

Evaluation du niveau de transfert de métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb et zinc) dans *Lactuca sativa* L. co-cultivée avec *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf

[Evaluation of the transfer level of heavy metals (cadmium, copper, lead and zinc) in *Lactuca sativa* L. co-cultivated with *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf]

Issaka SENOU^{1,2}, Mamadou NIMI³, Hassan B. NACRO⁴, and Antoine N. SOME^{1,5}

¹Laboratoire des Systèmes Naturels, des Agrosystèmes et de l'Ingénierie de l'Environnement (Sy.N.A.I.E), Institut du Développement Rural (I.D.R), Université Nazi BONI (U.N.B) Bobo-Dioulasso, 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 de géochimie du Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB), Bobo Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

⁴Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol (L.E.R.F), Institut du Développement Rural (I.D.R), Université Nazi BONI (U.N.B); BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

⁵Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydrauliques, Burkina Faso

Copyright © 2019 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 ability of certain vegetable crops has been proven in the accumulation of heavy metals. Among these species is lettuce (*Lactuca sativa* L.). In Burkina Faso, the ability of some local species to accumulate heavy metals has also been demonstrated. Among these species we have lemongrass (*Cymbopogon citratus*). To promote their introduction into cropping systems, a study was initiated to evaluate the effects of lettuce-citronella associations on the transfer of heavy metals in lettuce organs and soil chemical parameters. The experimental setup was in completely randomized factorial blocks comprising three treatments and three replicates. Treatments compared pure lettuce (T0) culture with alternating lettuce-lemongrass combinations on the same line (T1) and citronella lettuce where lemongrass plants are placed in interline lettuce (T2). The effects of these associations on the transfer of heavy metals in lettuce were evaluated. Their effects on soil chemical parameters were also evaluated.

The results obtained show a significant reduction ($p > 0.05$) of the amount of lead accumulated in the leaves of lettuce compared to that of lemongrass for treatments T1 and T2. As for the chemical parameters of the soil; cation exchange capacity, organic matter, assimilable phosphorus and total potassium were significantly affected by the associated culture compared to the pure culture of lettuce. The promotion of lettuce-citronella associations can be considered for the reduction of lead accumulation by lettuce.

KEYWORDS: Lemongrass, Lettuce, heavy metals, co-cultivation.

RESUME: L'aptitude de certaines cultures maraichères a été prouvée dans l'accumulation des métaux lourds. Parmi ces espèces figure la laitue (*Lactuca sativa* L.). Au Burkina Faso, l'aptitude de certaines espèces locales à accumuler les métaux lourds a été également démontrée. Au nombre de ces espèces on a la citronnelle (*Cymbopogon citratus*). Pour favoriser leur introduction dans les systèmes de culture, une étude a été initiée pour évaluer les effets des associations laitue-citronnelle sur le transfert de métaux lourds dans les organes de la laitue et les paramètres chimiques du sol. Le dispositif expérimental était en blocs

factoriels complètement randomisés comprenant trois traitements et trois répétitions. Les traitements ont comparé la culture pure de la laitue (T0) aux associations laitue-citronnelle alternés sur la même ligne (T1) et laitue-citronnelle où les plants de citronnelle sont placés dans les interlignes de la laitue (T2). Les effets de ces associations sur le transfert des métaux lourds dans la laitue ont été évalués. Leurs effets sur les paramètres chimiques du sol ont été également évalués.

Les résultats obtenus, montrent une réduction significative ($p > 0,05$) de la quantité de plomb accumulée dans les feuilles de la laitue comparée à celle de la citronnelle pour les traitements T1 et T2. Quant aux paramètres chimiques du sol ; la capacité d'échange cationique, la matière organique, le phosphore assimilable et le potassium total ont été affectés significativement par la culture associée comparée à la culture pure de la laitue. La promotion des associations laitue-citronnelle peut être envisagée pour la réduction de l'accumulation de plomb par la laitue.

MOTS-CLEFS: Citronnelle, Laitue, métaux lourds, co-culture.

1 INTRODUCTION

Dans bon nombre de pays d'Afrique subsaharienne, le maraichage est une activité qui se pratique beaucoup en zone urbaine et périurbaine. Il constitue ainsi une source d'approvisionnement des villes en denrées alimentaires et une source de revenus pour les maraîchers issus principalement de la frange défavorisée de la population [1]. Ceci est d'autant plus important que la population urbaine ne cesse de croître dans ces pays, avec une population vivant en ville qui atteindra 600 millions de personnes à l'horizon 2030 [1]. Toutefois, certaines pratiques constatées dans cette activité peuvent susciter des inquiétudes. En effet, divers types de déchets urbains (ménagers, biomédicaux, boues d'épuration...) sont principalement utilisés comme fertilisants des sols maraichers en zone urbaine et périurbaine. Si de telles formes de fertilisations des sols permettent le développement des plantes grâce à l'apport de matières organiques, elles sont aussi des sources potentielles voire avérées de contamination de ces mêmes sols [2], [3], [4]. Ainsi, diverses substances au nombre desquels les métaux lourds comme le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn) voient leurs teneurs augmenter dans les sols [5]. Selon [6], l'épandage de déchets urbains contribue à augmenter de 7% le Cd (soit 68 tonnes/an), 5% le Cu (soit 5.300 tonnes/an), 28% le Zn (soit 3.200 tonnes/an) et 3% le Pb (soit 8.300 tonnes/an) dans les sols en France.

L'une des principales voies pour l'imprégnation de ces métaux lourds par l'Homme est la consommation des végétaux cultivés sur ces sols contaminés. Ces végétaux ont la capacité de puiser à travers leurs racines ces substances et les accumuler dans les différents organes (racines, tiges, feuilles) [7]. L'inquiétude découle du fait que ces métaux lourds sont connus pour avoir à certaines concentrations des effets néfastes sur la santé des consommateurs [8], [9]. Parmi ces nombreuses espèces maraichères accumulant les métaux lourds figure la laitue [10]. Elle a été considérée comme une espèce à risque s'agissant de l'accumulation du cadmium [10] et fait partie des principales espèces rencontrées sur les périmètres maraichers du Burkina Faso [11]. Au Burkina Faso, l'aptitude de certaines espèces locales à accumuler les métaux lourds a été démontrée [11]. Au nombre de ces espèces figure *Cymbopogon citratus* (citronnelle). Cette espèce peut accumuler en moyenne 0,57 mg de Cadmium ; 4,85 mg de cuivre ; 0,012 mg de plomb et 7,53 mg de zinc par kg de matière sèche [13]. Par ailleurs, d'autres études ont montré qu'une association culturale entre un hyperaccumulateur des métaux lourds et une espèce sensible peut contribuer à réduire l'accumulation des métaux lourds dans la plante sensible. Ainsi, des travaux de [14] ont montré que l'hyperaccumulateur du zinc *Sedum alfredii* permet de réduire de façon significative l'accumulation de ce métal dans les grains de maïs en co-culture.

Les recherches ont été menées pour évaluer le niveau de transfert de métaux lourds dans la laitue co-cultivée avec *Cymbopogon citratus*. L'objectif de cette étude est de réduire le niveau d'accumulation de métaux lourds dans la laitue par *C. citratus* en co-culture.

2 MATERIELS ET METHODE

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée sur le site maraicher de Dogona situé dans la commune urbaine de Bobo-Dioulasso (04 ° 20'W, 11 ° 06'N, 405 m altitude). Les sols de Bobo-Dioulasso sont du type ferrallitique. De texture argileuse kaolinitique dans l'horizon B, ils présentent une infiltration satisfaisante. Les sols dominants sont ceux de type ferrugineux tropicaux sur matériaux divers (sableux, sablo-argileux, argilo-sableux, etc.). Les pH de ces sols varient en général entre 5 et 6,5 [15]. Le climat est de type sud-soudanien et la ville de Bobo-Dioulasso est située entre les isohyètes 900 et 1100 mm caractéristique du climat sud-soudanien

[16]. On y distingue une saison sèche qui va de novembre à mai et une saison pluvieuse de mai à octobre. Les températures moyennes minimales mensuelles varient de 18°C à 25° en mai. Les températures moyennes maximales mensuelles varient 29° en aout à 37°C en mars. Les vents soufflent à une vitesse moyenne de 2m/s en novembre à 3,5m en mai. La moyenne de l'insolation varie de 5,6 heures en aout à 8,7 heures en novembre. La moyenne minimale de l'humidité relative varie de 12% en février à 66% en aout.

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Lactuca sativa L. et *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf sont des herbacées appartenant respectivement aux familles des Astéracées et des Poacées.

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental est un bloc complet randomisé à trois répétitions comprenant les traitements suivants :

T0 : Culture pure de la laitue avec un écartement de 25 cm sur les lignes et 25 cm entre les lignes

T1 : Association laitue + *Cymbopogon citratus* : plants de laitue alternés avec des plants de citronnelle à des écartements de 10 cm sur la même ligne.

T2 : Association laitue + *Cymbopogon citratus* : plants de citronnelle placés dans les interlignes de la laitue avec une distance de 10 cm avec les lignes de laitue.

2.4 PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS DE SOLS ET D'ORGANES VÉGÉTAUX

2.4.1 SOL

Les échantillons de sol ont été d'abord prélevés juste avant le repiquage des plants afin d'évaluer le niveau de contamination actuelle du sol. A la récolte, des échantillons de sols ont encore été prélevés dans la zone rhizosphérique des plantes dans les différents traitements. Afin de tenir compte de l'hétérogénéité du milieu, un échantillon composite a été constitué à partir d'un mélange de 5 prises élémentaires équipondérales.

2.4.2 ORGANES VÉGÉTAUX

Les différents échantillons ont été prélevés 40 jours après repiquage des plants de laitue. Pour ce faire, quatre (4) plantes entières ont été récoltées par planche pour constituer un échantillon composite. Les différentes parties végétales (racines, tiges et feuilles) ont été séparées, lavées à l'eau distillée pour éliminer toute contamination externe puis transvasées dans des sacs en plastique bien étiquetés et transportées au laboratoire. Ces échantillons ont été ensuite séchés à température ambiante puis à l'étuve à 70 °C pendant 24 heures.

2.5 ANALYSE DES SOLS ET DES ORGANES VÉGÉTAUX

2.5.1 ANALYSE DE MÉTAUX LOURDS

Les teneurs en métaux lourds ont été déterminées dans les sols et dans les organes végétaux de la laitue et de la citronnelle. Les analyses de métaux lourds ont été réalisées au laboratoire de Géochimie de la direction régionale du Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (BUMIGEB). Les différents échantillons ont été d'abord minéralisés à chaud avec HNO₃. Pour le dosage des métaux lourds dans les solutions, la lecture a été faite au spectromètre à absorption atomique (SAA) à flamme. L'appareil utilisé est un Perkin Helmer AAnalyst100. Le dispositif était géré par un ordinateur. Pour chaque élément, la valeur de la concentration affichée par l'ordinateur est obtenue à partir d'une courbe de calibration obtenue par la lecture de solution standard de concentrations connues (généralement 1 ppm, 5 ppm et 10 ppm).

2.5.2 ANALYSES CHIMIQUES

Les analyses chimiques des échantillons de sol ont été réalisées au laboratoire Eau-Sol-Plantes du département Gestion des Ressources Naturelles et Système de Production (GRN/SP) de l'Institut de l'Environnement et des Recherches agricoles (INERA).

La méthodologie de l'extraction des éléments étudiés se présente comme suit :

- Le pH_{eau} a été déterminé par la méthode électronique au pHmètre à électrodes en verre dans un rapport sol/solution de 1 :2,5.
- Le P assimilable a été déterminé selon la méthode [17]. Son extraction est faite avec une solution mixte de chlorure d’ammonium (NH₄Cl) et d’acide chlorhydrique (HCl). Les mesures sont effectuées au spectrophotomètre à 880 nm de longueur d’onde en utilisant le molybdate d’ammonium (NH₄ 6Mo₇.4H₂O).
- Le carbone du sol a été déterminé par la méthode de [18] (oxydation à froid du carbone du sol au bichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) 1 N dans un milieu acide sulfurique concentré).
- La capacité d’échange cationique (CEC) a été déterminée par la méthode de Metson à l’acétate d’ammonium. Un échantillon de 25 g de sol est percolé avec 75 ml d’une solution molaire d’acétate d’ammonium.
- Pour la détermination du P-total, de N-total et du K-total, les différents échantillons ont préalablement été minéralisés à chaud avec un mélange H₂SO₄-Se-H₂O₂. Les teneurs en N-total et P-total ont été par la suite déterminées dans les minéralisats à l’aide d’un colorimètre automatique. Quant à la teneur en K-total, elle a été déterminée au moyen d’un photomètre de flamme.

2.6 TRAITEMENT DES DONNÉES

L’analyse statistique des données a été réalisée avec le logiciel R version 3.5.1. (R Core Team (2018)). Un test de normalité a été 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 a été faite par le test de Tukey. Le seuil de signification pour l’ensemble des tests était de 5%.

3 RESULTATS

3.1 PARAMÈTRES CHIMIQUES DES SOLS AVANT ET APRÈS CULTURE

Les résultats analytiques des paramètres chimiques des sols sont consignés dans le Tableau I. Les valeurs de pH sont comprises entre 6,73 et 7,35 respectivement pour les traitements T2 et T0. La valeur de pH n’a pas significativement modifiée quel que soit le model d’association. Les teneurs en carbone, phosphore assimilable, azote et matière organique du sol ont baissé dans les traitements en co-culture (T1 et T2) tandis que le P-total et le K-total ont subi une augmentation. Cependant, cette baisse n’a été significative que pour la matière organique et la phosphore assimilable. Le rapport C/N a par contre baissé de 1 unité avec la co-culture. Quel que soit le traitement, la CEC a baissé avec la présence de culture. Elle est plus faible dans les sols en co-culture que dans les sols en culture pure de la laitue. La CEC des sols avant culture est 3 fois plus élevée que celle des sols avec culture.

Tableau 1. Paramètres chimiques du sol avant et après culture

Traitements	Paramètres chimiques du sol								
	pHeau	Carbone (%)	CEC (méq/100g)	M.O (%)	P-Total (mg/kg)	P-Assimilable (mg/kg)	K-total (mg/kg)	N (%)	C/N
T0/A0	7,01a	1,91a	16,80a	3,32a	595,5a	62,14b	1790,2a	0,17a	12a
T0	7,35±0,05a	1,64±0,24a	5,33±b	2,76±0,23ab	557,93±35,79a	29,05±1,86a	2304,03±60,82b	0,18±0,12a	12,67±0,58a
T1	7,18±0,76a	1,77±0,24a	4,81±0,85b	2,66±0,34b	608,3±17,2a	56,71±11,61b	2100,1±88,1b	0,16a	11±1a
T2	6,73±0,35a	1,36±0,27a	4,61±0,20b	2,53±0,40b	620,83±61,32a	53,36±6,08b	2249,97±181,14b	0,16±0,01a	11,33±0,58a
Probabilité	0,37	0,07	0,017*	0,01*	0,25	0,001**	0,001**	0,95	0,05

T0/A0 : sol avant installation des cultures, **T0** : sol culture pure de laitue, **T1** : sol culture de la citronnelle alternée à la laitue sur même ligne, **T2** : sol culture de la citronnelle entre les lignes de laitue. Les lettres identiques dans une colonne entre deux valeurs indiquent qu’elles ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%,

3.2 TENEURS EN MÉTAUX LOURDS DES SOLS AVANT ET APRÈS CULTURE

Les teneurs initiales en métaux lourds et celles après culture sont consignées dans le Tableau II. Les sols de départ présentent des teneurs en zinc (130, 63 mg/kg) plus élevés que les autres métaux lourds (0,24 mg/kg). Le cadmium est le métal qui a la plus faible teneur. La même tendance est observée dans les sols rhizosphériques des plantes après culture quel que

soit le traitement. De façon générale, les teneurs sont plus élevées dans les sols après cultures comparés aux sols avant culture. Des différences significatives sont notées entre les teneurs en métaux lourds des sols avant culture et des sols après culture. Ces différences sont observées pour le Cu avec le traitement T1, pour le Pb avec le traitement T1 et T2 et avec le Zn pour tous les trois traitements (T1, T2, T3). La teneur en Cd dans les sols avant et après culture n'a pas montré de différence significative quel que soit le traitement.

Tableau 2. Teneurs en métaux lourds dans les sols avant et après culture

Traitements	Teneurs en métaux lourds (mg/kg de matière sèche) n=3			
	Cd	Cu	Pb	Zn
T0/A0	0,24a	11,32a	27.84a	130,63a
T0	0,21±0.17a	13,21±3,91a	35,07±13,44a	153,43±15,88b
Probabilité	0,8	0,44	0,49	0,03*
T0/A0	0,24a	11,32a	27.84a	130,63a
T1	0,28±0,19a	15,94±2,93b	32,27±2,37a	364,33±298,36b
Probabilité	0,49	0,04*	0.03*	0,04*
T0/A0	0,24a	11,32a	27.84a	130,63a
T2	0,23±0,25a	14,4±1,67a	28,49±4,25a	180,92±37,49a
Probabilité	0,97	0,04*	0,8	0,04*

T0/A0 : sol avant installation des cultures, **T0** : sol culture pure de laitue, **T1** : sol culture de la citronnelle alternée à la laitue sur même ligne, **T2** : sol culture de la citronnelle entre les lignes de laitue. Les lettres identiques dans une colonne entre deux valeurs indiquent qu'elles ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%, n : nombre de répétitions *valeur de probabilité significative.

3.3 TENEURS EN MÉTAUX LOURDS DANS LES ORGANES DE LA LAITUE EN CULTURE PURE

Les niveaux des métaux lourds étudiés dans les différents organes (racines, tiges et feuilles) de laitue sont présentés dans le Tableau III. Quel que soit l'organe végétal, le zinc est le métal plus accumulé suivi du plomb. La racine est l'organe végétal qui a le plus accumulé le Zinc, le plomb et le cuivre avec des teneurs respectivement plus élevées en zinc (108,74 mg/kg), plomb (18,09 mg/kg) et cuivre (13,19 mg/kg). Les teneurs en Cu et Pb ont varié de manière très significative ($P > 0,001$) entre les différents organes. La plus forte teneur en cadmium (0,94 mg/kg) a été notée dans les feuilles. Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les organes. Par contre, des différences significatives ont été observées pour les teneurs en zinc, plomb et cuivre dans les différents organes de la laitue.

Tableau 3. Concentrations des différents métaux lourds dans les organes de la laitue

Organes	Teneurs en métaux lourds (mg/kg MS)			
	Cd	Cu	Pb	Zn
Racines	0,70±0,20a	13,19±4,93a	18,09±2,89a	108,74±8,65a
Tiges	0,35±0,13a	0,38±0,66b	4,11±2,14b	65,08±38,24b
Feuilles	0,94±1,16a	2,37±0,39b	2,7±1,6b	62,20±7,66b
Probabilité	0,2	0,03*	0,0003***	0,08**

T0 : culture pure de laitue, **T1** : citronnelle alternée avec la laitue sur la même ligne, **T2** : co-culture de citronnelle entre les lignes de laitue. Les lettres identiques dans une colonne entre deux valeurs indiquent qu'elles ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%.

*valeur significative au seuil de probabilité de 5%

3.4 COMPARAISON DES TENEURS EN MÉTAUX LOURDS DANS LES ORGANES DE LA LAITUE ET DE LA CITRONNELLE EN CO-CULTURE

Les comparaisons entre la laitue et la citronnelle pour l'accumulation de métaux lourds sont présentées à travers les Figures 1, 2, 3 et 4. Ces comparaisons ont été faites pour les quatre métaux lourds et avec deux organes végétaux (racine et feuille).

➤ Plomb

La figure 1 montre des teneurs moyennes en Pb significativement plus élevées ($P < 0,05$) dans les feuilles de citronnelle par rapport à celles de la laitue et ce, quel que soit le type d'association du type d'association. Quant aux teneurs en Pb dans les racines, les valeurs ne montrent aucune différence significative (Figure 1).

➤ Zinc

La concentration en zinc dans les racines de la laitue a été significativement supérieure à celle de la citronnelle lorsque les deux plantes ont été cultivées de façon alternée sur la même ligne (T1) (Figure 2). Pour le traitement T2 (plants de citronnelle placés dans les interlignes de la laitue), l'accumulation est plus élevée dans la laitue quel que soit l'organe végétal. Toutefois, les teneurs en zinc n'ont pas varié significativement dans les feuilles entre les deux espèces et cela pour les deux traitements (T1 et T2) (Figure 2).

➤ Cuivre

La teneur en cuivre (Cu) a été plus élevée dans la laitue comparée à la citronnelle quel que soit le traitement et l'organe végétal. Cependant, la différence significative a été notée dans feuilles pour le traitement T2 et dans les racines pour le traitement T1 (Figure 3).

➤ Cadmium

Les résultats présentés dans la figure 4 indiquent que la laitue a accumulé plus de cadmium (Cd) que la citronnelle quel que soit le traitement et l'organe végétal. Dans les racines, la différence est significative pour les deux traitements (Figure 4b). Par contre, dans les feuilles elle est significative que pour le traitement T2 (Figure 4a).

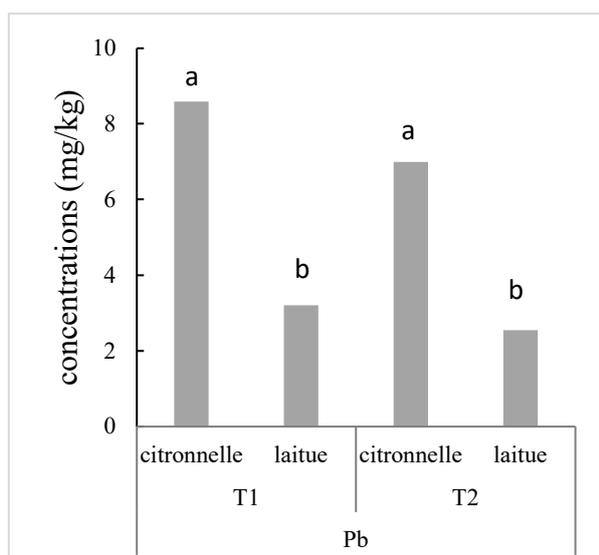


Figure 1 a : Teneurs foliaires en Plomb

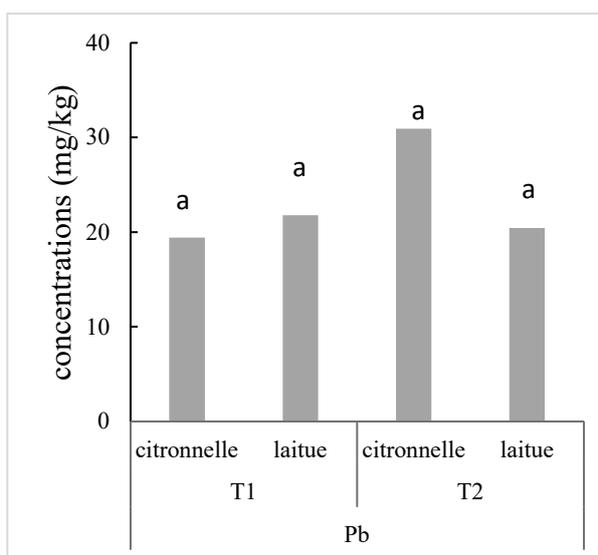


Figure 1 b : Teneurs racinaires en Plomb

Fig. 1. Comparaison de la teneur en plomb (Pb) accumulée par la laitue et la citronnelle

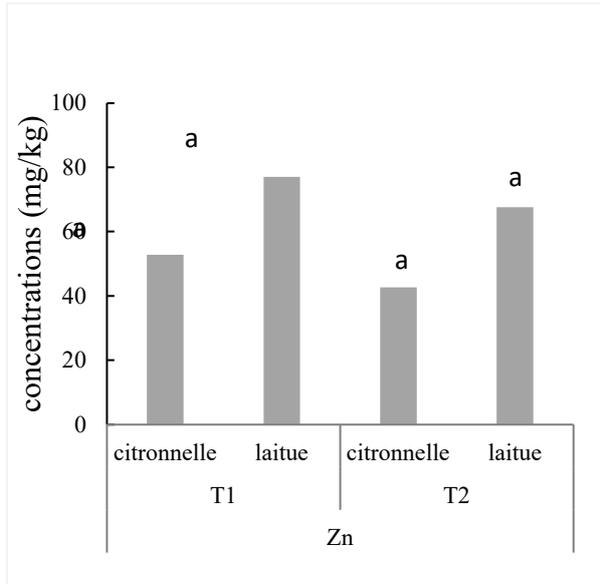


Figure 2a : Teneurs foliaires en zinc

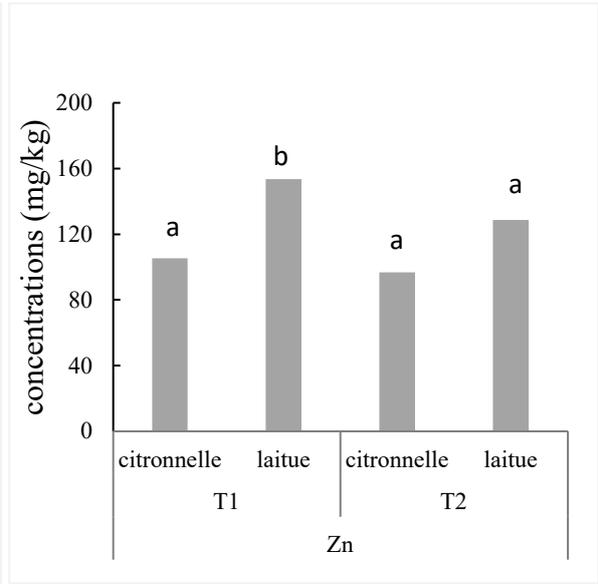


Figure 2b : Teneurs racinaires en zinc

Fig. 2. Comparaison de la teneur en zinc (Zn) accumulée par la laitue et la citronnelle

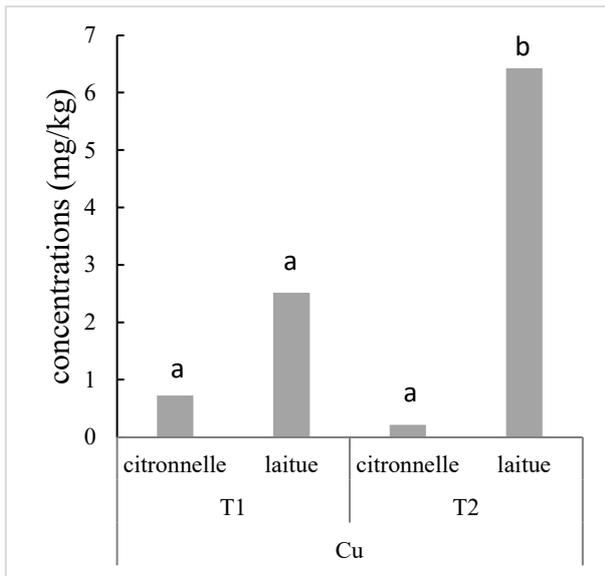


Figure 3a : Teneurs foliaires en cuivre

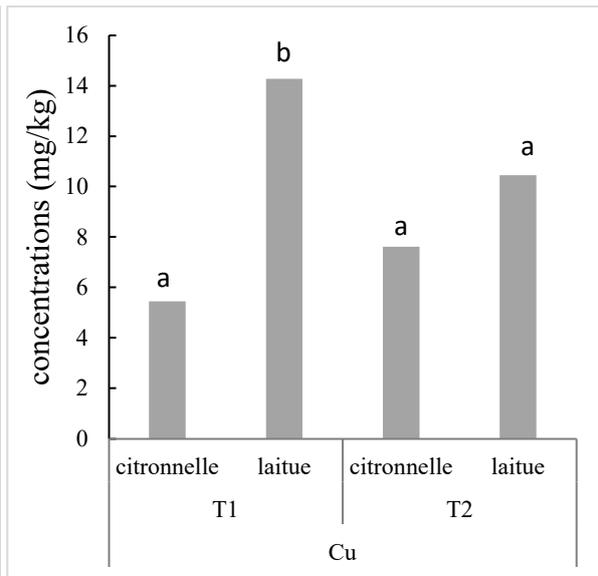


Figure 3b : Teneurs racinaires en cuivre

Fig. 3. Comparaison de la teneur en cuivre (Cu) accumulée par la laitue et la citronnelle

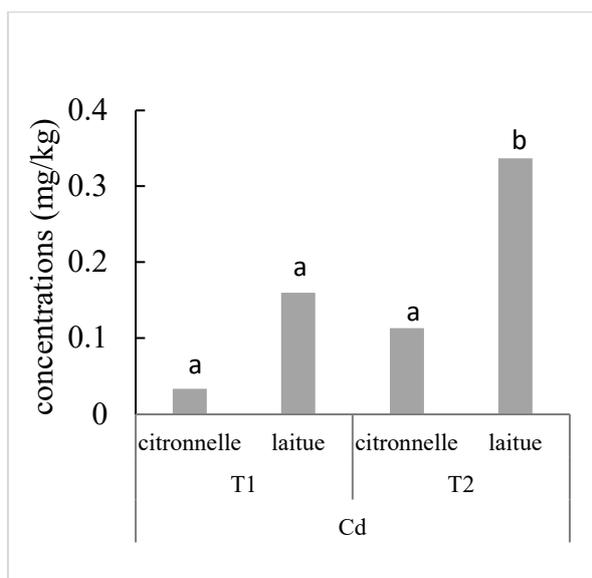


Figure 4a : Teneurs foliaires en cadmium

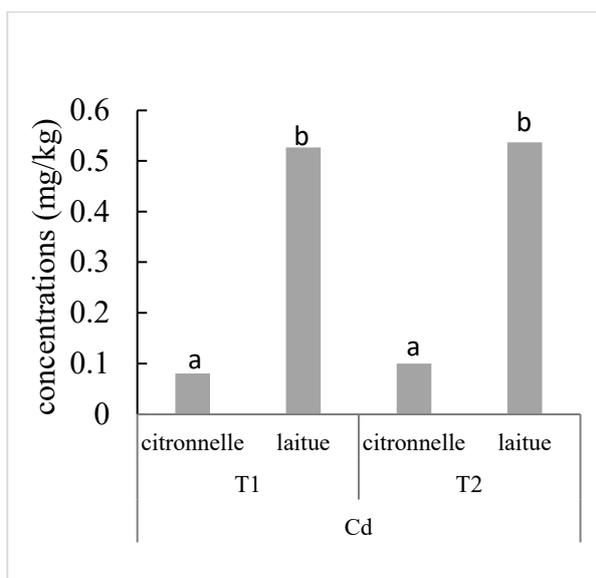


Figure 4b : Teneurs racinaires en cadmium

Fig. 4. Comparaison de la teneur en cadmium accumulée par la laitue et la citronnelle

4 DISCUSSION

4.1 PARAMÈTRES CHIMIQUES DU SOL AVANT ET APRÈS CULTURE

A l'issue de nos travaux, nous avons constaté une baisse significative de la matière organique dans les sols rhizosphériques. Cela pourrait s'expliquer par la minéralisation de cette fraction du sol. Parmi les paramètres chimiques déterminés figurait le pH du sol qui est demeuré proche de la neutralité pendant la culture. La faible minéralisation de la matière organique pendant la culture de la citronnelle et de laitue aurait une faible influence sur la variation du pH. La diminution de la capacité d'échange cationique d'une part et l'augmentation des teneurs en potassium-total d'autre part, seraient liées à la minéralisation de la matière organique dans les sols rhizosphériques après culture. Selon [19], la capacité d'échange cationique est généralement déterminée par les teneurs en matières organiques et minéraux argileux dans les sols. Les travaux [20] ont également montré une corrélation forte et positive (0,712) entre la teneur en matière organique du sol et la capacité d'échange cationique des sols au niveau des périmètres maraichers. La matière organique améliore en plus les propriétés biologiques et physico-chimiques des sols, et constitue une source d'éléments nutritifs (Potassium-Total) [21]. Les teneurs en azote total et en phosphore total n'ont cependant pas évolué significativement pendant la culture. La stabilité des teneurs en azote et en phosphore pourrait être liée au prélèvement de ces éléments par les plantes. La baisse significative de la teneur en phosphore assimilable au niveau de T0, serait due au pH du sol, car le pH influence considérablement la disponibilité du phosphore.

Le rapport C/N traduit le niveau de minéralisation des matières organiques dans les sols. Les valeurs de ce rapport obtenu au niveau des sols correspondent à celles indiquant une bonne minéralisation de la matière organique, c'est-à-dire comprises entre 8 et 12 [22].

4.2 TENEURS EN MÉTAUX LOURDS DES SOLS AVANT ET APRÈS CULTURE

Les résultats indiquent que les teneurs du Pb, du Cu et du Cd avant culture ont été légèrement inférieures aux valeurs moyennes mondiales des sols non contaminés [23]. En effet, les seuils tolérables des métaux lourds dans les sols contaminés sont de 0,35 mg/kg pour le cadmium ; 30 mg/kg pour le cuivre ; 35 mg/kg pour le plomb et 90 mg/kg pour le zinc [23] (Bowen, 1979). Quant au zinc, sa teneur a excédé le seuil tolérable de 90 mg/kg [23].

Par ailleurs, les teneurs en plomb, cuivre zinc ont augmenté dans les sols après culture. Cette hausse pourrait s'expliquer par un enrichissement des sols en métaux lourds pendant les différentes opérations culturales. Les engrais utilisés pour la fertilisation, les produits phytosanitaires, l'eau d'arrosage pourraient contribuer à enrichir les sols en métaux lourds.

4.3 TENEURS EN MÉTAUX LOURDS DANS LES ORGANES DE LA LAITUE EN CULTURE PURE

Nos résultats ont montré que la laitue en culture pure a accumulé les métaux lourds dans ses différents organes. Toutefois, les teneurs ont été inférieures aux valeurs limites au-dessus desquelles des phytotoxicités sont possibles (5-30 mg/kg pour Cd, 20-200 mg/kg pour Cu, 30-300 mg/kg pour Pb, 100-400 mg/kg pour Zn) Selon [24]. La valeur moyenne (> 2%) de la teneur en matière organique des sols et les pH proches de la neutralité auraient favorisé les faibles niveaux d'accumulation [25]. Dans le sol, les pH acides favorisent le transfert des métaux lourds vers la plante tandis que les pH proches de la neutralité permettent leur rétention par la matière organique [25].

Cependant, les teneurs foliaires de la laitue en cadmium et plomb ont dépassé les valeurs réglementaires pour l'alimentation qui sont de 0,2 mg/kg pour cadmium et 0,3 mg/kg pour plomb [26]. Par exemple, la teneur en plomb dans les feuilles de laitue en culture pure a été 9 fois supérieure à la valeur normale tolérée. Cela pourrait représenter un risque pour la santé des consommateurs. En effet, les métaux lourds absorbés par les végétaux entrent dans la chaîne alimentaire et entraînent un phénomène de bio-concentration à chaque passage dans le maillon trophique supérieur [27], [28]. 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 [29]. Le cadmium est également très toxique, particulièrement au niveau des reins, et se révèle vraisemblablement cancérigène [29]. Des résultats similaires ont été obtenus avec des teneurs en cadmium et plomb respectivement de 0,31 mg/kg et 24,36 mg/kg dans les feuilles de la laitue [30]. Ces résultats corroborent ceux de [31] qui ont montré des teneurs en métaux lourds excédant les normes dans des cultures de la laitue.

4.4 COMPARAISON DES TENEURS EN MÉTAUX LOURDS DANS LES ORGANES DE LA LAITUE ET DE LA CITRONNELLE EN CO-CULTURE

De cette étude, il ressort que les associations entre la laitue et la citronnelle n'ont pas permis de réduire le niveau d'accumulation de cuivre et de zinc au niveau des différents organes de la laitue. Par contre, nous avons observé une baisse plus ou moins importante de la teneur de cadmium et de plomb dans les feuilles de la laitue. Toute chose qui suggère que l'association laitue-citronnelle pourrait effectivement réduire le niveau de transfert du cadmium et de plomb dans les feuilles de laitue. En effet, les métaux lourds comme le cadmium, le nickel, le plomb ou le mercure ne jouent aucun rôle dans la croissance et le développement des plantes [32]. Ils sont dits non essentiels et sont toxiques à l'état de traces [32].

Concernant la citronnelle, les résultats ont montré qu'elle a accumulé les métaux lourds dans chacun de ses organes pour les deux types d'association dans cette étude. Les teneurs en cadmium, cuivre et zinc au niveau des racines et des feuilles de la citronnelle dans les deux types d'associations sont inférieures à celles trouvées par [33]. Les travaux de [33] ont montré des concentrations beaucoup plus élevées dans les mêmes organes avec la citronnelle cultivée trois mois durant sur le même type de sol auxquels ont été ajoutés des déchets urbains solides. Par contre, pour ce qui est du Pb, les concentrations obtenues dans la présente étude sont supérieures aux valeurs de obtenues par [33]. Ces différences pourraient s'expliquer d'une part par la variation des teneurs initiales dans les sols et des paramètres du sol susceptibles de modifier la biodisponibilité des métaux lourds dans le sol. Les concentrations en plomb accumulées ont été plus élevées dans la citronnelle par rapport à la laitue au niveau des feuilles. Ce résultat pourrait se traduire par la grande aptitude de citronnelle à la translocation du plomb vers les organes aériens [34]. La citronnelle est connue comme une espèce efficace pour ce qui est du transfert du plomb des racines vers les parties aériennes [34].

Cependant, les résultats montrent qu'en co-culture laitue-citronnelle, la laitue a accumulé le plus de zinc, de cuivre et de cadmium comparativement à la citronnelle. Les travaux de [35] ont montré que la croissance rapide de la laitue accélère le prélèvement des nutriments nécessaires à sa croissance dans le sol, notamment le zinc et cuivre. En outre, les résultats de [36] ont montré la grande capacité des espèces à croissance rapide telle que la laitue à accumuler le zinc, le cadmium et le cuivre.

5 CONCLUSION

Ce travail avait pour objectif principal de réduire le niveau d'accumulation de métaux lourds dans la laitue co-cultivée avec par la citronnelle. Il ressort que la laitue en culture pure accumule les métaux lourds dans ses différents organes. Les teneurs en cadmium et en plomb dans les feuilles ont dépassé les valeurs réglementaires pour l'alimentation. Ces valeurs sont de 0,2 mg/kg pour cadmium et 0,3 mg/kg pour plomb. La teneur en plomb dans les feuilles de laitue en culture pure est 9 fois supérieure à la valeur normale tolérée pour les plantes. L'association entre la laitue et la citronnelle n'a pas permis de réduire le niveau d'accumulation de cuivre et de zinc au niveau des différents organes de la laitue. Toutefois, une baisse plus ou moins importante de la teneur de cadmium et de plomb dans les feuilles de la laitue est observée. Cela suggère que l'association laitue-citronnelle pourrait être efficace pour réduire le niveau de transfert du cadmium et de plomb dans les feuilles de laitue.

Les résultats montrent qu'en co-culture laitue-citronnelle, la laitue a accumulé le plus de zinc, de cuivre et de cadmium comparativement à la citronnelle tandis que le plomb est beaucoup plus concentré dans la citronnelle. On peut conclure que l'association laitue-citronnelle peut être envisagée pour la réduction de l'accumulation de plomb dans les organes de la laitue.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons nos sincères remerciements à la Direction Régionale du Bureau des Mines et de Géologie du Burkina Faso pour son apport dans les analyses de métaux lourds.

REFERENCES

- [1] FAO. Growing greener cities, Rome. p. 116, 2012.
- [2] Migeon A. Etude de la variabilité naturelle dans la réponse du peuplier aux métaux : bases physiologiques et exploitation en phytoremédiation. Thèse, Université Henri Poincaré, Nancy-Université, p. 345, 2009.
- [3] Kiba D. I., Lompo, F., Compaore, E., Randriamanantsoa, L., Sedogo, P. M., Frossard, E. 2012. A decade of non-sorted solid urban wastes inputs safely increases sorghum yield in periurban areas of Burkina Faso. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 62 (1), pp.59-69, 2009.
- [4] Ilboudo L.J.T. 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. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, p. 51, 2014.
- [5] Braud A. Procédé de phytoextraction couplé à la bioaugmentation d'un sol agricole polycontaminé par du chrome, du mercure et du plomb. Thèse de doctorat, Université de Haute-Alsace, p. 254, 2007.
- [6] IFEN. Principales causes d'apport de métaux lourds dans les sols d'usage agricole. L'environnement en France. Paris, Dunod. p. 83, 2002.
- [7] Mench M., Baize D. Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en traces mesurés pour réduire l'exposition. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 52, pp.31-56, 2004.
- [8] Nordberg M., Nordberg G., Jin T. Health impacts of cadmium exposure and its prevention. *BioMetals*, 17, pp.483-484, 2004.
- [9] Oskarson A., Widell A., Olsson I., Graw K. P. Cadmium in food chain and health effects in sensitive population groups. *BioMetals*, 17, pp.531-534, 2004.
- [10] Zorrig W. Recherche et caractérisation de déterminants contrôlant l'accumulation de cadmium chez la laitue "*Lactuca sativa*". Thèse. Montpellier SupAgro, p. 250, 2011.
- [11] Bellwood-Howard I., Häring V., Karg H., Roessler R., Schlesinger J., Shakya M. Characteristics of urban and peri-urban agriculture in West Africa: results of an exploratory survey conducted in Tamale (Ghana) and Ouagadougou (Burkina Faso). p. 163, 2015.
- [12] Senou I. 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, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB). p.170, 2014.
- [13] Senou I., Gnankambary Z., Some N. A., Sedogo P.M. Projection de trois espèces de plantes locales pour la phytoextraction de métaux lourds. *Agronomie africaine*, 26 (2), pp.155-166, 2014.
- [14] Xiaomei L., Qitang W., Banks M.K. Effect of simultaneous establishment of *Sedum alfredii* and *Zea mays* on heavy metal accumulation in plants. *International journal of Phytoremediation*, 7 (1), pp. 43-53, 2005.
- [15] Pallo F.J.P., Sawadogo N., Sawadogo L., Sedogo P. M. Statut de la matière organique des sols dans la zone soudanaise au Burkina Faso. *Biotechnol Agron Soc Environ*, 12 : pp. 291-301, 2008.
- [16] Fontès J., Guinko S. Carte de la végétation et du sol du Burkina Faso. Notice explicative. Ministère de la coopération française. Projet campus, p. 67, 1995.
- [17] Bray R. H., Kurtz L. T. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59 pp. 39-45, 1945.
- [18] Walkley A., Black J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37 pp.29-38, 1934.
- [19] Bewket W., Stroosnijder L. Effects of agroecological land use succession on soil properties in Chemical watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Geoderma*, 111, p.85-98, 2003.
- [20] Ondo J.A. Vulnérabilité des sols maraîchers du Gabon (région de Libreville) : acidification et mobilité des éléments métalliques. Thèse, Université de Provence (France). p. 304, 2011.

- [21] Mirsa R. V., Roy R. N., Hiraoka H. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation. Documents de travail sur les terres et les eaux 2. Organisation des nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Italie, Rome, p. 35, 2005.
- [22] Genot V., Colinet G., Bock L. Fertilité des sols agricoles et forestiers en région wallonne, Rapport FUSAG, p. 75, 2007.
- [23] Bowen H.J.M. 1979. Environmental Chemistry of the Elements. *Academic Press*, New York, pp. 49-62, 1979.
- [24] Larcher W. Physiological plant ecology. 4e éd. Springer. p. 513, 2003.
- [25] Lair G. J., Gerzabek M. H., Haberhauer G. Sorption of heavy metals on organic and inorganic soil constituents. *Environmental Chemistry Letters*, 5 (1), pp. 23-27, 2007.
- [26] FAO/OMS. Norme générale pour les contaminants et les toxines présents dans les produits de consommation humaine et animale, CODEX STAN. p. 64, 2015.
- [27] Gonzales X.I., Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. 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, 2008.
- [28] McLean C.M., Koller C.E., Rodger J.C., MacFarlane G.R. Mammalian hair as an accumulative bioindicator of metal bioavailability in Australian terrestrial environments. *Science of the Total Environment* 407 (11) : pp. 3588-3596, 2009.
- [29] 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., Bernard A. 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 : pp. 584- 590, 2006.
- [30] Seka Y. J., Yapo O. B., Yapi D. A. C. Heavy Metals Contamination in *Lactuca sativa* L. (Lettuce) from Two Agricultural Sites of Abidjan. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 27 (2), pp. 59-64, 2015.
- [31] Donkor, A., Fordjour, L. A., Tawiah, R., Asoomang, W., Dubey, B., Osei-fosu, P., Ziwu, C. et Mohammed, M. Evaluation of trace metals in vegetables sampled from farm and market sites of Accra Metropolis, Ghana. *International Journal of Environmental Studies*, 74 (2), pp. 315-324, 2017.
- [32] Mendoza-Cózatl D.G., Moreno-Sanchez R. Cd²⁺ transport and storage in the chloroplast of *Euglena gracilis*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1706 : pp. 88-97, 2005.
- [33] Senou I., Gnankambary Z., Some N.A., Nacro H.B. Responses of five local plant species to metal exposure under controlled conditions. *Int. J. Develop. Res.* 8, pp. 18501-18506, 2018.
- [34] Gautam M., Pandey D., Agrawal M. Phytoremediation of metals using lemongrass (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) grown under different levels of red mud in soil amended with biowastes. *International Journal of Phytoremediation*, 19 (6), pp. 555-562, 2017.
- [35] Agbossou, K., Sanny, M. S., Zokpodo, B., Ahamide, B. et Guedegbe, H. J. 2003. Evaluation qualitative de quelques légumes sur le périmètre maraîcher de Houéyiho , à Cotonou au sud-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, (42), pp.1-12, 2003.
- [36] ADEME. Connaissance et maîtrise des aspects sanitaires de l'épandage des boues. France. 1990.