
Evaluation des risques de contamination en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Zn) des sites maraîchers urbains de Yaoundé (Cameroun)

Auteur : Nguelieu, Christian Roger

Promoteur(s) : Mahy, Grégory; Colinet, Gilles

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain

Année académique : 2016-2017

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/3071>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ÉVALUATION DES RISQUES DE CONTAMINATION EN ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (Pb, Cd, Zn) DES SITES MARAÎCHERS URBAINS DE YAOUNDÉ, CAMEROUN

CHRISTIAN ROGER NGUELIEU

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER DE SPÉCIALISATION EN PRODUCTION INTÉGRÉE ET PRÉSERVATION DES RESSOURCES
NATURELLES EN MILIEU URBAIN ET PÉRI-URBAIN**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2016 - 2017

PROMOTEURS: Pr. GREGORY MAHY

Pr. GILLES COLINET

© Aux termes de la loi Belge du 30 juin 1994 relative au droit d'auteur, il est formellement interdit de procéder à la reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit sans l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le contenu du présent document n'engage que l'auteur

REMERCIEMENTS

L'aboutissement de ce travail est le fruit des efforts conjugués de plusieurs personnes pour qui je témoigne ma gratitude.

- Ma reconnaissance va à l'Académie de Recherche de l'Enseignement Supérieur Belge (ARES) pour cette opportunité. Vous avez rendu possible un rêve d'enfance.

- Je remercie mes promoteurs le Professeur MAHY Gregory et le Professeur COLINET Gilles, d'abord pour avoir accepté d'assurer la codirection de ce travail, ensuite pour les remarques, les critiques constructives et surtout les encouragements qui ont permis non seulement de définir mon sujet de recherche, mais surtout de matérialiser ladite recherche.

- Ma gratitude s'adresse au coordonnateur du Master, le Professeur Haïssam JIJAKLI pour toutes les facilitations mises à notre disposition pour le bon déroulement de cette formation.

- J'exprime toute ma reconnaissance au corps professoral du Master de Spécialisation PPRN, conjointement dispensé par Gembloux Agro bio Tech et l'ISIA, pour leur volonté manifeste de nous transmettre les connaissances et la rigueur scientifique.

- J'exprime toute ma reconnaissance au Doctorant Grâce LOUBOTA de TERRA, Research Center for Central Africa Forestry à Gembloux Agro pour son appui scientifique.

- Merci au professeur KENGNE Yves Magloire de l'Université de Yaoundé 1 au Cameroun pour tous les efforts consentis afin que je participe à cette formation.

- Un merci particulier au doctorant Valery DJUMYOM de l'Université de Yaoundé 1 pour son appui scientifique et à FODJO Isaac pour son aide pendant la collecte des données.

- Merci à ONANA Luc Gérald de l'Université de Gent 'futur prof des sciences du sol' pour son appui scientifique et les nombreux échanges fructueux tout au long de cette recherche.

- Je témoigne ma profonde gratitude à mon père SIAHA Etienne, à mes mamans HAPPI Julienne et TOUALEU Régine et à mes frères et sœurs Aris, Jean marcel, Robert, Claudine, Barthélemy, Olive et Géraldine.

- Merci à mes promotionnaires pour l'ambiance bonne enfant dans un épanouissement scientifique. WASELIN, ANGRAND, le marié GUERRIER et PATRICK de la joyeuse Haïti, les Sapologues MUSHAGALUSA et Maurice connu sous le nom de NSÉLÉ ; HOUDEHIM, ODJOUOLA et le chef de village LAWANI MOUKARAM ; SARAH la belge et ma compatriote NGUELIAHA. Vous avez été source de motivation pendant cette formation.

- Merci à Berthe FEUSSI pour la relecture et à tous ceux qui ont souffert pour finaliser.

- Yohan Hanson, Ethan Othniel et à la Chair de ma chair, ce travail vous est dédié.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIÈRES	iv
LISTES DE PHOTO, FIGURES ET TABLEAUX	vi
RÉSUMÉ.....	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCTION GENERALE	1
1.1 Objectif principal de la recherche.....	2
1.2 Orientation de l'étude.	2
1.3 Aspect spatial et temporel de l'étude.....	2
1.4 Aperçu méthodologique général.....	2
1.5 Intérêt de l'étude	2
II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
2.1 Définition de quelques concepts	3
2.2 Généralité sur les ETM (Cd, Pb, Zn).....	4
2.3 Problématique des Elément Traces Métalliques dans les sols.....	5
2.3.1 Localisation des ETM dans les constituants du sol	5
2.3.2. Problématique des ETM dans les sols	6
2.5 Les sources potentielles de contaminations des sols agricoles urbains en ETM.....	9
2.6 Méthode d'extraction des ETM.....	11
2.7 Normes applicables aux ETM dans les sols agricoles de Yaoundé et leur pertinence ...	11
III. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	13
3.1 Localisation générale de la zone d'étude (Cameroun)	13
3.2 Présentation des sites d'études	14
3.2.1 Le bas-fond maraîcher d'EZAZOU VILLAGE.....	14
3.2.2 Le bas-fond maraîcher de MOKOLO ÉLOBI	14
3.2.3 Le bas-fond maraîcher d'ÉTOUG-ÉBÉ.....	15
3.3 Topographie et climat des sites d'études.....	16
3.4 L'hydrographie des sites d'études	17
3.5 Fond géochimique et typologie des sols investigués.....	17
IV. MATÉRIELS ET MÉTHODES	18
4.1 CHOIX DES BAS-FONDS À INVESTIGUER	18
4.1.1 Analyse des documents existants	18

4.1.2	Cartographie des bas-fonds.	18
4.2	LES SOURCES POTENTIELLES DE CONTAMINATIONS	20
4.2.1	Enquêtes auprès des maraîchers et des acteurs ayant des activités aux alentours ..	20
4.2.2	Traitement des données d'enquêtes.	21
4.3	DÉTERMINATION DES CONTAMINANTS ETM DANS LES SOLS	21
4.3.1	Méthode de prélèvement des échantillons de sol.....	21
4.3.3	Méthode analytique au Laboratoire	23
4.3.4	Analyse des ETM.....	23
4.4	Méthodologie pour la valorisation des orientations de recherche	23
V.	RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS	25
5.1	LES SOURCES POTENTIELLES DE CONTAMINATION	25
5.2	NIVEAU DE CONTAMINATION DES SOLS	31
VI.	DICUSSIONS	37
VII.	CONCLUSION ET PEPECTIVETVES	40
□	RECOMMANDATIONS	40
□	PERPECTIVES.	41
VIII.	BIBLIOGRAPHIE	42
IX.	ANNEXE	47
	Annexe . Questionnaire d'enquête (sources potentielles de contaminations)	47

LISTES DE PHOTO, FIGURES ET TABLEAUX

Photo

Bas-fond maraîcher à Yaoundé (Ezazou village).....	ix
--	----

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des valeurs des teneurs en ETM dans les sols en Wallonie.	12
Tableau 2 : Répartition des questionnaires d'enquêtes "sources de contamination"	20
Tableau 3 : Superficie des bas-fonds et approche d'échantillonnage	21
Tableau 4 : Analyse du questionnaire d'ÉZAZOU VILLAGE.....	25
Tableau 5 : Analyse du questionnaire d'ÉTOUG-ÉBÉ.....	27
Tableau 6 : Analyse du questionnaire de MOKOLO ÉLOBIE.....	29
Tableau 7 : Synthèse statistique des éléments disponibles des sols de bas-fonds.....	31
Tableau 8 : Matrice de corrélation entre les ETM et éléments disponibles du sol.	36

Liste des Figures

Figure 1: Synthèse des flux d'ETM totaux dans les sols (Mathieu et <i>al</i> , 2008).	5
Figure 2: Situation différenciée des bas-fonds maraîchers dans la ville de Yaoundé.....	8
Figure 3: Synthèse des origines des ETM dans les sols	10
Figure 4: Localisation administrative de Yaoundé	13
Figure 5: Localisation du Bas-fond maraîcher d'EZAZOU VILLAGE.	14
Figure 6: Localisation du Bas-fond maraîcher de MOKOLO ÉLOBI.....	15
Figure 7: Localisation du Bas-fond maraîcher d'ETOUG ÉBÉ.	15
Figure 8: Topographique et hydrographie de Yaoundé.....	16
Figure 9: Précipitations et température à Yaoundé (1980- 2012)	17
Figure 10: Distribution des bas-fonds maraîchers dans le tissu urbain de Yaoundé.....	19
Figure 11: Schéma de prélèvement d'un échantillon composite.....	22
Figure 12: Teneur moyenne de Pb dans les sols de bas-fonds maraîchers à Yaoundé.	32
Figure 13: Teneur moyenne de Zn dans les sols de bas-fonds maraîchers à Yaoundé.	32
Figure 14: Teneur moyenne de Cd dans les sols de bas-fonds maraîchers à Yaoundé.....	33
Figure 15: Relation entre les ETM et les sites maraîchers.	34
Figure 16: Analyse multivariée des 8 variables et position des échantillons de sol	35

RÉSUMÉ

Les légumes constituent un apport important dans l'alimentation des populations du Cameroun. Cependant, ils ne sont pas disponibles toute l'année. Face à cette difficulté, les bas-fonds bénéficiant d'une fertilité relative et d'une présence régulière en eau, représentent les sites idéals de production en milieu urbain. Ces bas-fonds peuvent faire l'objet des contaminations en polluants de natures diverses.

Afin de déterminer le niveau de contamination des sites maraîchers urbains de la ville de Yaoundé en éléments traces métalliques (Pb, Zn, Cd), une étude a été menée durant les mois de mars à juin 2017 dans les bas-fonds d'Ézazou village, d'Étoug-ébé et de Mokolo élobie, jugés plus représentatifs sur la base des volumes en légumes produits et du niveau d'urbanisation aux alentours.

L'objectif étant d'évaluer les sources et les risques potentiels de contamination des sols en plomb, cadmium et zinc, les investigations ont porté sur l'appréciation des sources de contaminations et sur l'analyse des éléments traces métalliques dans les sols maraîchers.

Les résultats de l'étude ont mis en exergue les sources de contamination d'origine anthropique. Pour le site d'Ézazou, les sources majeures de contamination sont les apports d'amendements organiques, l'utilisation des engrais phosphatés et pesticides chimiques au détriment des bio-pesticides. Pour le site d'Étoug-ébé, il ressort que la principale source de contamination est liée aux apports des déchets ménagers et aux infrastructures urbaines en dégradations tout aux alentours. Les sols du site de Mokolo présentent comme sources majeures, les apports en provenance des déchetteries, des ateliers de récupérations métalliques et de dépannages électrotechniques divers aux alentours du bas-fond.

Les analyses de sols à l'acétate d'ammonium EDTA, ont permis de mettre en évidence une contamination par le cadmium, le zinc et le plomb des sols maraîchers de Mokolo. En effet, ces éléments sont présents à de fortes teneurs sur l'ensemble des échantillons prélevés, supérieures aux teneurs de référence en ETM. Cet état de fait augmente à priori les risques de contamination des cultures maraîchères produites sur ces sols ; ainsi pourrait contaminer la chaîne alimentaire.

Les soles des bas-fonds maraîchers d'Ézazou village et d'Étoug-ébé présentent des teneurs inférieures à la norme. Néanmoins, ils présentent tout de même des risques de contamination.

Mots clés : risques de contamination, éléments traces métalliques, bas-fond, zone urbaine, cultures maraîchères

ABSTRACT

Vegetables making an important contribution to the diet of the Cameroonian people. However, they are not available all year round. Faced with this difficulty, the lowlands benefit from a relative fertility and a regular presence in water, the projects the ideal sites of production in urban environment. These urban agricultural lowlands can be contaminated with pollutants of various kinds.

In order to determine the level of contamination of urban vegetable plots in the city of Yaoundé in trace metallic elements (Pb, Zn, Cd), a study was carry out from the months of March to June 2017 in the lowlands of Ezazou village, Étoug-ébé and Mokolo élobie, which are judged to be more representative on the basis of the volumes of vegetables produced and the level of urbanization in the vicinity.

The results of the study highlighted sources of anthropogenic contamination. For the Ézazou site, the main sources of contamination are the contributions of organic amendments, the use of phosphate fertilizers and chemical pesticides to the detriment of bio-pesticides. For the Étoug-ébé site, it appears that the main source of contamination is linked to the inputs of household waste and to the urban infrastructures in degradation all around. The soils of the Mokolo site present, as major sources, the inputs from the waste dumps, metal recovery workshops and various electrotechnical breakdowns in the vicinity of the shoal.

Analyzes of EDTA ammonium acetate soils revealed contamination by cadmium, zinc and lead in Mokolo's market soils. Indeed, these elements are present at high levels on all the samples taken, which are higher than the ETM reference levels. This situation a priori increases the risks of contamination of vegetable crops produced on these soils; thus could contaminate the food chain.

The soles of the lowland market gardens of Ézazou village and Étoug-ébé have levels below the norm. Nevertheless, they still present risks of contamination.

Key words: contamination risks, metal trace elements, lowland, urban area, vegetable crops

Introduction, Synthèse bibliographique et Présentation de Yaoundé au Cameroun



Bas-fond maraîcher dans la ville de Yaoundé (Ezazou village)

Credit photo 1: Nguelieu C.

I. INTRODUCTION GENERALE

Dans le contexte actuel de démographie mondiale où 54 % de la population vit en zones urbaines, proportion qui passerait à 65 % d'ici 2050 (ONU-HABITAT, 2014), les habitants doivent pouvoir trouver de l'espace pour y vivre, de l'eau et des aliments pour se nourrir.

Au niveau du Cameroun, pays de l'Afrique centrale de 24360000 habitants, la capitale politique Yaoundé n'échappe pas à cette situation. Elle connaît une croissance soutenue de 5.865 habitants en 1926 à plus de 2,8 millions d'habitants en 2012 (INC, 2015). Cette poussée démographique qualifiée d'exponentielle par Lieunang et *al.*, (2009) engendre de nombreux corollaires parmi lesquels, l'envahissement anarchique des espaces naturels (Louis, 2011), la production des déchets, la dégradation du milieu (Bellenfant, 2001) et le développement de l'agriculture urbaine pour répondre au besoin alimentaire (Gockowski, 2002) toujours croissant de sa métropole.

L'agriculture urbaine à Yaoundé est pratiquée dans divers écosystèmes y compris, les pentes, les plateaux et les bas-fonds. Les bas-fonds en particulier qui, initialement perçus comme des sites impraticables (Senaré. 1993), favorisent aujourd'hui l'émergence des secteurs vivriers et du maraîchage adaptés aux besoins des urbains. À cet effet, le ministère de l'Agriculture (MINADER, 2015) indique que 87 % des légumes à consommation courante vendus dans les marchés de Yaoundé proviennent de ces bas-fonds.

Dans le contexte collinaire de Yaoundé, l'impact de l'urbanisation a multiplié la ruée vers les bas-fonds pour l'intensification de la production maraîchère (Temple, 2014). Les bas-fonds utilisés se positionnent malheureusement en véritables réceptacles des déchets organiques et chimiques transportés par les eaux de ruissellement (Ngambi, 2015). Par conséquent, les pratiques agricoles ne sont pas toujours respectueuses de l'environnement. Plusieurs décharges publiques sont situées non loin des sites agricoles (Sotamenou, 2010) et le système d'assainissement est encore approximatif. De ce fait, des inquiétudes s'installent sur la qualité sanitaire des bas-fonds. De plus, puisque seuls les bas-fonds fournissent les légumes pendant toute l'année, ne devons-nous pas, nous inquiéter de la qualité sanitaire de ces légumes vendus dans nos marchés ? L'urbanisation différenciée aux alentours de ces zones pourrait-elle influencer la qualité de cet environnement ?

C'est fort de tout cela que nous avons réalisé cette étude pour savoir si les sites agricoles sont contaminés en Éléments Traces Métalliques (ETM), qui prélevés par les cultures pourraient se retrouver dans la chaîne alimentaire. Se rassurer de la qualité sanitaire des sols d'où sont produites nos denrées s'avère donc être un impératif d'aujourd'hui et de demain.

1.1 Objectif principal de la recherche

Le présent mémoire de fin d'études a pour objectif final d'établir si les bas-fonds maraîchers urbains de Yaoundé sont contaminés en ETM (Pb, Cd et Zn).

1.2 Orientation de l'étude.

- La 1^{ère} orientation consiste à vérifier les sources de contaminations en ETM (Cd, Pb, Zn) au niveau de chaque de bas-fonds maraîchers.
 - La 2^{ème} orientation permet de vérifier s'il y'a une différence en terme de contamination en ETM entre les 3 sites maraîchers investigués.
 - La 3^{ème} orientation consiste à rechercher s'il existe une relation entre les teneurs en ETM et les éléments disponibles du sol de chaque bas-fond.
- Enfin, la 4^{ème} orientation consiste à vérifier si la contamination de chaque bas-fond maraîcher est liée à l'urbanisation aux alentours.

1.3 Aspect spatial et temporel de l'étude

Les investigations sont faites dans la ville collinaire de Yaoundé située au Cameroun. Les enquêtes et échantillonnages de sol ont été réalisés de fin mars à mi-juin 2017.

1.4 Aperçu méthodologique général

Nous avons commencé par une analyse documentaire autour des sujets qui traitent du thème. Par la suite, il est mobilisé un croisement entre une approche (i) d'analyse systémique des sols de chaque bas-fond et la détermination des contenus en ETM (Pb, Cd, Zn) et (ii) l'analyse de risques liés aux activités dans les zones et les activités qui se passent aux alentours qui pourraient contaminer les sites maraîchers.

1.5 Intérêt de l'étude

La présente recherche permettra d'avoir le niveau de contamination des bas-fonds urbains et la corrélation éventuelle avec leur localisation dans le tissu urbain. Elle va donner aux décideurs, aménageurs et autres professionnels de l'agriculture, de la santé et des services de l'environnement, une base pour l'adoption de mesures préventives ou interventionnelles (Nguendo, 2014). La communauté scientifique aura à sa disposition une base de données sur l'état de contamination et les types de polluants en présence dans les bas-fonds maraîchers urbains et périurbains de Yaoundé.

II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Définition de quelques concepts

- **Éléments Traces Métalliques (ETM)**

Les ETM désignent les métaux et métalloïdes réputés toxiques (Gouzy et Ducos, 2008) ou les ‘métaux lourds’ (Miquel, 2001). Selon leur concentration dans le milieu et leur forme chimique (spéciation), ils sont tous potentiellement contaminants des sols. Certains métaux toxiques n’étant pas particulièrement «lourds» comme le zinc, la classification est souvent discutée (Chaney et Ryan, 1994 cité par Charland et *al.* 2001). Dans notre travail, l'appellation ‘ETM’ va désigner les éléments Cd, Pb et Zn d’après la définition de Baize (1996a) ; Tremel-Schaud & Feix (2005).

- **Contamination en ETM**

Le mot contamination est souvent employé pour désigner l’accumulation anormale, généralement due à une activité humaine, d’éléments ou de composés minéraux, organique (Chassin et *al.*, 1996) ou d’agent dans le milieu donc la qualité se trouve affectée (Gros, 2002). Le terme **contamination** sera utilisé ici pour désigner une augmentation de teneur totale, suite à des apports anthropiques sans préjugés d’une évolution négative de la qualité (Chassin et *al.*, 1996). Ce mot sera différent de pollution qui est l’accumulation d’un composé en quantité telle qu’il peut induire un danger pour les organismes vivants ou compromettre l’usage qui est habituellement fait du milieu récepteur (Gaste et *al.*, 2012, Chassin et *al.*, 1996a).

- **Évaluation de risques**

Le terme évaluation des risques est généralement utilisé pour décrire l'ensemble du processus ou de la méthode qui permet de cerner les dangers et les facteurs de risque qui pourraient causer un préjudice (identification des dangers) et d'analyser le risque associé au danger. Dans ce travail, l’évaluation de risques va consister à l’inspection des sols de bas-fonds maraîchers, en vue de l’identification des ETM, les situations et les procédures qui peuvent contribuer à contaminer donc les sources potentielles de contamination (CSA, 2010).

Nous allons utiliser l’approche préférentielle qui selon Belkessam et Lemiere (2006) permet une estimation des maxima de contamination d'un sol avec un nombre de points plus réduit. Cette approche est particulièrement recommandée pour les campagnes de reconnaissance initiale d'un site (identification des contaminants présents, choix du plan d'échantillonnage et de la stratégie d'analyse).

- **Les bas-fonds maraîchers**

Un bas-fond est une « zone basse du paysage, à fond plat ou concave, situé à la source du réseau hydrographique. Ce sont des petites vallées inondables qui recueillent les eaux de ruissellement en provenance du bassin versant. Les nappes phréatiques sont à faible profondeur et affleurent une partie de l'année » (Raunet, 1985). Avec la croissance de la ville, l'agriculture vivrière est repoussée plus loin des zones d'habitation. Seuls les bas-fonds non constructibles¹ sont occupés par les maraîchers (Moustier et *al*, 2004). Un bas-fond de maraîchage² va être considéré ici comme cette zone de vallée où se pratique le jardinage urbain, le maraîchage ou les cultures potagères).

2.2 Généralité sur les ETM (Cd, Pb, Zn)

- **Le Cadmium (cd)**

Le Cd est un métal blanc argent, légèrement bleuté (Van Cappellen et *al*, 1993). Il n'est essentiel ni aux végétaux, ni aux animaux (Tricot, 1999). Toutefois, le Cd à l'état élémentaire (atome) n'est pas toxique pour les organismes vivants, mais le devient après transformation (chimique ou biochimique) à l'état d'entité ionisée de cation divalent Cd^{2+} (Mamerre et Narbonne, 2001). Ingré à faibles doses par l'Homme, il s'accumule dans les reins (30 % de la charge corporelle) et peut provoquer une insuffisance rénale grave (C.S.H.P.F³, 1996). Il peut affecter le tractus respiratoire (poumons, nasopharynx) et éventuellement la prostate. Etant un cancérigène reconnu chez l'Homme, le Cd doit être considéré comme très préoccupant pour la santé (W.H.O, 1992).

- **Le Zinc (Zn)**

Les minerais de zinc les plus répandus dans la nature sont la sphalérite (ZnS) et la smithsonite (Zn CO₃). Le Zn fait partie des éléments essentiels pour l'homme, les animaux et les plantes. Sa toxicité dépend de la spéciation en solution (Pitter, 1999). Selon Clavet et *al.*, (1990), le pH est le facteur qui influence le plus le comportement du Zn dans les sols. Quand les sols sont acides ou neutres, le Zn est l'un des éléments traces les plus mobiles. Par ailleurs, le zinc se complexifie peu avec la matière organique et le principal mode de rétention du zinc dans le sol est l'échange ionique (Hatira et *al.*, 1990 ; Cavallaro, 1984 cité par Hlavackova (2005).

¹ L'ordonnance de 1974 au Cameroun classe les bas-fonds dans le domaine public ce qui interdit l'obtention de titre foncier et la construction d'habitats.

² Le maraîchage, ou horticulture maraîchère ou agriculture maraîchère est la culture de légumes, de certains fruits, de certaines fines herbes et fleurs à usage alimentaire, de manière professionnelle, c'est-à-dire dans le but d'en faire un profit ou simplement d'en vivre (kroll, 1994).

- **Le Plomb (Pb)**

Le Pb est un métal ubiquiste que l'on retrouve dans les sols, l'eau et la biosphère. Il peut se présenter sous des formes chimiques et minérales telles que le Pb élémentaire (Pb^0), les formes ionisées cationiques tétravalent (Pb^{4+}), trivalent (Pb^{3+}) et bivalent (Pb^{2+}) (CITEPA, 2011). La forme Pb^{2+} est la forme d'apport majoritaire dans les sols (Lauwerys, 2003). Le Pb est l'un des ETM les moins mobiles dans le sol dont 100 fois moins mobile que le Cd (Perrono, 1992). Le Pb a une action inhibitrice sur la synthèse de l'hémoglobine et peut provoquer des anémies (WHO, 2007).

2.3 Problématique des Elément Traces Métalliques dans les sols

2.3.1 Localisation des ETM dans les constituants du sol

Les risques de transferts des ETM par ruissellement sont inéluctables dans une ville collinaire comme Yaoundé. Selon Juste (1995), les caractéristiques du milieu (la sensibilité à la battance, la pente et les techniques culturales) pourraient avoir des conséquences non-négligeables sur la contamination. Ceci dit, en fonction des zones climatiques, de la durée et des caractéristiques de la pédogenèse, intervient ensuite des processus de libération, lixiviation, transferts des ETM qui vont alors plus ou moins se concentrer dans les différents «horizons» des sols (Mathieu *et al*, 2008).

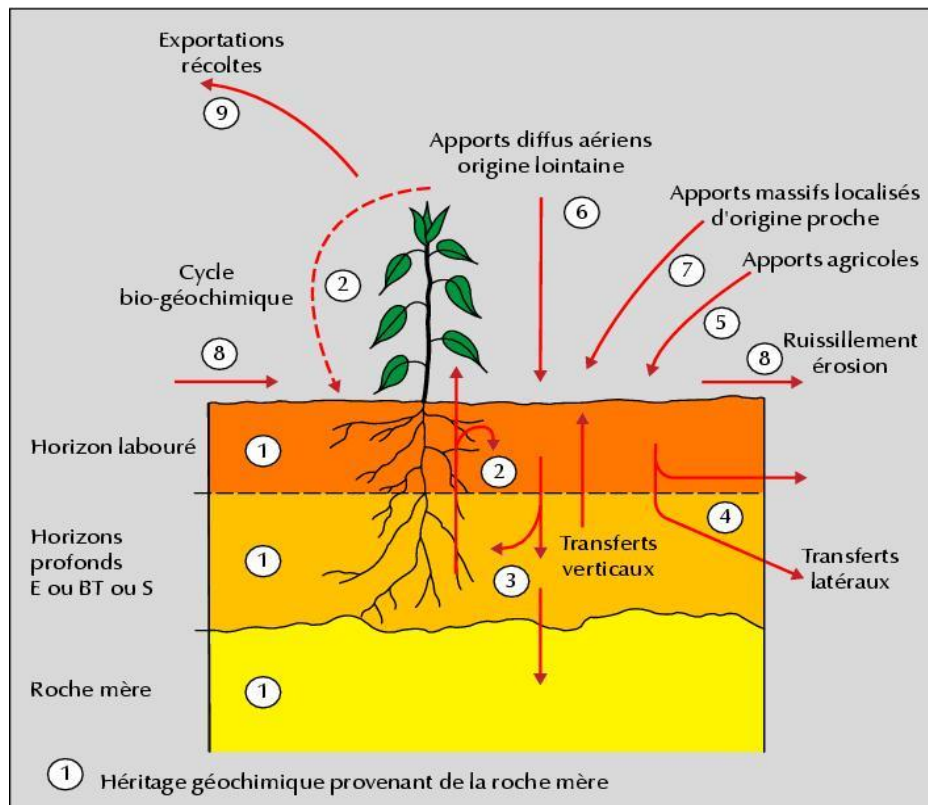


Figure 1: Synthèse des flux d'ETM totaux dans les sols (Mathieu *et al*, 2008).

Les ETM se regroupent généralement dans la fraction solide du sol parmi lesquelles : l'argile et la matière organique.

La **matière organique** participe efficacement à la rétention des ETM qui peuvent être sous forme échangeable, ou à l'état de complexe dans lesquels ils sont plus fixés (René, 1999). S'agissant des **argiles**, il rapporte que c'est dans la phase argileuse que se concentre une fraction importante des ETM dans le sol. Les acides organiques (naturels et humiques) possèdent une grande capacité de séquestration et de solubilisation. Les apports de substances organiques dissoutes favorisent la formation des complexes stable et soluble avec les métaux lourds (Reuter et Perdû, 1977).

2.3.2. Problématique des ETM dans les sols

La contamination des sols présente un risque de toxicité pour les êtres vivants et l'homme à travers la chaîne alimentaire (Mubemba, 2014). Elle entrave la croissance et la variabilité des cultures selon le degré de contamination. Les études de Saumel (2012) indiquent que plusieurs légumes cultivés en maraîchages absorbent des ETM. Cette information est confirmée au Cameroun grâce aux travaux de Adjia (2010) et Noubissié (2015) qui montrent que les produits maraîchers (amarante et laitue) cultivés dans les villes de NGaoundéré étaient contaminés par des métaux dont le Pb et le Cd, du fait de l'amendement des sols maraîchers avec des Cendres de combustion d'ordures ménagères issus des décharges urbaines d'une part et d'autre part, du fait de la position de ces bas-fonds en véritable réceptacles des déchets transportés par les eaux de ruissellement qui pourraient transporter des polluants chimiques parmi lesquels les ETM (Zn, Pb, et Cd). Une autre étude menée par Yao (2015) confirme une contamination en Cd des sols maraîchers (3 mg/kg/ MS) supérieures à la valeur seuil de 1 mg/kg recommandée. De ce fait, ces sols pollués peuvent contaminer la chaîne alimentaire en affectant d'autres cultures maraîchères (gombo, laitue, épinard et aubergine, etc.).

Nalovic (1969), a conclu dans une étude menée à Madagascar que dans les horizons de surface des sols hydromorphes sur alluvions, caractérisé par de faibles quantités de matière organique, les teneurs en ETM sont plus élevées. Cet état de fait est confirmé dans son étude sur les sols tropicaux au Cameroun :

« En ce qui concerne la distribution des éléments-traces, nous constatons que: (i) les matières organiques ne paraissent pas avoir une influence marquée sur la distribution des éléments traces dans les sols tropicaux. Il est probable que la vitesse de décomposition de la matière organique, dans le cas de la plupart des sols tropicaux, avant même qu'ils aient eu le temps d'atteindre un niveau d'évolution qui lui permettrait de former des complexes

organométalliques, peut être une des raisons de l'absence de la corrélation (ii) le pH du sol ne montre pas une corrélation significative avec les teneurs en éléments traces dans les sols étudiés au Cameroun».

2.4 Les bas-fonds maraîchers urbains et périurbains à Yaoundé

Les bas-fonds constituent un atout agricole important aux niveaux local et national et contribuent de manière significative à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté au Cameroun (Dongmo, 2005 ; FAO, 2009 ; Baudouin, 2013). Elles assurent l'alimentation de l'ensemble des populations et a des fonctions économiques, sociales, et paysagères (Temple et Moustier, 2004). Le regain d'intérêt pour les bas-fonds de Yaoundé commence à partir de 1990 (Moustier, 1995). Yaoundé connaît une urbanisation à une vitesse incontrôlable (Dauvergne 2011) et des anciens villages périurbains sont désormais insérés dans l'armature urbaine et seuls les bas-fonds agricoles ou inconstructibles sont épargnés.

La ville de Yaoundé connaît une urbanisation rapide, mais quelques fois anarchique (CUY, 2005). Les collines et les pentes sont occupées par les habitations et les seuls endroits inconstructibles que sont les bas-fonds sont envahis comme une ruée vers l'or par les agriculteurs urbains. Selon Temple-Boyere E. (2002), les sols de fond de vallées (bas-fond et bas-fond marécageux) constituent 55 % des zones sollicitées par les maraîchers. La production vivrière et fruitière se pratique sur les pentes (26 %) et à 19 % sur les Plateaux.

Les profits typologiques des maraîchers de bas-fond ont été largement étudiés par des chercheurs : Moustier (1995) ; Marquis (2005) ; Nguengang et *al.* (2008), Dauvergne (2011) et Nguendo (2014). Les conclusions se rejoignent : l'activité est dominée par des hommes, le niveau scolaire est faible, ils pratiquent des activités secondaires au maraîchage, la fertilisation est dominée par les amendements organiques (lisier de porc, fiente de poules, du compost), une faible utilisation d'engrais chimiques et une utilisation régulière des pesticides. Selon le consortium bas-fonds CBF⁴ et les travaux de Albergel et *al.*, (1993) sur la mise en valeur des bas-fonds agricoles, nous avons sur la base des critères suivants : (i) la taille du bassin versant et la morphologie du bas-fond, (ii) l'organisation sociale et foncière, (iii) la technicité des populations vis-à-vis de l'amendement et la gestion de l'eau et (iv) l'accès au marché (volume de production, vente de produits) regrouper en trois grandes familles les bas-fonds de Yaoundé.

⁴ Le Consortium bas-fonds (CBF) est un programme éco-régional GCRAI pour la promotion d'un développement durable des bas-fonds en Afrique subsaharienne.

⇒ Les bas-fonds en zone dite « **rurale** » qui sont des sites agricoles en contact avec la périphérie. Ce sont les sites maraîchers de Mikoamiyos, Nkolodom, Nkolbisson, Nkolmessing, Mimboman, Fébé village, Ezazou village, Okolo, etc.

⇒ Les bas-fonds en zone dite « **urbanisée** » ; qui sont développés en zone fortement urbanisée, en plein tissu urbain et dont les alentours sont dominés par les habitations et les services. Ce sont les bas-fonds maraîchers de Nsiméyon, Biyem-assi, Nsimbock, Ngoa-ékelé, Nkolbikok, Mvan, Mvog-Mbi, Eman, Etoudi, Essos, Omnisport, etc.

⇒ Les bas-fonds en zone dite « **industrialisée ou semi-industrialisée** » qui se sont développés non loin des véritables industries (brasserie, savonnerie, huilerie, etc.) ou développés non loin des zones semi-industriels. Ce sont les bas-fonds maraîchers de Mokolo, nkolfoulou, Nsam, Olézoa, Ahala, etc.

La figure 2 ci-dessous illustre les tendances d'occupation des bas-fonds à Yaoundé

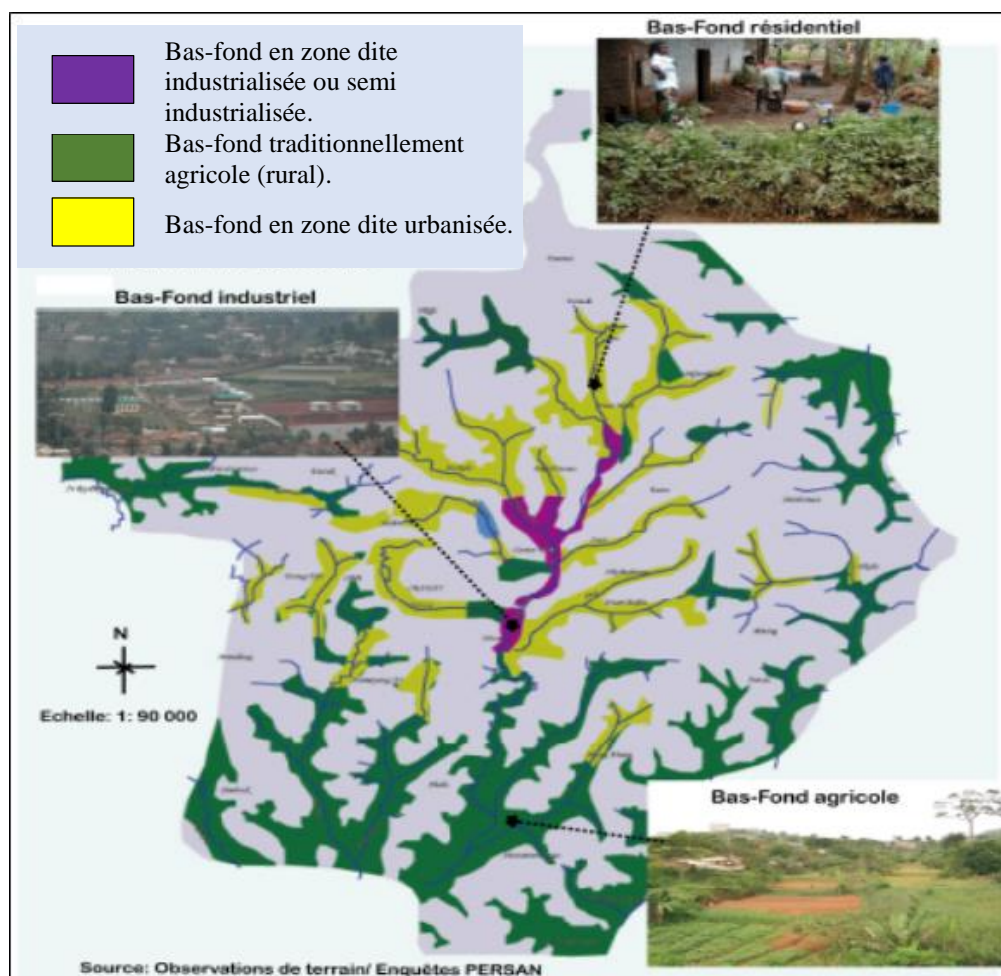


Figure 2: Situation différenciée des bas-fonds maraîchers dans la ville de Yaoundé
Source : adapté de la carte proposée par Nguendo (2014).

2.5 Les sources potentielles de contaminations des sols agricoles urbains en ETM

Les sources de contamination en ETM sont de trois ordres:

1. **Les fonds géochimiques** : Naturellement, le sol contient des ETM issus de la roche-mère sur laquelle il s'est formé. Par conséquent, selon les régions du monde où l'on se trouve, le sol sera d'autant plus riche en ETM que la roche-mère l'est également (Perrono, 1992).

2. **Les dépôts atmosphériques** : ils concernent surtout le Zn et le Pb. Les dépôts sont très variables dans les sols d'un bas-fond à un autre, notamment en fonction de la proximité des infrastructures (Hébrard-Labit et Meffray, 2004 ; Zaninotto et Faure, 2004). Les rejets de plomb (40 % dispersés) par les gaz d'échappement sont une cause de contamination des sols situés à proximité des grands axes routiers (Perrono, 1999). Pour ce qui est du Cd, les flux atmosphériques sont plus faibles (Grousset, 1994 ; Juste et *al*, 1982). En France, les dépôts atmosphériques apportent en moyenne à l'homme 1 µg de Cd par jour (Royer et Lebas, 2010).

3. Les apports anthropiques

- **Sources liées aux ménages** : les ménages utilisent les produits contenant les ETM sous diverses formes: lessive, batterie (pile) de lampes jetées dans les ordures ménagères.

- **Sources liées aux infrastructures** : des nombreuses infrastructures peuvent libérer des ETM quand elles commencent à se délabrer (bitumes, bâtiments, etc.); la production de déchets au niveau de ces infrastructures (stations-service, hôpitaux...), ce sont donc potentiellement des sources de contaminations dues au ruissellement.

- **Sources d'origines industrielles** : les principales origines se trouvent dans les utilisations industrielles du Cd : alliages de soudure et de brasure, batteries d'accumulateurs, câbles électriques, engrais (superphosphates), colorants, peintures et vernis; mais aussi de métallurgie du Zn et du Pb (Perrono, 1999). Les zones industrielles sont des potentielles sources de contamination des sols maraîchers, car le vent et les eaux de ruissellements peuvent transporter les ETM vers les bas-fonds (Periera, 2007).

- **L'agriculture : les pesticides** : selon l'étude menée par Robert et Juste (1997), de nombreux pesticides contribuent de manière importante à la contamination des sols par les ETM. Les principaux apports anthropiques de Zn proviennent des déchets agricoles (Perrono, 1999). En France, ils représentent 61 % de la contamination totale des sols, suivie des déchets urbains (20 %) et de 18 %) des retombées atmosphériques (Feix, 2012). Nous avons aperçus

sur 2 sites investigués les emballages du « Round up 360 » actuellement interdit dans l'espace Union Européen pour la toxicité.

- **La fertilisation** : les apports d'engrais chimiques utilisés en agriculture sont une source importante de Cd (Perrono, 1999). L'épandage des engrais phosphatés sur les sols maraîchers provoque un enrichissement inéluctable des sols en Cd (Baize, 1996a). Les engrais commercialisés ont le Cd avec des taux d'accompagnement du phosphore très élevés (Robert et Juste, 1997). le Cd²⁺ est l'espèce dominante dans les sols à pH < 6,5. Lauwerys (2003).

- **Les amendements organiques** : l'utilisation d'amendements organiques traditionnels comme le fumier de ferme, les fientes de poules, les bouses de vache, le compost ou les lisiers de porcs vont participer à l'accroissement de la teneur en ETM du sol (Chassin & Baiser, 1996). Une étude réalisée par Gomez et al. (1992), a rapporté la présence des teneurs en ETM dans du fumier à hauteur de Cd : 0.7 mg/kg MS, Zn : 0.7 mg/kg MS et Pb:0.7 mg/kg MS. Une étude menée par Noubissié (2010) rapporte que les cendres de combustibles sont utilisées comme amendement par les maraîchers au Cameroun. Les agriculteurs faute de moyens pour acheter les engrais chimiques, vont dans les décharges urbaines, y brûlent les ordures ménagères et récupèrent les cendres de combustions (CC) pour amender les sols. Cette pratique est une source de contamination inéluctable des sols, dans le contexte de l'inexistence de la pratique du triage des ordures au Cameroun.

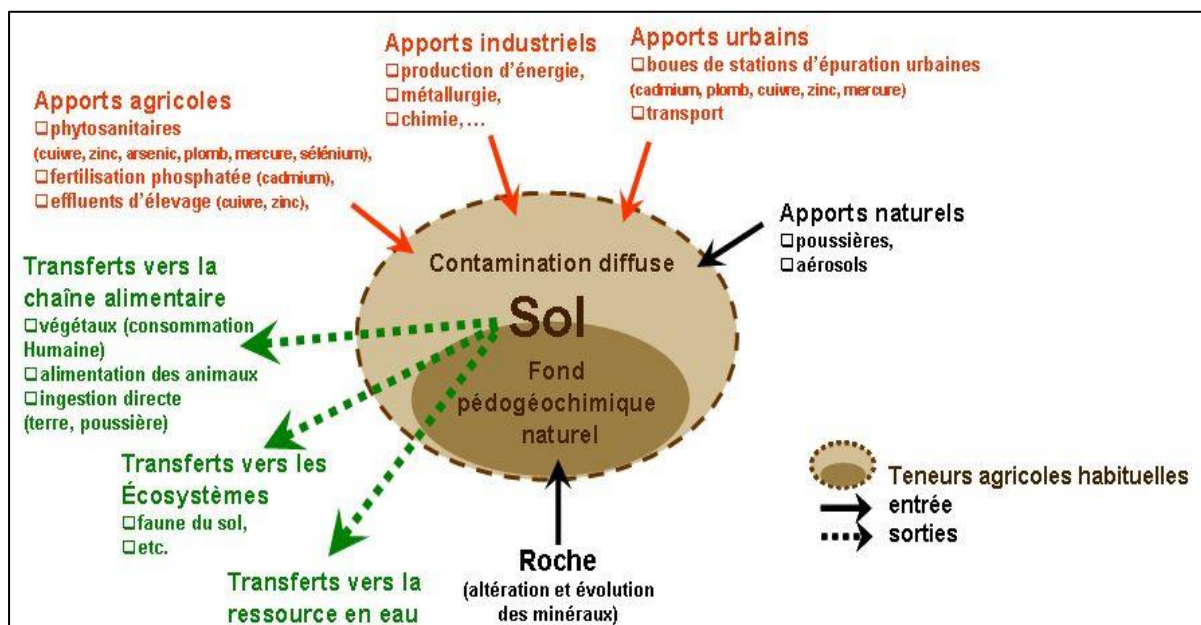


Figure 3: Synthèse des origines des ETM dans les sols

Source : Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire de France 2014.

2.6 Méthode d'extraction des ETM.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour l'extraction des ETM dans les échantillons de sols. La "méthode à l'acide fluorhydrique ou par fusion alcaline" ou encore par "spectrométrie de fluorescence X" ou les mises en solution par l'acide nitrique ou par l'eau régale (Baize, 2014). Il est admis au niveau international que les teneurs obtenues sont qualifiées de «pseudo totales» et non des «valeurs totales» qui désignent des déterminations réalisées à partir des méthodes différentes (Colinet et *al.*, 2014),

2.7 Normes applicables aux ETM dans les sols agricoles de Yaoundé et leur pertinence

La norme est une limite de contamination des sols à ne pas dépasser afin que les quantités intégrées restent inférieures aux doses maximales (Mathieu et *al.*, 2008) ; ce qui pourrait déclencher des actions d'alerte et de contrôle des contaminants.

Il n'existe pas de norme camerounaise ni africaine en matière d'ETM dans les sols agricoles. On pourrait utiliser la réglementation internationale, mais à ce jour, il n'existe pas de valeur réglementaire internationale définissant une teneur « normale » ou non pour un ETM dans les sols maraîchers ou potagers (Mathieu *et al.*, 2008).

Une étude avait été lancée pour établir un référentiel pédochimique en France et fixer les "valeurs normatives agricoles" Strerckenan et *al.*, 2002a, cité par Colinet (2003). Les résultats ne sont pas disponibles à ce jour. Cependant, L'Association Française de Normalisation (AFNOR) a fixé en 2005 pour les sols français, une réglementation pour l'épandage des boues de stations d'épuration urbaines sur les terres agricoles (*Cd* : 2mg/kg MS, *Pb* : 100mg, et *Zn* : 300 mg/kg MS). Cette norme est souvent utilisée comme référentiel pour comparer la teneur en ETM dans les sols dans certains mémoires d'étudiants en Afrique.

Quelques pays européens dont la Belgique propose une réglementation régionale Flamande et Wallonne en la matière. Le décret « sol » applicable depuis le 6/06/09 en Wallonie fixe dans son annexe 1, un ensemble de limites de contaminants en métaux / métalloïdes dans les sols agricoles. Il définit la valeur de référence (VR), la valeur seuil(VS), la valeur d'intervention (VI).

L'encadré ci-dessous donne des précisions pour chaque valeur.

<p>VR = Valeur indicative des concentrations de fond en polluants attendus dans le sol en absence de variation géologique naturelle et en l'absence d'influence d'une activité agricole, industrielle ou urbain généralisée. (Décret « sol » Art.2, 20°).</p>
--

VS = Concentration en polluant dans les sols correspondant à un niveau au-delà duquel une étude de caractérisation doit être entreprise, ainsi qu'en cas de menace grave ou de pollution nouvelle, un assainissement et le cas échéant des mesures de sécurité ou des mesure de suivi (Décret « sol » Art.2, 20°).

VI = Concentration en polluants dans le sol correspondant à un niveau au-delà duquel une intervention est systématiquement entreprise, laquelle peut prendre la forme, le cas échéant simultanément i) d'un assainissement ; ii) De mesures de sécurité ; iii) De mesures de suivi.

Source : adapté de l'annexe 1 du décret «sol» Wallonie.

Les échantillons des sols investigués ont été analysé au laboratoire de la Hulpe en Wallon qui utilise des référentiels d'extractions de la région wallonne de Belgique (Colinet et *al.*, 2004). On pourrait dans ce cadre s'appuyer sur la réglementation y référente.

Par ailleurs, les légumes produits au Cameroun pourraient avec les Accord de Partenariat Economique (APE⁵) signés entre le Cameroun et l'Union Européenne se retrouver d'une part sur les marchés de la Belgique et d'autre part sur l'ensemble des marchés de l'UE, d'autant plus que les produits alimentaires commercialisés dans l'UE sont soumis à la réglementation (CE) n°1881/2006 de la commission du 19/12/06 pour les teneurs en ETM.

Fort de tout ce qui précède, nous avons utilisé la norme applicable pour les jardins potagers en Wallonie pour se prononcer sur les niveaux de contaminations des sols investigués.

Le tableau 1 est la synthèse des teneurs obtenues par extraction dans l'eau régale (ISO 11466)

Référentiel applicable sur les parcelles potagères / maraichères (valeur en mg/kg de MS)			
	VR	VS	VI
Plomb	25	200	700
Cadmium	0,2	3	30
Zinc	67	230	730

Tableau 1: synthèse des valeurs des teneurs en ETM dans les sols en Wallonie.

Source : Adapté de l'annexe 1 du décret «sol», tiré des travaux de thèse de Davin (2016).

⁵ L'Accord de Partenariat Economique (APE) UE-Afrique Centrale pour le commerce et le développement entre l'UE et le Cameroun. Il a été signé par l'UE et le Cameroun le 15 janvier 2009, est entré en application le 4 août 2014. Les principales exportations du Cameroun vers l'UE concernent aussi les produits agricoles dont les légumes et fruits.

III. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

3.1 Localisation générale de la zone d'étude (Cameroun)

Le Cameroun est situé en Afrique centrale, du 1°40' au 13°05' Nord et du 8°30' au 16°10' Est. Avec une superficie de 475.000 km², sa forme générale simule un triangle (Olivry, 1986 ; Onana, 1995 ; Sonké, 1998). La ville de Yaoundé, zone d'étude est la capitale politique du Cameroun. Elle est située au sud de la région du Centre, implantée sur un réseau de collines d'altitudes variantes de 600 à 1295 mètres qui surplombent la ville (ONU-HABITAT, 2000 ; Marquis, 2005). Les différents quartiers s'ordonnent en fonction du relief et cèdent place aux sites inconstructibles et aux bas-fonds de vallées qui constituent 30 % de l'espace urbain (Dauvergne, 2011), ce qui laisse une place importante pour une activité agricole urbaine et périurbaine.

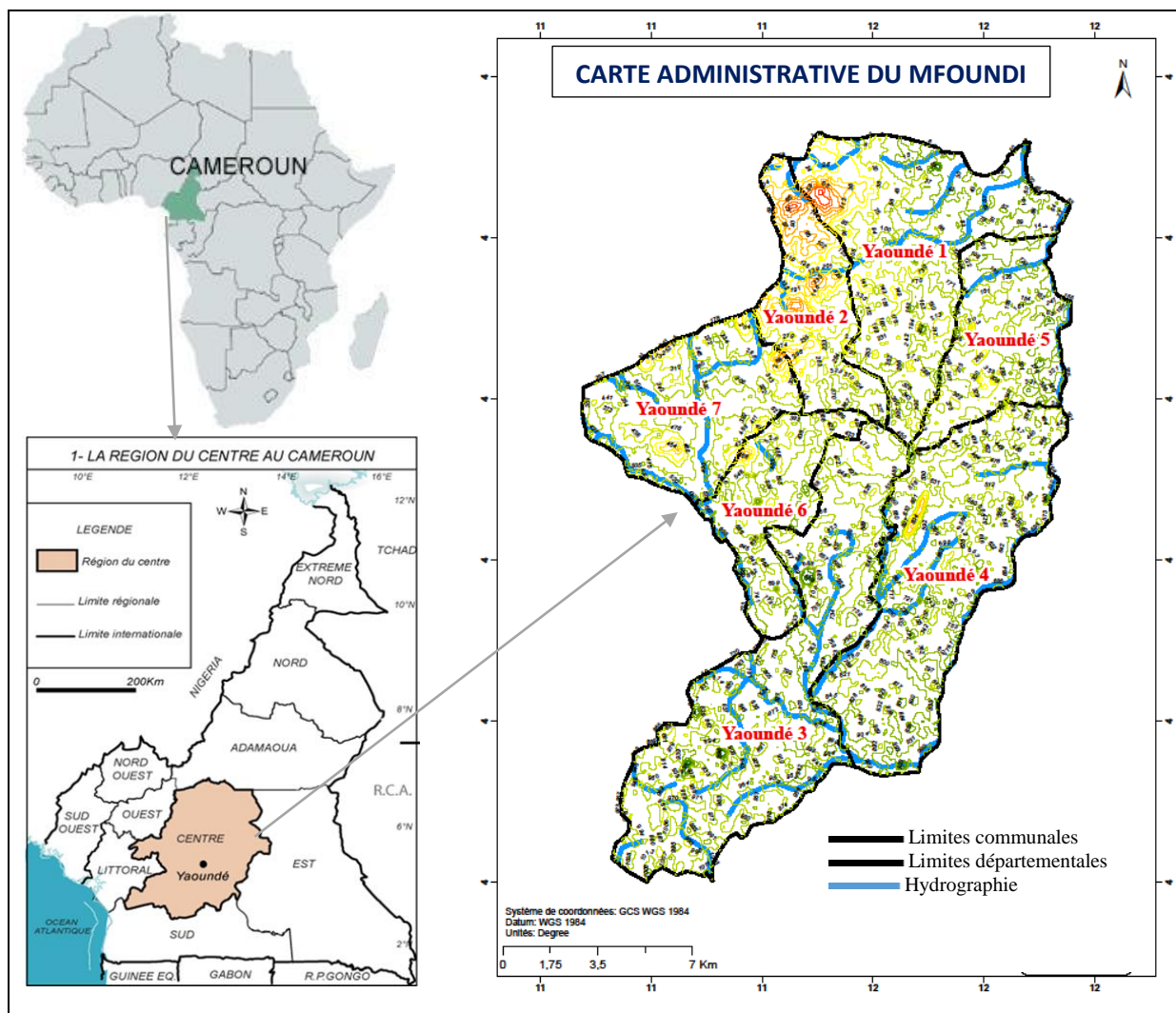


Figure 4: Localisation administrative de Yaoundé

3.2 Présentation des sites d'études

Sur le plan administratif, la ville de Yaoundé est subdivisée en 7 arrondissements. Chacun constitué d'un nombre variable de quartiers placés sous l'autorité traditionnelle d'un chef de quartier. Le présent travail a été mené dans 3 bas-fonds localisés respectivement dans les arrondissements de Yaoundé II, III et IV du département du Mfoundi.

3.2.1 Le bas-fond maraîcher d'EZAZOU VILLAGE

Le bas-fond d'Ézazou, est situé dans l'arrondissement de Yaoundé 4, dans le quartier Ekié, en contrebas des habitations (photo1). D'environ 6 hectares, les sols sont de couleur noire et riche en matières organiques. C'est l'un des bas-fonds maraîchers les plus importants en termes de volume de légumes-fruits frais produits. D'après Marquis (2005), il est essentiellement destiné au maraîchage intensif avec une prédominance des légumes-feuilles (Amarantes, Céleris, Laitues, et Aubergines africaines, etc.). Le maraîchage se pratique pendant toute l'année sans jachère. Les cultures à haute valeur ajoutée dont le prix est très élevé sont privilégiées en contre-saison (Nguegang, 2008a). Certains producteurs aisés utilisent des motopompes pour irriguer. Sinon, l'arrosage se fait traditionnellement grâce aux arrosoirs. Il bénéficie d'un système de canalisation et de drainage des eaux entretenu par les maraîchers eux-mêmes.



Figure 5: Localisation du Bas-fond maraîcher d'EZAZOU VILLAGE.
(Source : Google Earth. Matérialisation du site de production par Nguelieu)

3.2.2 Le bas-fond maraîcher de MOKOLO ÉLOBI

Le site de Mokolo est situé dans l'arrondissement de Yaoundé II, au cœur des quartiers fortement anthropisés et insalubres. Il a une superficie de 1 hectare. Il n'est pas soumis à la même pression d'exploitation que le site d'Ezazou. Les sols sont rouges et la production de légumes est destinée à la subsistance et l'autoconsommation ; seuls les surplus sont vendus.

Pas du tout aménagée, une partie est inondée en saison des pluies par les cours d'eau Abiegueu et Ekozoa. Les cultures vivrières et quelques légumes rustiques (grande morelle, vernonia et amarante) sont dominants pendant la grande saison sèche et la grande saison des pluies.



Figure 6: Localisation du Bas-fond maraîcher de MOKOLO ÉLOBI
(Source : Google Earth. Matérialisation du site de production par Nguelieu)

3.2.3 Le bas-fond maraîcher d'ÉTOUG-ÉBÉ

Le site d'ÉTOUG-ÉBÉ est situé dans l'arrondissement de Yaoundé III à environ 03 kilomètres du centre-ville (Dauvergne, 2011). C'est un quartier urbanisé où les sites maraîchers urbains s'entremêlent aux habitations. D'une superficie de 3 hectares cultivables, les sols sont de couleur noire. Le maraîchage dit « pur » des légumes est pratiqué en petite saison des pluies. Et un maraîchage dit « associé » où les espèces maraîchères côtoient les plantes vivrières (Dauvergne, 2011) en saison de pluies. La production est saisonnière et pendant le mois de mars, il est inondable rendant de ce fait les cultures vivrières plus abondantes.

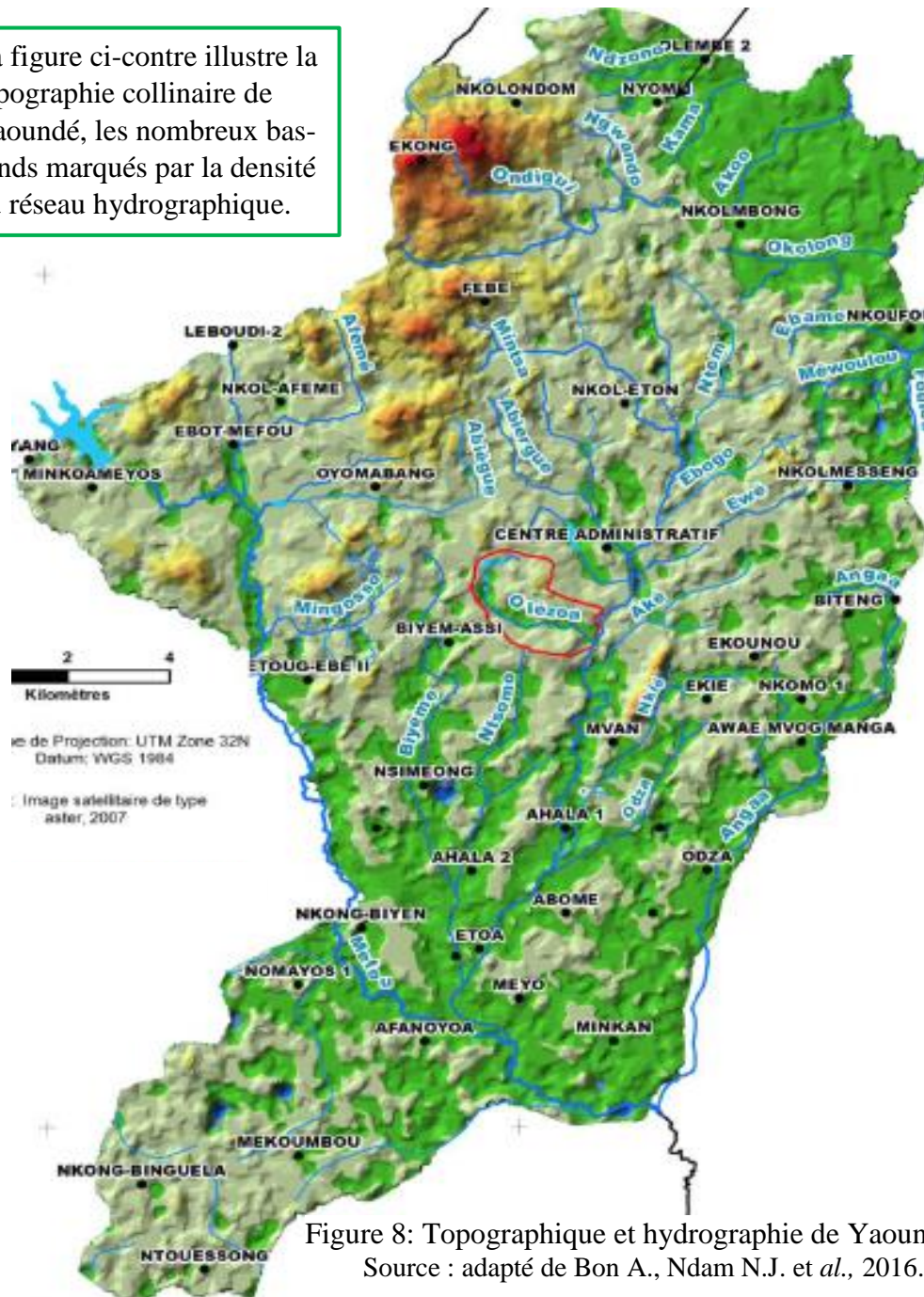


Figure 7: Localisation du Bas-fond maraîcher d'ÉTOUG ÉBÉ.
(Source : Google Earth. Matérialisation du site de production par Nguelieu)

3.3 Topographie et climat des sites d'études.

La ville Yaoundé est soumise à un climat du type équatorial guinéen classique, marqué par l'influence continentale et la présence des grandes collines qui bordent la ville du côté ouest et nord-ouest (Moby-Etia, 1979). La topographie est dominée par 7 collines principales et les bas-fonds sont des espaces privilégiés pour l'agriculture.

La figure ci-contre illustre la topographie collinaire de Yaoundé, les nombreux bas-fonds marqués par la densité du réseau hydrographique.



Les températures moyennes varient de 18 à 28°C en saison humide et de 16°C à 31°C en saison sèche. Les amplitudes thermiques sont faibles de 2.6. L'hygrométrie varie entre 35 et 98 %. Les vents fréquents sont humides et soufflent en direction du Sud-Ouest (Moby-Etia, 1979).

Les précipitations moyennes sont de l'ordre de 1 600 mm d'eau par an. Ils suivent une répartition bimodale, avec 2 saisons sèches et 2 saisons des pluies dont : (1) une grande saison sèche de novembre à février ; (2) une petite saison des pluies de février à juin ; (3) une petite saison sèche de juin à août et (4) une grande saison des pluies d'août à novembre.

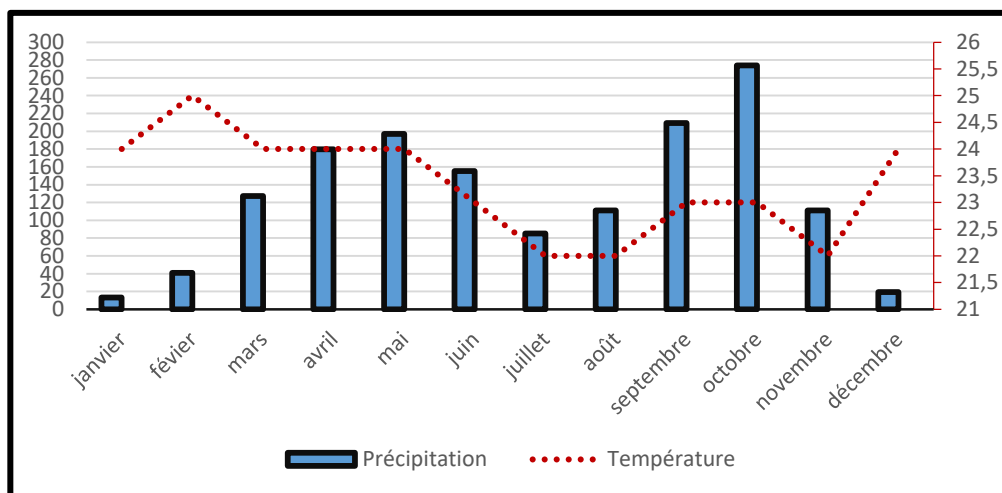


Figure 9: Précipitations et température à Yaoundé (1980- 2012)
Adapté des données de la station de Mvan-Yaoundé-Cameroun.

La répartition des précipitations est très favorable à la production maraîchère. Par ailleurs, la notion de saison « sèche » utilisée ici peut être nuancée, car la durée consécutive de jours sans pluie selon notre appréciation sur ces cinq dernières années n'a pas dépassé 45 jours. Pendant la saison des pluies, il pleut rarement sur toute la ville. Toutes ces particularités amènent à parler du «climat yaoundéen».

3.4 L'hydrographie des sites d'études

Le réseau hydrographique de la ville est très dense et essentiellement composé du cours d'eau Mfoundi et de ses affluents (Olivery., 1986). Ceux-ci assurent le drainage naturel des eaux de ruissellement et des eaux superficielles (CUI, 2005, Boulleys, 2006, Dauvergne, 2011). Elle varie selon les bas-fonds dont celui de "MOKOLO ÉLOBIE" et "ÉTOUG-ÉBÉ" sont inondés pendant une partie de l'année, tandis que celui de "EZAZOU VILLAGE" a bénéficié d'un assainissement qui facilite la bonne répartition de l'eau ; plusieurs maraîchers utilisent même des motopompes pour arroser leurs cultures et se servent malheureusement de cet aménagement pour laver les légumes produits.

3.5 Fond géochimique et typologie des sols investigués.

La ville de Yaoundé repose sur un socle granito-gneissique (Kuété, 1977). Les investigations des fonds géochimiques réalisées sur les sols du Sud Cameroun indiquent une absence de teneurs, supérieures à la norme en ETM (Lecomte et Bonnefoy, 1985). Toute contamination résulterait uniquement d'une source anthropique. On trouva à Yaoundé des sols du massif montagneux, les sols ferrallitiques des plateaux et les sols hydromorphes (Onguené, 1993).

IV. MATÉRIELS ET MÉTHODES

4.1 CHOIX DES BAS-FONDS À INVESTIGUER

4.1.1 Analyse des documents existants

Nous avons commencé par parcourir la documentation existant sur les bas-fonds agricoles. Nous avons exploité les images aériennes Google Earth. Il s'en est suivi une analyse des cartes : topographiques (1:2000), d'urbanisation, d'occupations des sols du projet PADY (Projet d'Aménagement des bas-fonds de Yaoundé). La superposition et le croisement des données avec les informations issues de mémoires, thèses, rapports, articles scientifiques et publication diverses nous ont orientés sur 2 approches :

(i) une 1^{ère} approche, dont le choix des bas-fonds à investiguer porte sur la localisation du bas-fond par rapport au niveau d'urbanisation aux alentours. Dans ce cas, nous avons penché pour un bas-fond situé en zone dite rurale, un bas-fond situé en zone dite urbanisée et un bas-fond situé en zone dite industrialisée.

(ii) une 2^{ème} approche basée sur le choix des 3 bas-fonds par rapport à l'activité historique dont un bas-fond en zone industrielle, un bas-fond traditionnellement agricole et un bas-fond situé en zone résidentielle.

4.1.2 Cartographie des bas-fonds.

Des logiciels cartographiques ont été utilisés (Qgis 2.14.6 et ArcGis 10.3) pour cartographier les bas-fonds par rapport aux deux approches définies plus haut. Nous sommes partis des 11 bas-fonds (Temple, 2002) à 21 sites maraîchers (Nguegang. 2008). Nous avons superposé des couches, digitalisé et cartographié pour retenir les 3 bas-fonds de notre étude.

La figure 10 ci-dessous, montre les distributions de quelques bas-fonds maraîchers dans la ville de Yaoundé.

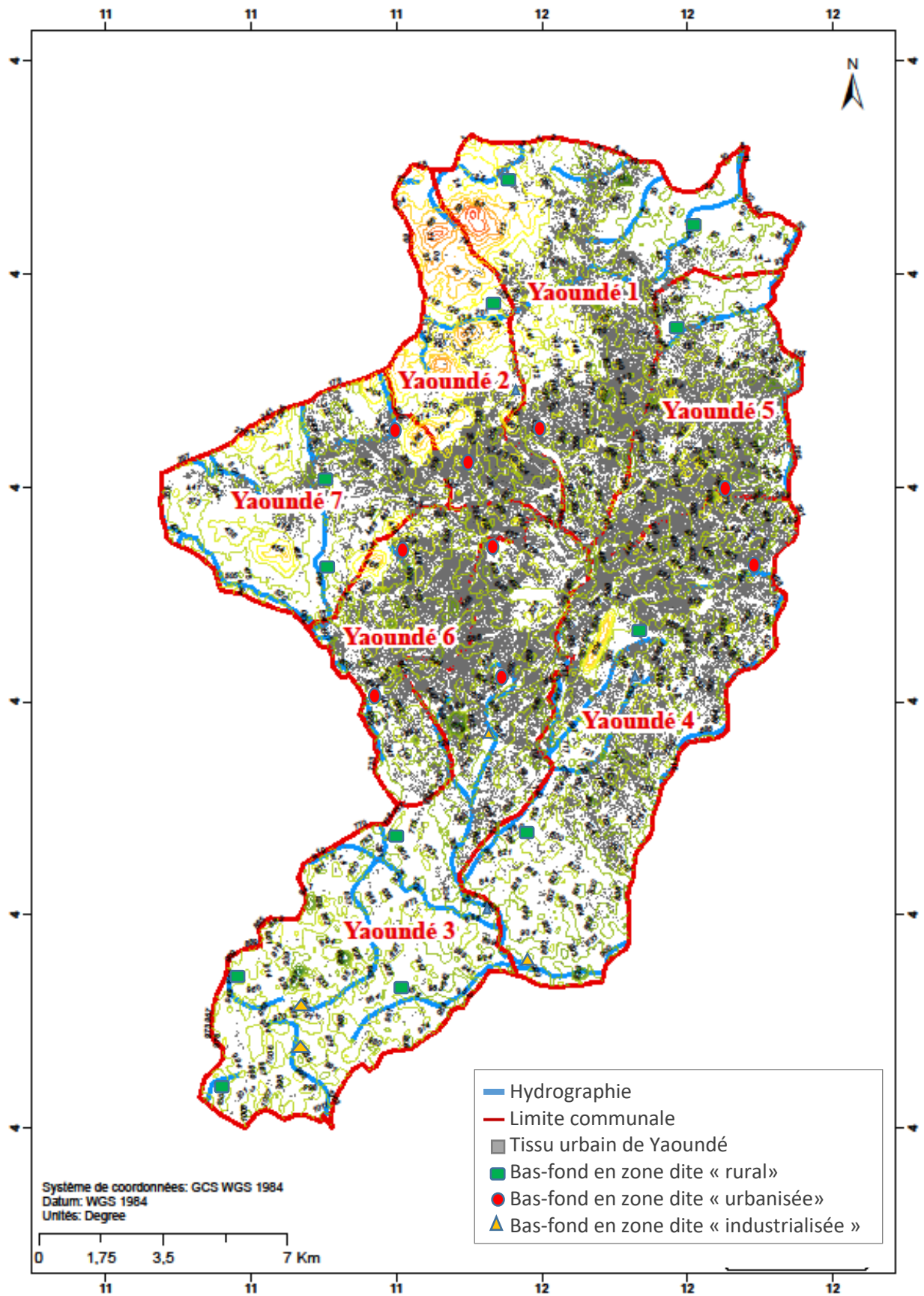


Figure 10: Distribution des bas-fonds maraîchers dans le tissu urbain de Yaoundé

4.2 LES SOURCES POTENTIELLES DE CONTAMINATIONS

Sans disposer à priori d'une localisation précise des contaminants dans le sol, nous devons considérer toutes les sources potentielles de contaminations (Belkessam et Lemiere, 2006).

4.2.1 Enquêtes auprès des maraîchers et auprès des acteurs ayant des activités aux alentours des bas-fonds

Les enquêtes ont été réalisées auprès des maraîchers dans les 3 bas-fonds et autour des bas-fonds ; ceci auprès des ménages, structures, sociétés et services susceptibles d'impacter la contamination du bas-fond.

Une enquête à passage unique a été réalisée entre le mois d'avril et de mai 2017 auprès de 32 maraîchers. 82 questionnaires (annexe 1) ont été soumis à un ensemble d'acteurs potentiels pollueurs (hôpital, station-service, mini-industrie de récupération métallique, ateliers de dépannage électrotechniques, laverie auto, garage, etc.).

Tableau 2 : répartition des questionnaires d'enquêtes "sources de contamination"

Bas-fond	Nombre de questionnaires aux maraîchers	% de répondants (base statistique CIPRE, 2002)	Nombre de questionnaires aux structures autour du bas-fond
Ezazou village	21	84%	41
Mokolo Elobie	09	36%	23
Étoug-Ebé	12	48%	18
Sous-Total	32	42%	82
Total	114 questionnaires		

- **Type de questionnaire**

Nous avons utilisé un questionnaire fermé dont la liste de propositions de réponses soumises aux répondants est fixée à l'avance. Ceci afin de leur permettre de faire le meilleur choix possible (Combessie, 2003). L'applicabilité du questionnaire a été testée lors d'un prétest (fin mars 2017), dans le site maraîcher de Nkolbison à Yaoundé. Les modules abordés étaient les suivants : - Profil socio-économiques des maraîchers ;

- Risques de contaminations du bas-fond par les activités aux alentours du bas-fond
- Pratiques agricoles et risque de contamination du bas-fond ;
- Perception des sources de contamination par l'agriculteur dans le bas-fond.

- **Échantillonnage :**

Le questionnaire a été appliqué individuellement aux maraîchers (producteur principal) proportionnellement à la surface de chaque bas-fond, ceci en fonction de la disponibilité des maraîchers et de la rigueur à vouloir toucher le plus d'acteurs. Nous avons administré le questionnaire à 32 maraîchers et 82 questionnaires aux alentours (tableau 2) sur une distance d'environ 300 m du Bas-fond ; ce qui représente sur la base de l'enquête du CIPRE de 2002

de 535 producteurs maraîchers pour 21 sites à Yaoundé; donc 25 producteurs par bas-fond. (CIPRE, 2002 cité par Nguegang, 2008)

4.2.2 Traitement des données d'enquêtes.

Les données d'enquête ont été encodées et saisies à l'aide d'Excel et du logiciel SPSS version 21. Les données ont été traitées, analysées et le croisement des variables a été réalisé dans MINITAB. Selon la nécessité des résultats recherchés, les graphiques ont été obtenus grâce à Excel ou Minitab.

4.3 DÉTERMINATION DES CONTAMINANTS ETM DANS LES SOLS

4.3.1 Méthode de prélèvement des échantillons de sol.

La méthode d'échantillonnage a consisté à : (i) faire un maillage tous les 100 m tel que proposé par la norme ISO/DIS 10381-5 pour l'investigation préliminaire sur les sites inférieurs à 1ha ; (ii) faire un maillage simple aléatoire sur la surface spatiale de chaque Bas-fonds sur la distance de 100 m en longueur et largeurs sur un périmètre de rayon 10 m (Keith, 1990 ; BRGM, 2000a). Les estimations des surfaces⁶ sont de 6 ha pour EZAZOU VILLAGE, de 1ha pour MOKOLO et de 3 ha cultivables pour ÉTOUG-ÉBÉ.

Pour un besoin de rigueur dans notre étude exploratoire, nous avons harmonisé la méthode pour faciliter toutes possibilités de répétition de l'étude dans le futur. Nous avons suivi les informations selon le tableau 3.

Tableau 3 : Superficie des bas-fonds et approche d'échantillonnage

<i>site</i>	<i>Superficie estimée en hectare</i>	<i>Type d'échantillon</i>	<i>Distance entre échantillon</i>	<i>Rayons de prélèvement</i>
<i>Ezazou village</i>	<i>6 ha</i>	<i>composite</i>	<i>Entre 80m à 100m</i>	<i>9m</i>
<i>Mokolo Elobie</i>	<i>1ha</i>			
<i>Étoug-Ebé</i>	<i>3ha</i>			

- **Type d'échantillonnage**

Nous avons réalisé un **échantillonnage composite** suivant le schéma de la figure 10. Un « échantillon composite A » correspond à un mélange des carottes (1 + 2 + 3 + 4 +5 + 6) associé à la carotte centrale A. La totalité des « carottes⁷ » mise dans le sachet plastique correspondant pour former un échantillon. Nous avons donc réalisé à titre exploratoire 49

⁶ L'estimation des surfaces de chaque bas-fond a été réalisée au GPS pendant la phase de terrain.

⁷ Echantillon de terre que l'on obtient quand on introduire la tarière dans le sol en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre afin d'obtenir une "carotte" sur la hauteur de la partie de la tarière qui sert à prélever-soit environ 30 cm de profondeur dans notre cas. (Plateforme Genosol, INRA.2015).

carottes pour 7 échantillons par bas-fond. Donc, pour 3 bas-fonds investigués, nous avons réalisé 147 carottes pour un total de 21 échantillons composites.

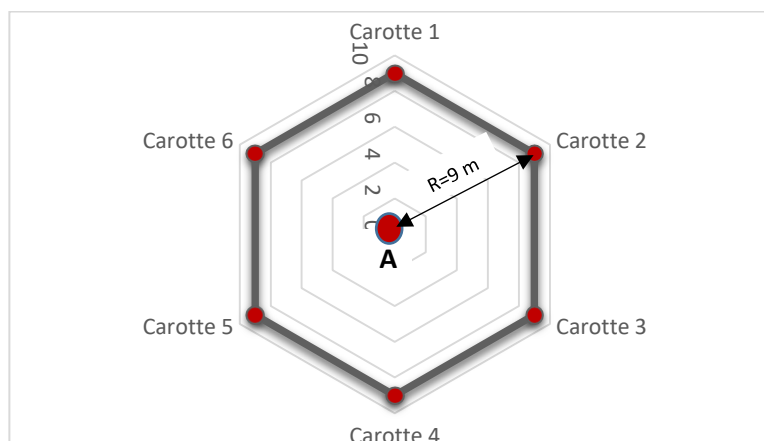


Figure 11: Schéma de prélèvement d'un échantillon composite

- **Profondeur de prélèvement et matériel utilisé**

La profondeur de prélèvement est de 30 cm selon l'approche de Mukobo (2007) et Gilot, (2008). Le matériel utilisé est : sacs en plastique avec code d'échantillon préalable apprêté, tarières de 5 cm, rouleau de papier essuyant, gants de terrain et sac plastique solide pour transporter et mélanger les échantillons.

Le prélèvement s'est fait suivant un schéma d'échantillonnage de type **systematique** de part et d'autre d'un rayon de 9 m pour le prélèvement des 7 carottes constitutives d'un échantillon composite et **aléatoire** pour le choix de la position du point principal **A** dans le bas-fond.

4.3.2 Prétraitement des échantillons de sol

Les échantillons composites prélevés sur le terrain ont été étiquetés et ramenés au laboratoire des sols de l'Institut de Recherche Agronomique pour le Développement (IRAD) de Yaoundé. Les échantillons ont été préalablement mélangés pour avoir une bonne homogénéité composite. Environ 200g de chaque échantillon composite sont prélevés et séchés d'abord à l'air libre et par la suite dans une étuve modèle LAPSEE à 40°C. Ces échantillons ont été par la suite conditionnés dans des sachets plastiques, étiqueté et ramenés au laboratoire de sol de Gembloux Agro Bio Tech.

A Gembloux, tous les échantillons sont réceptionnés au laboratoire de « Sciences du sol », où de nouvelles références unique sont données à chaque échantillon. Après passage à l'étuve (40°C) jusqu'à une température constante, ils sont broyés et tamisés à la fraction égale ou inférieure à 2mm avant d'être analysés.

4.3.3 Méthode analytique au Laboratoire

Les teneurs en éléments disponibles Phosphore, Potassium, Magnésium, Calcium, en carbone organique disponibles et le pH (KCL) ont été analysés pour chaque échantillon composite.

a) Le carbone organique total.

Le carbone organique total s'obtient par la méthode d'analyse modifiée de Walkly-black. Pour ce faire, le carbone présent dans l'échantillon est oxydé par du bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$ 0,1N) dans un milieu fortement acide. Le bichromate consommé est considéré comme proportionnel au carbone de départ. La détermination se fait conformément à la norme ISO 11464 et les résultats sont exprimés en mg/100g de sol.

b) Le pH KCL

La mesure du pH se fait à partir de 20g d'échantillon de sol. Cette mesure de pH se fait à l'aide d'une électrode de verre dans une suspension de sol dilué à 1/5 fraction volumique dans de l'eau ($pH H_2O$) dans une solution de chlorure de potassium à 1 mol /l ou dans une solution de chlorure de calcium à 0.01 mol/l ($pH CaCl_2$). L'ensemble est agité grâce à un agitateur pendant deux heures de temps.

c) Les éléments P, K et Mg et Ca

La détermination des teneurs disponibles de P, K et Mg et Calcium se font selon la méthode citée par (Genot V. et al, 2011a). C'est l'extraction à l'acétate d'ammonium (AA) 0.5N EDTA 0.02 M ; le tout a un pH de 4.65 selon un rapport sol/ solution de 1/5. La "teneur disponible" signifie la teneur des éléments présents dans la solution du sol et ceux faiblement liés au complexe d'absorption. (Cottenie et al, 1982; cité par John A., 2009).

4.3.4 Analyse des ETM

La méthode utilisée pour analyser le Pb, Cd et Zn disponible est la méthode triacide (HF + $HClO_4$ + HCl). HF permet d'extraire la partie incluse dans les silicates. Par la suite, les solutions sont passées au spectromètre d'absorption atomique.

Pour ce faire, l'agent chélatant utilisé au laboratoire de la Hulpe est l'EDTA. Il permet d'obtenir les formes liées aux matières organiques et aux oxydes. On fait une extraction à l'acétate d'ammonium EDTA (pH 4,65) ; 50 ml d'AA-EDTA sont ajoutés à dix grammes de terre fine, la mise en contact s'effectuant à l'aide d'un culbuteur pendant 30 minutes. Après filtration, les éléments sont dosés dans le filtrat par absorption atomique.

4.4 Méthodologie pour la valorisation des orientations de recherche

Nous avons adopté des méthodologies souvent propres à chaque orientation de notre travail pour avoir des résultats.

- Pour la 2^{ème} orientation: *vérifier s'il existe une différence de contamination entre les 3 sites maraîchers investigués.*

La méthodologie a consisté à faire une analyse de la variance pour chaque ETM (Pb, Cd et Zn) à un seul critère de classification (sites). Les conditions d'application (normalité et égalité des variances) n'étant pas respectées, nous avons fait un test non paramétrique de Kruskal-Wallis⁸.

- Pour la 3^{ème} orientation : *rechercher s'il existe une relation entre les teneurs en ETM et les éléments disponibles du sol dans chaque bas-fond.*
- Et pour la 4^{ème} orientation : *vérifier si la contamination des bas-fonds maraîchers est liée à l'urbanisation aux alentours de chaque basfond.*

La méthodologie a consisté à analyser pour les trois sites un total de 8 variables donc (5 variables d'éléments disponibles du sol et 3 variables ETM).

Les analyses ont été réalisées séparément entre les variables et les moyennes et les variables ETM, (relation bi-variable) avant de le combiner dans des analyses multivariées. Les relations bi-variables ont été analysées avec les corrélations par la méthode de Pearson et les analyses multivariées en utilisant la méthode d'analyse de composante principale PCA.

La PCA permet de définir un système d'axes de référence sur lesquels on projette les points d'observations avec des pertes d'informations minimales (Daget, 1979). Selon Doby (1999), l'application d'une PCA, se caractérise par l'utilisation des résultats bruts sans découpage en classes. Elle permet de faire une représentation géométrique des variables (teneurs en ETM et éléments disponibles du sol) et les observations (bas-fonds).

Pour la vérification des 3 orientations (2, 3 et 4), les analyses statistiques ont été réalisées dans R version 3.3.1

⁸ Le test de Kruskal-Wallis permet de tester si les échantillons (>2) ont des caractéristiques identiques, et proviennent des sites aux caractéristiques différents au sens d'un paramètre de distance entre les sites. (www.xlsstat.com).

V. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

5.1 LES SOURCES POTENTIELLES DE CONTAMINATION

Pour présenter un maximum de résultats tout en évitant une succession de diagrammes dans le texte, nous avons opté pour la présentation des résultats d'enquête sous forme de tableau synthétique des questions jugées les plus pertinentes. Chaque tableau est suivi d'une interprétation des résultats. Le questionnaire entier est en Annexe 1.

- **Site maraîcher d'ÉZAZOU VILLAGE**

Tableau 4 : analyse du questionnaire d'ÉZAZOU VILLAGE

1. Profil socio-économique des maraîchers		
Variables	Réponses	Réponse en %
1.1 Quel est votre niveau d'études ?	1. Non-scolarisé/autodidacte	23 %
	2. Maternelle / Primaire	22 %
	3. Secondaire	37 %
	4. Professionnel	10 %
	5. Universitaire	8 %
1.2 Quel est votre statut d'occupation de la parcelle ?	1. Propriétaire	49 %
	2. Locataire / Employé	51 %
1.3 Quelle est l'activité principale dans le bas-fond ?	1. Agriculture	92 %
	2. Pisciculture	00 %
	3. Fabrication du Compost	8 %
2. Gestion des déchets (potentiels contaminations) autour du Bas-fond		
2.1 Quelles sont les activités dominantes qui produisent les déchets dans votre zone?	1. Industries	5 %
	2. Marché et tas d'ordure	3 %
	3. Ateliers (soudure, dépannage divers)	10 %
	4. Habitations (ménage, écoles, etc.)	28 %
	5. Station-service / laverie de voiture	2 %
	6. Autres : Agriculture ou végétation naturelle	51 %
2.2 Quels sont les moyens d'évacuation de vos déchets ?	1 Derrière le bâtiment dans une fosse	30 %
	2 Poubelle ou vieux récipients pour le bac à ordure de la société HYSACAM.	58 %
	3 Versement dans des caniveaux pendant les pluies ou dans le cours d'eau	12 %
3. Pratiques agricoles et risque de contamination du bas-fond		
3.1 utilisez-vous des fertilisants et amendements sur votre parcelle ?	1. Oui 2. Non	100 %
	Si oui, lesquels	
	1. lisier de porc/fiente de poule/crotte	8 %
	2. débris de combustible	2 %
	3. compost +fiente +engrais chimique	60 %
4. engrais chimique	30 %	
3.2 Utilisez-vous des pesticides chimiques ?	1. Oui 2. Non	90 %
	2. Souvent (de temps à autre)	10 %

3.3 Quelle est la provenance de l'eau utilisée pour l'arrosage ?	1. Eau de pluie	5 %
	2. Ruisseau du basfond	5 %
	3. Eau de pluie + ruisseau +mare aménagé	90 %
3.4 Utilisez-vous les eaux pour autres usages que l'arrosage ?	1. Lessive et baignade	30 %
	2. Laver les légumes pour aller au marché	60 %
	3. Autre (� préciser)	10 %
4. perception de la contamination par l'agriculteur dans le Basfond		
3.1 Est ce que les déchets arrivent dans votre bas fond ?	1. oui . Non	100 %
	2. Déchets solides (ordure, plastique	30 %
	3. Déchet liquide (huile, liquide bizarre)	10 %
	4. Déchet solide et liquide	60 %
3.2 Quelle est l'origine de ces déchets d'après vous ?	1. Ménages en hauteur	20 %
	2. Amendements organiques utilisés pour la fertilisation des parcelles.	15 %
	3. Ateliers et industries autour du bas-fond	5 %
	4. Partout dans la ville par les eaux de ruissellement	60 %

Il ressort des enquêtes menées pour le site d'EZAZOU village ce qui suit.

- **Profil socio-économique des maraîchers :** il ressort clairement des analyses du questionnaire, que les maraîchers d'Ezazou pratiquent essentiellement l'agriculture (maraîchage) et seul un petit nombre (10 %) se donnent à d'autres activités, ou fabrique du compost. C'est un bas-fond à forte production destinée à la commercialisation sur toute l'année.

- **Gestion des déchets (potentiels contaminants) autour du bas-fond,** il est intéressant de constater que les alentours du bas-fond sont saupoudrés par diverses activités, l'agriculture et la végétation naturelle représentent 45 % d'occupation de l'espace. Nous avons observé environ 5 % de tas d'ordures en hauteur du bas-fond. Mais dans l'ensemble, plus de la moitié (58%) des déchets sont jetés dans les bacs à ordures de la société d'hygiène et de salubrité du Cameroun (HYSACAM). Ceci est le résultat des plaintes des producteurs maraîchers organisés auprès de leurs 2 groupements de producteurs (Ezazou Agro et DIPITA), de la mairie et auprès des autorités administratives.

- **Pratiques agricoles et risque de contamination du bas-fond :** l'amendement des sols par une combinaison de composts + fiente de poules +engrais chimique est marqué à 60% par les producteurs urbains. L'utilisation des engrais chimiques est pratiquée par 30 % des maraîchers et, faute de moyens financiers une frange de 2% d'entre eux utilise les cendres de combustibles issus des décharges publiques pour amender les parcelles.

En matière d'utilisation de l'eau pour l'irrigation, presque tous les maraîchers (90 %) s'accordent à dire qu'ils exploitent l'eau des pluies, les eaux des ruisseaux et l'eau des

mares/puits préalablement creusés. Nous constatons malheureusement que près de 60 % des maraîchers utilisent l'eau des bas-fonds pour laver les légumes-fruit à destination des marchés.

- **Perception de la contamination par l'agriculteur dans le bas-fond :** les producteurs maraîchers sont unanimes à 60% que la source première de contamination de leur bas-fond pourrait venir des eaux de ruissellement qui drainent tout dans leur bas-fond. Ils soupçonnent que 20% des ménages situés en hauteur du bas-fond peuvent apporter des contaminations. Avec un niveau scolaire à 60% primaire et secondaire, les producteurs du bas-fond d'Ézazou village reconnaissent que 15% de leur pratique d'amendement peut causer la contamination des sols.

- **Site maraîcher d'ÉTOUG-ÉBÉ**

Tableau 5 : analyse du questionnaire d'ÉTOUG –ÉBÉ

1. Profil socio-économique des maraîchers		
Variabes	Réponses	Réponse en %
1.1 Quel est votre niveau d'études ?	1. Non scolarisé/autodidacte	5 %
	2. Maternelle / Primaire	10 %
	3. Secondaire	20 %
	4. Professionnel	30 %
	5. Universitaire	30 %
1.2 Quel est votre statut d'occupation de la parcelle?	1. Propriétaire	80
	2. Locataire / Employé	20 %
1.3 Quelle est l'activité principale dans le bas-fond?	1. Agriculture	30 %
	2. Fabrication du Compost	10 %
	3. autres	60%
2. Gestion des déchets (potentiels contaminations) autour du Bas-fond		
2.1 Quelles sont les activités dominantes qui produisent les déchets dans votre zone?	1. Industries	10 %
	2. Marché et tas d'ordure	10 %
	3. Ateliers (soudure, dépannage divers)	20 %
	4. Habitations (ménage, écoles, etc.)	55 %
	5. Station-service / laverie de voiture	5 %
2.2 Quels sont les moyens d'évacuation de vos déchets ?	1. Versement dans des caniveaux pendant les pluies ou dans le cours d'eau	30%
	2. Derrière le bâtiment dans une fosse	10 %
	3. Poubelle ou vieux récipients pour le bac à ordure de la société HYSACAM.	50 %
3. Pratiques agricoles et risque de contamination du bas-fond		
3.1 utilisez-vous des fertilisants et amendements sur votre parcelle ?	Oui	100 %
	1. Si oui, lesquels	
	2. lisier de porc/fiente de poule/crotte	24 %
	3. débris de combustible	4 %
	4. compost +fiente +engrais chimique	38 %

	5. engrais chimique	34 %
3.2 Utilisez-vous des pesticides chimiques ?	6. 1. Oui	92 %
	7. 2. Souvent (de temps à autre)	8 %
3.3 Quelle est la provenance de l'eau utilisée pour l'arrosage ?	1. Eau de pluie	76 %
	2. Ruisseau du bas-fond	20 %
	3. Eau du robinet	4 %
3.4 Utilisez-vous les eaux pour autres usages que l'arrosage ?	1. Eau de pluie + ruisseau +mare aménagé	85 %
	2. Lessive et baignade	4 %
	3. Laver les légumes pour aller au marché	11 %

4. perception de la contamination par l'agriculteur dans le Basfond

4.1 Est ce que les déchets arrivent dans votre bas-fond ?	oui Non	100 %
	1. Déchets solides (ordure, plastique)	48 %
	2. Déchet liquide (huile, liquide bizarre)	10 %
	3. Déchet solide et liquide	42 %
4.2 Quelle est l'origine de ces déchets d'après vous?	1. Ménages en hauteur	44 %
	2. Amendements et engrais utilisés pour la fertilisation des parcelles.	26 %
	3. Ateliers et industries autour du bas-fond	12 %
	4. Partout dans la ville par les eaux de ruissellement	18 %

Les enquêtes menées à  TOUG- B  laissent clairement paraître les informations :

- **Profil socio-économique des maraîchers :** il ressort des analyses que 70 % des maraîchers d' TOUG- B  pratiquent des activités secondaires autres que l'agriculture qui ne représente que (30 %). Nous pensons que ce résultat est influencé par la date de réalisation de l'enquête. Le bas-fond inonde pendant une partie de l'année (mars-avril) cédant place aux cultures vivrières moins nécessiteuses en matière de suivi. De façon automatique, les producteurs s'adonnent à d'autres activités; ajoutés au niveau scolaire (60 % professionnel et universitaire), ils intègrent aisément d'autres secteurs d'activité.

- **Gestion des déchets (potentiels contaminants) autour du bas-fond,** il ressort que les alentours du bas-fond sont dominés (55 %) par les habitations (ménages, écoles, etc.). Les petits espaces marchands et les semis industries sont considérables à 30 %. Dans l'ensemble, les ordures sont déversées à 50 % dans les poubelles ou bacs à ordures de la société HYSACAM ; ceci pour se retrouver dans les décharges améliorées de Nkolfoulou.

- **Pratiques agricoles et risque de contamination du bas-fond :** l'amendement des sols par une combinaison de composts + fiente de poules + lisier de porc + engrais chimique représente 62% des pratiques d'amendement des sols. L'utilisation des engrais chimiques est pratiquée par 34% des maraîchers et l'utilisation des cendres de combustibles issus des décharges publiques est pratiquée à 4% de maraîchers urbains de ce site.

Situé en plein centre urbain, l'utilisation des eaux pour l'irrigation est à 60% marquée par l'utilisation de l'eau de pluie + l'eau du ruisseau. Les plus aisés (5 %) utilisent de temps à autre l'eau du robinet pour arroser leurs légumes. Le constat général montre qu'environ 20% des producteurs utilisent l'eau des bas-fonds pour laver les légumes destinés au commerce.

- **Perception de la contamination par l'agriculteur dans le bas-fond** : le constat général est que la quasi-totalité des maraîchers d'Étoug-ébé sont conscients de potentielles contaminations des sols et de la chaîne alimentaire dans leur bas-fond. Ils ont tout aux alentours de leur bas-fond 75 % des habitations, divers ateliers et industries, tout cela combiné aux apports de polluants par les eaux de ruissellement et les inondations des parcelles.

En analyse générale, il se dégage que le bas-fond d'Étoug-ébé est exposé à des sources de contamination en ETM, car situé en aval des collines fortement urbanisées. Les systèmes de collecte des ordures ménagères et autres déchets ne sont pas efficaces, l'action combinée des eaux de ruissellement et les modes d'amendements sont autant de potentielles sources de contamination.

- **Site maraîcher de MOKOLO ÉLOBIE**

Tableau 6 : analyse du questionnaire de MOKOLO ÉLOBIE

1. Profil socio-économique des maraîchers

Variables	Réponses	Réponse en %
1.1 Quel est votre niveau d'études ?	1. Non scolarisé/autodidacte	72 %
	2. Maternelle / Primaire	8 %
	3. Secondaire	18 %
	4. Professionnel	2 %
	5. Universitaire	00 %
1.2 Quel est votre statut d'occupation de la parcelle?	1. Propriétaire	88 %
	2. Locataire / Employé	12 %
1.3 Quelle est l'activité principale dans le bas-fond?	1. Agriculture	26 %
	2. Fabrication du Compost	5 %
	3. autres	69%

2. Gestion des déchets (potentiels contaminations) autour du Bas-fond

2.1 Quelles sont les activités dominantes qui produisent les déchets dans votre zone?	1. Semis industries	60%
	2. Marché et tas d'ordure	10 %
	3. Ateliers (soudure, dépannage divers)	18 %
	4. Habitations (ménage, écoles, etc...)	10 %
	5. Station-service / laverie de voiture	2 %
2.2 Quels sont les moyens d'évacuation de vos déchets ?	1. Versement dans des caniveaux pendant les pluies ou dans le cours d'eau	30%
	2. Derrière le bâtiment dans une fosse	10 %
	3. Poubelle ou vieux récipients pour le bac à ordure de la société HYSACAM.	50 %

3. Pratiques agricoles et risque de contamination du bas-fond		
	1. Oui Non	100 %
	Si oui, lesquels	
3.1 utilisez-vous des fertilisants et amendements sur votre parcelle ?	1. lisier de porc/fiente de poule/crotte	40%
	2. débris de combustible	20%
	3. engrais chimique	20%
	4. compost +fiente +engrais chimique	20%
3.2 Utilisez-vous des pesticides chimiques ?	1. Oui 2. Non	80 %
	2. souvent (de temps à autre)	20 %
3.3 Quelle est la provenance de l'eau utilisée pour l'arrosage ?	1. Eau de pluie	71%
	2. Ruisseau du basfond	25%
	3. Puit et mare aménagé dans le bas-fond	00 %
3.4 Utilisez-vous les eaux pour autres usages que l'arrosage ?	1. Lessive et baignade	00%
	2. Laver les légumes pour aller au marché	6 %
	3. Autre (à préciser)	84 %
4. perception de la contamination par l'agriculteur dans le Basfond		
4.1 Est ce que les déchets arrivent dans votre bas-fond ?	oui Non	100 %
	1. Déchets solides (ordure, plastique)	34 %
	2. Déchet liquide (huile, liquide bizarre)	10 %
	3. Déchet solide et liquide	56 %
4.2 Quelle est l'origine de ces déchets d'après vous?	1. Ménages en hauteur	55 %
	2. Amendements et engrais utilisés pour la fertilisation des parcelles.	25 %
	3. Ateliers et industries autour du bas-fond	10 %
	4. Partout dans la ville par les eaux de ruissellement	20 %

Il ressort des enquêtes menées pour le site de MOKOLO ÉLOBIE que :

- **Profil socio-économique des maraîchers :** il ressort des analyses que 69 % des maraîchers de Mokolo s'adonnent principalement à une seconde activité au détriment de l'agriculture. Cet état de fait peut d'une part être lié à la superficie du site (1ha) qui ne supporte plus la pression agricole et au fait qu'il soit inondé pendant une partie de l'année culturale. D'autre part la présence du marché le plus important de Yaoundé aux alentours favorise la pratique du commerce. Il ressort qu'environ 72 % de maraîchers sont autodidactes et n'ont pas dépassé le niveau élémentaire du système scolaire.

- **Gestion des déchets (potentiels contaminants) autour du bas-fond,** il ressort que les alentours du bas-fond sont dominés à 65 % par les semis industries métalliques, de récupérations diverses. Il est exposé à de nombreuses sources de contamination, car situé en aval du marché MOKOLO d'où se déversent d'énormes quantités de déchets de toutes sortes. Le site est limitrophe aux nombreux ateliers de dépannage (frigo, fer à repasser, groupe électrogène, téléviseur, radiateur, etc.) et la présence des garages autos, moto et autres

véhicules. De part et d'autre de sa hauteur, il est entouré des quartiers réputés très insalubres (Briqueterie et Nkom-kana), il est en plus proche des décharges du marché Mokolo.

- **Pratiques agricoles et risque de contamination du bas-fond** : l'amendement des sols est dominé à 40 % par une combinaison de lisier de porc + fiente de poules crottes de chèvres et parfois du compost. L'utilisation des engrais chimiques est pratiquée et des cendres de combustibles sont de 35 % chacune.

Bien qu'il soit entouré de deux cours d'eau de grande importance, les maraîchers de Mokolo Élobie se limitent à l'eau de pluie. La présence des tas d'ordures, des activités semi industrielles et la couleur des cours d'eau aux alentours invitent à la méfiance de la part des agriculteurs.

- **Perception de la contamination par l'agriculteur dans le bas-fond** : le constat général est que la quasi-totalité des maraîchers de Mokolo élobie sont conscients de potentielles contaminations des sols et de la chaîne alimentaire dans leur bas-fond. Ils ont tout aux alentours de leur bas-fond 80 % des semis industries, marché, quartiers insalubres etc. combiné aux apports de polluants par les amendements.

5.2 NIVEAU DE CONTAMINATION DES SOLS : Teneur moyenne en mg/Kg MS de cadmium, plomb et zinc et éléments disponibles du sol dans différents Bas-fonds.

Les analyses de sols sont présentées au tableau 7.

Tableau 7 : Synthèse statistique des éléments disponibles de sol et ETM extractibles par l'acétate d'ammonium-EDTA (mg.Kg⁻¹ MS)

Bas-fonds	EZAZOU VILLAGE		ÉTOUG-ÉBÉ		MOKOLO ELOBIE	
	<i>moyenne</i>	<i>Erreur standard</i>	<i>moyenne</i>	<i>Erreur standard</i>	<i>moyenne</i>	<i>Erreur standard</i>
<i>Cd (mg/kg MS)</i>	0,1	0.01	0,2	0.1	0,5	0.2
<i>Pb (mg/kg MS)</i>	4,9	1.0	20,2	5.9	124,2	96.4
<i>Zn (mg/kg MS)</i>	39,1	6.1	34,3	10.4	113,6	36.4
<i>P (mg/100g)</i>	13.3	3.5	5.3	1.2	6.9	3.8
<i>K (mg/100g)</i>	32.8	6.7	18.0	28.1	8.4	3.8
<i>Mg (mg/100g)</i>	37.6	7.9	10.5	2.8	11.7	2.2
<i>Ca (mg/100g)</i>	348.1	74.1	214.4	68.3	276.2	74.7
<i>Ph_KCL</i>	5.3	0.4	5.1	0.5	6.3	0.5
<i>C.O (g/kg)</i>	113.1	35.5	15.0	4.3	26.9	5.3

L'analyse au laboratoire de la Hulpe des échantillons de sols en mg/Kg matière sèche révèle la présence du Cd, du Pb et du Zn à des seuils comparables aux normes.

- **Le Plomb (Pb)**

La quantité moyenne (mg/kg MS) de Pb dans les sols est présentée dans la figure 12.

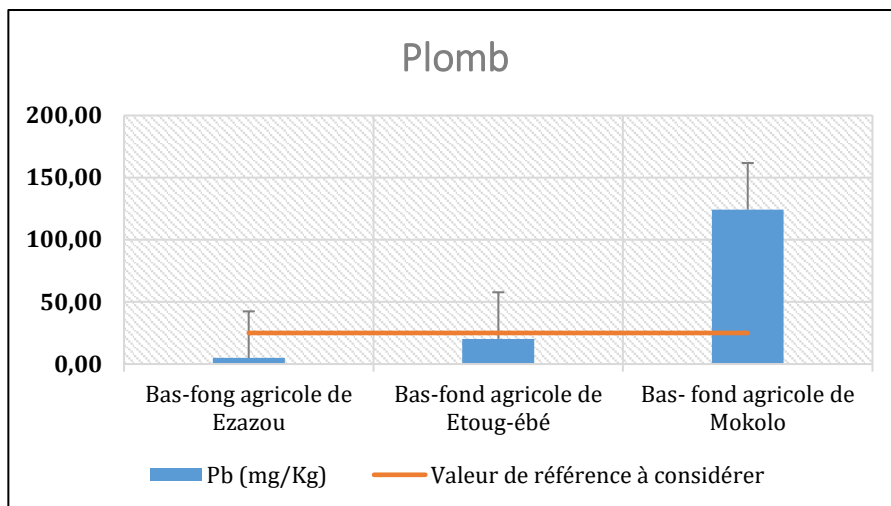


Figure 12: Teneur moyenne de Pb dans les sols de bas-fonds maraîchers à Yaoundé.

A l'examen de la figure 12, on constate bien que les quantités de plomb sont élevées et supérieures à la norme dans les sols du bas-fond maraîcher de MOKOLO ELOBIE (124.2 mg/kg/MS). Par contre, on constate que la teneur du plomb est inférieure à ÉTOUG-ÉBÉ (20.2 mg/kg/MS dans les sols) et à EZAZOU VILLAGE (4.9 mg/kg/MS). Ces teneurs sont inférieures à la norme autorisée, c'est-à-dire à la valeur de référence (VR) définie par le décret « sol » pour les sols maraîchers. L'accumulation du plomb dans le sol de MOKOLO tend vers la Valeur seuil (**tableau 1**) indicative d'une contamination au-delà duquel une étude de caractérisation doit être entreprise, ainsi qu'en cas de menace grave un assainissement doit être réalisé (Décret « sol » Art.2, 20°).

- **Le Zinc (Zn).**

La quantité en mg/Kg MS de Zn dans les sols des bas-fonds maraîchers de Yaoundé est présentée à la figure13.

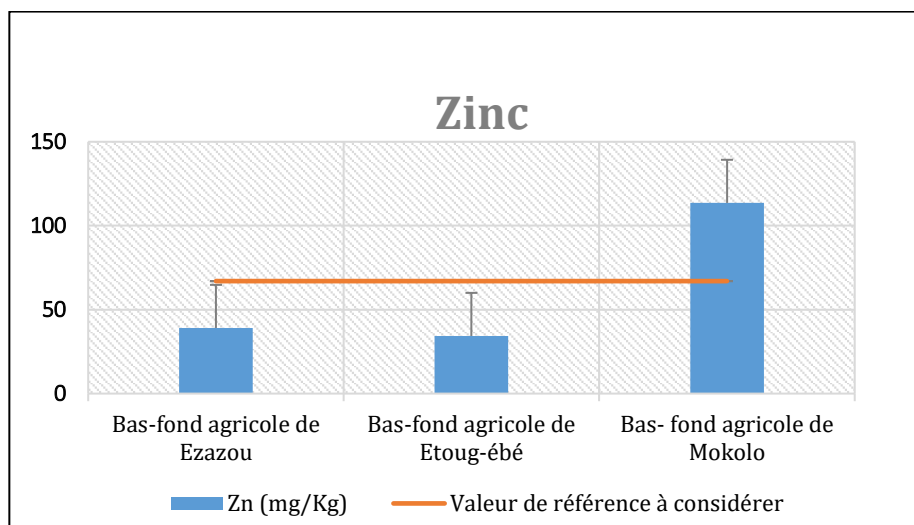


Figure 13: Teneur moyenne de Zn dans les sols de bas-fonds maraîchers à Yaoundé.

Il ressort de cette figure 13 que la teneur de Zn est la plus élevée dans les sols de MOKOLO ELOBIE. Elle a une valeur supérieure à la norme recommandée dans les parcelles maraichères. Sa teneur atteint une valeur de 113,6 mg/kg/MS dans les sols tendant ainsi vers La Valeur Seuil (VS) qui nécessite un assainissement. Par contre, on constate que les sols d'EZAZOU et les sols d'ÉTOUG-ÉBÉ ont des quantités moyennes de Zinc inférieures à la norme recommandée ; Elles sont respectivement de 39.1 mg/kg/MS et de 34,3 mg/kg/MS.

- **Le cadmium (Cd)**

L'examen de la figure 14 montre que la teneur moyenne du Cadmium est élevée dans les sols de MOKOLO ELOBIE (0,5 mg/kg/MS), suivi des sols de ÉTOUG-ÉBÉ (0,2 mg/kg/MS) et enfin celui des sols du bas-fond de EZAZOU Village (0,1 mg/kg/MS). On observe que dans les deux premiers bas-fonds, la quantité moyenne de Cadmium est inférieure à la valeur de référence (VR) définie par norme applicable pour notre étude

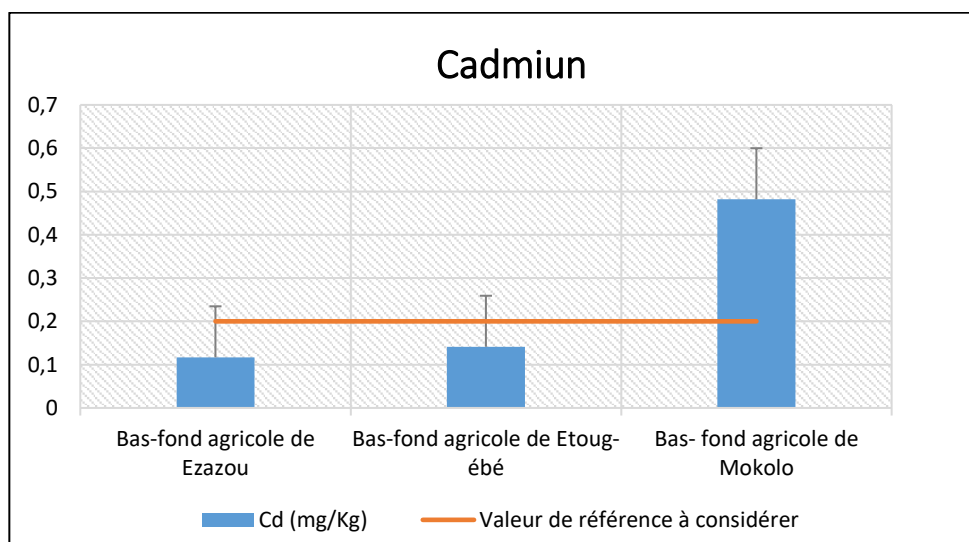


Figure 14: Teneur moyenne de Cd dans les sols de bas-fonds maraichers à Yaoundé.

5.3 CORRÉLATIONS ENTRE LES ELEMENTS DISPONIBLES DU SOL ET LES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES

Cette partie nous permet de vérifier les relations possibles entre les éléments disponibles du sol, les ETM totaux et les bas-fonds dans le tissu urbain de Yaoundé.

3.1 Différence de contamination en ETM (Pb Zn Cd) dans les bas-fonds de Yaoundé

Les résultats issus de l'analyse bi variée des données sont exprimés à la figure 15.

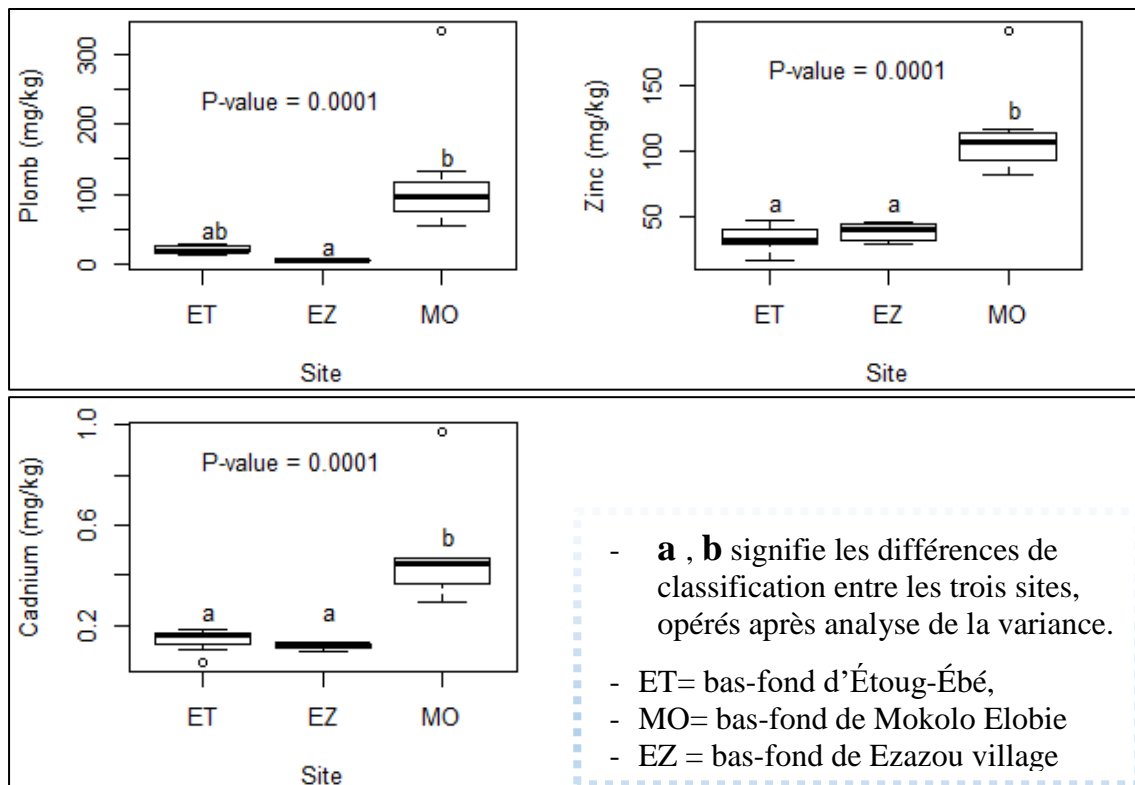


Figure 15: Relation entre les ETM et les sites maraichers.

Interprétation de la figure 15.

Le Pb : pris deux à deux, on constate que les teneurs en plomb sont significativement les mêmes dans les sols de EZAZOU et ÉTOUG-ÉBÉ ; idem pour les sols d'ÉTOUG-ÉBÉ et MOKOLO. Par contre, il est intéressant de remarquer la différence marquée des quantités de Plomb dans les sols de MOKOLO et ceux d'EZAZOU VILLAGE.

Le Cd : on remarque que les sols d'EZAZOU et ceux d'ÉTOUG-ÉBÉ ont les teneurs de Cadmium semblable. Par contre, les sols de MOKOLO montrent une différence significative de teneur en Cadmium par rapport aux deux autres.

Le Zn: les teneurs en Zn sont semblables dans les sols des bas-fonds d'EZAZOU VILLAGE et ÉTOUG-ÉBÉ, mais sont très différents dans les sols de MOKOLO.

- **Relation entre les éléments disponibles du sol et les ETM (Cd, Pb, Zn) présents.**

La détermination de la relation entre les éléments passe par le calcul du coefficient de corrélation. Le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1 et détermine la relation entre deux variables d'une part et le niveau de lien d'autre part (Waris et al, 2010).

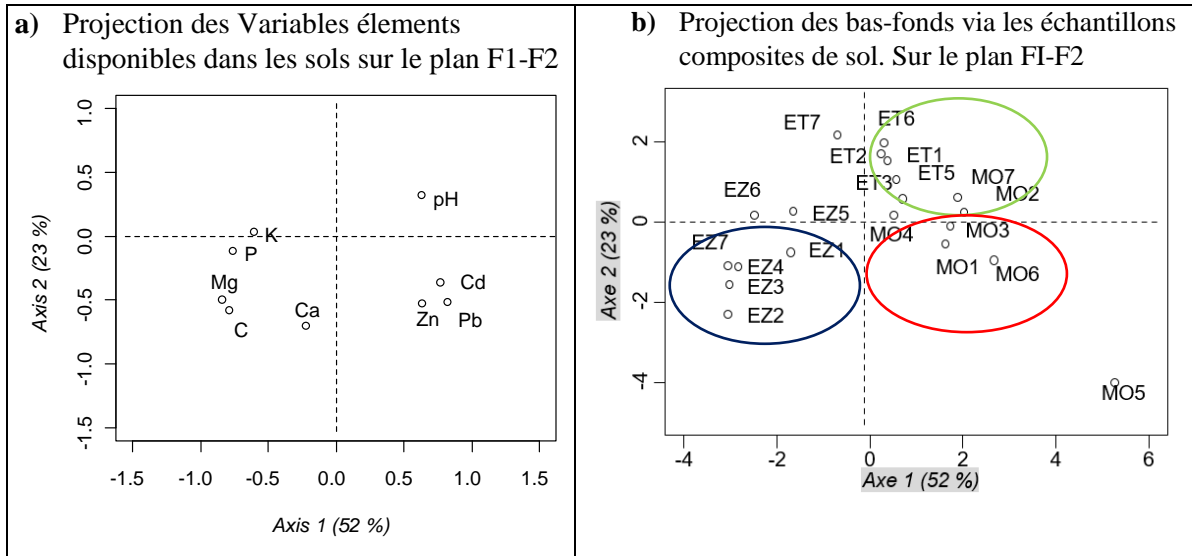
⇒ Lorsque le coefficient de détermination est égal à 1, il indique un lien parfait entre les variables et lorsqu'il est égal à 0, il indique une absence de lien.

⇒ Le signe + signifie que la relation est proportionnelle, alors que le signe – signifie que la relation est inversement proportionnelle.

- **Contamination en ETM est liée à la position du bas-fond dans la ville de Yaoundé.**

La réalisation d'une analyse multivariée nous a donné les résultats de la figure 16.

Figure 16: Analyse multivariée des 8 variables (a) et position des échantillons composite de sol de chaque site (code de site et variable : voir abréviations dans le tables 1.



Interprétation.

La première interprétation repose sur la pertinence des résultats obtenus. La figure 16 a et b, indique que les résultats sont fiables à 75% ; dont 52% par l'axe 1 et 23% par l'axe 2.

L'observation à la fois des projections sur les plans **a** et **b** de la figure 16 montre bien les relations entre différents paramètres analysés (éléments disponibles du sol et ETM) sont corrélés entre eux observé sur les composantes axe F1 et axe 2.

- **relation entre éléments disponibles du sol et distribution des ETM (Cd, Pb, Zn)**

L'observation de la **figure 16a**, montre que les différents éléments moyens et le carbone organique ne paraissent pas avoir une influence marquée sur la distribution des ETM dans les bas-fonds investigués. Il peut être établi qu'une relation entre la contamination des ETM est fonction du niveau d'urbanisation, c'est-à-dire selon la position différencié «bas-fond en zone rurale», « bas-fond en zone urbanisée » et « bas-fond en zone industrialisée » dans le tissu urbain de Yaoundé.

La projection sur le plan montre les regroupements en groupe (couleur) principaux.

- Groupe 1 (cercle de couleur rouge) situé du côté négatif de l'axe F1 montre que les métaux lourds Cd, Zn et Pb sont du même côté que le site de MOKOLO. On pourrait dire sans risque de se tromper que ce bas-fond est plus contaminé en ETM.
- Groupe 2 (cercle de couleur bleue) situé du côté négatif de l'axe F2 montre que les éléments disponibles du sol sont du côté de bas-fonds d'ÉZAZOU. On pourrait dire que ce bas-fond est moins contaminé en ETM.

- Groupe 3 (cercle de couleur verte) situé du côté négatif de l'axe F1 montre que les sols du Bas-fond d'ÉTOUG-ÉBÉ sont corrélés au pH.

On pourrait également expliquer ce phénomène par le fait que les teneurs en ETM sont proches des teneurs du fond pédogéochimique initial, donc la matière fertilisante dilue d'avantage les quantités d'ETM présents.

- **Corrélation entre les éléments disponibles du sol et ETM (Cd, Pb, Zn) présents.**

Tableau 8 : Matrice de corrélation entre les ETM et éléments disponibles du sol. Les coefficients de corrélation de Pearson sont également données et les relations significatives sont montrées en gras (* P<0.05); ** P<0.01 ; *** P<0.001)

	Pb	Cd	Zn	P	K	Mg	Ca	pH	C.O
Pb	1								
Cd	0,97***	1							
Zn	0,92***	0,97***	1						
P	-0,53**	-0,50**	-0,41	1					
K	-0,41	-0,49**	-0,49**	0,32	1				
Mg	-0,42*	-0,45*	-0,4	0,60***	0,56***	1			
Ca	0,11	0,09	0,07	0,04	0,2	0,60***	1		
pH	0,34	0,29	0,19	-0,69***	-0,07	-0,62***	0,06	1	
C.O	-0,35*	-0,35	-0,27	0,60***	0,4	0,95***	0,54**	-0,74***	1

Interprétations

À l'examen du tableau 8, issu des analyses multivariées, on constate que le Cd, Pb et Zn sont fortement corrélés entre eux. La présence de l'un prédit l'autre.

Il est donc intéressant de remarquer qu'il existe une corrélation très significative entre le Phosphore et les ETM (Cd et Pb). On observe également que le Mg est corrélé aux mêmes éléments, à savoir le Phosphore et le Potassium. En ce qui concerne le Potassium, elle est significativement corrélée au Cd et au Zn.

On observe une corrélation entre le carbone organique et les autres éléments Mg, Ca et le pH. Cependant, la matière organique présente corrélation inverse avec tous les ETM. L'oxydation de la matière organique peu mené vers la diminution du pH. Mais le constat, tous les ETM

De façon générale, nous constatons que le pH_KCl du sol ne montre aucune corrélation significative avec les ETM dans les sols des bas-fonds étudiés.

Nous constatons donc, que la présence des éléments disponibles du sol (P, K et Mg, Ca, CO) ne permet pas de faire des prédictions sur les relations de cause à effet entre les teneurs mesurées. Nous sommes sous l'influence de trois sites très différents.

VI. DISCUSSIONS

La présente étude montre que les sources de contamination sont diverses sur l'ensemble des trois bas-fonds investigués. Sur les trois sources de contamination existantes telles que les fonds géochimiques, les dépôts atmosphériques et les apports anthropiques, il ressort que seule la dernière est la cause de contamination de nos bas-fonds.

En effet, les sources d'origine anthropique (sources liées aux ménages, Sources liées aux infrastructures, sources d'origines industrielles l'utilisation des pesticides, fertilisation et les amendements organiques) sont celles qui contaminent. Il ressort de l'enquête que l'utilisation des pesticides et fertilisants chimiques, est généralisée dans les bas-fonds investigués. Ils ont déclaré que cette pratique est parfois incontournable pour des besoins de rendement rapide (UIPP, 2010) en termes de volume de production et de qualité apparente des produits (Nguegang, 2008). Cette pratique peut justifier la présence des teneurs en ETM enregistrées dans les bas-fonds, notamment celui d'Ézazou village soumis au maraîchage intensif tout au long de l'année. L'utilisation de l'eau de rivière pourrait être une source importante de contamination des sols ; dans la mesure où, l'eau de rivière urbaine utilisée pour l'irrigation et le nettoyage des légumes sont aussi utilisées pour de nombreuses tâches domestiques, sachant qu'elle reçoit souvent des déchets venant d'endroits divers et insoupçonnés.

Le bas-fond maraîcher de MOKOLO ÉLOBIE situé en zone dite semis industrialisée s'est avéré contaminé pour l'ensemble des éléments Cd, Zn et Pb recherchés, du fait de la présence des semis industries métalliques et ateliers de récupérations diverses et surtout du déversement d'énormes quantités de déchets de toutes sortes dans les cours d'eau qui desservent ce bas-fond. Le site est limitrophe aux nombreux ateliers de dépannage (frigo, fer à repasser, groupe électrogène, téléviseur, radiateur, etc.).

Pour ce qui est du bas-fond d'ÉTOUG-ÉBÉ, il ressort que les alentours du bas-fond sont dominés par les habitations (ménages, écoles, etc.) qui déversent les ordures contenant des contaminants. Également, les pratiques d'amendement des sols par une combinaison de composts associés aux fientes de poules, du lisier de porc et l'application des engrais chimiques contaminent en Cd (Baize, 1996a ; Porrone, 1999). Les maraîchers de ce bas-fond utilisant aussi des cendres de combustibles issues des décharges publiques. Selon Noubissié (2010) cette situation prend de l'ampleur et est source de contamination en Cd et Pb. Au niveau du bas-fond d'Ezazou Village, la faible contamination inférieure à la norme est due à l'amendement des sols par une combinaison de composts et de fiente de poules. L'utilisation

des pesticides par les maraîchers contribue significativement à la contamination des sols en Cd et Zn (Robert et Juste, 1997).

S'agissant des contaminations par les apports de fond géochimique des sols maraîchers, les faibles teneurs observés après analyse pourraient provenir des apports anthropiques tel qu'expliquer plus haut. Lecomte (1985) indique une absence de teneurs supérieures à la norme en ETM dans les sols du Yaoundé.

- **Contamination des sols des bas-fonds maraîchers de Yaoundé**

Il est ressorti de cette étude que les quantités de Pb sont élevées et supérieures à la norme dans les sols du bas-fond maraîcher de Mokolo élobie. Par contre, on constate que la teneur du plomb est inférieure à Étoug-ébé et à Ezazou village. Ces teneurs sont inférieures au référentiel. L'accumulation du Pb dans le sol de MOKOLO tend vers la une valeur indicative d'une contamination au-delà duquel une étude de caractérisation doit être entreprise. Cette situation rejoint les conclusions des travaux d'Adjia (2010) et l'étude menée par Yao (2015). Il ressort que la teneur en Zn est la plus élevée dans les sols de Mokolo. Elle a une valeur supérieure à la norme recommandée dans les parcelles maraichères. Par contre, on constate que les sols d'Ezazou et les sols d'Étoug-ébé ont des teneurs faibles dans les sols. Le ph des sols de ces derniers est neutre. Selon Hlavackova (2005), le zinc se complexifie peu avec la matière organique dans les sols de ph neutres. D'autre part, on pourrait rejoindre les travaux de Ashley (1996), qui conclut dans ces travaux que le pH est le facteur qui influence le plus le comportement du Zn dans les sols. Le ph des sols de nos bas-fonds est pour la plupart proche de la neutralité.

L'étude a établi que la teneur du Cadmium est très élevée dans les sols de Mokolo. Cet état de fait rejoint l'étude menée par Yao (2015), qui confirme une contamination en Cd des sols maraîchers à des teneurs supérieures à la valeur seuil de 1 mg/kg recommandée. Sur la base des moyennes obtenues, les sols d'Étoug-ébé et ceux d'Ezazou Village ont des teneurs inférieures à la norme de 1 mg/kg MS. Mais si on tient compte des fortes fluctuations positives au niveau des erreurs standards enregistrées, on pourrait également dire que ces sols sont contaminés.

Par ailleurs, une brèche peut être ouverte sur les teneurs mesurées, notamment en termes de la méthode utilisée pour définir les seuils de réglementation. D'après Colinet (2003), les références utilisées pour l'analyse des ETM se bases principalement sur des « protocoles de mise en solution par (i) l'acide nitrique, (ii) l'eau régale et (iii) un mélange triacide dont l'acide fluorhydrique » qui donnerait des « valeurs totales ».

Selon Baize (2014) ses teneurs dites « valeurs totales » sont unanimement admises sur le plan international comme des « pseudo-totales ». Ceci dit, on pourrait sur cette base, pensé que ce sont des extractions partielles qui ont été réalisées. Cela rendrait donc encore pire le constat de contamination.

- **corrélations entre les éléments disponibles du sol et les ETM**

La distribution des paramètres analysés établit une relation entre la contamination en ETM et le niveau d'urbanisation aux alentours de chaque bas-fond. les ETM ont tendance à se groupé du côté de Mokolo contaminé en tous les ETM (Pb, Zn, Cd) analysés. Les éléments disponibles du sol (P, K, Mg, Ca, C.O) sont plus regroupés du côté de bas-fond d'Ézazou village qui s'est avéré peu contaminé. D'autre part, le pH_KCl du sol ne montre aucune corrélation significative avec les ETM (Lauwerys (2003).

Nous constatons que, la présence des éléments disponibles du sol (P, K et Mg, Ca, CO) ne permet pas de faire des prédictions sur les relations de cause à effet entre les teneurs mesurées. Nous sommes sous l'influence de trois sites très différents.

L'analyse en Composante principale révèle l'existence d'une corrélation négative entre la matière organique et les ETM (Cd, Zn, Pb), en effet, la complexation de ces éléments avec la matière organique tend à augmenter leur solubilité et par conséquent diminue leur accumulation dans les sols (Reuter et Perdû, 1977). De même, selon Nalovic (1969), la matière organique ne parait pas avoir une influence marquée sur la distribution des éléments traces dans les sols tropicaux.

VII. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le travail présenté est basé sur 4 orientations. Dans un premier temps, nous avons identifié les sources de contaminations en ETM (Cd, Pb, Zn) des bas-fonds maraîchers de Yaoundé. Les résultats ont montré que les sources sont d'origines anthropiques. D'une part, les sources liées aux pratiques agricoles : utilisation d'engrais, amendements aux cendres de combustibles, fumier et lisiers combinés à l'utilisation des pesticides chimiques. D'autre part, les sources dues aux apports liés aux infrastructures urbaines en délabrement et aux apports issues des déchets ménagers.

Dans la deuxième orientation, nous avons par les analyses de sols au laboratoire, établi des teneurs moyennes de contamination en comparaison au référentiel. Il est ressorti que les teneurs moyennes de contamination varient en fonction des sites. Le bas-fond maraîcher de MOKOLO ÉLOBIE situé en zone dite semis industrialisée s'est avéré contaminé pour l'ensemble des éléments Cd, Zn et Pb recherchés.

Les dernières orientations nous ont permis d'établir que les teneurs en contaminant dans les sols sont fortement corrélées aux niveaux d'urbanisation aux alentours de chaque bas-fond. Par contre, il a été établi, qu'il n'y a pas de prédiction à faire sur les relations de cause à effet entre les éléments disponibles du sol et les ETM dans les sols.

Enfin, ce travail à un grand intérêt en matière de préservation des ressources de sols potagers en zone urbaine et périurbaine. Les risques de contamination étudiés vis-à-vis des sources existantes sont des informations importantes pour prendre des mesures préventives ou interventionnelles.

• RECOMMANDATIONS

Les recommandations pour limiter les apports en contaminant représentent un impératif d'aujourd'hui et de demain. Nous proposons comme action :

- Limiter la forte utilisation des engrais chimiques afin de réduire l'infiltration des éléments chimiques dans les sols ;
- Encourager l'utilisation raisonnée des biofertilisants, bio pesticides et des éliciteurs ;
- Encourager toutes les méthodes intégrées de production et ne recourir aux produits chimiques qu'en dernier ressort ;
- Eviter l'implantation de certains ouvrages avec exutoires orientés vers les bas-fonds ;
- Vulgariser les bonnes techniques respectueuses de l'environnement chez les maraîchers ;
- L'utilisation des cendres de combustibles issues des décharges urbaines devient une pratique courante. Il faut sensibiliser les maraîchers à limiter cette pratique ;

- Aborder véritablement la question du statut des bas-fonds dans les zones urbaines au niveau gouvernementale ; en vue de légitimer les actions de préservations ;
- Améliorer le système d'assainissement pour limiter les drainages par ruissellement des déchets divers vers les bas-fonds.

- **PERPECTIVES.**

Au terme de ce travail, nous estimons n'avoir pas eu tous les éléments nécessaires pour concrétiser certaines recherches. C'est la raison pour laquelle nous suggérons à la suite de ce travail :

- D'augmenter le nombre d'échantillons pour apprécier la variation spatiale de contamination et d'analyser tous les ETM susceptibles de polluer les bas-fonds.
- D'analyser les teneurs en ETM dans les eaux et les plantes cultivées ;
- D'étudier le mécanisme de formation du complexe argilo métallique dans les bas-fonds et la spéciation de certains ETM.

VIII. BIBLIOGRAPHIE

- Adjia, R., Fezeu, W.M.L., Tchatchueng, J.B., Sorho, S., Ngassoum, M.B., 2010. Heavy Metals in five leafy vegetables from urban and periurban sites in Ngaoundéré, Cameroon. *Iranica Journal of Energy & Environment* 1 (2): 124-131.
- Albergel, J. et Lamachère, J.M., 1989. LES TYPOLOGIES USUELLES caractérisations géologique et climatique Albergel & Claude. ORSTOM.
- Anid, P. J., 1983. Contribution à la caractérisation des composts de déchets urbains : Evaluation de leur état de maturation et des risques éventuels de contamination métallique des cultures. Thèse de Doctorat Gembloux Agro Bio Tech/ ULg.
- Annabelle J., 2009. Contribution à l'évaluation du risque de contamination de la chaîne alimentaire par les Eléments Traces Métalliques, dans le cadre des activités d'élevage et de production agricole à Lubumbashi. Mémoire fin d'étude: Gembloux agro Bio tech.
- Ashley J.T.F., 1996. Adsorption of Cu(II) and Zn(II) by estuarine, riverine and terrestrial humic acids, *Chemosphere*, 1996, Vol.33, No. 11, pp. 2175-2187
- Bachelier G., 1982. Étude pédologique des sols de Yaoundé : contribution l'étude de la pédogenèse des sols ferrallitiques. *Agronomie Tropicale*. Vol. XIV, No 3, 1959. Extrait du Fond documentaire de L'ORTOM Aout 1985.
- Baize D., 1996a. Le cadmium dans les sols. Numéro spécial INRA-Pour la Science. p 17
- Baize D., 1997. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA Editions, Paris, 410 p.
- Baudouin Kouadio K. 2013. Le rôle des Industries Agroalimentaires dans la croissance agricole : Cas de la Côte d'Ivoire. Thèse de la Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales-Agadir. 288P.
- Bellenfant, G. 2001. Modélisation de la production de lixiviat en centre de stockage de déchets ménagers (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Lorraine-INPL).
- Belkessam L. & Lemiere. 2006. stratégie et technique d'échantillonnage des sols pour l'évaluation des pollutions. Etude RECORD n°04-0510/1A. Tiré du Fascicule I : Cadre de l'étude, objectifs, présentation des stratégies d'échantillonnage sous forme de grille.
- Bon, A., Ndam Ngoupayou, J., Ewodo Mboudou, G. & Ekodeck, G. (2016). Caractérisation hydrogéologique des aquifères de socle altéré et fissuré du bassin versant de l'Olézoa à Yaoundé, Cameroun. *Revue des sciences de l'eau*, 29(2), 149–166.
- Boulleys Patrice 2006. Contribution à la maîtrise de l'hygiène et l'assainissement dans les établissements classés de Yaoundé mémoire de master spécialisé au 2ie Ouagadougou.
- BRGM., 2000a. - Gestion des sites (potentiellement) pollués. Evaluation simplifiée des risques et classification des sites. Version 2. Editions BRGM.
- BRGM., 2000b - Gestion et traitement des sites pollués. Diagnostic approfondi et évaluation détaillée des risques. Guide technique. Editions BRGM.
- Calvet R. et Msaky J.J., 1990. Facteurs influençant la détermination expérimentale des quantités de cations métalliques traces adsorbées par un matériau terreux. In : *Science du sol* - Vol. 2, 1, pp. 1-14.
- Charland S., Boucher M-J., Houde M., Rivard N., 2001. Somatostatin inhibits Akt phosphorylation and cell cycle entry, but not p42/p44 mitogen-activated protein (MAP) kinase activation in normal and tumoral pancreatic acinar cells. *Endocrinology* 142.1 (2001):121-128.
- Chassin P. & Baiser D., 1996. Les éléments traces métalliques et la qualité du sol : impact à moyen et à long terme. Forum « le sol, un patrimoine menacé ? » Paris 24 octobre 1996.

- CIPRE., 2002. L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé-Cameroun : Situation d'une activité montante et controversée. Tome 1. Document de projet, 56p
- CITEPA, 2011. Emissions dans l'air en France métropolitaine - Substances relatives à la contamination par les métaux lourds.
- Colinet, G. 2003. Eléments Traces Métalliques dans les sols. Contribution à la Connaissance des déterminants de leur distribution spatiale en région limoneuse belge. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire de Gembloux, Belgique. Première partie. 139p.
- Colinet, G., Baize, D., Delcarte, E., Marcoen, J. M., Carletti, I., & Bock, L. (2004). Comparaison de différentes méthodes de détermination des teneurs en éléments majeurs et traces dans les sols. Actes des 8èmes JNES.
- Combessie, P., 2003. Les fonctions sociales de l'enfermement carcéral : constats, hypothèses, projets de recherche, mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches, Uni. Paris 8.
- Cottenie, A. M. Verloo, L. Kiekens, G. Velgh and Camerlynck R., 1982. Chemical Analysis of Plants and Soils. P 44-45. State Univ. Ghent Belgium, 63p.
- CUY, 2005. Rapport annuel d'activité Yaoundé.
- Daget, J., 1979. Contribution à la faune de la République Unie du Cameroun. Poissons de l'Ayina, du Dja et du Bas Sanaga. *Cybiurn* 3(6):55-64.
- Dauvergne 2011. Les espaces urbains et périurbains à usage agricole dans les villes d'Afrique sub-saharienne (Yaoundé et Accra): une de l'intermédiation en Géographie. Thèse du laboratoire de l'Environnement, Ville et Société, URM de l'Université de Lion. 390P.
- Dongmo et al., 2005. L'agriculture périurbaine à Yaoundé: ses rapports avec la réduction de la pauvreté, le développement économique, la conservation de la biodiversité et de l'environnement. *Tropicultura*, 2005, 23, 3, 130-135.
- Duby, C., & Robin, S. (2006). Analyse en composantes principales. Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 80.
- Enguene T., 2010. Identification et conception d'un projet de développement intégré autour de la mise en valeur des bas-fonds en zone tropicale humide : cas des bas-fonds de la ceinture péri-urbaine de Yaoundé (Cameroun). Mémoire de master 2 en innovations, développement et sociétés au 2^{ie} Ouagadougou.
- FAO. 2009. Rapport : Cadre National des Priorités à moyen terme de la FAO au Cameroun. NMTPF 2008 – 2012.
- Feix, I., 2012. Contamination des sols-Transferts des sols vers les plantes: Transferts des sols vers les plantes. EDP Sciences.
- Gaste, H., Basly, Botineau, Michel, et al., 2012. *Annales Scientifiques du Naturaliste*.
- Genot V., Colinet G., Bock L., Vanvyve D., Reusen Y. & Dardenne P. 2011a. Near infrared reflectance spectroscopy for estimating soil characteristics valuable in the diagnosis of soil fertility. *JNIRS*, 19 (2), 117-138.
- Gilot L., 2008. Contribution à l'estimation de l'impact des contaminations métalliques sur les propriétés des sols et étude des transferts des éléments traces métalliques dans les systèmes sol-plante (Lubumbashi, Katanga, RDC). Travail de fin d'études. Fusagx. 94p.
- Gockowski J., 2002. Intensification de la production horticole dans la périphérie urbaine de Yaoundé. In : *Agriculture Périurbaine Afrique Subsaharienne*. IITA-HFS. Cameroun.
- Gouzy A. et Ducos G., 2008. La connaissance des éléments traces métalliques: un défi pour la gestion de l'environnement. *Air pur*, 2008, pp.6-10. <ineris-00961930>.
- Gros, R. (2002). Fonctionnement et qualité des sols soumis à des perturbations physiques et chimiques d'origines anthropiques: réponses du sol, de la flore et de la microflore bactérienne tellurique (Doctoral dissertation, Université de Savoie).

- Grousset F., 1994. Apports atmosphériques par voie humide de métaux lourds dans le littoral aquitain. Programme de recherche cofinancé ADEME. Département de géologie et océanologie, UR CNRS 197. Université de bordeaux 1. 6p +annexes.
- Hatira A., Gallali T., Rouiller J., Guillet B., 1990. Stabilité et solubilité des complexes formés entre le cuivre, le Pb, le Zn et les acides fulviques. *Science du Sol*. Vol. 28, pp. 125-135.
- Hébrard-Labit C et Meffray L., 2004. Comparaison des méthodes d'analyses des ETM et les hydrocarbures aromatiques polycycliques sur les sols et les végétaux.
- Hlavackova P., 2005. Evaluation du comportement du cuivre et du zinc dans une matrice de type sol à l'aide de différentes méthodologies. Thèse du Laboratoire de Génie des Procédés des Solides, UMR CNRS 2392. Ecole des Mines d'Albi-Carmaux. 202p.
- INC 2015. Rapport national sur l'état de la population du Cameroun.
- INRA. 2015. Méthode de prélèvement d'échantillons de sol. Code : G.MO-052. 6p
- Juste C. et Solda P., 1982. Influence de l'addition de différentes matières fertilisantes sur la biodisponibilité de cadmium, du manganèse, du nickel et du zinc contenus dans un sol sableux amendés par des boues de station d'épuration, *Agronomie*, 8, 897-904.
- Juste C., 1995. Les micropolluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines, Convention ADEME-INRA, ADEME éd., 209p.
- Juste C., Linieres M., Gomez A., 1978. Etude du pouvoir complexant des matériaux contenus dans les boues d'épuration vis-à-vis des oligo-éléments et des éléments toxiques, et action de ces complexes sur les végétaux, *Conv. Min. Envir. / INRA*, n 75-23, 27p.
- Keith L. H., 1992. *Environmental Sampling and Analysis: A practical guide*, Lewis Publishers, Chelsea, Michigan.
- Koller R., et al., (2004). Classification des bassins versants alsaciens en fonction de leur sensibilité aux produits phytosanitaires.
- Kroll R., 1994, *Les cultures maraîchères*. Maisonneuve & Larose, Paris, 217p.
- Kuété, M., 1977. Étude géomorphologique du massif de Yaoundé. Université de Bordeaux III, Bordeaux, Thèse de doctorat de 3^è cycle de géographie, UER de géographie.
- Lauwerys, R., 2003. *Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles*, 5^è Edition, Masson, Paris. 1252p.
- Lecomte P. et Maurizo P., 1971. Synthèse des données géochimiques dans le cadre de la prospection minière du sud-ouest Cameroun. Rapp. BRGM 85 CMR 066.
- Lieunang Letche, A.R., Fonteh, M., Ndam Ngoupayou, J.R., 2009. *La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) au Cameroun*, Editions universitaires européennes. Ed.
- Loué A., 1993. *Oligoélément en agriculture*. Paris, Nathan.
- Louis Michel. 2011. *Terreur dans la brousse: L'histoire vraie des lions mangeurs d'hommes de Tsavo*. in : perrin. www.edition.perrin.fr.
- Mamerre, N., et Narbonne, J., F., 2001. *Toxiques Affaires*, Ramsay, Paris.
- Marquis, S., 2005. Diagnostic agraire du village de Nkolondom dans la zone périurbaine de Yaoundé. Mémoire de fin d'étude. ESAT, CNEARC, 119p.
- Mathieu A, Baize D, Raoul C, Daniau C. 2008. Proposition de référentiels régionaux en ETM dans les sols : leur utilisation dans les évaluations.
- Miquel Gérald. 2001. Rapport d'information n° 261. Office parlementaire d'évaluation des choix scient. Tech., 344 p. (<http://www.senat.fr/rap/100-261/100-261.html>).
- Moby-Etia P., 1979. Climat. In *Jeune Afrique* (Eds.). Atlas de la République Unie du Cameroun. 16-19.

- Moustier, P. 1995. L'économie des filières pour la recherche agronomique et le développement: le cas des légumes frais en Afrique. *Bulletin de Liaison (Coopération Régionale pour le Développement des Productions Horticoles en Afrique)*, 9, 59-66.
- Moustier P. & Fall A. S., 2004. Les dynamiques de l'agriculture urbaine : caractérisation et évaluation, *In* Smith O.B.,
- Moustier P., Mougeot L.J.A. et Fall A. 2004. Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone. Enjeux, concepts et méthodes. CIRAD et CRDI. Pp. 23-29.
- Mubemba, M. M., Sikuzani, Y. U., Kimuni, L. N., & Colinet, G. (2014). Effets d'amendements carbonatés et organiques sur la culture de deux légumes sur sol contaminé à Lubumbashi (RD Congo). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 18(3), 367-375.
- Mukobo P., 2007. Evaluation et cartographie des contaminations du sol autour du site de la Gécamines. Travail de fin d'études (DEA). UNILU. 50p.
- Nalovic L., 1969. Étude spectrographique des éléments traces et leur distribution dans quelques types de sols de Madagascar. *Cah. ORSTOM., sér. Pédol., vol. VII, no 2, 1969.*
- Nalovic, L. et Pinta, M., 1972. Recherches sur les éléments traces dans les sols tropicaux: étude de quelques sols du Cameroun. (Study of trace elements in some tropical soils of Cameroun. *Geoderma*, 7: 249-267.
- Ngambi J. R., 2015. Déchets solides ménagers dans la ville de Yaoundé (Cameroun). De la gestion linéaire vers une économie circulaire. Thèse présentée à l'Université Nantes Angers Le Mans. 491p.
- Nguegang A. P., 2008a. L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé : analyse multifonctionnelle d'une activité montante en économie de survie. Thèse du laboratoire de Botanique Systématique et de Phytosociologie, Ecole interfacultaire des bio-ingénieurs de l'Université libre de Bruxelles. 200p.
- Nguegang P., Parrot L., Lejoly J. Joiris v., 2008b. « Mise en valeur des bas-fonds à Yaoundé : système de production, savoir faire traditionnel et potentialités d'une agriculture urbaine ». In *Agriculture et développement urbain en Afrique subsaharienne: environnement et enjeux sanitaires*. Paris, l'harmattan. p. 97108.
- Nguendo Yongsy H. B., 2014. Landforms and diarrheal diseases in Yaoundé (Cameroon): A medical geomorphology approach in a tropical urban setting. *Revue Canadienne de Géographie Tropicale. Canadian Journal of Tropical Geography*. Vol. 1(2) pages 24-36.
- Noubissié, E., 2015. Spéciation des composés organométalliques (Zn, Sn, Pb) dans les sols des cultures maraîchères et dans trois espèces de plantes cultivées à Ngaoundéré (Cameroun). Thèse de Doctorat présentée à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.
- Olivery J.C., 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. Collection Monographies Hydrologiques d'ORSTOM. 9. MESRES-ORSTOM, Paris, France.
- Onana J.M., 1995. Les savanes soudano-sahéliennes du Cameroun : Analyse phytoécologique et utilisation pastorale, Thèse de doctorat, Université de Rennes, 115 p + annexes.
- Onguené, M., 1993. Différentiation pédologique dans la région de Yaoundé. Transformation d'un sol ferrallitique rouge à horizon jaune avec évolution du modelé. Paris, Université de Paris IV, Thèse Doctorat N.R
- ONU-HABITAT (2014). 3^{ième} rapport sur l'état des villes africaines 2014.
- Periera B. et Sonnet P. 2007. La contamination diffuse des sols par les éléments traces métalliques en Région Wallonne. Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement en Wallonie.

- Perrono P., 1999. - Les micropolluants métalliques des boues de stations d'épuration urbaine et l'épandage agricole. Mém. D.U.E.S.S., D.E.P., Univ. Picardie, Amiens.
- Pitter P., 1999. Hydrochimie. Praha : VSCHT 3e édition, 1999, 568 p.
- Raunet M. 1985 : Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar : Géomorphologie - Géochimie - Pédologie - Hydrologie, IRAT.Service pédologie.236 pages.
- René Langis.1999. Effet de la matière organique dissoute, sur la biodisponibilité du fer. Thèse présentée à l'université du Québec. Institut National de la recherche scientifique-EAL.
- Reuter, J.H. et Perdue, E.M. 1977. Importance of heavy metal –organic matter interactions in natural waters. Géochimie. Cosmochim. Acta. 28, pp. 32-334.
- Robert M. et Juste C., 1997 - Stocks et flux d'éléments traces dans les sols du territoire. Acte des Journées Techniques "Épandage des boues résiduelles. Aspects sanitaires et environnementaux". ADEME. 5-6 juin 1997. pp. 192-205.
- Royer E., et Lebas N., 2010. Effet de la présence de cadmium ou de plomb dans l'alimentation du porc sur les teneurs dans les tissus comestibles. Proceedings 13^{èmes} JSMTV, Clermont-Ferrand (F), 19-20 oct. 2010, 159-160.
- Saumel et al., 2012. Lead levels of edibles grown in contaminated residential soils: a field survey. Sci Total Environ. 320(2-3), 245-57.
- Sinare Y., Thiombiano L., Bado L., 1993. La mise en valeur des bas-fonds au Burkina faso. http://africarice.org/ivis/docs/1993/gen_sinare_bfaso.htm
- Sonké B., 1998. Études floristiques et structurales des forêts de la réserve de faune du Dja (Cameroun), thèse de doctorat en sciences, ULB, 195 p + annexes.
- Sotamenou, J., 2012. Le compostage : une alternative soutenable de gestion publique des déchets solides au Cameroun. Thèse de Doctorat en Economie. Université de Yaoundé II et Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD, France.
- Temple Boyer E., 2002. Dynamique de l'emprise spatiale et foncière de l'agriculture Périurbaine dans les bas-fonds de Yaoundé. Rapport DEA Géographie, université Paris
- Temple I. et Moustier P., 2004. « Les fonctions et contraintes de l'agriculture périurbaine de quelques villes africaines », Cahiers agricultures, 13, n° 9, p. 1522.
- Temple L., Marquis S., David O., Simon S., 2008. Le maraîchage périurbain à Yaoundé est-il un système de production localisé innovant ? Revue Economies et Sociétés, Série agroalimentaire N°30.
- Tremel-Schaud A. & Feix I., 2005 : Contamination des sols : transfert des sols vers les plantes. EDP Sciences /ADEME.
- Tricot A., 1999.Le Cadmium. Encyclopaedia Universalis, France.
- Van Cappellen et al., 1992. Biogeochemical transformations in sediments: Kinetic models of early diagenesis, in Wollast, R., et al., eds., Interactions of C, N, P and S biogeochemical cycles and global change (NATO ASI Series 14): Berlin, Springer-Verlag, pp. 401-445.
- W.H.O., 1992. Environmental health criteria, 134, Cadmium. ICPS, Geneva.
- Yao, M. K., et NL-B. Kouassi.2015. Etude des propriétés d'adsorption et de désorption du Plomb (Pb) et du Cadmium (Cd) par les sédiments d'une lagune tropicale en présence d'Allylthiourée. International Journal of Biological and Chemical Sciences 9.1 (2015): 483-491.
- Zaninotto v. et Faure E., 2004. Pollution atmosphérique, biodiversité et écosystèmes. Atelier la pollution atmosphérique 1^{er} semestre - année 2014-2015

IX. ANNEXE

Annexe 1. Questionnaire d'enquête pour l'identification des sources potentielles de contaminations ou pas des bas-fonds maraîchers urbains de Yaoundé.

Questionnaire

Date ____/____/____ Numéro de fiche _____
 Nom de bas-fond _____ Nom _____ de
 l'enquête _____
 Cordonnées : Longitude _____
 Latitude _____
 Description _____ synoptique _____ du
 lieu _____

4. Profil socio-économiques des maraîchers

Variables	Réponses
1.1 Sexe du répondant	1. Homme 2. Femme
1.2 statut matrimoniale	1. célibataire 2. Marié(e) 3. veuf/veuve
1.3 Quel est le nombre de personnes impliquées dans votre activité ?	
1.4 Quel est votre niveau d'études ?	6. Non scolarisé/autodidacte
	7. Maternelle et Primaire
	8. Secondaire
	9. Professionnelle
1.5 Quel est votre statut d'occupation de la parcelle/dans la structure autour et dans le bas-fond?	10. Universitaire
	3. Propriétaire
	4. Locataire /
	5. employé
1.6 Quelle est l'activité principale autour et dans le bas-fond?	6. Responsable du ménage
	7. Patron de la structure/société, etc...
	8. responsable gestion de déchets
	9. Autre à préciser
1.7 avez-vous une activité secondaire autour et dans le bas-fond??	30 Agriculture
	31 Marché et tas d'ordure
	32 Menuiserie métallique
	33 Habitations (ménage, écoles, etc...)
	34 Station-service / laverie de voiture
	35 Services hospitalier et administratif
36 Atelier soudure/ vernissage/ dépannage électronique et récupération divers.	
1.7 avez-vous une activité secondaire autour et dans le bas-fond??	1. Oui 2. Non
	Si oui, préciser :

2. Origines potentiels de la contamination autour du Bas-fond

Variables	Réponses
2.1 Est-ce que vous avez une poubelle ?	1. Oui 2. Non
	Si oui, quel est son volume ?
2.2 Où jetez-vous vos déchets?	37 Dans la poubelle
	38 vieux récipient
	39 Directement sur le sol

	40 Autre à préciser
2.3 Qui s'occupe de la gestion des déchets dans la maison/structure/entreprise?	1. Un enfant
	2. Un adulte
	3. Tierce personne rémunérée
	4. Un professionnel de déchet
2.4 Quels sont les moyens d'évacuation de vos déchets ?	41 Camion de HYSACAM
	42 Brouette des équipes de récupération
	43 Versement dans des caniveaux
	44 Versement dans les cours d'eau du bas-fond
	45 Auto évacuation pendant la pluie
	46 Autres à préciser :
2.5 Connaissez-vous la destination finale des déchets que vous produisez ? Si oui, laquelle ?	47 Oui (laquelle) 2. Non
	48 Décharges sauvages/améliorées
	49 Dans les égouts vers les bas-fonds
	50 Dans la poubelle derrière la maison, /structures/ sociétés
	51 Autres à préciser :
2.6 Avez-vous observé des changements dans les bas-fonds?	1. Oui 2. Non
2.6.1 Si oui, lesquels ?	1. Pollution de l'eau (eau sale et débris divers dans l'eau, et.)
	52 Contamination des sols et des plantes (changement de couleur, présence des déchets, etc.
	53 présence des ordures
	Autres :

3. perception de la contamination par l'agriculteur dans le Bas-fond

3.1 Est ce que les déchets arrivent dans votre bas-fond ?	1. oui 2. Non
	2. Déchets solides
	3. Déchet liquide
	4. Déchet solide et liquide
3.2 Quelle est l'origine de ces déchets d'après vous?	5. Ménages en hauteur
	6. Amendements organiques utilisés pour la fertilisation des parcelles
	7. Industries autour du bas -fond
	8. Ateliers de dépannage et de récupération autour du bas-fond
	9. Partout dans la ville par les eaux de ruissellement
3.3 Est-ce que les déchets solides ou liquides qui arrivent actuellement dans votre bas-fond contaminent vos sols et plantes ?	1. Oui, c'est possible
	2. non, je ne remarque rien
	3. aucune idée
3.4 utilisez-vous des fertilisants et amendements sur votre parcelle ?	1. Oui 2. Non
	Si oui, lesquels
	5. lisier de porc/fiente de poule/crotte
	6. débris de combustible ⁹
	7. engrais chimique

⁹ Les Débris de combustible sont des cendres issues du brûlis d'un ensemble d'ordures divers

	8. boues de vidange
	9. compost +fiente +engrais chimique
	10. engrais chimique et débris de combustible
3.5 Utilisez-vous des pesticides chimiques ?	1. Oui 2. Non
3.6 Est-ce que vos pratiques d'amendement actuelles contaminent vos sols et plantes ?	1. oui, je pense
	2. non, je ne pense pas
3.7 Est-ce que vous observez des changements sur vos sols et plantes qui pourraient être causés par les contaminants ?	1. oui, j'observe des choses
	2. non, je n'observe rien
	3. des maladies de culture
	4. Aucune idée
3.8 Est-ce que d'autres activités peuvent contaminer vos sols et vos plantes	1. l'air pollué
	10. l'eau de ruissellement et des fosses
	11. Autres : cité
3.9 Pensez-vous que les immondices peuvent générer des maladies aux travailleurs dans vos bas-fonds ? Si oui, lesquelles?	1. Oui 2. Non
	1. 2.
3.10 Quelles sont vos propositions de solution pour limiter l'arrivée des déchets dans votre bas-fond ?

12. Gestion des Eaux d'irrigation par l'agriculteur dans le Basfond

4.1 utilisez-vous une autre eau pour arroser en dehors des Eaux de pluies?	1. Oui 2. Non
4.2 si oui, Quelle est la provenance de l'eau utilisée pour l'arrosage ?	13. Eau de pluie
	14. Ruisseau du bas-fond
	15. Puits et mare aménagé dans le bas-fond
	16. Autre (à préciser)
4.3 Pourquoi utilisez- vous cette eau ?	1. Seul eau disponible en saison sèche
	2. Eau de bonne qualité (propre)
	3. Autre (à préciser)
a. Utilisez-vous les eaux pour autres usages de l'arrosage ?	1. Oui 2. Non
	Si oui lesquels
	17. Lessive et baignade
	18. pisciculture
4.5 Connaissez-vous les risques liés à l'usage d'une eau de mauvaise qualité sur le sol et les plantes ?	19. Autre (à préciser)
	1. Oui 2. Non
	2. Si oui lesquels
	1. Risque de maladie
	2. Contamination des sols et des cultures
3. Autres (à préciser)	