments in different ecosystems in Galicia (Northwest Spain): Essential elements. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 55, pp. 691-700.
- Greger M. and Landberg T. 1999 : «Use of Willow in Phytoextraction», *International Journal of Phytoremediation*, 1 (2), pp. 115-123.

- Hannatou A. S., Tsafe A.1., Bagudo B. U., Itodo A. U. 2011. Toxic metals uptake by spinach (*Spinacea Oleraceai* and lettuce (*Lactuca Sativa*) cultivated in Sokoto : a comparative study. *Journal of Nutrition*, 16 (6) ; 572-576.
- Ilboudo T. J. L. 2014. Effet de différents types de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso sur la disponibilité et la distribution verticale de métaux lourds dans le sol. Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies en Science du sol. 51 p.
- Kaboré T., Hien E., Zombré P., Coulibaly A., Houot S., Masse D. 2010. Valorisation de substrats organiques divers dans l'agriculture péri-urbaine de Ouagadougou (Burkina Faso) pour l'amendement et la fertilisation des sols : acteurs et pratiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 15(2), 271-286
- Konaté H. 2018. Evaluation du niveau de transfert de métaux lourds (Cadmium, Cuivre, Plomb et Zinc) dans *Lactuca sativa*.L (laitue) co-cultivée avec *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf (citronnelle), Mémoire de fin de cycle d'Ingénieur d'agriculture, CAP/Matourkou, 72p.
- Kabata-Pendias, A. et Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, London. 234 p
- Nouma D. 2002. Caractérisation et quantification des déchets ménagers en vue de leur valorisation dans le domaine agricole. Rapport de stage de fin de cycle des Agents Techniques d'Agriculture Spécialisés, Centre de formation agricole de Matourkou, Bobo-Dioulasso, 39 p.
- McLean C.M., Koller C.E., Rodger J.C., MacFarlane G.R. 2009. Mammalian hair as an accumulative bioindicator of metal bioavailability in Australian terrestrial environments. *Science of the Total Environment* 407 (11): pp. 3588-3596.
- Ouattara S. 2020. Evaluation des risques sanitaires liés à la bioaccumulation de métaux lourds chez la laitue (*Lactuca sativa* L., 1753) produite en agriculture urbaine : cas du périmètre maraîcher de Kodeni (Bobo-Dioulasso), mémoire de Master en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles (GIRN) spécialité Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS) : Université Nazi BONI, Institut du Développement Rural, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 73p.
- Ouédraogo H. 2019. Evaluation de la bioaccumulation et de la translocation du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc par *Zea mays* L. cultivé sur un sol ferrugineux tropical dans l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle, Institut du Développement Rural, Université Nazi Boni, Burkina Faso, 50p.
- MAAH. 2019. Rapport de l'enquête maraîchère 2018, Burkina Faso, 59p.
- Miquel M. G. 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Rapport 261, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, 365p.
- Sanita di Toppi L. and Gabbrielli R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*. 41 (1) : 105-130.
- Senou I. 2014. Phytoextraction du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc par cinq espèces végétales (*Vetiveria nigriflora* (Benth.), *Oxytenanthera abyssinica* (A. Rich.) Munro, *Barleria repens* (Ness), *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf et *Lantana camara* (Linn.)) cultivées sur des sols ferrugineux tropicaux et vertiques. Thèse de doctorat, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB).170p.

- Senou I., Nimi M., Nacro H. B., Some N. A. 2019. Evaluation du niveau de transfert de métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb et zinc) dans *Lactuca sativa* L. co-cultivée avec *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. *Journal of Applied Biosciences* 144: 14801 – 14812.
- Senou I., Ouédraogo A., Nacro H.B., Somé N.A. 2019. Producer knowledge and perception of health and environmental risks related to urban and peri-urban agriculture on waste disposal : the case of the city of Bobo Dioulasso (Burkina Faso). *International Journal of Agriculture and Environmental Research* 5 (01), 96-112
- Singb S., Zacharias M., Kalpana S., Mishna S. 2012. Heavy metals accumulation and distribution pattern in different vegetable crops, *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicologie*, 4(2): 170-177.
- Yé L. 2007. Caractérisation des déchets urbains solides utilisable en agriculture urbaine et périurbaine :cas de Bobo-Dioulasso. Mémoire de DEA, IDR/UPB, Burkina Faso. 48 p.
- Yé L, Lompo D.J.P, Sako A, Nacro H.B. 2020. Evaluation des teneurs en éléments traces métalliques des sols soumis à l'apport des déchets urbains solides, *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(9) : 3361-3371