



Original Paper

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

Evaluation de la pollution par les métaux lourds des sols et de la variété locale du maïs *Zea mays* dans la zone de traitement des phosphates de Kpémé (Sud du Togo)

Adoté Agbéko ADUAYI-AKUE* et Kissao GNANDI

Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD), Département de Géologie,
Faculté des Sciences, Université de Lomé, Togo.

*Auteur correspondant, E-mail: alexisaduayi@yahoo.fr ; Tel: (228)90207281 / (228)99646263.

RESUME

Au Togo, le minerai de phosphate extrait à Hahotoé-Kpogamé et traité à Kpémé par l'usine SNPT libère des métaux lourds qui polluent l'environnement. L'objectif de ce travail est d'évaluer la pollution par les métaux lourds des sols et des produits agricoles (maïs) dans quatre localités situées autour de l'usine (Aglomé, Kpémé, Goumoukopé, Séouatchikopé) et dans une localité éloignée (Gbodjomé), choisie comme référence. Au total, 50 échantillons de sols et 50 échantillons de maïs ont été minéralisés par attaque aux acides et les métaux lourds dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les teneurs moyennes des différents métaux lourds analysés exprimées en ppm (mg/kg) des sols et de la variété locale du maïs *Zea mays* des différentes localités ont été déterminées. Les facteurs de pollution par comparaison aux normes des différents métaux lourds analysés des sols et de la variété locale du maïs des différentes localités ont été calculés. De façon générale, l'ordre décroissant de la pollution est le suivant : au niveau des localités : Aglomé > Kpémé > Goumoukopé > Séouatchikopé > Gbodjomé au niveau des sols : Cadmium > Nickel > Cuivre > Plomb au niveau du maïs : Nickel > Cadmium > Cuivre > Plomb.

© 2014 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : usine de phosphate, facteur de pollution, métaux lourds.

INTRODUCTION

Les activités humaines provoquent des pollutions qui dégradent de manière progressive et inquiétante l'environnement. Avec l'industrialisation croissante, de plus en plus, des métaux lourds entrent dans l'environnement. Les métaux lourds sont des éléments métalliques traces très toxiques et persistants dans l'environnement (Boudene, 2001; Bost, 2010).

L'infiltration des eaux de pluie à travers les sols pollués contamine les cultures. Les

végétaux cultivés sur un sol contaminé par les métaux lourds les absorbent et les concentrent par voie racinaire et par voie aérienne. Ensuite, la sève les distribue aux autres organes de la plante. Ainsi, les métaux lourds se retrouvent finalement dans les cultures et plus précisément dans les produits agricoles récoltés et consommés par l'Homme (Bliefert et Perraud, 2010).

L'alimentation contribue donc à l'augmentation des métaux lourds dans l'organisme (Miranda, 2005). Chez l'homme,

la concentration des métaux lourds dans les tissus se fait surtout à travers la chaîne alimentaire (Miquel, 2001). Les métaux lourds sont donc absorbés directement par ingestion ou par inhalation, puis se concentrent dans les différentes parties de l'organisme humain entraînant des effets chroniques ou aigus sur la santé de l'homme (Were et al., 2008). La pollution par les métaux lourds entraîne donc une insécurité alimentaire et une progression de certaines maladies liées à la contamination aux métaux lourds telles que les affections du foie et des reins, les maladies cardiovasculaires, les cancers, la pneumonie et l'anémie (Miquel, 2001 ; Lauwerys, 2003 ; Testud, 2005).

Au Togo, des études antérieures ont montré que le minerai de phosphate extrait à Hahotoé-Kpogamé et traité à Kpémé contient des métaux lourds qui constituent un danger pour l'environnement (Tchangbedi et al., 2003). Des études récentes ont montré que les eaux marines de la côte togolaise font l'objet d'une pollution à cause d'une part, du rejet des déchets solides et boues dans la mer par l'usine des phosphates du Togo (Gnandi et al., 2006) et d'autre part, à cause des poussières rejetées dans l'atmosphère (NSE/ONUDI, 2007).

La pollution affecte également les sédiments marins (Gnandi, 1998 ; Gnandi et Tobschall, 1999), les sols (Gnandi, 1998 ; Gnandi et Tobschall, 2002 ; Bouka et al., 2013), les poissons (Abbé et al., 2006 ; Bouka et al., 2013), les eaux de surface et souterraines (Gnandi 1998 ; Abdou et Gnandi, 2006). La bioaccumulation des métaux lourds entraîne un stress oxydatif chez les poissons (Melila et al., 2012a) et chez les populations humaines de la zone d'exploitation des phosphates (Melila et al., 2012b).

Face à ces problèmes environnementaux causés par les métaux lourds sur la santé humaine, il convient de faire des études dans le but d'évaluer le degré de pollution des localités situées autour de l'usine.

La présente étude réalisée sur la pollution des sols et de la variété locale du

maïs *Zea mays* des localités situées autour de l'usine de traitement des phosphates de Kpémé nous permet de préciser une autre source de contamination de ces populations riveraines puisqu'elles cultivent et consomment le maïs dans le milieu.

Les objectifs spécifiques sont les suivants :

➤ Quantifier quatre métaux lourds (cadmium, plomb, cuivre et nickel) par la méthode de la spectrophotométrie d'absorption atomique au niveau des sols et des produits agricoles (maïs) autour de l'usine de Kpémé et dans une localité éloignée (Gbodjomé), choisie comme référence ;

➤ Comparer les résultats obtenus aux normes fixées par le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement (CCME) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

MATERIEL ET METHODES

Matériel

- Echantillons : 50 échantillons de sol et 50 échantillons de produits agricoles (variété locale du maïs *Zea mays*) prélevés dans les champs des différentes localités ;
- Appareils : un appareil photo numérique ; un appareil GPS de marque GARMIN ; une étuve électrique Memmer type UL80 ; un spectrophotomètre d'absorption atomique de type AAS THERMO ORION SOLAAR S₂ connecté à un ordinateur ; un bain de sable pour la minéralisation et une balance électrique de type KERN (0,1 g à 400 g) ;
- Verrerie : fioles jaugées de 50 ml ; fioles jaugées de 100 ml ; pipettes ; béchers ; flacons de 125 ml et des entonnoirs ;
- Produits chimiques : eau distillée ; eau oxygénée à 9% ; acide nitrique à 65% et acide chlorhydrique à 37% ;
- Autre matériel : houes ; pelles ; couteaux ; sachets plastiques ; pilon ; mortier ; béchers en téflon ; pissettes à eau distillée ; rouleaux de papier wattman et une spatule.

Méthodologie

La manipulation comporte plusieurs étapes :

Echantillonnage

La première étape de ce travail a consisté à effectuer des prélèvements des sols et de produits agricoles. Concernant les produits agricoles, notre choix a porté sur la variété locale du maïs *Zea mays* qui est la plus cultivée et la plus consommée dans la zone. Ces prélèvements ont été réalisés de juillet 2012 à décembre 2012. Les coordonnées géographiques des différents points d'échantillonnage ont été prises grâce à un appareil GPS de marque GARMIN.

Les échantillons de sol ont été prélevés au moyen d'une pelle et d'une houe qui nous ont permis de creuser les terres agricoles. Les échantillons de maïs ont été prélevés directement sur les pieds de maïs *Zea mays* déjà desséchés et prêts pour la récolte.

Tous ces échantillons ont été ensuite conservés dans des sachets plastiques propres et étiquetés.

Préparation des échantillons pour les analyses

Au laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (G.T.V.D.), les échantillons de maïs ont été étalés sur un papier propre et placés ensuite au four à la température de 80 °C pendant 5 jours jusqu'à la dessiccation complète. Les échantillons de sol ont été directement étalés sur un papier propre avant d'être placés au four pendant 4 jours à la température de 80 °C jusqu'à dessiccation complète.

Après la dessiccation, les échantillons de maïs ont été broyés puis réduits en poudre dans un mortier. Les échantillons de sol aussi ont été broyés dans un mortier afin d'obtenir une poudre beaucoup plus fine. Par la suite, les échantillons de sol ont été tamisés afin de recueillir la fraction de diamètre inférieure à 63 µm. Cette fraction a été retenue pour l'étude à cause de son affinité pour les métaux lourds.

Les échantillons réduits en poudre pour une bonne minéralisation sont conservés dans des sachets plastiques propres et étiquetés.

Minéralisation et solubilisation des échantillons

Elle se déroule suivant plusieurs étapes :

On pèse 1g de chaque échantillon de maïs en poudre grâce à une balance électrique de type KERN et on le verse dans un bécher en téflon. Ensuite, on ajoute 10 ml d'eau oxygénée (H₂O₂) à 9% sur chaque échantillon et on laisse l'eau oxygénée agir pendant 24 heures. Cette première étape ne concerne pas les sols parce que les produits agricoles renferment plus de substances organiques que les sols.

Par la suite, on pèse 1g de chaque échantillon de sol en poudre grâce à la balance électronique et on le verse dans un bécher en téflon.

Sur chaque échantillon de produits agricoles (déjà transformé par l'eau oxygénée) et de sol (nouvellement pesé), on verse 1 ml d'acide nitrique (HNO₃) à 65% et 3 ml d'acide chlorhydrique (HCl) à 37%. Ensuite, le bécher en téflon contenant l'échantillon et les acides est fermé à l'aide d'un verre de montre (pour éviter le contact avec l'air atmosphérique) et on minéralise les échantillons en plaçant les béchers en téflon dans du sable qui est chauffé progressivement à une température d'environ 150 °C (bain de sable) pendant 2 heures.

A la fin du chauffage, on retire les béchers en téflon du sable puis, on ajoute 5 ml d'eau distillée sur chaque culot à l'aide d'une pissette qui permet de récupérer les débris du culot collés sur les parois des béchers en téflon et on les chauffe de nouveau pendant 10 minutes dans le but de faciliter la solubilisation. A la fin de cette opération, on retire de nouveau les béchers en téflons du sable et on les laisse se refroidir pendant quinze minutes.

L'eau oxygénée utilisée digère la matière organique tandis que les deux acides digèrent les minéraux du sol permettant ainsi d'extraire les métaux lourds.

Deux solutions témoins (les blancs) ont aussi été préparées puis passées au bain de

sable avec les autres. Le blanc pour les produits agricoles est constitué de 10 ml d'eau oxygénée, 1 ml d'acide nitrique à 65% et 3 ml d'acide chlorhydrique à 37%. Le blanc pour les sols est constitué de 1 ml d'acide nitrique à 65% et 3 ml d'acide chlorhydrique à 37%. Ces solutions permettent de corriger les erreurs au cours du dosage.

Chaque solution obtenue à l'issue de l'attaque aux acides est transvasée à l'aide d'un entonnoir dans une fiole jaugée de 50 ml et complétée à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Ensuite, on filtre la solution obtenue. On obtient finalement un filtrat de 50 ml dans chaque flacon étiqueté. Ce filtrat renferme les éléments métalliques qu'on veut doser.

Dosage des métaux lourds par absorption atomique

Le dosage des éléments métalliques contenus dans les sols et les produits agricoles s'est fait par la méthode de la spectrophotométrie d'absorption atomique. Ce dosage est réalisé à partir du filtrat obtenu. La lecture des absorbances des solutions étalons et des échantillons est effectuée à l'aide du spectrophotomètre d'absorption atomique de type AAS THERMO ORION SOLAAR S₂. Ce dernier est connecté à un ordinateur qui affiche les résultats en ppm (mg.kg⁻¹). Pour doser chaque métal, on fait d'abord passer au spectrophotomètre les solutions étalons avant de faire passer le filtrat de chaque échantillon.

Les seuils de détection de chaque métal pour l'appareil de mesure utilisé sont les suivants :

Plomb : 0,01 ppm ; cadmium: 0,0005 ppm ; nickel : 0,001 ppm et cuivre : 0,01 ppm.

Analyse statistique

Les résultats sont présentés sous forme de moyenne et écart-type à l'aide du logiciel Graph pad Prism. L'analyse de la variance a été effectuée à l'aide du Test t de Student unpaired. Le seuil de signification est fixé à $P < 0,05$.

RESULTATS

Teneurs moyennes des métaux lourds des sols et des produits agricoles (maïs)

Les teneurs moyennes de cadmium, de plomb, de nickel et de cuivre sont indiquées dans les Tableaux 1 et 3. Nos résultats montrent que les teneurs moyennes de cadmium, de plomb, de cuivre et de nickel des sols et du maïs des quatre localités (Goumoukopé, Aglomé, Séouatchikopé et Kpémé) situées dans la zone de pollution sont plus élevées que celles de Gbodjomé (localité de référence) et la différence est significative ($P < 0,05$).

Facteurs de pollution par les métaux lourds des sols et des produits agricoles (maïs)

Les facteurs de pollution sont présentés dans les Tableaux 2 et 4. Ces facteurs permettent d'évaluer la pollution des sols et du maïs de la zone par les métaux lourds des phosphates. Le facteur de pollution est le rapport entre la concentration moyenne d'un métal dans un sol (ou maïs) analysé et la valeur de la norme pour ce même métal. Ce facteur permet de préciser le degré de pollution. Un sol (ou maïs) est plus pollué par un métal lorsqu'il a un facteur de pollution plus élevé pour ce métal. Un métal est plus polluant lorsqu'il a un facteur de pollution plus élevé.

Si le facteur de pollution dépasse 1, cela indique que la concentration moyenne du métal dans le sol (ou maïs) analysé dépasse la valeur de la norme. Ce qui implique une pollution de l'échantillon.

Nos résultats montrent que le cadmium a des facteurs de pollution très élevés au niveau des sols et du maïs. Le plomb a des facteurs de pollution très faibles au niveau des sols (inférieurs à 1) mais élevés au niveau du maïs. Le nickel a des facteurs de pollution légèrement supérieures à 1 au niveau des sols de Goumoukopé, Aglomé et Kpémé mais inférieures à 1 au niveau des sols des autres villages. Au niveau du maïs, le nickel a les facteurs de pollution les plus élevés. Le cuivre

a des facteurs de pollution très faibles (inférieurs à 1) au niveau des sols mais élevés au niveau du maïs.

Les facteurs de pollution de Gbodjomé (localité de référence) ne dépassent pas 1 et sont les plus faibles tandis que ceux d'Aglomé sont les plus élevés.

De façon générale, l'ordre décroissant de la pollution est le suivant :

- Au niveau des sols des différentes localités : Aglomé (facteurs plus élevés) > Kpémé > Goumoukopé > Séouatchikopé > Gbodjomé (facteurs plus faibles) ;

- Au niveau du maïs des différentes localités : Aglomé (facteurs plus élevés) > Goumoukopé > Kpémé > Séouatchikopé > Gbodjomé (facteurs plus faibles) ;

- Au niveau des métaux lourds des sols : Cadmium (facteurs plus élevés) > Nickel > Cuivre > Plomb (facteurs plus faibles) ;

- Au niveau des métaux lourds du maïs : Nickel (facteurs plus élevés) > Cadmium > Cuivre > Plomb (facteurs plus faibles).

Tableau 1 : Teneurs moyennes des métaux lourds des sols.

Points de prélèvement	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)
Goumoukopé	36 ± 3,11	12,72 ± 0,95	50,93 ± 4,45	34,64 ± 1,80
Aglomé	42,53 ± 2,70	16,05 ± 1,04	69,46 ± 5,46	38,52 ± 0,70
Séouatchikopé	21,93 ± 2,34	2,93 ± 0,87	21,08 ± 2,07	26,58 ± 1,68
Kpémé	37,46 ± 3,28	15,77 ± 1,9	56,64 ± 5,86	40,25 ± 3,05
Gbodjomé	1,27 ± 0,24	2,58 ± 0,63	8,48 ± 0,89	12,71 ± 0,93
Norme CCME	1,4	70	50	63

Cd = cadmium ; Pb = plomb ; Ni = nickel ; Cu = cuivre ; Ppm = partie par million = mg.kg⁻¹ ; CCME = Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement

Tableau 2 : Facteurs de pollution par les métaux lourds des sols.

Points de prélèvement	Cd	Pb	Ni	Cu
Goumoukopé	25,71	0,18	1,01	0,54
Aglomé	30,37	0,22	1,38	0,61
Séouatchikopé	15,66	0,04	0,42	0,42
Kpémé	26,75	0,22	1,13	0,63
Gbodjomé	0,9	0,03	0,16	0,2

Cd = cadmium ; Pb = plomb ; Ni = nickel ; Cu = cuivre ; Le facteur de pollution est sans unité.

Tableau 3 : Teneurs moyennes des métaux lourds des produits agricoles (maïs).

Points de prélèvement	Cd (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)
Goumoukopé	2,22 ± 0,42	0,94 ± 0,01	0,32 ± 0,06	16,58 ± 1,13
Aglomé	2,84 ± 0,6	1,37 ± 0,09	0,9 ± 0,01	16,32 ± 1,03
Séouatchikopé	0,81 ± 0,16	0,11 ± 0,03	0,27 ± 0,02	14,43 ± 0,47
Kpémé	1,09 ± 0,32	0,43 ± 0,12	0,54 ± 0,17	15,82 ± 0,30
Gbodjomé	0,006 ± 0,003	0,04 ± 0,01	0,001 ± 0,0005	0,48 ± 0,12
Norme CCME	0,008	0,05	0,001	0,5

Cd = cadmium ; Pb = plomb ; Ni = nickel ; Cu = cuivre ; Ppm = partie par million = mg.kg⁻¹ ; OMS = Organisation Mondiale de la Santé.

Tableau 4 : Facteurs de pollution par les métaux lourds des produits agricoles (maïs).

Points de prélèvement	Cd	Pb	Ni	Cu
Goumoukopé	277,5	18,8	320	33,16
Aglomé	355	27,4	900	32,64
Séouatchikopé	101,25	2,2	270	28,86
Kpémé	136,25	8,6	540	31,64
Gbodjomé	0,75	0,8	1	0,96

Cd = cadmium ; Pb = plomb ; Ni = nickel ; Cu = cuivre ; Le facteur de pollution est sans unité

DISCUSSION

Notre étude a montré que les teneurs de cadmium et de nickel dans les échantillons de sols autour de l'usine sont supérieures aux normes édictées par le Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement pour la qualité des sols (CCME, 2007). Les facteurs de pollution pour le cadmium sont les plus élevés. Ce qui indique que le cadmium est le métal le plus polluant. Les faibles facteurs de pollution du plomb et du cuivre sont dus à la faible fixation de ces métaux par les sols.

Les concentrations du cadmium, du plomb, du nickel et du cuivre dans les échantillons de maïs *Zea mays* autour de l'usine sont largement supérieures aux normes édictées par l'Organisation Mondiale de la Santé pour des raisons de santé publique (FAO/OMS, 1974 ; OMS, 2004).

Selon les travaux antérieurs effectués par Bouka et al. (2013) sur les tubercules de manioc *Manihot esculenta* dans la zone d'extraction des phosphates, les plus fortes concentrations de Cd ($0,67 \text{ mg.kg}^{-1}$) et Pb ($1,86 \text{ mg.kg}^{-1}$) ont été observées à Asso Apégan. Par rapport à ces travaux, nos résultats sur le maïs *Zea mays* montrent une concentration un peu plus élevée pour le cadmium dans la zone de traitement des phosphates. Les plus fortes concentrations de Cadmium ($2,84 \text{ mg.kg}^{-1}$) et de Plomb ($1,37 \text{ mg.kg}^{-1}$) du maïs de la zone de traitement des phosphates ont été observées à Aglomé. Tout comme dans le manioc prélevé à Asso Apégan (Bouka et al., 2013), le maïs prélevé à Aglomé présente un facteur de pollution par le plomb plus faible comparativement au cadmium.

Cette contamination des produits agricoles par le cadmium serait liée à l'exploitation des phosphates car les phosphates libèrent du cadmium (Tchangbedi et al., 2003).

Nos résultats se rapprochent des études effectuées par Gnandi (1998) sur les sols miniers de Hahotoé-Kpogamé qui ont montré des teneurs de cadmium qui varient de 0,2 à 43 ppm, des teneurs de plomb qui varient de 15 à 140 ppm, des teneurs de nickel qui varient de 15 à 432 ppm et des teneurs de cuivre qui varient de 18 à 356 ppm. Nos résultats s'expliquent également par des études effectuées par Kunkeli (1990) qui ont révélé une concentration moyenne de 49 ppm de cadmium, 67 ppm de plomb, 158 ppm en nickel et 110 ppm de cuivre dans le minerai brut du phosphate de Hahotoé-Kpogamé.

Cette forte contamination des sols par le cadmium serait donc liée aux phosphates de l'usine puisque les autres sources de pollution sont négligeables dans ces villages. Les faibles facteurs de pollution du plomb au niveau des sols et des produits agricoles permettent de confirmer que la source de pollution de ces villages serait l'usine des phosphates. En effet, les phosphates constituent une véritable source de pollution par le cadmium (Gnandi, 1998 ; Tchangbedi et al., 2003).

Les travaux de Gnandi (1998) sur les sédiments marins ont montré qu'à partir du point de déversement des déchets phosphatés dans la mer à Goumoukopé (exutoire des déchets), les concentrations en cadmium diminuent de la côte vers le large et aussi au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source

de pollution. Nos résultats confirment ces travaux antérieurs en montrant que le degré de pollution des localités diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'usine. En effet, les concentrations minimales des métaux lourds des produits agricoles se trouvent à Gbodjomé avec les plus faibles facteurs de pollution (inférieur ou égal à 1). Ce qui confirme que ce village qui est éloigné de l'usine n'est pas affecté par la pollution et sert de référence dans l'étude. Les concentrations maximales des métaux lourds des sols et des produits agricoles se trouvent à Aglomé avec des facteurs de pollution plus élevés. La position géographique de ces villages permettrait d'expliquer leur degré de pollution. Le village d'Aglomé est le plus proche de l'usine et situé au nord-est du centre de traitement des phosphates. Il reçoit plus de poussières et de fumées provenant de la cheminée de l'usine. Ces poussières sont emportées par la mousson qui est le vent dominant au sud du Togo et qui souffle du sud-ouest vers le nord-est. Ce phénomène est accentué par les vents marins qui soufflent du sud vers le nord de l'usine. La végétation souvent couverte de dépôt de poussières de phosphate dans les localités riveraines permettrait d'expliquer la bioaccumulation des métaux dans les plantes par voie aérienne. On note donc une corrélation entre la quantité de poussières reçue et les teneurs de métaux lourds des villages affectés.

Nos résultats permettent de déduire, en outre, une corrélation entre la concentration d'un métal lourd dans les sols et sa concentration dans les produits agricoles ; ce qui explique la bioaccumulation des métaux dans les plantes par voie racinaire. Plus la teneur en métaux lourds des sols est grande, plus l'absorption par voie racinaire par les plantes est aussi grande. En effet, l'infiltration des eaux de pluie à travers les sols pollués, l'intrusion de l'eau de mer dans les aquifères côtiers et le dépôt des poussières de phosphates sur les végétaux contaminent les cultures. Les végétaux cultivés sur un sol et une nappe d'eau souterraine contaminée par les métaux lourds les absorbent et les

concentrent par voie racinaire. Ensuite, la sève les distribue aux autres organes de la plante. Ainsi, les métaux lourds se retrouvent finalement dans les cultures et plus précisément dans les produits agricoles récoltés et consommés par l'Homme.

Les études effectuées par Gnanadi (1998) sur la distribution spatiale des particules sédimentaires dans la mer et leurs teneurs en éléments traces ont montré que les sédiments du domaine littoral (plus riches en sable) sont plus pollués par le cadmium que ceux du large (plus riches en argiles). Inversement, ceux du large sont plus pollués par le plomb que par le cadmium. Comme dans les phosphates, le cadmium est associé à l'apatite, un minéral dense, les concentrations en cadmium dans les sédiments diminuent quand on s'éloigne de la source. Les concentrations de l'élément plomb augmentent lorsqu'on s'éloigne de la source de pollution car cet élément est associé aux minéraux argileux légers qui vont être transportés loin. Nos résultats confirment ces études antérieures car les facteurs de pollution du cadmium des sols analysés sont supérieurs à ceux du plomb. En effet, les sols de ces villages sont classés dans la catégorie des sols minéraux peu évolués qui sont plus riches en sable donc plus pollués par le cadmium.

Cette étude a permis de confirmer les résultats des études antérieures en montrant que les villages riverains sont pollués par les métaux lourds des phosphates. Ainsi, des recommandations seront formulées à l'endroit de populations riveraines, des responsables de l'usine et des pouvoirs publics en vue de renforcer les moyens de lutte contre la pollution par les métaux lourds.

Conclusion

Le minerai de phosphate extrait à Hahotoé-Kpogamé et traité à Kpémé contient des métaux lourds.

Notre étude s'est déroulée dans la zone de traitement des phosphates à Kpémé et a montré que les sols et le maïs *Zea mays* cultivé et consommé dans les localités situées autour de l'usine de l'exploitation des

phosphates sont pollués par les métaux lourds très toxiques et persistants comme le cadmium, le plomb, le cuivre et le nickel. La présente étude a révélé de nouveaux aspects de la pollution par les métaux lourds. Cette pollution représente une menace sérieuse pour l'environnement en général et pour l'Homme en particulier à travers la chaîne alimentaire.

L'étude devrait s'étendre à l'organisme humain afin d'évaluer les effets des métaux lourds sur la santé et élaborer les programmes de surveillances sanitaire et nutritionnelle des populations exposées.

REFERENCES

- Abbé KD, Gnandi K, Tchangbedji G, Baba G, Killi K. 2006. The impact of phosphate mine tailings on the bioaccumulation of heavy metals in marine fish and crustaceans from the coastal zone of Togo. *International Journal of Mine Water and Environment*, **25**(1): 56-62.
- Abdou A, Gnandi K. 2006. Impact de l'exploitation minière sur la santé humaine : cas de la fluorose dentaire chez les enfants autour de l'usine de traitement des phosphates de Kpémé (Sud-Togo). *J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), série A*, **8**(2): 195-205.
- Briefert C, Perraud R. 2010. *Chimie de l'Environnement. Air, Eau, Sols, Déchets*. De Boeck Université; 369-388.
- Boudene C. 2001. Dossier scientifique sur la toxicité des métaux lourds. *Science et vie*. 24p.
- Bouka E, Lawson-Evi P, Eklou-Gadegbeku K, Aklikokou K, Gbeassor M. 2013. Heavy Metals Concentration in Soil, Water, *Manihot esculenta* Tuber and *Oreochromis niloticus* Around Phosphates Exploitation Area in Togo. *Research Journal of Environmental Toxicology*, **7**: 18-28.
- Bost M. 2010. Element-traces et toxicologie des métaux traces. Trace Element-Institut pour l'UNESCO. Pharmaco Toxico Analyses de Traces, Biochimie, HEH. 10p.
- CCME (Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement). 2007. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols, Environnement et santé humaine. Tableaux sommaires, mis à jour en septembre 2007. Dans Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1999, Winnipeg, le Conseil.
- FAO/OMS. 1974. Evaluation de l'Hg, du Pb, du Cd et de quelques additifs alimentaires. Rapport d'un groupe mixte d'étude n° 04, Genève, 7p.
- Gnandi K. 1998. Cadmium et autres polluants inorganiques dans les sols et les sédiments de la région côtière du Togo: une étude géochimique. Thèse, Université Friedrich Alexandre d'Erlangen Nuremberg, République Fédérale d'Allemagne, p. 103-133.
- Gnandi K, Tobschall HJ. 1999. The pollution of marine sediments by trace elements in the coastal region of Togo caused by dumping of Cadmium rich phosphorite tailings into the sea. *Environmental Geology*, **38**(1):13-24.
- Gnandi K, Tobschall HJ. 2002. Heavy metals distribution of soils around mining sites of cadmium rich marine sedimentary phosphorites of Kpogamé and Hahotoé (Southern Togo). *Environmental Geology*, **41**(5): 593-600.
- Gnandi K, Etorh AP, Tozo K, Abi H, Agbeko K, Amouzouvi K, Baba G, Tchangbedji G, Killi K, Bouchet P, Akpagana K. 2008. Bioaccumulation de certains éléments métalliques dans les produits maraîchers cultivés sur les sols urbains le long de l'autoroute Lomé-Aného, Sud Togo. *Acta Botanica Gallica*, **155**(3): 415-426.
- Kunkeli H. 1990. über die cadmium verteilung in den phosphoritlagerstätten von kpogamé/hahotoé. dissertation-universtät-erlangen, 149p.
- Lauwerys RR. 2003. *Toxicologie Industrielle et Intoxications Professionnelle* (4^e éd.). Masson: Paris; 961 p.

- Mélila M, Poutouli W, Amouzou KS, Tchangbédji G, Thaou M, Doh A. 2012a. Evaluation de l'impact du rejet des déchets phosphates dans la mer sur la biodiversité marine dans trois localités côtières au Togo à partir des biomarqueurs du stress oxydatif chez *Sphyraena barracuda* (HECKEL, 1843). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(2): 820-831.
- Mélila M, Poutouli W, Amouzou KS, Tchangbédji G, Tchaou M, Doh A, Goto C. 2012b. Induction du stress oxydatif chez l'homme suite à la bioconcentration des éléments métalliques (cadmium et plomb) par voie trophique à Kpémé (Sud du Togo). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **6**(3) : 1263-1270.
- Miquel G. 2001. Effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport d'information N°261. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. 365p.
- Miranda M, López-Alonso M, Castillo C, Hernández J, Benedito JL. 2005. Effects of moderate pollution on toxic and trace metal levels in calves from a polluted area of northern Spain. *Environ. Int.*, **31**: 543-548.
- NSE/ONUDI. 2007. Réduction des déchets des mines de phosphates dans le GCLME. Projet de démonstration du Togo. Rapport final; P. 78-83.
- OMS. 2004. *Guidelines for Food and Drink Water Quality* (3rd edn). Chemical Fact Sheets: Geneva, Swiss; 460p.
- Ouro SAI, Gnandi K, Tchangbedji G, Kili K, Baba G. 2005. Processing of phosphate mine tailings by coagulation flocculation to reduce marine pollution in Togo: laboratory tests. *International Journal of Mine Water and Environment*, **24**: 215-221.
- Tchangbedji G, Djeteli G, Kili KA, Tchassanti OA. 2000. Extraction de quelques éléments métalliques dans les phosphates naturels (apatites) par granulométrie et par démagnétisation: cas des phosphates de Hahotoé (Togo). *J. Rech. Sci. U. B. (Togo)*, **4**(1): 111-120
- Tchangbedji G, Kili KA, Savariaul MJ, Lacout JL. 2003. Chemical and structural characterization of natural phosphate of Hahotoé (Togo). *Bull. Chem. Soc. Ethiop*, **17**(2): 139-147.
- Testud F. 2005. *Pathologie Toxique Professionnelle et Environnementale* (3^e éd). Eska: Paris; 672p.
- Were FH, Njue W, Murungi J, Wanjau R. 2008. Use of human nails as bioindicators of heavy metals environmental exposure among school age children in Kenya. *Science of The Total Environment*, **393**(2-3): 376-384.