

EVALUATION DES TENEURS DE QUELQUES PARAMETRES CHIMIQUES SUR LA QUALITE NUTRITIVE DE *Ipomoea batatas* (PATATE DOUCE) ET *Zea mays* (MAÏS) CULTIVEES DANS LES ZONES HUMIDES DES RIVIERES KAMBO ET LONGMAYAGUI (DOUALA)

[EVALUATION OF THE CONTENTS OF SOME CHEMICAL PARAMETERS ON THE NUTRITIONAL QUALITY OF *Ipomoea batatas* (SWEET POTATO) AND *Zea mays* (CORN) GROWN IN THE WETLANDS OF KAMBO AND LONGMAYAGUI RIVERS (DOUALA)]

Marie Louise BA'ANA ETOUNDI¹, Gildas Parfait NDJOUONDO², Roland Didier NWAMO⁴, Henri FANKEM², and Siegfried Didier DIBONG²⁻³⁻⁴

¹Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Douala, B.P. 3132 Douala, Cameroon

²Département de Biologie des Organismes Végétaux, Faculté des Sciences, Université de Douala, B.P. 24157 Douala, Cameroon

³Département des Sciences Pharmaceutiques, Faculté de Médecine et des Sciences Pharmaceutiques, B.P. 2701 Douala, Cameroon

⁴Département d'Aquaculture, Institut des Sciences Halieutiques, B.P. 2701 Douala, Cameroon

Copyright © 2017 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: Toxic metals have a polluting with toxic to living organisms even at low concentrations. The overall objective of the study is to determine the impact of some pollutants on the nutritional quality of corn (*Zea mays*) and potato (*Ipomoea batatas*) grown mainly in wetlands of Kambo and Longmayagui rivers. Nitrates, phosphates, cadmium and lead were measured in water and in different corn and potato organs grown in the swampy fields Yassa and Arir with 3 repetitions, respectively. The results obtained show that plants produce fields have chlorosis and necrosis and a yellowing of the leaves. Potato tubers rot and show clearly are not consumables. Ears of corn obtained are big but have some spaced seeds. The cadmium content is high in corn seeds 0.10 ± 0.02 mg/kg dry matter and corn tuber 0.08 ± 0.09 mg/kg of dry matter. This content is greater than the tolerance in humans from 0.005 mg/kg dry matter. The lead content is high in the potato tuber 35.00 ± 0.03 mg/kg dry matter and corn 17.00 ± 0.00 mg/kg dry matter. These lead levels are high the threshold of tolerance in different organs of these plants to the standard of 0.05 mg/kg of dry matter. The nitrate and phosphate are higher in potato roots and corn stalks in relation to other organs. The finding of very advanced level of degradation of wetlands Douala directly affecting the nutritional quality of crops shows that it would be desirable that people and governments aware of the pollution on health over the poor quality of products consumer cultures of these lowlands.

KEYWORDS: Toxic metals, potato, corn, wetlands, Kambo, Longmayagui.

RESUME: Les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à de faibles concentrations. L'objectif général de l'étude est de déterminer l'impact de certains polluants sur la qualité nutritive du maïs (*Zea mays*) et de la patate (*Ipomoea batatas*) cultivés majoritairement dans les zones humides des rivières Kambo et Longmayagui. Les nitrates, phosphate, cadmium et plomb ont été mesurés dans l'eau et dans les différents organes de maïs et de patate cultivés dans les champs marécageux à Yassa et Arir respectivement avec 3 répétitions. Les résultats obtenus

montrent que les plantes des champs de culture présentent des chloroses et des nécroses ainsi qu'un jaunissement des feuilles. Les tubercules de patate montrent des pourritures et ne sont visiblement pas consommables. Les épis de maïs obtenus sont gros mais présentent quelques graines espacées. Les teneurs sont au-delà du seuil de toxicité en cadmium chez l'homme (norme $\leq 0,005$ mg/kg) de $0,1 \pm 0,02$ mg/kg dans les graines de maïs et $0,08 \pm 0,09$ mg/kg dans le tubercule de patate. Les teneurs en plomb sont au-delà du seuil de toxicité chez l'homme (norme entre 0,05-0,5 mg/kg) de $17 \pm 0,00$ mg/kg dans les graines de maïs et $35 \pm 0,03$ mg/kg dans les tubercules. Le niveau de pollution très avancé des zones humides de Douala affecte directement la qualité nutritive des plantes cultivées et montre qu'il serait souhaitable que les populations et les pouvoirs publics prennent conscience des conséquences de ces pollutions sur la santé humaine.

MOTS-CLEFS: métaux toxiques, patate, maïs, Zones humides, Kambo, Longmayagui.

1 INTRODUCTION

Les métaux toxiques ont un caractère polluant avec des effets toxiques pour les organismes vivants même à faible concentration. Ils n'ont aucun effet bénéfique connu pour la cellule. C'est le cas du plomb (Pb), du mercure (Hg), du cadmium (Cd). Certains métaux essentiels sont indispensables à l'état de trace pour de nombreux processus cellulaires et qui se trouvent en proportion très faible dans les tissus biologiques. Certains peuvent devenir toxiques lorsque la concentration dépasse un certain seuil. C'est le cas du cuivre (Cu), du nickel (Ni), du zinc (Zn), du fer (Fe) [15]. 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 : en agriculture par l'application de boues d'épuration 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 [35]. Certaines plantes peuvent accumuler de grandes quantités de métaux lourds [25], [29], [30]. Au cours des décennies dernières, l'apport de métaux lourds au sol dans le monde s'est étendu. A l'heure actuelle il est estimé à 22 000 t de cadmium, 939 000 t de cuivre, 783 000 t de plomb, et 1 350 000 t de zinc [32]. Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation des flux de métaux, sont la pollution atmosphérique (rejets urbains et industriels), la pollution liée aux activités agricoles et la pollution industrielle. La pollution atmosphérique résulte des activités industrielles (rejets d'usine) et urbaines (gaz d'échappement). Il faut distinguer les apports diffus aériens d'origine lointaine des apports massifs localisés d'origine proche. Dans les apports diffus sont classés les poussières et aérosols provenant des chauffages ainsi que des moteurs d'automobiles. Les apports massifs localisés résultent d'apports anthropiques accidentels liés aux activités industrielles sans protection efficace contre la dispersion dans l'environnement [13], [1]. Certaines pratiques agricoles sont à l'origine de l'introduction de métaux lourds dans le sol. Les produits destinés à améliorer les propriétés physico-chimiques du sol sont souvent plus riches en métaux lourds que le sol lui-même par exemple les engrais, les composts et les boues de station d'épuration [28]. La pollution industrielle provient des usines de production de l'activité humaine telles que les matières organiques et graisses (industries agro-alimentaires), les produits chimiques divers (industries chimiques) et la métallurgie [10]. Les déchets miniers et les terrils industriels sont une source particulièrement importante de pollution par le zinc, le plomb et le cadmium. Le rôle des pratiques industrielles et agricoles dans la contamination des sols doit être pris en compte au Cameroun, car l'accumulation et le transfert des métaux lourds constituent un risque pour la santé humaine via la contamination de la chaîne alimentaire, mais aussi pour le milieu naturel dans son ensemble [2]. La ville de Douala est identifiée aujourd'hui comme un lieu de concentration humaine où les impératifs liés aux développements industriel et agricole menacent les hydrosystèmes des bas fonds marécageux. Les riverains démunis de ces bas fonds pratiquent l'agriculture à des fins commerciales et de subsistance. Ces zones sont soumises aux pollutions qui impactent directement la croissance et le rendement des cultures et indirectement la santé humaine par l'accumulation des métaux lourds dans les tissus de l'organisme.

L'objectif général de l'étude est d'évaluer l'impact de certains polluants sur la qualité nutritive du maïs et de la patate cultivés dans les sous bassins versants de Kambo et Longmayagui. Les objectifs spécifiques de l'étude sont de : faire une analyse des teneurs en nitrates, phosphate, cadmium et plomb des eaux des champs de maïs et de patate ; évaluer les teneurs en nitrates, phosphate, cadmium et plomb dans des racines, des tiges, des feuilles de maïs et de patate ainsi que des graines de maïs cultivées dans la zone d'étude.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

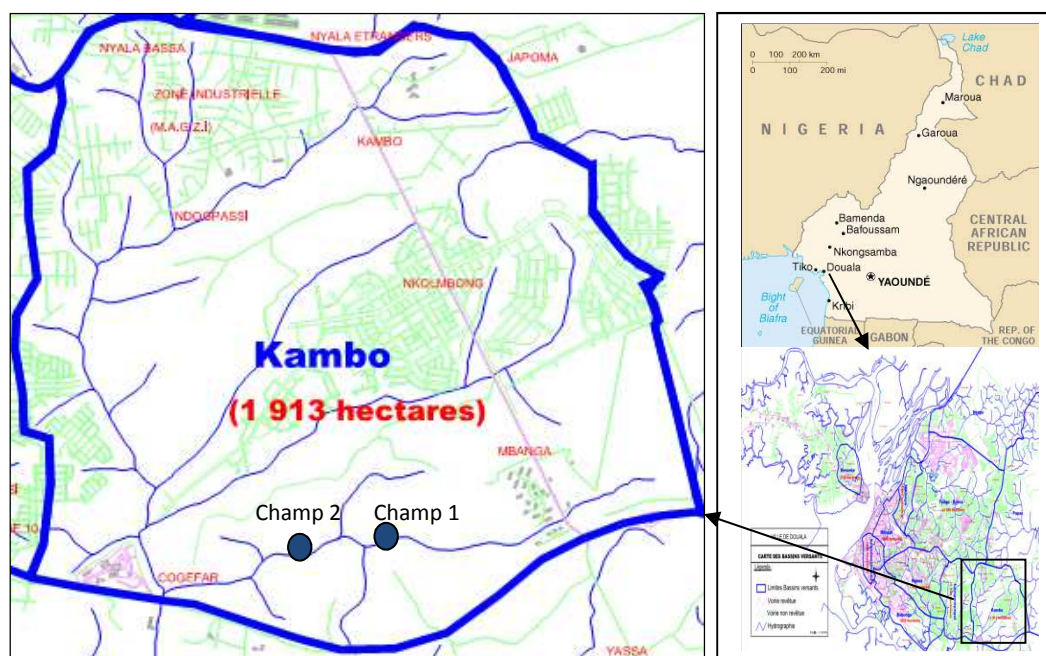
La ville de Douala est subdivisée en 11 sous bassins versants [23]. La région étudiée fait partie de la zone à climat équatorial côtier nord. La température moyenne annuelle est de 26,4 °C. Les précipitations montrent que Douala est pluvieux avec des précipitations s'étendant sur 9 mois. Ces précipitations moyennes annuelles sont de 360,83 mm. L'humidité moyenne annuelle de l'air est de 78,3 %. L'évaporation moyenne annuelle est de 50,6 %. L'insolation moyenne annuelle est de 109,6 %. Le vent dominant est porteur de la mousson [23]. L'étude s'est déroulée dans deux champs de culture situés dans le sous bassin versant Kambo (Figure 1). Kambo couvre le quartier Yassa (amont, exposé aux pollutions agropastorales), Arir (milieu) et Cogefar (aval) exposés aux pollutions par les déchets ménagers et les huiles de vidange des moteurs.

2.2 ECHANTILLONNAGE DE L'EAU DES CHAMPS

Un volume d'eau connu (500 ml) a été prélevé entre 7 h et 11 h dans chaque champ par des bocaux en polyéthylène, conservés au frais et à l'obscurité pour dosage des nitrates, phosphates, cadmium et plomb au laboratoire des eaux de l'IRAD de Nkolbisson (Yaoundé).

2.3 ECHANTILLONNAGE DES PLANTES

Des plantes de patate et de maïs ont été récoltées dans la zone d'étude dans 2 champs marécageux à yassa et Arir respectivement (3 répétitions par espèce). Elles ont été arrachées jusqu'aux racines, découpées et transportées au laboratoire de Biologie et Physiologie des Organismes Végétaux de l'Université de Douala. Elles ont été lavées soigneusement à de l'eau de robinet. Les différentes parties ont été isolées (racines, tiges, feuilles et graines), rincées à de l'eau distillée, étiquetées et conservées au frais dans une glacière pour analyse des teneurs en nitrates, phosphates, cadmium et plomb à l'IRAD de Nkolbisson (Yaoundé) (Figure 2).



Légende :

● Champs de culture.

Figure 1. Carte des rivières montrant les stations d'échantillonnage



Figure 2. Différentes parties des plantes récoltées pour dosage quantitatif des métaux lourds : a) racines, b) tiges, c) feuilles, d) épis de maïs, e) tubercule, f) tige et feuilles de patate.

2.4 METHODES DE DOSAGE DES PARAMETRES CHIMIQUES DE L'EAU

2.4.1 PHOSPHATES

La mesure est effectuée au laboratoire par la méthode molybdovanate à partir du spectrophotomètre. Il est ajouté à chaque échantillon 1 ml du réactif molybdovanate ainsi qu'à de l'eau distillée qui constitue ici le témoin dans le cas où les molécules d'orthophosphates sont présentes. Ces dernières réagissent avec le molybdate en milieu acide pour donner le complexe phosphomolybdate dont la couleur jaune est fonction de la concentration en phosphates dans le milieu. A partir du spectrophotomètre de Hach DR/2010, il est obtenu par lecture la teneur en orthophosphates (PO_4^{3-}). La teneur en phosphore est obtenue en divisant les résultats par 3,07.

2.4.2 NITRATES

La mesure des ions nitrates se fait au laboratoire par la méthode de cadmium réduction à partir du spectrophotomètre. Les ions nitrates présents dans le milieu sont réduits en ions nitrites par le réactif Nitro Ver 5 Nitrates. Les ions nitrites en présence de l'acide sulfanilique réagissent et donne un sel appelé diazonium qui s'additionne à l'acide gentisique pour donner en NO_3^- . La concentration en nitrates est obtenue en multipliant cette valeur par 4,4.

2.4.3 PLOMB ET CADMIUM

La détermination du plomb et du cadmium est faite après minéralisation préalable des échantillons. Suivant la gamme de concentration suspectée, 20 à 40 ml des échantillons sont transférés dans les fioles Digesdhal ; 3 ml d'acide sulfurique y sont

ajoutés. La manipulation se fait sous hotte avec des lunettes de protection. La température de minéralisation est réglée à 440 °C. Le poids est placé sous la fiole puis sur la colonne de fractionnement. L'ensemble est porté à ébullition sur la plaque chauffante. A l'échantillon carbonisé par l'entonnoir de la colonne de fractionnement sont ajoutées 10 ml d'eau oxygénée à 50 %. L'excès d'eau oxygénée est évaporé et la colonne de fractionnement retirée. Le minéralisat est refroidi et dilué à de l'eau distillée. Le réactif utilisé est le Dithiver qui, pour les métaux est une forme stable de Dithizone. La mesure des deux métaux lourds se fait au laboratoire par la méthode de dithizone à partir du spectrophotomètre H/2010. Pour chacun des deux métaux, le volume à analyser est mis dans une fiole jaugée de 250 ml. Le pH est ajusté, le volume est complété à 250 ml puis mis dans une ampoule à décanter où est ajouté le tampon citrate.

Pour le plomb, les ions Pb en solution basique réagissent avec le Dithiver pour former le complexe plomb-dithizone. Du Dithizone y est ajouté puis, du NaOH 5N. L'agitation avec incorporation goutte à goutte de NaOH permet de passer du bleu-vert à l'orange. L'ajout d'une pincée de sel de cyanure, puis l'agitation aboutit à l'obtention de deux phases : une phase claire et une phase orange. Le coton placé à l'extrémité du ballon permet de recueillir la première phase dans une fiole de 25 ml qui est placée au conductimètre. La valeur du plomb est obtenue par la formule :

Plomb total (mg/l) = $\frac{Ax25}{BxC}$, où A est la lecture en mg de l'appareil, B le volume en ml de l'échantillon et C le volume en ml du minéralisat.

Pour le cadmium, le réactif Dithiver réagit avec les ions Cd²⁺ en solution pour donner le dithizonate de cadmium, complexe de couleur rose-rouge pouvant être extrait par le chloroforme. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la quantité de Cd²⁺ dans le milieu. De l'hydroxyde de sodium y est ajouté suivi après agitation d'une pincée de cyanure de potassium et du Dithizone. Ensuite, il faut insérer du coton au bout du ballon, faire couler la fraction située au fond dans une fiole de 25 ml et le passer au spectrophotomètre Hach. La valeur du cadmium est obtenue par la formule :

Cadmium total (mg/l) = $\frac{Ax25}{BxC}$, où A est la lecture en mg de l'appareil, B le volume en ml de l'échantillon et C le volume en ml du minéralisat.

2.5 METHODES DE DOSAGE DES PARAMETRES CHIMIQUES DES PLANTES

2.5.1 CADMIUM ET PLOMB

Les concentrations des métaux lourds dans les différents extraits ont été mesurées par couplage inductif spectrométrique d'émission optimale en utilisant un appareil Jobin-Yvon JY24. Les longueurs d'ondes ont été choisies par la fonction de profil pour donner la plus haute sensibilité pour chaque élément sans interférence. Les analyses quantitatives ont été réalisées en utilisant des courbes d'étalonnage dans des gammes de concentrations appropriées avec des solutions certifiées plasmaCAL standard mono-élémentaire. Tous les calibrages standards ont été préparés de la même matrice, utilisés pour les extraits. Les limites de détection ont été de 0,06 et 2,05 µg.l⁻¹ respectivement pour le cadmium et le plomb. Pour vérifier les précisions d'analyse, des échantillons choisis au hasard (environ 20 % du nombre total) ont été mesurés en 3 exemplaires. L'écart type relatif était régulièrement entre 1 et 8 %, et jamais supérieur à 10 % pendant l'ensemble du processus de préparation et d'analyse de l'échantillon. Une attention particulière a été prise pour minimiser les contaminants de l'air, de la verrerie et les réactifs qui étaient tous de qualité analytique.

2.5.2 NITRATES ET PHOSPHATES

Les échantillons ont été digérés et analysés pour les nitrates et phosphates contenus dans les extraits par plasmaCAL à couplage inductif. Les matériaux de référence certifiée de plantes utilisées pour assurer la précision de la méthode analytique et les témoins ont également été inclus dans les lots de digestion.

2.6 ANALYSES STATISTIQUES

Les données obtenues ont été traitées au logiciel SPSS version 10.0. Microsoft Office Excel 2010 a été utilisé pour le calcul des erreurs types, des écart-types ainsi que la représentation des histogrammes. Ces données sont présentées en termes de moyennes et d'écart-types. La comparaison multiple des groupes a été effectuée par le test paramétrique de one way ANOVA et le test-T de Student grâce au logiciel Past 3.02a. Les différences ont été considérées significatives pour p < 0,05.

3 RÉSULTATS

3.1 ASPECT MORPHOLOGIQUE DES DIFFÉRENTES PLANTES RECOLTEES DANS LA ZONE D'ÉTUDE

Les feuilles de maïs observées dans le champ de culture sont atteintes de nécroses et de chloroses. Ces plantes ont des épis gros mais présentant seulement quelques graines (Figure 3). Les feuilles de patate sont perforées présentant des tâches jaunes. Les tubercules de patate obtenus sont atteints de nécroses et sont de qualité douteuse. Ces tubercules présentent des pourritures et ne sont visiblement pas comestibles.



Figure 3. Aspect morphologique de tubercule de patate et d'épis de maïs.

3.2 PARAMETRES CHIMIQUES DE L'EAU DANS LES CHAMPS

Les teneurs en nitrates et phosphates sont élevées dans les champs de patate et de maïs, et faibles en cadmium et plomb. Le champ de patate présente des valeurs élevées en nitrates, phosphates, cadmium et plomb respectivement de $14,24 \pm 1,06$ mg/l, $20,24 \pm 2,23$ mg/l, $0,05 \pm 0,01$ mg/l et $0,32 \pm 0,01$ mg/l comparativement au champ de maïs de $7,71 \pm 0,52$ mg/l, $18,23 \pm 0,14$ mg/l, $0,02 \pm 0,02$ mg/l et $0,12 \pm 0,00$ mg/l (Tableau 1).

Tableau 1 : Moyenne des concentrations des paramètres chimiques mesurés dans les champs de patate et maïs.

Sites		Concentrations en paramètres chimiques (mg/l)			
		Nitrates	Phosphates	Cadmium	Plomb
Champs	Patate	$14,24 \pm 1,06$	$20,24 \pm 2,23$	$0,05 \pm 0,01$	$0,32 \pm 0,01$
	Maïs	$7,71 \pm 0,52$	$18,23 \pm 0,14$	$0,02 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,00$

3.3 TENEUR EN CADMIUM DANS LES PLANTES

Chez le maïs, la teneur en cadmium varie significativement suivant les organes de $0,09 \pm 0,02$ mg/kg dans la tige à $0,12 \pm 0,01$ mg/kg dans les racines (Figure 4a). Elle est variable chez la patate de $0,08 \pm 0,09$ mg/kg dans le tubercule à $0,17 \pm 0,01$ mg/kg dans les feuilles sans différence significative entre la feuille et la tige (Figure 4b).

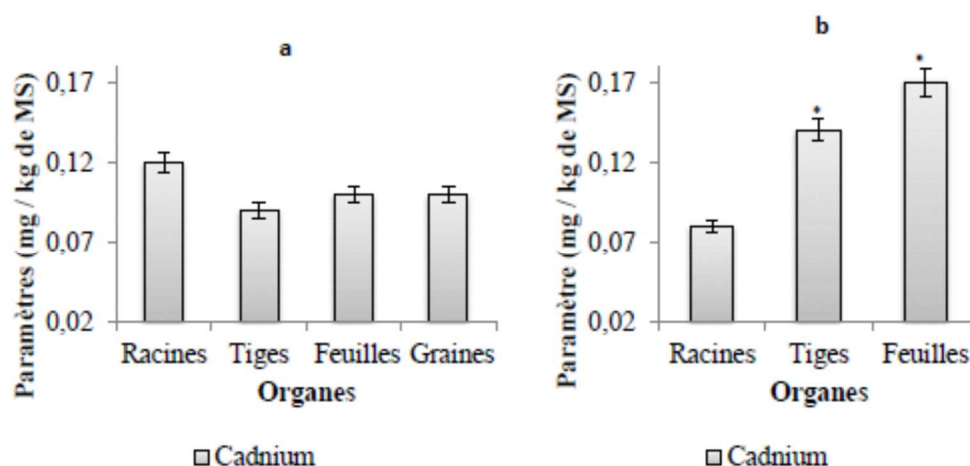


Figure 4. Répartition des organes en fonction de la teneur en cadmium : a) maïs b) patate ($p < 0,05$, *différence significative).

3.4 TENEUR EN PLOMB DANS LES PLANTES

La teneur en plomb varie dans les organes de maïs de $22 \pm 0,01$ mg/kg dans les feuilles à $14 \pm 0,00$ mg/kg dans les racines sans différence significative entre la tige et les feuilles (Figure 5a). Cette teneur est significativement décroissante dans les organes de patate de $35 \pm 0,03$ mg/kg dans le tubercule à $22 \pm 0,01$ mg/kg dans les feuilles (Figure 5b).

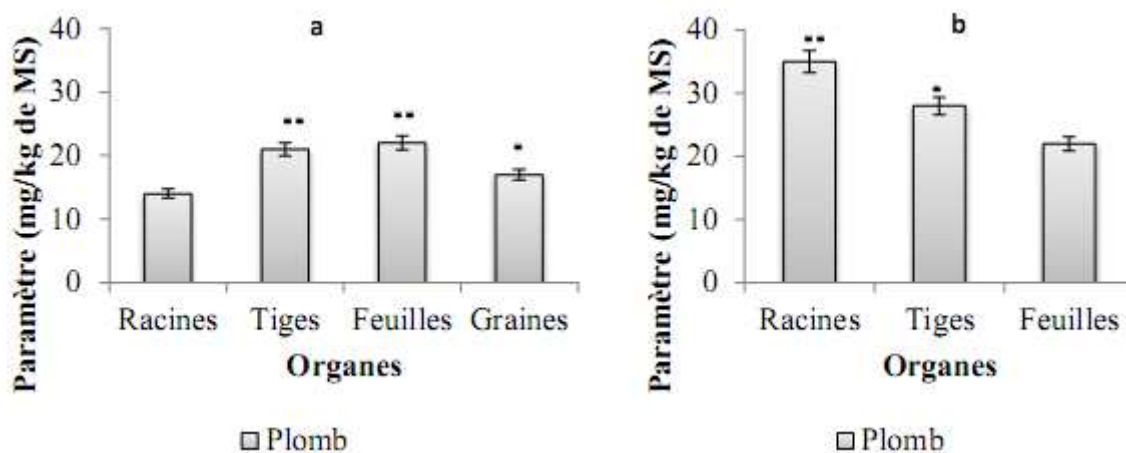


Figure 5. Répartition des organes en fonction de la teneur en plomb : a) maïs, b) patate ($p > 0,05$, **différence très significative, *différence significative)

3.5 TENEUR EN PHOSPHATES DANS LES PLANTES

La teneur en phosphate varie significativement dans les organes du maïs de $20,45 \pm 0,00$ mg/kg dans la tige à $11,14 \pm 0,01$ mg/kg dans les racines (Figure 6a). Elle est décroissante du tubercule aux feuilles de patate respectivement de $40,14 \pm 0,01$ mg/kg et $34,57 \pm 0,00$ mg/kg (Figure 6b).

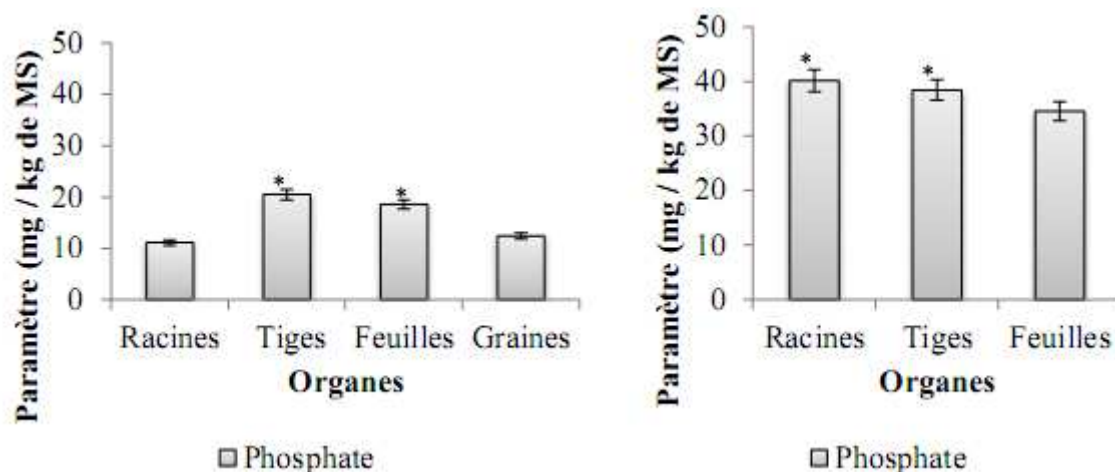


Figure 6. Répartition des organes en fonction de la teneur en phosphate : a) maïs, b) patate ($p < 0,05$, *différence significative)

3.6 TENEUR EN NITRATES DANS LES PLANTES

La teneur en nitrates varie significativement dans les organes du maïs de $52,51 \pm 0,03$ mg/kg dans la tige à $16,24 \pm 0,04$ mg/kg dans les feuilles (Figure 7a). Elle est significativement décroissante dans les organes de patate de $78,21 \pm 0,00$ mg/kg dans le tubercule à $20,45 \pm 0,01$ mg/kg dans les feuilles (Figure 7b).

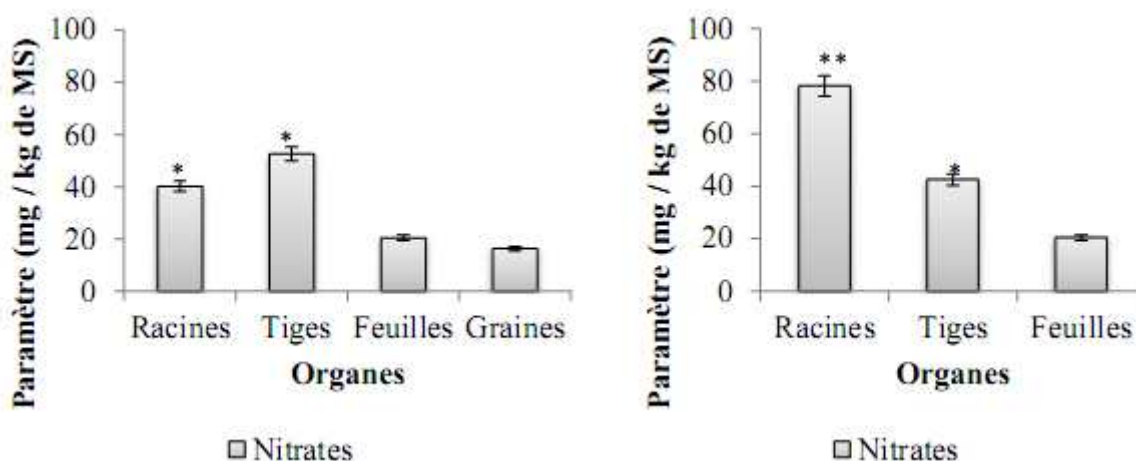


Figure 7. Répartition des organes en fonction de la teneur en nitrates : a) maïs, b) patate ($p < 0,05$, **différence très significative, *différence significative).

3.7 VARIATION SPATIALE DES DIFFERENTS ORGANES EN FONCTION DES TENEURS EN METAUX LOURDS

L'examen de l'organisation des 4 variables sur les plans F1 x F2 de l'ACP, représentée sous forme de cercles de corrélations révèle que chez le maïs, l'axe factoriel F1 oppose deux ensembles de variables. Il est corrélé positivement avec les éléments du premier ensemble contenant des descripteurs très bien corrélés entre eux qui sont la tige et les racines. La composante principale F1 est corrélée négativement aux feuilles et graines. L'axe factoriel F2 est corrélé positivement aux feuilles et tiges, et corrélé négativement aux graines et racines. (Figure 8). Cet axe factoriel F2 montre que les paramètres chimiques (cadmium, plomb, phosphate et nitrates) rapprochent les tiges et les racines d'une part et d'autre part les graines et les feuilles.

L'examen de l'organisation des 3 variables sur les plans F1 x F2 de l'ACP, représentée sous forme de cercles de corrélations révèle que chez la patate, les axes factoriels F1 et F2 rapprochent les racines, les tiges et les feuilles en fonction des paramètres chimiques (cadmium, plomb, phosphate et nitrates) (Figure 9).

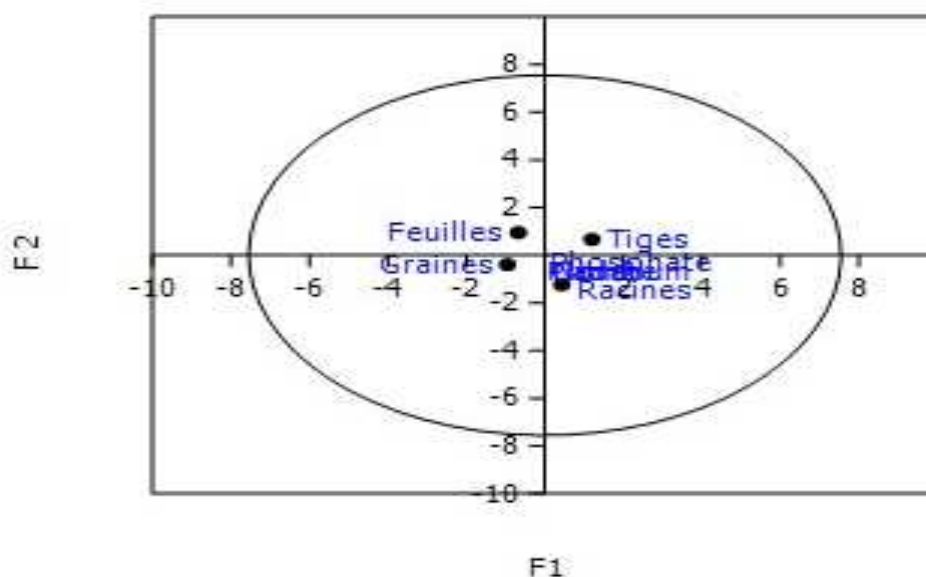


Figure 8. Variation des différents organes du maïs en fonction des paramètres chimiques.

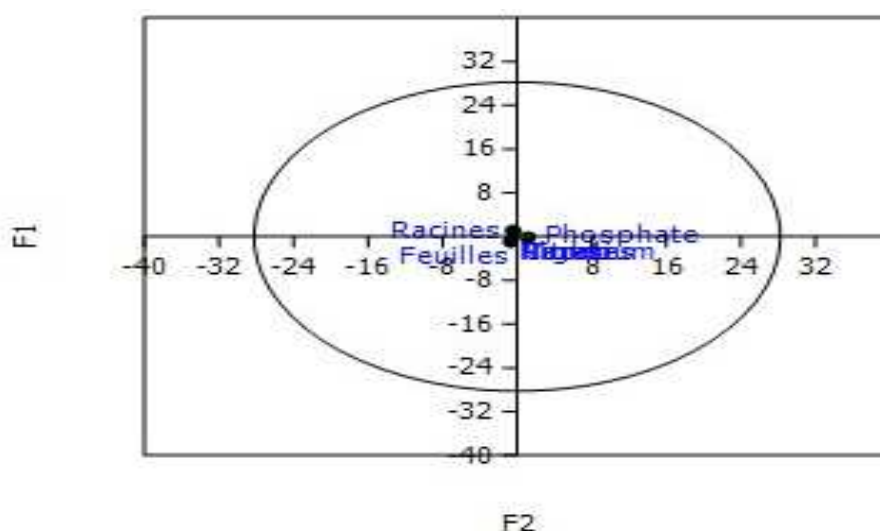


Figure 9. Variation des différents organes de patate en fonction des paramètres chimiques.

3.8 RAPPROCHEMENT DES ORGANES EN FONCTION DES PARAMETRES CHIMIQUES

Le dendrogramme de rapprochement des différents organes en fonction des paramètres chimiques chez le maïs montre 2 groupes (Figure 10) : le groupe 1 constitué des racines et des tiges et le groupe 2 constitué des feuilles et des graines. Le dendrogramme de rapprochement des différents organes de patate en fonction des paramètres chimiques montre 2 groupes (Figure 11) : le groupe 1 constitué des racines et le groupe 2 constitué des tiges et des feuilles.

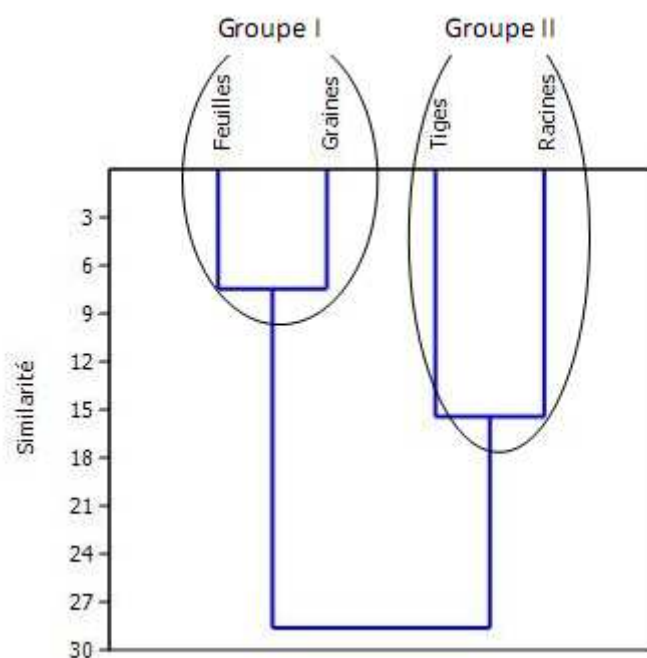


Figure 10. Dendrogramme rapprochant les organes de maïs en fonction des paramètres chimiques.

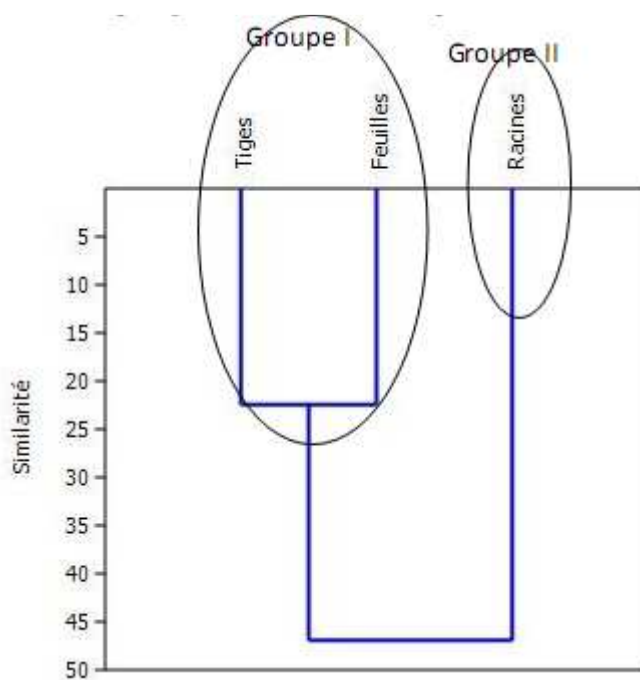


Figure 11. Dendrogramme rapprochant les organes de patate en fonction des paramètres chimiques.

3.9 RAPPROCHEMENT DES ORGANES PAR LA METHODE DU PLUS PROCHE VOISIN

La hiérarchisation des organes de maïs par la méthode du plus proche voisin montre que les feuilles se rapprochent plus des graines, et les racines des tiges (Figure 12). Chez la patate les feuilles sont intermédiaires des tiges et des racines (Figure 13).

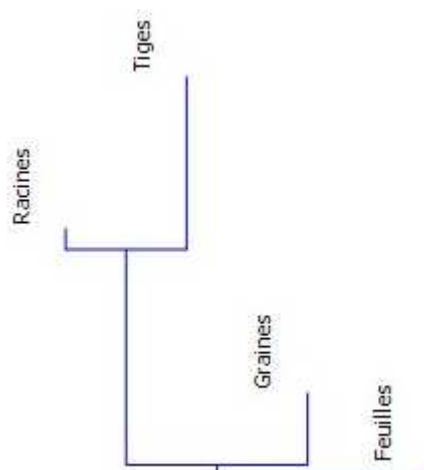


Figure 12. Rapprochement des organes de maïs par la méthode du plus proche voisin.

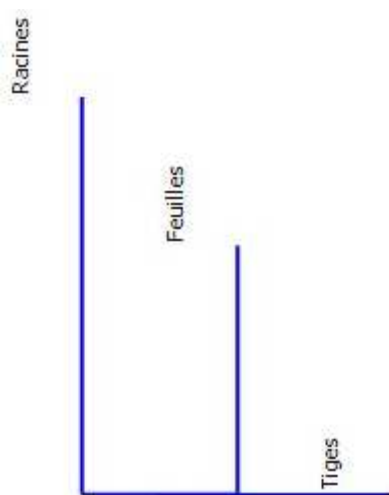


Figure 13. Rapprochement des organes de patate par la méthode du plus proche voisin.

4 DISCUSSION

L'analyse morphologique des plantes des différents champs montre des résultats similaires à ceux obtenus par [20] qui a montré que la couleur des feuilles et l'aspect des plantes sont liés à l'indice de dommage encore appelé indice de dégénérescence de l'ensemble de la plante. Selon [26], il traduit le degré de sensibilité aux polluants. Toutefois la plante répond aux modifications qui apparaissent dans le milieu par la chlorose et la chute des feuilles. Le premier effet des métaux lourds observable chez les végétaux est une inhibition de la croissance. Celle-ci s'accompagne très souvent de nombreux autres indices de dysfonctionnement : importantes lésions nécrotiques, jaunissement progressif, repliement ou dessèchement du feuillage [5].

La teneur en nitrates varie selon l'organe et atteint les valeurs extrêmes dans la tige de maïs et le tubercule de patate. Dans ce sens [7] montre que les plantes contenant trop de nitrates fleurissent mal et voient ainsi une diminution de la productivité, des fruits et des graines. L'accumulation de cadmium diffère considérablement selon les organes et les tissus d'une même plante, entre les racines et les parties aériennes, et la distribution des teneurs en cadmium est elle-même fortement variable à la fois entre espèces et entre variétés au sein d'une même espèce. Aucun lien évident ne peut être établi entre la facilité à accumuler le cadmium et la répartition du cadmium entre organes [4], [34]. À l'échelle de la plante entière, il y a généralement moins de cadmium dans les feuilles que dans les racines, et encore moins dans les fruits et dans les graines [34]. Jarvis et al. (1976) ont remarqué que chez 20 espèces végétales, la quantité de cadmium retenue par les racines dépasse la moitié de la

quantité totale absorbée par la plante. Cependant, chez certaines espèces, le cadmium peut s'accumuler fortement en dehors des racines. C'est par exemple le cas du tabac qui accumule dans ses feuilles plus de 80 % du cadmium prélevé par les racines [8].

Le cadmium entraîne une réduction de la croissance du maïs réellement peu importante en regard de la concentration élevée. La phytotoxicité de cet élément est donc faible, contribue à accroître le risque potentiel entraîné par son intégration dans les chaînes trophiques par la plante. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de [21], d'après la comparaison des traitements Cd 10^{-5} M et Zn 10^{-4} M. Ils ont montré que l'exsudation des racines du maïs est modifiée par des concentrations en cadmium inférieures à celles du zinc. Cette observation peut être rapprochée des seuils de tolérance du cadmium ($35 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) dans les tissus, entraînant une diminution de 25 % de la biomasse totale chez le maïs [17].

La teneur en cadmium dans les plantes est supérieure à celle du milieu. Le cadmium n'est pas essentiel au développement des organismes animaux ou végétaux. En revanche, ses propriétés physiques et chimiques, proches de celles du zinc et du calcium, lui permettent de traverser les barrières biologiques et de s'accumuler dans les tissus. Il est identifié comme un polluant extrêmement toxique [11]. La forte concentration du cadmium est due à la présence dans l'eau d'hydrocarbures et des engrais phosphates mais aussi des eaux usées, domestiques et industrielles [6]. L'utilisation répétée d'eaux usées en agriculture peut donc contribuer à l'accumulation de ce métal dans les sols [12]. Dans ce cas, il peut être absorbé par les plantes, ce qui représente un problème majeur pour la santé humaine. Une exposition au cadmium entraîne un grand nombre d'effets nocifs, les lésions rénales et le cancer figurant parmi les plus graves [11]. Les végétaux sont la principale voie d'entrée de la chaîne alimentaire. La pollution, à la fois de l'air et des sols, expose les végétaux à des concentrations croissantes de cadmium [22].

Le niveau d'accumulation des métaux lourds varie considérablement entre les plantes de maïs et de patate. Cette variabilité peut être naturellement expliquée par les conditions de cultures, mais aussi par une variabilité interspécifique, laquelle concerne notamment le niveau d'accumulation dans les différents organes [18].

[15] signalent que la mobilité des espèces chimiques métalliques peut être définie par leur aptitude à être transférées vers des compartiments du sol où elles sont moins énergiquement retenues, le compartiment ultime étant la phase liquide représentée par la solution du sol. C'est cette dernière qui constitue le réservoir principal d'alimentation pour les plantes [27]. Il est également connu que le chlorure de sodium (NaCl) augmente la biodisponibilité des métaux lourds dans le sol. En effet, les ions chlorures (Cl⁻) forment des complexes stables avec les ions Cd²⁺. Ce processus de complexation semble augmenter la mobilité des ions Cd²⁺ dans le sol ainsi que leur biodisponibilité [9]. De ce fait, l'enrichissement du sol en NaCl stimule le prélèvement de Cd par les plantes [37].

Dans le sol, la fraction hydrosoluble des métaux est le plus souvent en concentration trace [21]. Les teneurs de la solution du sol sont de l'ordre de 10^{-7} et 10^{-8} M respectivement en plomb et en cadmium [14]. Un pH ou une capacité d'échange faible, une diminution de la teneur en matière organique ou de la fertilité minérale, l'apport de déchets urbains ou industriels peuvent entraîner une augmentation notable des cations métalliques dans la solution du sol [31]. Après application de boues urbaines, [33] signalent des concentrations en cadmium respectivement de $10^{-5,9}$ M, essentiellement sous forme ionique. Cette forte teneur est susceptible de modifier la croissance des végétaux.

[3] rapportent une phytotoxicité du plomb chez le maïs. Mais d'après [17], les effets du plomb sont variables et une stimulation de la croissance peut même être enregistrée aux faibles concentrations. Les seuils de toxicité seraient fonction de la teneur en phosphates dans la solution et dans la plante, le plomb pouvant se lier aux parois des cellules racinaires sous formes d'orthophosphates [19]. Ce métal peut aussi être immobilisé par les polysaccharides des mucilages [24].

Certains métaux sont nécessaires à la vie et présentent des seuils de toxicité très bas [16]. La teneur en plomb obtenue dans les différents organes de maïs et de patate est supérieure au seuil de toxicité chez l'Homme (tolérance entre 0,05-0,5 mg/kg [36] de $17 \pm 0,00$ mg/kg dans les graines de maïs et $35 \pm 0,03$ mg/kg dans les tubercules. Le cadmium atteint des concentrations supérieures au seuil de toxicité chez l'Homme dans le tubercule de patate et les graines de maïs (tolérance $\leq 0,005$ mg/kg [36] respectivement de $0,08 \pm 0,09$ mg/kg et $0,1 \pm 0,02$ mg/kg).

5 CONCLUSION

L'anthropisation anarchique de la ville de Douala justifie l'importance et la composition très variée des déchets évacués dans les marécages montrant l'interaction qui peut exister entre les polluants, la végétation et les populations riveraines. L'analyse des paramètres chimiques (nitrates, phosphate, cadmium et plomb) sur *Zea mays* et *Ipomoea batatas* cultivés majoritairement dans la zone d'étude a permis de constater que la qualité nutritive de ces plantes est douteuse. Les teneurs

sont au-delà du seuil de toxicité en cadmium (norme $\leq 0,005$ mg/kg) de $0,1 \pm 0,02$ mg/kg dans les graines de maïs et $0,08 \pm 0,09$ mg/kg dans le tubercule de patate. Les teneurs en plomb sont au-delà du seuil de toxicité chez l'homme (norme entre $0,05-0,5$ mg/kg) de $17 \pm 0,00$ mg/kg dans les graines de maïs et $35 \pm 0,03$ mg/kg dans les tubercules. Par ailleurs, ayant constaté lors des investigations, le niveau de dégradation très avancé des zones humides de Douala, il serait souhaitable que les populations et les pouvoirs publics prennent conscience de ses conséquences sur la mauvaise qualité des produits de consommation des cultures de ces bas fonds exposés aux pollutions.

REFERENCES

- [1] D. Baize, "Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France)", INRA Editions, Paris, p. 408, 1997.
- [2] P.H. Bourrelier, J. Berthelin, "Contamination des sols par les éléments traces : les risques et leur gestion", CR. Acc. Sci., 42. Ed. Lavoisier, Paris, 1998.
- [3] R.W. Carlson, F.A. Bazzas, G.L. Rolfe, "The effect of heavy metals on plants. II. Net photosynthesis and transpiration of whole corn and sunflowers plants treated with Pb, Cd, Ni, Tl", *Envir. Res.*, vol. 10, pp. 113-120, 1975.
- [4] S. Clemens, "Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants", *Biochimie*, vol. 88, pp. 1707-1719, 2006.
- [5] K.J. Dietz, M. Baier, U. Kramer, "Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity in plants. In: Heavy metal stress in plants : From molecules to ecosystems, M.N.V. Prasad, J. Hagemayer (eds)", Springer-Verlag, Berlin, pp. 73-97, 1999.
- [6] P. Duchaufour, "Introduction à la science du sol", 6^{ème} ed, Dunod, Paris, p. 331, 2001.
- [7] P. Duvigneaud, "La synthèse écologique", 2^{ème} ed, Doin, Paris, p. 373, 1982.
- [8] T. Elmayan, M. Tepfer, "Synthesis of a bifunctional metallothionein/beta-glucuronidase fusion protein in transgenic tobacco plants as a means of reducing leaf cadmium levels", *Plant J.*, vol. 6, pp. 433-440, 1994.
- [9] T. Ghnaya, I. Slama, D. Messedi, C. Grignon, M.H. Ghorbel, C. Abdelly, "Cd-induced growth reduction in the halophyte *Sesuvium portulacastrum* is significantly improved by NaCl", *J. Plant Res.* Vol. 120, pp. 309-316, 2007.
- [10] P.M. Godin, M.H. Feinberg, C.J. Ducauze, "Modelling of soil contamination by airborne lead and cadmium around several emission sources", *Environ. Pollut.*, vol. 10, pp. 97-114, 1985.
- [11] J. Godt, F. Scheidig, C.V. Grosse-Siestrup, P. Brandenburg, A. Reich, D. Groneberg, "The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health", *J. Occup. Med. Toxicol.*, vol. 1, pp. 22-27, 2006.
- [12] Z.L. He, X.E. Yang, P.J. Stoffella, "Trace elements in agro-ecosystems and impacts on the environment", *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, vol. 19, pp. 125-140, 2005.
- [13] S.C. Jarvis, L.H.P. Jones, M.J. Hopper, "Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots", *Plant Soil*, vol. 44, pp. 179-191, 1976.
- [14] C. Juste, "Problèmes posés par l'évaluation de la disponibilité pour la plante des éléments traces du sol et de certains amendements organiques", *Sci. Sol.*, vol. 2, pp. 109-122, 1983.
- [15] A. Kabata-Pendias, H. Pendias, "Trace elements in soils and plants", CRC (*In Press*), 2001.
- [16] G. Leynaud, "Modification du milieu aquatique sous l'influence des pollutions. In: Pollution des eaux continentales : Incidence sur les biocénoses aquatiques, Pesson (eds)", Louis Saint-Jean à Gap, France, pp 1-22, 1976.
- [17] N.W. Lepp, "Effects of heavy metal pollution on plants", *Appli. Sci. Publ.*, London, New-Jersey, p. 352, 1981.
- [18] U.J. Lopez-Chuken, S.D. Young, "Plant screening of halophyte species for cadmium phytoremediation", *Z. Naturforsch C.*, vol. 60, pp. 236-243, 2005.
- [19] C.D. Malone, D.E. Koeppe, R.J. Miller, "Localization of lead accumulated by corn plants", *Plant Physiol.*, vol. 53, pp. 388-394, 1974.
- [20] H.F. Mbouano, "Evaluation de l'influence des rejets de quelques industries polluantes de la ville de Douala sur la diversité végétale : cas des industries dans le village de Minkwele (Banlieue de Bonaberi) et ses environs", Mémoire, Université de Douala, p.65, 2006.
- [21] M. Mench, J.L. Morel, A. Guckert, "Action des métaux [Cd(II), Cu(II), Pb(II), Zn(II)] sur la production d'exsudats racinaires solubles chez le maïs (*Zea mays* L.)", *Agronomie EDP. Sciences*, vol. 8, n° 3, pp. 237-241, 1988.
- [22] M. Mench, D. Baize, "Contamination des sols et de nos aliments d'origine végétale par les éléments en trace, mesures pour réduire l'exposition", *INRA.*, Vol. 52, pp. 31-54, 2004.
- [23] A.D. Meva'a, M. Fouda, C.Z. Bonglam, M. Kamwo, "Analyse spatiale du risque d'inondation dans le bassin versant du Mbanya à Douala, capitale économique du Cameroun", Rapport, *NOVATECH*, Université de Douala, p. 10, 2010.
- [24] J.L. Morel, M. Mench, A. Guckert, "Measurement of Pb (II), Cu (II) and Cd (II) binding with mucilages exudates from maize (*Zea mays* L.)", *Roots Biol. Fertil. Soils*, 2: 29-34, 1986.

- [25] K. Prabha, L.Y. Padmavathiamma, Li, "Phytoremediation Technology : Hyper-accumulation Metals in Plants", *Water Air Soil Pollut.*, vol. 184, pp. 105–126, 2007.
- [26] R.J. Priso, V.D. Taffouo, M. Kene, A. Amougou, J. De Sloover, "A propos de l'utilisation de *Commelinaceae* comme indicateurs de la qualité des milieux aquatiques", *Sci. Technol. Dev.*, vol. 7, n° 1, pp. 4-11, 2000.
- [27] E. Remon, "Tolérance et accumulation des métaux lourds par la végétation spontanée des friches métallurgiques : vers de nouvelles méthodes de bio-dépollution", Thèse de Doctorat, Université Jean Monnet, p. 159, 2006.
- [28] M. Robert, C. Juste, "Dynamique des éléments traces de l'écosystème sol. In : Spéciation des métaux dans le sol, Club CRIN Environnement et Ministère de l'environnement (eds)", Paris, CRIN, 1999.
- [29] L.C. Rufus, M. Minnie, M.L. Yin, L.B. Sally, P.B. Eric, J. Scott-Angle, J.M.B. Alan, "Phytoremediation of soil metals", *Current Opinion in Biotechnology*, vol. 8, pp. 279-284, 1997.
- [30] D.E. Salt, R.D. Smith, I. Raskin, "Phytoremediation", *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, vol. 49, pp. 643-68, 1998.
- [31] P.O. Scokart, K. Meeus-Verdinne, M. Hoenig, R. De Borger, "Les facteurs déterminant l'assimilation des éléments traces par les cultures", *Rev. agric.*, vol. 37, pp. 1029-1042, 1984.
- [32] O.V. Singh, S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja, R.K. Jain, "Phytoremediation : an overview of metallic ion decontamination from soil", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 61, pp. 405-412, 2003.
- [33] G. Sposito, F.T. Bingham, "Computer modeling of trace metal speciation in soil solutions, correlation with trace metal uptake by higher plants", *J. Plant Nutr.*, vol. 3, pp. 1-4, 1981.
- [34] G.J. Wagner, "Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health", *Adv. Agron.*, vol. 51, pp. 173-212, 1993.
- [35] Q.R. Wang, Y.S. Cui, X.M. Liu, Y.T. Dong, P. Christie, "Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China", *J. Environ. Sci. Health Part A-Toxic/Hazard Subst. Environ. Eng.*, vol. 38, pp. 823-838, 2003.
- [36] R. Weiner, "Toxicité des eaux résiduaires. In : Epuration des eaux résiduaires dans la transformation et la galvanisation des métaux, Eyrolles (eds)", pp. 55-66, 1975.
- [37] J. Xu, H. Yin, X. Liu, X. Li, "Salt affects plant Cd-stress responses by modulating growth and Cd accumulation". *Planta*, vol. 231, pp. 449-459, 2010.