



Original Paper

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

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

Dosage du plomb et du zinc dans les cultures de l'amarante (*Amarantus cruentus*) et de la Grande morelle (*Solanum macrocarpum*): cas de quelques sites maraîchers de Porto-Novo

Waris Kéwouyèmi CHOUTI^{1,2*}, Marielle ADANVE¹ et Daouda MAMA^{1,2}

¹Laboratoire de Chimie Inorganique et de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi BP : 4521 Cotonou, Bénin.

²Laboratoire d'Hydrologie Appliquée, Faculté des Sciences et Techniques (FAST), Université d'Abomey-Calavi 01 BP : 526 Cotonou, Bénin.

* Auteur correspondant, E-mail: warischouti@yahoo.com; Tel: 00229 97 48 73 20

RESUME

Cette étude a été initiée pour évaluer la qualité de deux légumes-feuilles des plus cultivés et consommés au sud Bénin, l'amarante et la grande morelle en raison de leurs nombreux avantages. De par des pratiques culturales inappropriées, ces légumes sont confrontés à de nombreuses contraintes, parmi lesquels la pollution par les métaux tels que le plomb et le zinc. L'objectif assigné à cette étude était d'une part, d'évaluer le niveau de pollution en plomb et en zinc dans deux légumes-feuilles, produits sur trois périmètres maraîchers de Porto-Novo, et d'autre part, d'évaluer l'impact potentiel de la consommation de ces légumes sur la santé des consommateurs. Pour ce faire, des prélèvements d'eau d'arrosage, de sol et de légumes feuilles ont été effectués sur les trois sites. Les résultats de ces analyses montrent une contamination des légumes en métaux. Ces valeurs évoluent, en ce qui concerne le plomb de 1,80 mg/kg à 2,53 mg/kg pour la grande morelle et de 0,07 mg/kg à 4,30 mg/kg pour l'amarante sur les trois sites. Pour le zinc, ces valeurs sont comprises entre 79,11 mg/kg et 132,07 mg/kg pour la grande morelle et entre 23,85 mg/kg et 141,20 mg/kg pour l'amarante sur les trois sites. Cette contamination est intimement liée à la présence de ces métaux dans l'eau d'arrosage et dans le sol. Cette toxicité de l'eau et du sol est due à la situation géographique du site et aux apports agricoles.

© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Cultures, eaux, sol, métaux, contamination.

Study of lead and zinc in the *Amarantus cruentus* and the large nightshade in some market gardens in Porto-Novo

ABSTRACT

This study was initiated to evaluate the quality of two of the most cultivated and consumed leafy vegetables in southern Benin, amaranth and large nightshade due to their advantages. Because of inappropriate cultivation practices, these vegetables are confronted with many obstacles, including pollution by metals such as lead and zinc. The objective of this study was to assess the level of lead and zinc pollution of the two leafy vegetables produced in three Porto-Novo market gardening areas and to evaluate the potential impact of the consumption of these vegetables on the health of consumers. For this purpose, the samplings of water, soil and two leafy vegetables were carried out at the three sites. The results of these analyses show a contamination of

vegetables with metals. These values range from 1.81mg/kg to 2.53mg/kg for large nightshade and from 0.07 mg/kg to 4.30 mg/kg for amaranth on the three sites. For zinc, these values range from 79.11mg/kg to 132.07 mg/kg for large nightshade and from 23.85mg/kg to 141.20mg/kg for amaranth on all the three sites. This contamination is ultimately linked to the presence of these metals in the irrigation water and in the soil. This toxicity of water and soil is due to both the geographical situation of the site and agricultural inputs.
© 2018 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Gardens market, metals, water, soil, contamination.

INTRODUCTION

Le Bénin connaît une croissance urbaine très remarquable avec un taux d'urbanisation qui est passé de 35,7% en 1992 à 38,9% en 2002 avant d'atteindre 44,6% en 2013 (MCVDD, 2016). La croissance des villes et la forte demande des légumes qui l'accompagnent ont constitué le moteur du développement maraîcher. Ainsi, ces dernières années, on assiste à l'expansion de nombreux espaces maraîchers au niveau des bas-fonds et des zones périurbaines. Les cultures maraîchères sont produites dans toutes les régions du pays surtout au Sud, en zone urbaine et périurbaine et dans la vallée de l'Ouémé (Adorgloh-Hessou, 2006 ; Yéhouenou et al., 2013) jouent un rôle important dans l'approvisionnement en légumes des villes en pleine croissance démographique (Atidegla et al., 2011). A l'échelle mondiale, les légumes indigènes et exotiques jouent un rôle primordial dans la plupart des programmes de nutrition, de sécurité alimentaire et de lutte contre la pauvreté. Ces légumes constituent une composante importante des régimes alimentaires quotidiens en Afrique ; et des sources principales de revenus, particulièrement dans les zones urbaines et périurbaines. Parmi ces cultures maraîchères, les légumes feuilles, surtout *Amarantus cruentus* (amarante) et *Solanum macrocarpum* (grande morelle), constituent les plus importants et plus consommés (89%). Ces deux légumes feuilles traditionnels rentrent dans l'alimentation quotidienne de presque tous les béninois (Hounkpodoté et Tossou, 2001).

Les pratiques culturelles de ces légumes font appel à la disponibilité en eau et à un sol fertile.

Les apports agricoles (ordures ménagères, fientes de porc, de volaille, graine de coton et de l'engrais minéral en excès) utilisés pour amender le sol et l'eau servant à l'arrosage des cultures peuvent contenir des métaux et des matières organiques qui peuvent nuire à la santé humaine. Or les métaux sont non biodégradables (Senou et al., 2012). Des études, ont en effet, montré que le compost utilisé sur le site de Houéyiho (un quartier de Cotonou, capitale économique) et fabriqué à partir des ordures ménagères est de mauvaise qualité agronomique (Sanny, 2002). De même, ce compost mal trié, contient des teneurs importantes d'éléments métalliques, susceptibles d'être accumulés dans les cultures maraîchères (Soclo et al., 1999).

Par ailleurs, l'utilisation des eaux d'irrigation généralement infectées par des matières fécales et des composts non mûrs fait naître le soupçon que la consommation des cultures maraîchères peut être critique. Des eaux de mauvaise qualité physico-chimique et bactériologique peuvent effectivement favoriser la contamination des cultures maraîchères. Dans ces conditions, la consommation de tels aliments pourrait constituer un risque élevé de santé publique. Donc une étude sur la contamination des cultures par les polluants métalliques et les conséquences de ces polluants sur la santé des populations s'est avéré nécessaire et a été menée afin de répondre aux objectifs spécifiques suivants :

- analyser les concentrations en polluants métalliques (plomb et zinc), dans les cultures d'amarante et de grande morelle ;
- identifier les sources potentielles en Pb et Zn pour les cultures de l'amarante

(*Amaranthus cruentus*) et de la grande morelle (*Solanum macrocarpum*);

- étudier l'importance de la contamination des cultures par les métaux ainsi que les conséquences sur la santé humaine.

MATERIEL ET METHODES

La méthodologie utilisée est basée sur une enquête au niveau des exploitants maraîchers et sur l'évaluation des teneurs en Pb et Zn dans l'eau d'arrosage, le sol et dans les légumes feuilles (amarante, grande morelle). La Figure 1 montre la zone d'étude qui a pris en compte trois sites maraîchers de Porto-Novo (Gbèkon, Daviéet Sokomé) compte tenu de leurs superficies, du nombre d'exploitants et des productions maraîchères cultivées (chou, laitue, grande morelle, amarante, pomme, tomate, piment, crinclin, gombo). Donc un échantillon de sol, un échantillon d'eau et deux échantillons de légumes-feuilles sont prélevés au niveau de chaque site. Par ailleurs, ces sites constituent des sources importantes d'approvisionnement en légumes-feuilles pour la ville de Porto-Novo.

Echantillonnage et analyses des eaux

Les échantillons d'eau sont prélevés à environ 5 cm de la surface des points d'eau dans des bouteilles en plastique. Préalablement lavées et rincées avec de l'eau, les bouteilles sont soigneusement rincées avec l'eau du point d'eau lors du prélèvement. Les bouteilles remplies sont hermétiquement fermées pour éviter toute fuite de gaz.

Les paramètres physico-chimiques déterminés dans l'eau sont : le pH, la température, la conductivité et le TDS (Total Dissolved Solid).

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissouts dans l'eau. Elle est fonction de la température de l'eau et est plus importante quand celle-ci est élevée. Selon les travaux d'Ahadjitse (1991) la conductivité donne les indications suivantes :

- Conductivité > 500 μ s/cm : eaux très minéralisées,
- 500 μ s/cm < conductivité < 200 μ s/cm : eaux moyennement minéralisées,

- Conductivité < 200 μ s/cm : eaux faiblement minéralisées.

L'analyse des métaux lourds a été réalisée par lecture directe au Spectrophotomètre à Absorption Atomique (SAA). La limite de détection pour l'appareil est de 0,01 ppm pour le plomb et de 0,001 mg/L pour le zinc.

Echantillonnage et analyses des sols

Les échantillons du sol sont des échantillons composites prélevés au moyen d'un coupe-coupe (machette) permettant de recueillir le sol de 0 à 30 cm. Ces échantillons ont été prélevés sur des planches d'amarante et de la grande morelle sur chaque site. Ces échantillons sont recueillis dans des sachets en plastique.

Les paramètres physico-chimiques dans les échantillons du sol sont tous dosés au Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB). La teneur en carbone (%C) est dosée par la méthode de Walkley-Black (Walkley et Black, 1934), l'azote a été déterminé par la méthode de Kjeldahl, le pH-eau et le pH-KCl ont été mesurés au pH-mètre. La teneur en matière organique est calculée par la formule MO = 1,724 %C.

La mesure du pH eau consiste à peser 20 g de sol tamisé à 2 mm et ajouter 50 ml d'eau distillée dans un bécher. Ensuite le mélange est agité pendant 15 min par un agitateur magnétique. La suspension est laissée au repos pendant environ 30 min et le pH est mesuré avec un pH-mètre. Ajouter à la suspension précédente, après la lecture du pH, 3,72 g de KCl en poudre, agiter pendant 5 minutes, laisser au repos pendant 4 à 5 minutes. Mesurer le pH KCl au pH-mètre.

Le dosage des métaux (Pb et Zn) par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique (SAA) a été effectué après reprise à chaud des cendres de minéralisation en milieu acide ($H_2SO_4 + HNO_3$).

Echantillonnage et analyses des légumes-feuilles

Les légumes-feuilles échantillonnés à maturité sont regroupés en un échantillon composite en vue des analyses.

L'azote et le phosphore ont été dosés respectivement par la méthode de Kjeldahl et par la méthode de la minéralisation par voie sèche. L'analyse des métaux (Pb et Zn) dans les légumes-feuilles a lieu après mise en solution par voie sèche et la lecture est réalisée par SAA.

Facteur de bioconcentration (FBC)

FBC=

$$\frac{\text{Concentration en mg/kg de métal dans le légume-feuille}}{\text{Concentration du métal dans le sol (mg/kg) ou dans l'eau (mg/L)}}$$

Il désigne le rapport entre la concentration du composé étudié (plomb ou zinc) dans le milieu (eau/sol) et la concentration dans l'organisme (légumes-feuilles). Ce facteur permet d'établir la bioaccumulation. Il a été utilisé pour déterminer dans quelle proportion les légumes-feuilles sont concentrés en des métaux du sol (Rattan et al., 2005).

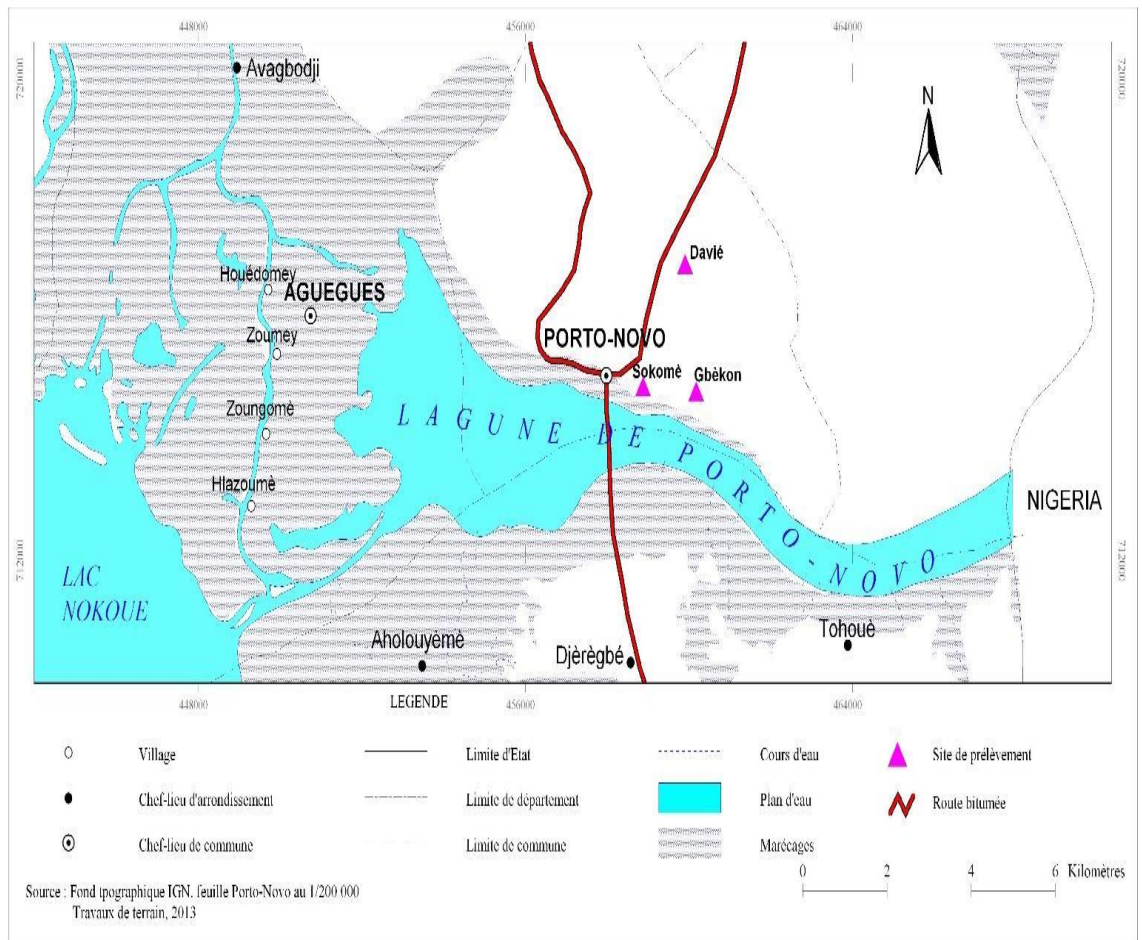


Figure 1 : Carte de Porto - Novo et répartition des sites de prélèvement.

RESULTATS

Analyse de l'eau

La Figure 2 présente les résultats d'analyses des paramètres physicochimiques des trois points d'eau utilisés pour l'arrosage des cultures. Ces résultats indiquent que : les eaux de Sokomè et de Davié sont légèrement basiques et ont de pH identiques tandis que celle de Gbèkon est pratiquement neutre. La conductivité est plus élevée à Sokomè qu'au niveau des autres sites, ce qui s'explique par une forte concentration des ions dissous dans l'eau d'arrosage, ce qui a été confirmé par la TDS.

Analyse du sol

La Figure 3 présente les résultats des paramètres physico-chimiques du sol. De ces analyses, on note :

- En ce qui concerne le pH_{eau} , sur les planches de la grande morelle, Sokomè et Davié ont un pH_{eau} légèrement basique et identique, mais plus élevé que celui de Gbèkon qui est légèrement acide.
- En ce qui concerne les planches de l'amarante, les valeurs du pH_{eau} sont pratiquement les mêmes et légèrement basiques sur les trois sites.
- Pour la valeur de pH_{KCl} du sol, sur les planches de la grande morelle, Davié a un Ph plus élevé que ceux de Sokomè et de Gbèkon. Sur les planches de l'amarante, Davié et Sokomè ont des valeurs voisines plus élevées que celle de Gbèkon.

De la mesure de la matière organique (Figure 4), on constate que ce soit sur la planche de la grande morelle et d'amarante, Davié a un fort taux de matière organique.

L'analyse de la teneur en azote du sol montre que Davié a la plus forte teneur en azote au niveau des planches des deux légumes-feuilles (Figure 5). Sur les trois sites, l'amarante a un taux élevé d'azote que la grande morelle.

- Analyse des légumes-feuilles

Les Figures 6 et 7 présentent les résultats de la teneur en azote et en phosphore des légumes-feuilles. Il ressort de ces résultats qu'il y a plus d'azote dans la grande morelle

cultivée à Davié par rapport aux autres sites. Ce que confirment les résultats de l'analyse du sol. Elles indiquent aussi que la grande morelle sur tous les sites affiche une quantité importante d'azote. Le taux de phosphore assimilé par les légumes-feuilles est pratiquement le même dans la grande morelle à Davié et à Sokomè. L'amarante de Gbèkon et celle de Davié ont une forte teneur en phosphore.

Analyse des métaux

• L'eau

La Figure 8 présente les résultats d'analyse de la teneur en plomb et en zinc dans les eaux servant à arroser les légumes-feuilles.

De ces résultats, il ressort que :

- ✓ concernant le plomb, l'eau de Davié a une teneur plus élevée que celle de Sokomè et de Gbèkon. Ces valeurs sont toutes inférieures à celle exigée par les recommandations canadiennes (CCME, 1999a) pour l'eau à des fins agricoles (0,2 mg/L) ;
- ✓ concernant le zinc, l'eau de Gbèkon a une teneur plus élevée que celles de Sokomè et Davié.

• Le sol

La Figure 9 présente les teneurs en métaux (plomb, zinc) dans les sols prélevés sur les différents sites. Elle indique que la teneur en plomb dans le sol issu de la planche de la grande morelle est relativement plus élevée à Davié (83,75 mg/kg) qu'à Gbèkon (29,11 mg/kg) et à Sokomè (66,70 mg/kg). Le même constat a été observé dans les sols prélevés sur les planches d'amarante. C'est à Davié que la teneur en plomb est plus élevée. Quant à la teneur en zinc, on note une concentration nettement élevée dans le sol prélevé sur le site de Davié que ce soit sur les planches de l'amarante que sur celles de la grande morelle. Les courbes de la figure 9 ont les mêmes allures. Le sol de Davié est plus pollué par les deux métaux que les sols de Gbèkon et Sokomè.

• Légumes-feuilles

La Figure 10 donne un aperçu des teneurs en Pb et en Zn dans les deux productions végétales en mg/kg de matière sèche.

Les valeurs obtenues montrent que les concentrations obtenues dépassent les normes exigées par Codex Alimentarius. Ces résultats montrent aussi que l'amarante provenant du site de Davié a la forte teneur en plomb et en zinc. Ils révèlent notamment que toutes les cultures étudiées ont des taux très élevés en zinc.

- **Facteur de bioconcentration**

Les résultats du facteur de bioaccumulation sont consignés dans le Tableau 1.

Les facteurs de bioaccumulation (FBC) calculés par rapport à l'eau et au sol montrent

l'importance des écarts entre les concentrations dans le biotope et dans les légumes-feuilles, donc de la persistance de ces métaux dans le milieu. Inférieurs à 1 entre le sol et les végétaux, ces facteurs sont supérieurs à 10 (pour le plomb) voire 1000 (pour le zinc) entre l'eau et les végétaux. Il résulte de ce qui précède donc, que les formes solubles dans l'eau (ioniques ou complexes) du plomb et du zinc sont plus disponibles et accessibles pour les légumes-feuilles que les précipités solides dans le sol.

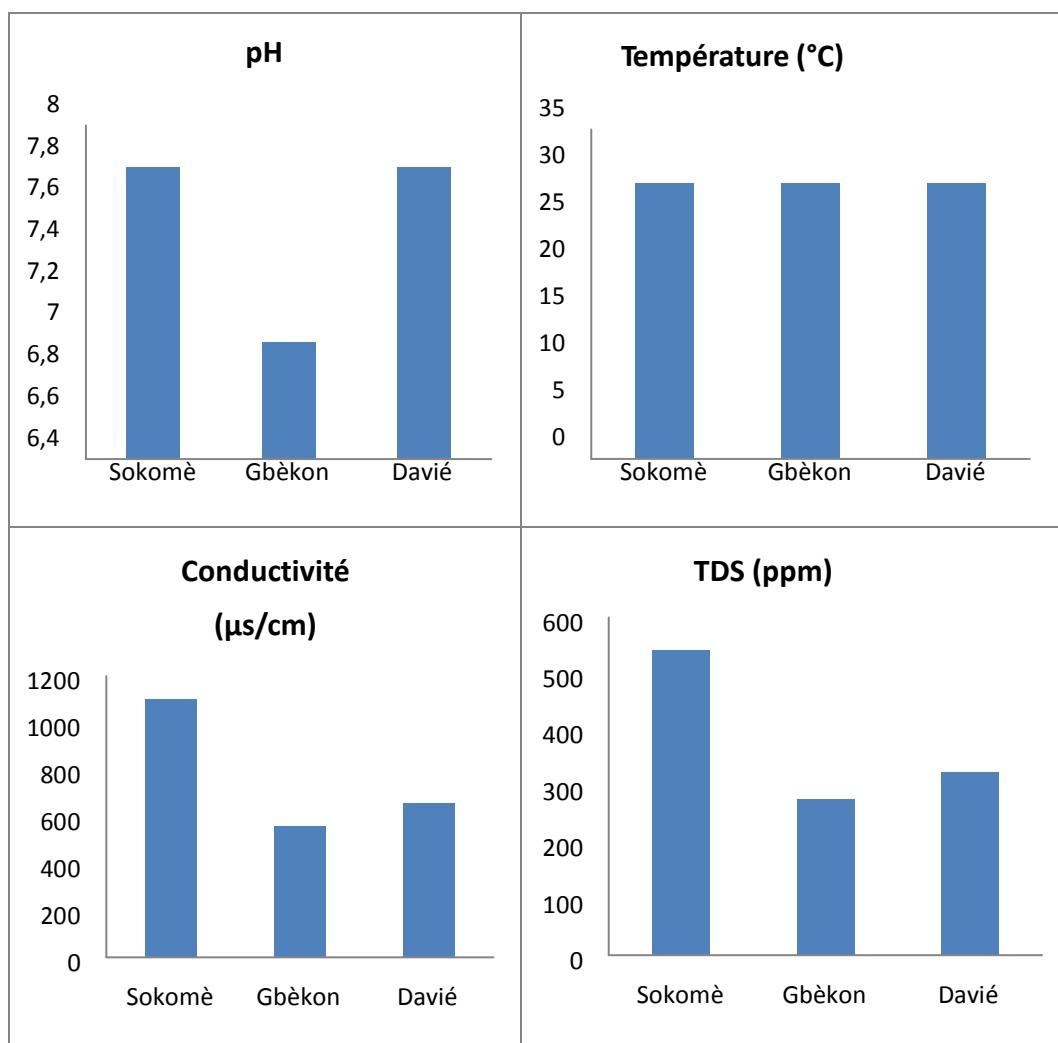


Figure 2 : Paramètres physicochimiques des eaux.

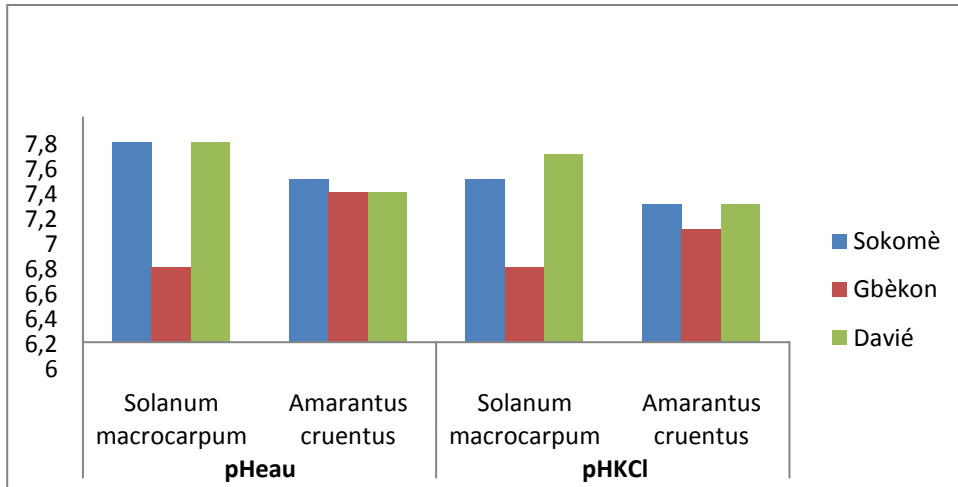


Figure 3 : pHeau et pHKCl du sol sur les différents sites.

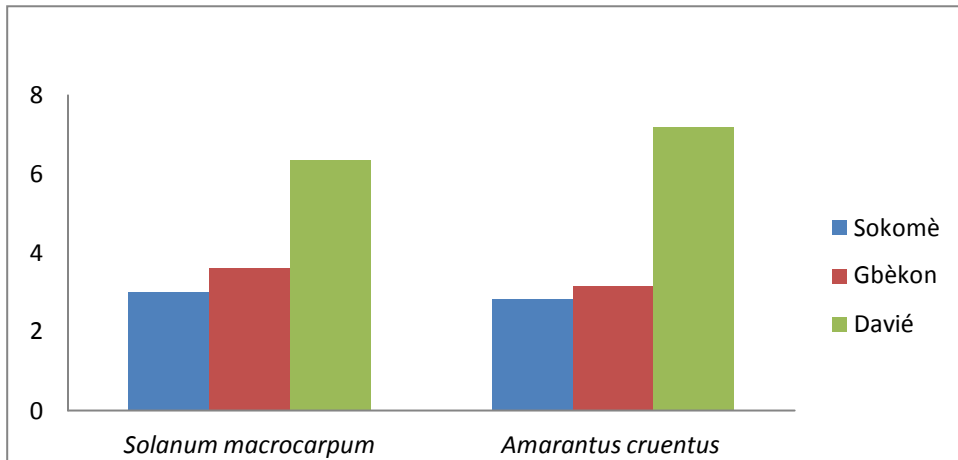


Figure 4 : Teneur en matière organique (%) des sols sur les différents sites.

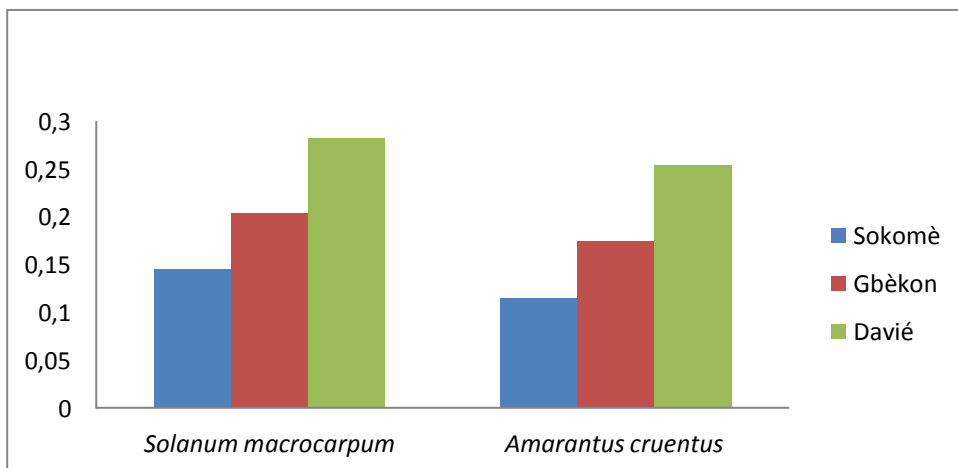


Figure 5 : Teneur en azote (%) du sol sur les différents sites.

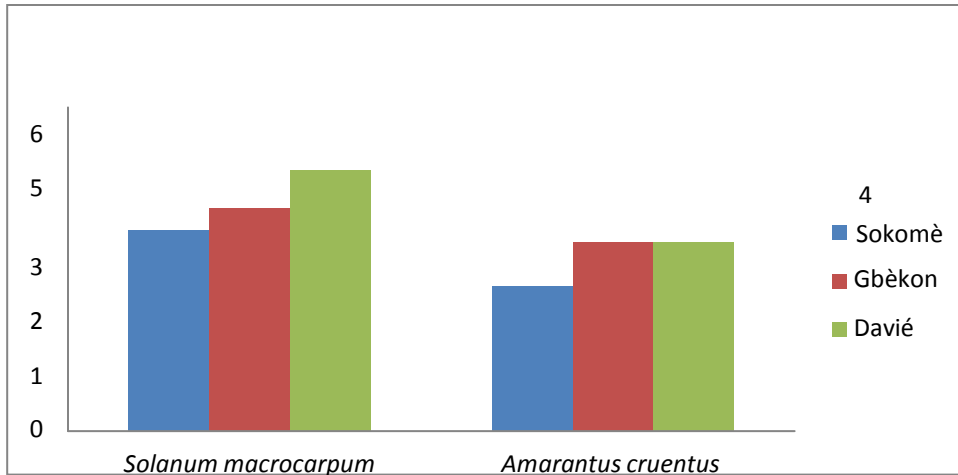


Figure 6 : Teneur en azote dans les légumes (%) de poids sec.

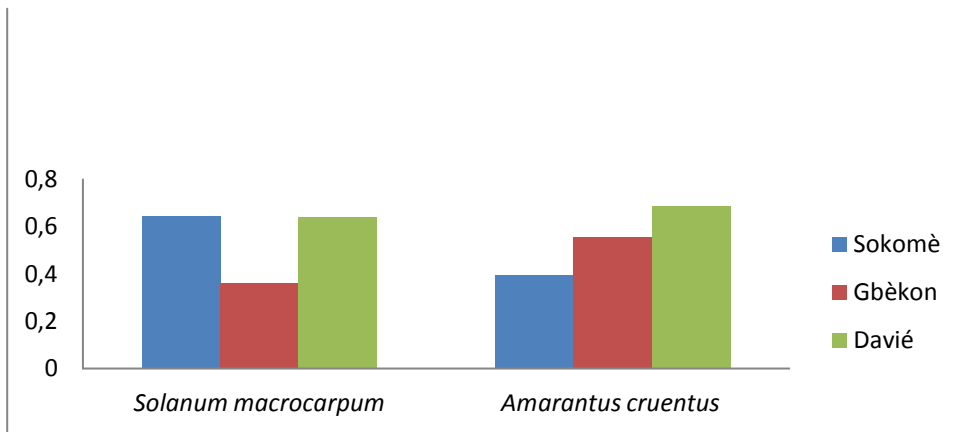


Figure 7 : Teneur en phosphore dans les légumes (%) de poids sec.

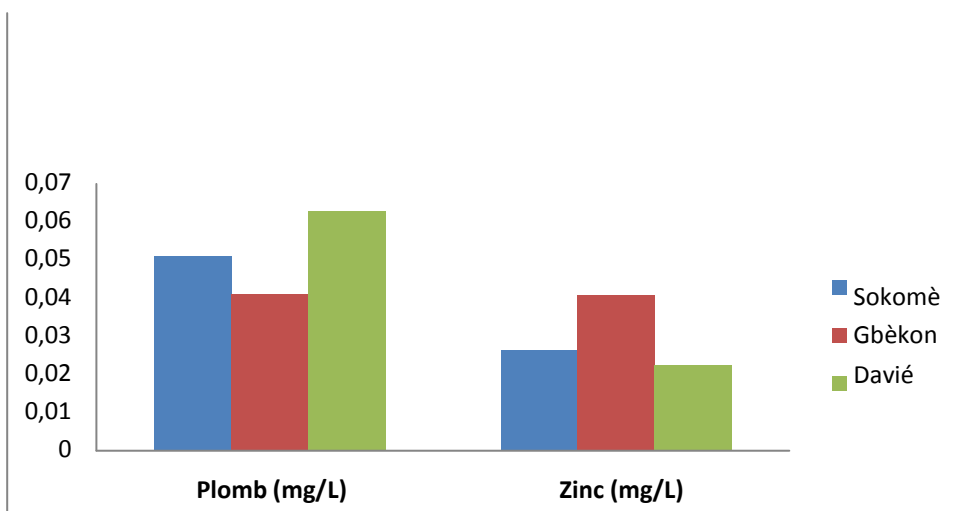


Figure 8 : Concentration en plomb et en zinc dans les eaux (mg/L) sur les différents sites.

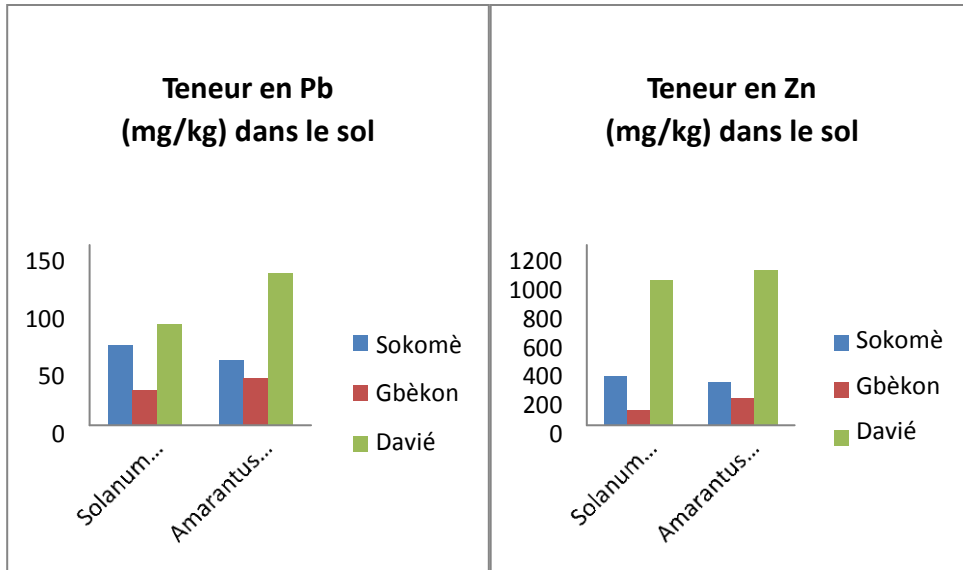


Figure 9 : Teneuren plomb et en zinc du sol (mg/kg) sur les différents sites.

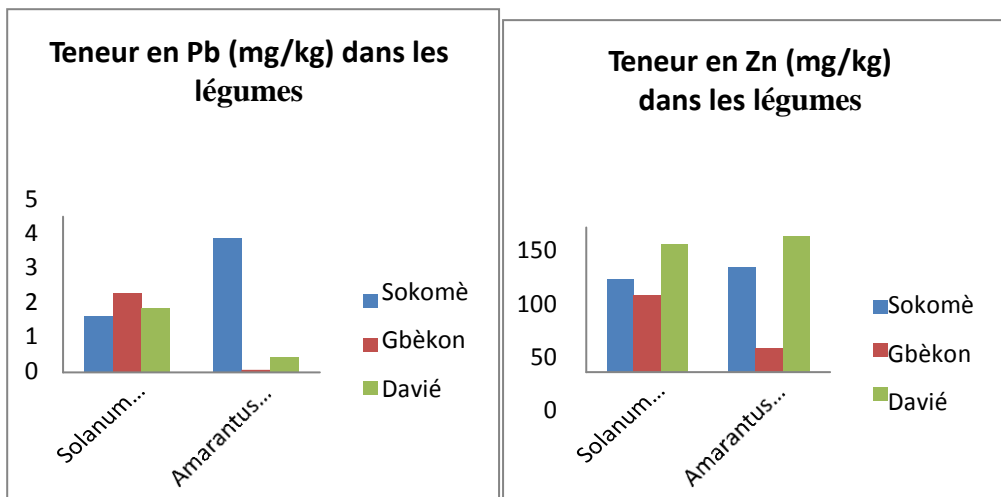


Figure 10 : Teneur en plomb et en zinc (mg/kg) dans les légumes/matière sèche.

Tableau 1 : Facteurs de bioaccumulation des végétaux par rapport à l'eau et au sol.

Localités	Sokomè		Gbèkon		Davié	
	Grande morelle	Amarante	Grande morelle	Amarante	Grande morelle	Amarante
Concentration en métaux lourds (mg/kg)						
Plomb	1,80	4,30	2,53	0,073	2,04	0,48
FBc (eau)	35,26	84,02	61,64	1,78	32,54	7,68
FBc (sol)	0,03	0,08	0,087	0,00	0,024	0,00
Zinc	95,72	108,34	79,11	23,85	132,07	141,20
FBc (eau)	3625	4103	1938	584,46	5869	6275
FBc (sol)	0,29	0,38	0,80	0,13	0,14	0,14

DISCUSSION

Analyse des eaux

En ce qui concerne le pH, les résultats de la Figure 2 montrent que les eaux de Sokomè et de Davié sont légèrement basiques et identiques (7,80) alors que celle de Gbèkon est pratiquement neutre (6,96). À un pH élevé, les métaux ont tendance à former des phosphates et des carbonates minéraux métalliques insolubles, alors qu'à faible pH, ils ont tendance à être considérés comme des espèces ioniques libres ou comme des organométalliques solubles et sont plus biodisponibles donc plus accessibles aux cultures (Twiss et al., 2001 ; Rensing et Maier, 2003 ; Sandrin et Hoffman, 2007).

Les résultats de Davié et Sokomè sont conformes à ceux d'Agbossou et al. (2003) qui ont rapporté que les valeurs de pH issues de l'analyse de cinq puits servant à l'irrigation des cultures sur le site maraîcher de Houéyihò à Cotonou sont comprises entre 7,4 et 8,4.

Pour la température, les valeurs obtenues sur les trois sites sont toutes identiques (29,3 °C). On remarque que la température des eaux est élevée. Cela peut s'expliquer par la localisation des trois sites qui sont situés dans la zone intertropicale où les températures sont en général élevées.

On peut donc déduire, à partir des résultats de la conductivité que, les eaux des sites sont fortement minéralisées (la moyenne est de 772,83 µs/cm). Par conséquent, ces eaux contiennent de fortes teneurs en cations et en anions. La présence des cations dans l'eau pourrait provenir en majorité de l'attaque des roches et des sols par les eaux au cours de leur ruissellement. La forte minéralisation de ces eaux est due, probablement, à la composition géologique des terrains traversés par les eaux.

En ce qui concerne le plomb, la Recommandation Canadienne (CCME, 1999a) pour la qualité des eaux à des fins agricoles, la valeur maximale admise est de 0,2 mg/L, or les résultats des analyses montrent que les concentrations en plomb des eaux des sites sont toutes inférieures à la norme exigée. Il ressort également que l'eau de Davié a une teneur plus élevée (0,06 mg/L) que celle de Sokomè (0,051 mg/L) et de Gbèkon (0,04 mg/L).

Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Dahan (2011) qui a détecté des concentrations en plomb toutes inférieures à 0,01 mg/L dans les eaux utilisées en cultures maraichères dans deux zones du Togo. De même, les études réalisées par Kanda (2011) ont montré que la rivière Zio au Togo contient du plomb à une teneur comprise entre 0,02 à 0,19mg/L. Ces valeurs sont également inférieures à celles obtenues par Chouti et al., (2011) dans les eaux de la lagune de Porto-Novo.

La présence du plomb dans les eaux implique que l'eau d'arrosage constitue une source de pollution pour les légumes. La forte teneur en plomb à Davié peut s'expliquer par le fait que Davié, qui était un bas-fond a dû être remblayé par des ordures ménagères. Ces ordures, après décomposition, s'infiltrent et contaminent la nappe phréatique. Davié est situé à côté d'un collecteur d'eau qui draine les eaux de ruissellement et les eaux usées des environs vers la lagune de Porto-Novo. Ces eaux, après infiltration, peuvent contaminer les eaux utilisées pour l'arrosage des légumes.

Les résultats obtenus pour le zinc sont similaires à ceux de Dahan (2011) qui a obtenu des teneurs de zinc très faibles et indécélabes dans l'eau de surface. Dans le présent travail, la faible teneur de cet élément peut signifier que les légumes ne devraient pas être pollués par l'eau d'arrosage et que la présence éventuelle de cet élément dans l'amarante et la grande morelle serait due à d'autres sources (Gnandi et al., 2008 ; Kanda, 2011).

Analyse du sol

Pour le sol, le pH constitue un facteur dont le rôle est crucial pour la mobilité des ions métalliques, car il influence le nombre de charges négatives pouvant être mises en solution (McLaughlin et al., 2000). Les résultats de notre étude montrent que sur les planches de la grande morelle, Sokomè et Davié ont un pH eau légèrement basique et identique (7,6) et plus élevé que celui de Gbèkon (6,6) qui est légèrement acide. En ce qui concerne les planches de l'amarante, les valeurs du pH eau sont identiques.

Pour la teneur en pH KCl du sol, sur les planches de la grande morelle, il ressort que Davié a un pH élevé (7,5) que celui de Sokomè (7,3) et de Gbèkon (6,6). Sur les planches de l'amarante Davié et Sokomè ont des teneurs identiques (7,1) plus élevées que celle de Gbèkon (6,9). Le pH_{KCl} est donc un pH « théorique » qui permet de connaître l'acidité potentielle du sol. Il correspond au pH « plancher » vers lequel tendent tous les sols à cause du processus d'acidification. Le pH_{KCl} est toujours inférieur au pH eau, l'écart entre les 2 varie de 0 à 0,3 dans le présent travail, donc il s'agit d'une acidité de réserve faible (Thiam, 2012).

Les résultats des travaux sur le dosage de la matière organique (MO) montrent que sur les planches de la grande morelle et de l'amarante, Davié a un taux de MO plus élevé que ceux de Gbèkon et de Sokomè. Le fort taux de MO à Davié peut s'expliquer par le fait que le site est riche en humus qui participe à la vie biologique du sol, par les différents amendements, les débris végétaux (sciure retrouvée sur le site) et animaux (fientes, déjections animales). Cela peut également s'expliquer par la libération du carbone lié à la décomposition des déchets utilisés pour remblayer le site. Un taux élevé du carbone induit une teneur élevée en matière organique.

Le pH joue également un rôle majeur dans le taux de carbone puisqu'une élévation du pH augmente les taux de minéralisation de la matière organique et par-delà les teneurs en carbone, azote et phosphore du sol favorisant l'activité microbienne. Le pH de Davié étant légèrement basique, ceci va favoriser une teneur en carbonates et des formes complexées des métaux les rendant ainsi moins disponibles.

L'analyse de l'azote montre que quelle que soit la planche de la grande morelle ou de l'amarante, Davié a un taux d'azote plus élevé (respectivement 2,9 et 2,5‰) que Gbèkon (2 et 1,7‰) et Sokomè (1,4 et 1,1‰). Le taux élevé constaté au niveau de Davié serait dû au fait que ce site est un bas fond remblayé. Quel que soit le site, la grande morelle a un fort taux d'azote parce qu'elle bénéficie plus d'apport d'urée que l'amarante. Ce qui est confirmé par Assogba-Komlan

et al. (2007) qui ont rapporté que les doses d'urée apportées à la grande morelle font en moyenne deux fois celles appliquées à l'amarante.

La mobilité et la disponibilité du plomb sont induites par les transformations du plomb régies à leur tour par des mécanismes physiques, chimiques (réactions d'oxydo-réduction, d'échanges ionique et de complexation) et biochimiques (biométhylation de dérivés inorganique). Ces mécanismes liés aux conditions du milieu (pH, granulométrie des particules, potentiel redox, courants d'eau, vitesse du vent) peuvent être des déterminants dans la présence et la forme des métaux dans les différents sites étudiés.

En ce qui concerne le plomb, selon les Recommandations Canadiennes pour la qualité du sol agricole, la concentration maximale admise du plomb dans le sol est de 70 mg/kg. Or les résultats de notre étude ont révélé que le dosage des métaux au niveau des planches de la grande morelle et de l'amarante sur les trois sites indique des valeurs toutes inférieures à la norme sauf à Davié (respectivement 83,75 mg/kg et 126,80 mg/kg).

Les teneurs relativement faibles à Gbèkon et à Sokomè laissent présager que la charge critique des sols n'est pas encore atteinte. La comparaison de nos résultats à ceux relevés par Agbossou et al. (2003) dans le sol du site maraîcher de Houéhiyo montre que les sols de nos sites sont plus contaminés en plomb (la moyenne est de 66,61 mg/kg contre 55 mg/kg). La présence de ces métaux peut être attribuable aux contaminations par les piles et bactéries usagées retrouvées dans le compost suite à un mauvais tri à la base avant l'enfouissement.

Les sols des trois sites sont très riches en zinc. La valeur maximale est obtenue à Davié sur la planche de l'amarante (1033 mg/kg de poids sec). Ces teneurs dépassent la valeur maximale admise des Recommandations Canadiennes pour la qualité du sol agricole (200 mg/kg) sauf sur les planches de la grande morelle à Gbèkon (98,5 mg/kg). Ces valeurs, comparées aux valeurs obtenues par Grâce (2010) (480 mg/kg de matière sèche contre 104 mg/kg de matière

sèche en moyenne) et par Yehouenou et al., (2010) (variant de 42 mg/kg à 185 mg/kg sur le site maraîcher de Houéyiho) sont très élevées. Ces valeurs élevées en zinc pour Davié peuvent s'expliquer par un fort taux de zinc contenu dans les ordures ménagères utilisées pour amender le sol et dans les minéraux.

La forte teneur en zinc à Davié peut s'expliquer par le fait que les maraîchers utilisent directement les déchets municipaux collectés pour l'amendement des planches sans tri préalable. En effet, plusieurs études ont montré que les déchets municipaux contiennent des quantités importantes de métaux en général et de zinc en particulier (Adjia et al., 2008; Adefemi et Awokunmi, 2009 ; Awokunmi et al., 2010). La forte présence du zinc dans le sol laisse présager que le sol constitue une source de pollution du zinc pour les légumes feuilles.

En ce qui concerne l'azote des végétaux, au niveau de la grande morelle, Davié a un taux d'azote plus élevé (4,84%) que Gbèkon (4,12%) et Sokomè (3,72%). Ces résultats corroborent ceux obtenus au niveau des sols. Concernant l'amarante, Davié et Gbèkon ont des teneurs en azote identique (3,49%) mais plus élevés que Sokomè (2,69%). On constate sur tous les sites que, la grande morelle présente un taux d'azote plus fort comparé à l'amarante. Ces fortes teneurs d'azote sont dues à la minéralisation de la matière organique des sols sous forme de N disponible pour les plantes. Les résultats obtenus pour le sol des deux cultures sont donc identiques à ceux obtenus pour les végétaux : il existerait donc un lien entre l'azote du sol et celui des plantes.

La présence du phosphore dans les cultures peut s'expliquer par le phosphate contenu dans les engrais phosphatés utilisés dans l'amendement des sols. Les résultats de nos travaux sur le dosage du plomb dans les légumes-feuilles illustrent parfaitement la contamination de ces dernières en révélant leur toxicité résiduelle en métaux.

L'analyse de ces données montre que les teneurs en métaux sont de l'ordre de quelques dizaines à quelques milliers de mg/kg.

Ces résultats démontrent que les légumes-feuilles contiennent des résidus en Pb au-delà des normes du Codex Alimentarius (0,3 mg/kg) sauf dans l'amarante à Gbèkon. Il en ressort, également, que la grande morelle à une grande affinité pour le Pb. Ceci s'explique aisément par la vitesse de croissance élevée de la plante. La forte teneur en plomb à Davié et Sokomè sont conformes à ceux de Yehouenou et al., (2010) qui ont démontré que la teneur en plomb dans l'amarante hybridus sur le site maraîcher de Houéyiho varie de 1,4 mg/kg à 4,8 mg/kg. En ce qui concerne ceux révélés par Agbossou et al. (2003) dans les produits maraîchers de Houéyiho, les légumes-feuilles de la présente étude sont moins contaminés. La présence des métaux s'explique par leur présence dans l'eau d'arrosage qui, d'après le facteur de bioconcentration par rapport aux légumes-feuilles est élevé, démontre que les plantes accumulent plus les métaux par l'eau que par le sol. Elle pourrait s'expliquer des composts à forte toxicité résiduelle, à l'utilisation anarchique des produits phytosanitaires.

Le dosage du zinc montre que dans la grande morelle, Davié a la plus forte teneur (132 mg/kg) que Sokomè (95,7 mg/kg) et Gbèkon (79,1 mg/kg). Au niveau de l'amarante, Davié a le plus fort taux en zinc (141,20 mg/kg) que Sokomè (95,72 mg/kg) et Gbèkon (23,85 mg/kg). Ces valeurs sont très supérieures à celle requise par la norme du Codex Alimentarius (5 mg/kg). Les teneurs à Sokomè et Gbèkon sont supérieures à celles obtenues par Ondo et al. (2013) dans la région de Moanda (Gabon). Ces résultats comparés à ceux de Yehouenou et al. (2010) dans l'*Amaranthus hybridus* (185 mg/kg) montrent que les légumes de notre étude sont moins contaminés en zinc. La forte concentration en zinc de nos légumes peut s'expliquer par la forte teneur du sol en zinc et par la forte affinité du zinc pour ces légumes qui, ayant un grand indice foliaire, se développeront à un flux de transpiration élevé qui engendrera un pouvoir d'extraction racinaire élevé, d'où un risque plus accentué de contamination. Ces résultats sont conformes à ceux de Ondo et al., (2012) qui a montré que la plante d'*Amaranthus*

cruentus peut accumuler des concentrations élevées de Zn si le sol sur lequel elle est cultivée contient des niveaux Zn modérément plus élevés.

Les métaux sont des polluants particulièrement toxiques pour la santé humaine. Cette toxicité est renforcée par un phénomène d'assimilation et de concentration dans l'organisme qu'on appelle la bioaccumulation (Grâce, 2010). On estime que des végétaux stockent environ 1% des métaux présents dans l'horizon de surface (Liu et al., 2004). La consommation de ces légumes riches en métaux constitue un risque de santé publique tels que de violentes coliques, anémie, déficiences intellectuelles, enfants vulnérables (saturnisme). Elle peut aussi provoquer des crampes d'estomac ; des irritations de la peau, des vomissements, des nausées, de l'anémie. De très forts taux de zinc peuvent endommager le pancréas et perturber le métabolisme des protéines et provoquer l'artériosclérose. Une exposition intensive au chlorure de zinc peut provoquer des désordres respiratoires (Dahan, 2011).

Facteur de bioaccumulation

Les facteurs de bioaccumulation entre le sol et les végétaux sont inférieurs à 1, ce qui est contraire aux résultats de Prudent et al. (2014). En comparant les FBC (eau) et FBC (sol) dans les différents métaux, il en résulte que le FBC du zinc est supérieur à celui du plomb. Il apparaît donc que par rapport à la biodisponibilité de chacun des métaux dans l'eau et dans le sol, les légumes-feuilles ont tendance à accumuler relativement beaucoup plus de zinc que de plomb. Ces résultats sont conformes à ceux de Ogunkunle et al. (2015).

Conclusion

La grande morelle « *Solanum macrocarpum* » et l'amarante « *Amaranthu scruentus* » sont les deux principaux légumes feuilles traditionnels les plus cultivés et consommés au Sud Bénin. Cette étude qui s'est focalisée sur ces deux spéculations maraichères, a permis de montrer que les eaux utilisées pour la production des légumes, le sol et les légumes présentent une forte

contamination en plomb et en zinc. L'analyse des légumes feuilles a prouvé que selon les normes du Codex Alimentarius, ces légumes sont fortement contaminés en plomb et en zinc et constituent un risque de santé publique. Cette pollution est liée aux différents amendements des sols (compost à forte teneur résiduelle, débris végétaux et animale). A cela s'ajoute l'usage anarchique des substances chimiques de synthèse qui conduise à une forte toxicité des spéculations maraichères. Il est donc urgent, pour des raisons de santé publique, de veiller à la qualité des eaux utilisées pour la production des légumes, du sol; de suivre, de façon continue, la qualité des légumes -feuilles, en vue de mettre en place un système d'avertissement et d'alerte.

REFERENCES

- Adefemi SO, Awokunmi EE. 2009. The impact of municipal solid waste disposal in Ado-Ekiti metropolis, Ekiti-State, Nigeria. *Afr. J. Environ. Sci. Tech.*, **3**(8): 186-189.
- Adjia R, Fezeu WM, Tchatchueng JB, Sorho S, Echevarria G, Ngassoum MB. 2008. Long term effect of municipal solid waste amendment on soil heavy metal content of sites used for periurban agriculture in Ngaoundere, Cameroon. *Afr. J. Environ. Sci. Techn.*, **2**(12): 412-421.
- Adorgloh-Hessou R. 2006. Guide pour le développement de l'entreprise de production et de commercialisation de légumes de qualité dans les régions urbaines et périurbaines du Sud-Bénin. Rapport de consultation, IITA - Bénin, 86p.
- Agbossou KE, Sanny MS, Zokpodo B, Ahamide B, Guedegbe HJ. 2003. Evaluation qualitative de quelques légumes sur le périmètre maraîcher de Houéyiho, à Cotonou au sud-Bénin. *Bulletin de Recherche Agricole*, **42** : 12p.
- Ahadjitse NK. 1991. Contribution à l'étude chimique des eaux souterraines de la région de Kévé. Mémoire de Technicien Supérieur en Génie Sanitaire, 74 p.

- Assogba-Komlan F, Anihouvi P, Achigan E, Sikirou R, Boko A, Adjé C, Ahle V, Vodouhe R, Assa A. 2007. Pratiques culturales et teneur en éléments nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au Sud du Bénin, 21p.
- Atidegla C, Agbossou K, Huat J, Glele Kakai R. 2011. Contamination métallique des légumes des périmètres maraichers urbains et péri urbains : Cas de la commune de Grand-Popo au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(6): 2351-2361.
- Awokunmi EE, Asaolu SS, Ipinmoroti KO. 2010. Effect of leaching on heavy metals concentration of soil in some dumpsites. *Afr. J. Environ. Sci. Technol.*, **4**(8): 495-499.
- CAC (Codex Alimentarius Commission). 1995. Doc. N° CX/FAC 96/17. Joint FAO/WHO food standards programme. Codex general standard for contaminants and toxins in food.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 1999a. Recommandations Canadiennes pour la qualité des eaux à des fins agricoles. 1987. Environnement et santé humaine — plomb (1999), dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1987, Winnipeg, le Conseil.
- CCME (Conseil canadien des ministres de l'environnement). 1999b. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine — zinc (1999), dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1999, Winnipeg, le Conseil.
- Chouti W, Mama D, Alapini F. 2010. Etude des variations spatio-temporelles de la pollution des eaux de la lagune de Porto-Novo (sud Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(4): 1017-1029.
- Dahan LS. 2011. Problématique des eaux utilisées en agriculture maraichère dans deux zones du Togo. Mémoire de master international / Spécialité : Environnement Eau et santé. Décembre 2011, 58p.
- Gnandi K, Tozo K, Etorh AP, Abi H, Agbeko K, Amouzouvi K, Baba G, Tchangbédji G, Killi K, Bouchet P, Akpagana K. 2008. Bioaccumulation de certains éléments métalliques dans les produits maraichers cultivés sur les sols urbains le long de l'autoroute Lomé-Aného, sud Togo. *Acta Bot. Gallica*, **155**(3): 415-426.
- Grâce CD. 2010. Contribution à l'amélioration de la qualité des cultures maraichères du site de Houeyiho à Cotonou au Bénin : cas de la laitue (*Lactuca sativa* L.). Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement.
- Houkpodoté MR, Tossou CC. 2001. Profil des interactions entre la problématique foncière et le développement de l'agriculture urbaine dans la ville de Cotonou et environs. Cotonou, Bénin, Chambre d'Agriculture du Bénin, rapport. 81 p.
- Kanda M. 2011. Agriculture maraichère au Togo : analyse systématique et environnementale, thèse d'agrobiodiversité et environnement, Université de Lomé ; 153p.
- Liu C, Mao XL, Mao SS, Zeng X, Greif R, Russo RE. 2004. Nanosecond and femtosecond laser ablation of brass: Particulate and ICPMS measurements. *Anal. Chem.*, **76**: 379-383. DOI: 10.1021/ac035040a
- McLaughlin MJ, Zarcinas BA, Stevens DP, Cook N. 2000. Soil testing for heavy metals. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **31** : 1661-1700.
- MCVDD (Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable). 2016. Rapport National du Bénin pour HABITAT III à QUITO (Equateur) – 2016.
- Naidu R, Kookana R, Sumner M, Harter R, Tiller K. 1997. Cadmium sorption and transport in variable charge soils: A review. *Environ. Qual.*, **26**: 602-617.
- Ogunkunle CO, Abdul MZ, Faderera E, Paul OF. 2015. Bioaccumulation and associated dietary risks of Pb, Cd, and Zn in amaranth (*Amaranthus cruentus*) and jute mallow (*Corchorus solitorius*) grown on soil irrigated using polluted water from Asa River, Nigeria. *Environ Monit Assess*, **187**: 281. DOI:10.1007/s10661-015-4441-6
- Ondo JA, Biyogo RM, François E, Prudent P, Daniel F, Ollui-Mboulou M and Omva-

- Zue J. 2013. Accumulation of soil-borne aluminium, iron, manganese and zinc in plants cultivated in the region of Moanda (Gabon) and nutritional characteristics of the edible parts harvested. *J. Sci Food Agric*, **93**(10): 2549-2555. DOI: 10.1002/jsfa.6074.
- Ondo JA, Biyogo RM, Mebale AA, Eba F. 2012. Pot experiment of the uptake of metals by *Amaranthus cruentus* grown in artificially doped soils by copper and zinc. *Food Science and Quality Management*, **9**: 28-33.
- Prudent P, Ndong RO, Abogo AM, Vassalo L, Demelas C, Mewono L, Ondo JA, 2014. Metal Accumulation in *Amaranthus cruentus* Cultivated on Different Systems of Tropical Urban Gardens. *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)*, **2**(8): 480-486.
- Rattan RK, Datta SP, Chhonkar PK, Suribabu K, Singh AK. 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-a case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **109**: 310–322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.02.025>
- Rensing C, Maier R. 2003. Issues underlying use of biosensors to measure metal bioavailability. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **56**: 140–147.
- Sandrin TR, Hoffman DR. 2007. Bioremediation of organic and metal co-contaminated environments: Effects of metal toxicity, speciation, and bioavailability on biodegradation. *Environ. Bioremed. Technol.*, 1–34.
- Sanny MS. 2002. Contribution à l'amélioration des rendements et de la qualité des cultures maraîchères (détection de biocontaminants et agents toxiques) : cas du périmètre maraîcher de Houéyiho à Cotonou. Mémoire d'ingénieur des Travaux APE/CPU/UNB/Bénin. 102p.
- Senou I, Gnankamary Z, Some A, Sedogo M, 2012. Phytoextraction du cadmium, du cuivre, du plomb et du zinc par *Vetiveria nigritana* en sols ferrugineux tropicaux et en sols vertiques au Burkina Faso (Afrique de l'ouest). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(4): 1437-1452.
- Soclo HH, Aguewe M, Adjahossou BC, Hougue T, Azontonde AH. 1999. Recherche de compost type et toxicité résiduelle au Bénin. TSM, n°9, septembre 1999. 94e année. pp 68 -76.
- Thiam A. 2012. Étude de la flore vasculaire, de la végétation et des macrophytes aquatiques proliférants dans le delta du fleuve Sénégal et le lac de Guiers (Sénégal). Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal).
- Twiss MR, Errecalde O, Fortin C, Campbell PGC, Jumarie C, Denizeau FE, Hale B, Van RK. 2001. Coupling the use of computer chemical speciation models and culture techniques in laboratory investigations of trace metal toxicity. *Chem. Spec. Bioavailab.*, **13** : 9–24.
- Walkley A, Black A. 1934. Etude de la méthode DEGTJAREFF pour le dosage de la matière organique, modification apportée au dosage de l'acide chromique. *Soil Science*, **37**: 29-38.
- Yehouenou Pazou EA, Soton A, Azocli D, Acakpo H, Boco M, Fourn L, Houinsa D, Keke J-C, Fayomi B. 2010. Contamination du sol, de l'eau et des produits maraîchers par des substances toxiques et des métaux lourds sur le site de Houéyiho (Cotonou) en République du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(6) : 2160-2168.
- Yehouenou Pazou EA, Soton A, David Azocli D, Acakpo H, Lawin H, Boko M, Houinsa D, Keke J. 2013. Maraîchage et affections digestives sur le site de Houéyiho en République du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(5): 1976-1986.