



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :
2019-2020

N° D'ORDRE : 0310 / 2021

N° CARTE D'ETUDIANT :
CI0414002494

MASTER

Physique-Chimie Appliquée

Option : Environnement

THEME :

**EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIES A
L'INGESTION DES ETM (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn)
CONTENUS DANS LES CULTURES MARAICHES DE LA
VILLE DE DALOA (CÔTE D'IVOIRE)**

LABORATOIRE :
DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT
(LSTE)

Présenté par :

TRAORE Klo Dieudonné

JURY

Président : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. DONGUI Bini Kouamé, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. YAPI YAPO Hermann Aristide, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. KOUADIO David Léonce, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 22 Février 2021



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE :

2019-2020

N° D'ORDRE : 0310 / 2021

N° CARTE D'ETUDIANT :

CI0414002494

MASTER

Physique-Chimie Appliquée

Option : Environnement

THEME :

**EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIES A
L'INGESTION DES ETM (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn)
CONTENUS DANS LES CULTURES MARAICHIERES DE LA
VILLE DE DALOA (CÔTE D'IVOIRE)**

LABORATOIRE :

DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

(LSTE)

Présenté par :

TRAORE Klo Dieudonné

JURY

Président : M. KOUASSI Kouakou Lazare, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. DONGUI Bini Kouamé, Professeur Titulaire,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. YAPI YAPO Hermann Aristide, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. KOUADIO David Léonce, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 22 Février 2021

DEDICACES

Je dédie le présent mémoire, fruit d'un effort constant et d'une espérance inébranlable en un avenir plein de promesses, à tous ceux qui continuent encore à croire en mes études et qui, d'une façon ou d'une autre contribue à mes avancées intellectuelles.

Mes pensées vont particulièrement

- A mon Père,

TRAORE Otiémé

Depuis ma venue au monde, tu as su me donner tout ce dont j'avais besoin pour réussir dans cette vie des Hommes. Malgré les temps de conjoncture, tu as été mon socle. Patient et compréhensif, tu m'as encouragé à progresser dans les études. Tes prières m'ont toujours accompagné. Nulle dédicace ne pourrait exprimer mes sentiments et mon profond attachement et respect à ton égard.

- A ma mère,

DAGNOGO Aminata

Autant de phrases aussi expressives soient elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu n'as cessé de me soutenir, de m'encourager et de me consoler quand il le fallait. Reçois ce travail en signe de ma vive reconnaissance et de mon profond amour.

A mes chers frères Tenon, Dossongui Aimé,

A ma chère sœur Matoma Angeline,

A mon binôme Tra bi Tra Théophile-Caleb.

DIEUDONNE K. TRAORE

REMERCIEMENTS

Tout travail scientifique est l'aboutissement des efforts de l'entourage du chercheur. J'exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui de près ou de loin m'ont soutenu dans mes efforts et ont contribué ainsi à la réalisation de ce mémoire.

Je remercie tout d'abord le professeur **TIDOU Abiba Sanogo Epse KONE**, Présidente de l'Université Jean Lorougnon GUEDE.

Qu'il me soit permis de remercier :

Monsieur **KOUASSI Kouakou Lazare**, Professeur Titulaire à l'Université Jean Lorougnon Guédé (Côte d'Ivoire), d'avoir accepté d'honorer cette soutenance comme président de jury. Qu'il me soit permis de lui exprimer ma plus haute considération.

Monsieur **DONGUI Bini Kouamé**, Professeur Titulaire à l'Université Jean Lorougnon Guédé pour avoir accepté la direction scientifique de ce travail. Je lui exprime toute ma reconnaissance. Monsieur **KOUADIO David Léonce**, Maître de Conférences à l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa qui m'a fait l'honneur d'examiner ce travail. Je souhaite lui exprimer ici toute ma gratitude.

Docteur **YAPI Yapo Hermann Aristide** Maître - Assistant à l'Université Jean Lorougnon Guédé. Merci d'avoir accepté de m'encadrer et m'initier à la recherche. Sa confiance, sa disponibilité, son dévouement, son humilité, ses conseils et son apport scientifique ont été essentiel dans l'élaboration de ce mémoire. Je lui exprime mon admiration et mes vifs remerciements.

Je remercie les Docteurs **AKESSE D.P. Valéry**, **KOUYATE Amadou**, **KONATE Zoumana** pour leurs conseils, leur disponibilité et leur assistance qui ont contribué à l'amélioration de ce mémoire. Je leur exprime mon admiration et leur témoigne ma reconnaissance.

Je remercie mes ami(e)s **Monsieur KOHO Jean-Pierre**, **TOURE P. Bienvenue**, **KONE K. Bernard**, **KONE Annick**, **OUEDRAOGO Charlotte**, **KOUADIO Sandrine DELI Jules-César** pour leurs conseils, soutien physique et morale.

En fin, que tous ceux qui d'une façon ou d'une autre ont apporté leurs concours à la réalisation de ce document administratif reçoivent ici l'expression de mes sincères remerciements et gratitude.

TABLE DES MATIERES

	Pages
DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	i
TABLE DES MATIERES	i
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DE L'ANNEXE.....	ix
INTRODUCTION	1
Partie 1 : GENERALITES	3
I.1. GENERALITES SUR LES CULTURES MARAICHERES	3
I.1.1. Définition.....	3
I.1.2. Cultures maraîchères de la ville de DALOA	3
I.1.3. Espèces légumières étudiées	3
I.1.3.1. Chou (<i>Brassica oleracea</i>)	3
I.1.3.2. Laitue (<i>Lactuca sativa</i>).....	4
I.1.3.3. Oignon et les feuilles d'oignons (<i>Allium cepa</i>).....	4
I.1.3.4. Tomate (<i>Solanum lycopersicon</i>)	4
I.1.4. Impacts du maraîchage	4
I.1.4.1. Impacts positifs	4
I.1.4.2. Impacts négatifs.....	5
I.2. GENERALITES SUR LES METAUX LOURDS.....	5
I.2.1. Définition.....	5
I.2.2 Caractéristiques physico-chimiques et toxicité des ETM.....	5
I.2.2.1. Arsenic (As)	5
I.2.2.2. Cadmium (Cd).....	6

I.2.2.3. Chrome (Cr)	6
I.2.2.5. Plomb (Pb)	7
I.2.2.4. Nickel (Ni)	7
I.2.2.6. Zinc (Zn).....	8
I.2.2.7. Mercure (Hg).....	8
I.2.3. Origines des éléments traces métalliques dans les sols	9
I.2.3.1. Origines naturelles.....	9
I.2.3.2. Origines anthropiques.....	9
I.2.3.2.1. Pollution agricole.....	9
I.2.3.2.1.1. Les engrais	9
I.2.3.2.1.2. Les produits phytosanitaires.....	10
I.2.3.2.2. Pollution industrielle.....	10
I.2.3.2.3. Pollutions urbaines	10
I.3. ETM DANS LES PLANTES	11
I.3.1. Notion d'oligo-éléments	11
I.3.2. Transfert des éléments métalliques du sol vers les plantes	11
I.4. APPRECIATION DE L'EXPOSITION ET EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE	11
I.4.1. Appréciation de l'exposition.....	11
I.4.2. Evaluation du risque sanitaire	12
I.4.2.1. Principe	12
I.4.2.2. Evaluation quantitative du risque.....	12
Partie 2 : MATERIEL ET METHODES.....	3
II.1. PRESENTATION DES ZONES D'ETUDES	13
II.1.1. Situation géographique.....	13
II.1.2. Bas-fonds 1 (Site de Gbokora)	13
II.1.3. Bas-fonds 2 (Site en face de la résidence présidentielle)	14

II.1.4. Bas-fonds 3 (Site du quartier garage).....	14
II.1.5. Bas-fonds 4 (Site d’abattoir 2).....	15
II.1.6. Bas-fonds 5 (Site d’Orly 2)	15
II.1.7. Bas-fonds 6 (Site d’Orly plateau)	16
II.2. MATERIEL UTILISE	17
II.2.1. Matériel biologique	17
II.2.2. Matériel technique.....	17
II.2.3. Matériel d’analyse.....	17
II.3. METHODES	19
II.3.1. Approche méthodologique	19
II.3.1.1. Enquête alimentaire.....	19
II.3.1.2. Techniques d’enquêtes utilisées.....	19
II.3.1.2.1. Journal alimentaire	19
II.3.1.2.2. Histoire alimentaire par l’interrogatoire.....	19
II.3.2. Méthodes d’échantillonnages	20
II.3.2.1. Prélèvements des fruits et légumes	20
II.3.3. Préparation des échantillons	20
II.3.4. Méthodes de dosage des métaux lourds dans les matrices cibles	20
II.3.4.1. Dosage des ETM.....	20
II.3.4.2. Méthodes de dosage	21
II.3.4.2.1. Méthode flamme (Zn).....	21
II.3.4.2.2. Méthode Four (Pb, Cd, As, Cr, Ni)	21
II.3.4.2.3. Méthode Hydrure (Hg)	21
II.3.5. Calcul du facteur de bioaccumulation (fbc)	22
II.3.6. Méthodologie de l’évaluation du risque alimentaire.....	22
II.3.6.1. Identification du danger.....	22

II.3.6.2. Caractérisation du risque alimentaire	23
II.3.6.2.1. Calcul de la Dose Journalière d'Exposition (DJE)	23
II.3.6.2.2. Calcul du Quotient de Danger (QD) pour les effets à seuils	23
II.3.6.2.3. Calcul de l'Excès de Risque Individuel (ERI) pour les effets sans seuils	24
II.3.6.2.4. Calcul de l'Impact Sanitaire (IS)	24
Partie 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	25
III.1 RESULTATS	25
III.1.1. Description des populations enquêtées	25
III.1.2. Quantités d'aliments consommées	25
III.1. 3. Teneurs en ETM dans les fruits et légumes	25
III.1.4. Facteur de bioaccumulation (FBC).....	27
III.1.5. Risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire de la population.....	28
III.1.5.1. Identification des dangers.....	28
III.1.5.2. Caractéristiques du risque	28
III.1.5.2.1. Dose journalière d'exposition (DJE) et du quotient de danger (QD)	28
III.1.5.2.1.1. Arsenic (As).....	29
III. 1.5.2.1.2. Cadmium (Cd)	29
III. 1.5.2.1.3. Nickel (Ni).....	30
III. 1.5.2.1.4. Plomb (Pb).....	30
III. 1.5.2.1.5. Zinc (Zn).....	31
III. 1.5.2.2. Excès du risque individuel (ERI) pour les effets sans seuils.....	32
III. 1.5.2.3. Impact sanitaire (IS).....	33
III.2. DISCUSSION	33
III.2.1 Influence de la pollution des sols cultivables sur le niveau des ETM dans les légumes	33
III.2.2 Synthèse de l'évaluation des risques	35

III.2.2.1 Risques pour les effets à seuils: Quotient de Danger.....	35
III.2.2.2. Risques pour les effets sans seuil: ERI et IS	36
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	37
REFERENCES	38
ANNEXE	

SIGLES ET ABREVIATIONS

AFNOR	Association Française de Normalisation
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
DJA	Dose Journalière Admise
DJE	Dose Journalière Estimée
ERI	Excès de Risque Individuel
ETM	Elément Trace Métallique
GPS	Global Position System
HAP	Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
IARC	Agence International de Recherche pour le Cancer
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
IS	Impact Sanitaire
LANADA	Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole
OMS	Organisation Mondiale de la Sante
PE	Principale Elément
QD	Quotient de Danger
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SAA	Spectrophotomètre d'Absorption Atomique
UFR	Unité de Formation et de Recherche
ERQS	Evaluation des Risques Sanitaires

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I : Proportion de denrées consommées de façon journalière dans une ration(Kg/j)	25
Tableau II : Facteurs de bioaccumulation.	27
Tableau III : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour l'arsenic.	29
Tableau IV : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour le cadmium.....	29
Tableau V : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour le nickel	30
Tableau VI : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour le plomb.	31
Tableau VII : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour le zinc.	31
Tableau VIII : Excès de risque individuel chez les adultes pour l'arsenic.....	32
Tableau IX : Impact sanitaire chez les adultes pour l'Arsenic.	33
Tableau X : Normes OMS des concentrations des ETM dans les cultures maraîchères...35	

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1 : Quelques produits phytosanitaires utilisés.....	10
Figure 2 : Carte de la ville de Daloa présentant les zones d'études.....	13
Figures 3 : Cultures maraîchères du bas-fond de Gbokora.....	14
Figure 4 : Eau usée utilisée pour arroser les cultures maraîchères du site 2.....	14
Figures 5 : Décharge publique à proximité du site de culture.	15
Figure 6 : Eau usée du quartier Abattoir 2 et du CHR servant à arroser les cultures maraîchères. 15	15
Figure 7 : Cultures maraîchères à proximité des toilettes publiques.	16
Figure 8 : Cultures maraîchères à proximité d'une décharge.	16
Figure 9 : Matériel végétales	17
Figure 10 : Matériel d'analyses	18
Figure 11 : Concentrations d'ETM dans les cultures maraîchères de la ville de Daloa.	26

LISTE DE L'ANNEXE

Annexe : Fiche de l'enquête alimentaire

INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire et comme dans tous les autres pays de l'Afrique, le maraîchage occupe une place importante dans les activités socio-économiques en raison de sa forte demande pour la consommation par leurs apports en éléments minéraux et surtout en vitamines. Aussi, le maraîchage pratiqué autour des barrages et dans les bas-fonds est une activité qui se développe de plus en plus dans les grandes villes africaines.

A Daloa, les cultures maraîchères sont souvent pratiquées sur des sols amendés avec de la bouse (déchets de bovins) et de la fiente (déchets de poulets) organique, pratique considérée comme solution simple et peu coûteuse de recyclage des éléments nutritifs (ADEME, 2003). En effet, à l'image de nombreuses cités, l'emploi permanent d'engrais, de pesticides et l'usage des eaux usées, sont des pratiques largement répandues dans le maraîchage urbain. Elles peuvent constituer une source de pollution métallique (ETM) et une menace pour la santé des populations de la ville et celle des consommateurs des produits récoltés (Amoah *et al.*, 2006). Toutes ces pratiques vont contribuer à modifier les paramètres physico-chimiques du milieu culturel et donc influencer la biodisponibilité originelle des ETM.

La pollution de l'environnement et l'exposition permanente des êtres humains à des éléments traces métalliques (ETM), appelés abusivement métaux lourds sont aujourd'hui des problèmes majeurs qui ne cessent de prendre de l'ampleur dans ce monde où le modernisme s'installe (Stefan & Todor, 2005). Comparativement aux autres polluants, les ETM sont non biodégradables. Certains métaux (Fe, Zn, Cu, Mn) sont nécessaires voire indispensables aux êtres vivants, et cela à des concentrations raisonnables dans certaines matrices de l'environnement. En revanche, à un seuil élevé, ils (Cd, Pd, Hg) présentent une toxicité plus ou moins forte qui nuisent fortement à la plupart des organismes vivants. De nos jours, avec le développement du mode de vie dans la quasi-totalité des secteurs agricoles, industriels et tertiaires, ces polluants métalliques proviennent majoritairement des activités anthropiques (épandages de déchets, agriculture, industrie, etc.) et des sources naturelles (altération de roches, éruptions volcaniques) (Michel & Pierre, 1999).

Par ailleurs, l'accumulation des ETM dans l'environnement présente des risques sur la santé humaine (cancer de poumon, de foie et de la rate, etc.) (Hocking & Mc-Laughlin, 2000).

Les travaux sur l'évaluation du risque alimentaire lié aux métaux lourds paraissent quasiment inexistant dans cette ville. Or, la pollution des sols par les métaux traces est un problème majeur car, contrairement aux autres milieux (atmosphère et eau), le sol possède une plus faible capacité à s'épurer (Berthelin & Bourrelier, 1998). Ainsi, il y a des risques de bioaccumulation métallique dans ces produits maraîchers pouvant causer des menaces sanitaires pour la population (Miquel, 2001). La présente étude intitulé «**Evaluation des risques sanitaires liés**

à l'ingestion des ETM dans les cultures maraîchères de la ville de Daloa » s'inscrit dans ce contexte. L'objectif général de cette étude est de faire l'évaluation quantitative des risques sanitaires liés à l'ingestion des ETM contenus dans les produits maraîchers cultivés dans les bas-fonds de la ville de Daloa.

De façon spécifique, il s'agira dans ce travail de :

- Calculer les facteurs de bioaccumulation (FBC) ;
- Calculer les quotients de danger (QD) pour les effets à seuils ;
- Calculer l'excès de risque individuel (ERI) pour les effets sans seuils ;
- Calculer l'impact sanitaire (IS) pour déterminer le nombre de cas de cancer susceptible de se produire au sein de la population.

Ce mémoire, s'articule principalement autour de trois parties comme suit :

La première partie fait une synthèse bibliographique sur les cultures maraîchères et sur les métaux lourds.

La deuxième partie expose le matériel (zone d'étude, échantillonnage, matériel d'échantillonnage et d'analyse, etc...) et les méthodes utilisées (échantillonnage, analyse) dans la présente étude pour l'acquisition des données.

Les résultats sont présentés et discutés dans la **troisième partie**.

Une conclusion et des recommandations suivi de perspectives terminent la rédaction de ce présent mémoire.

Partie 1 : GENERALITES

I.1. GENERALITES SUR LES CULTURES MARAICHERES

I.1.1. Définition

Les cultures maraîchères sont des plantes potagères dont certaines parties peuvent entrer dans l'alimentation humaine sans avoir subi de transformations industrielles majeures, mais éventuellement soumises à des procédés de conservation préalable (Chaux & Fourry, 1994). Le maraîchage est une activité complexe qui se caractérise par la mise en valeur de superficies réduites et par la production d'une multitude de spéculations. Il s'agit alors d'une production intensive et continue dont une série d'opérations telles que le labour, le dressage des planches, le repiquage, l'arrosage, la récolte et la vente, qui occupent la journée du maraîcher (Gonroudobou, 1985).

I.1.2. Cultures maraîchères de la ville de DALOA

Ce sont des parcelles situées à l'intérieur de la ville aux abords des cours d'eau, des décharges. Notamment celle des parcelles maraîchères situées au quartier Orly et au quartier commerce de ladite ville. Ces parcelles sont exploitées par des producteurs généralement très pauvres, illettrés et pères de familles nombreuses qui vivent à l'intérieur de la ville. Le maraîchage constitue leur unique activité. Par ailleurs, pour assurer la disponibilité des cultures sur le marché, ils pratiquent la rotation des cultures sur l'ensemble des bas-fonds.

I.1.3. Espèces légumières étudiées

Nous entendons par légume, toute plante pouvant être consommée par l'homme, crue ou cuite, entière ou seulement en partie (Kroll, 1994).

I.1.3.1. Chou (*Brassica oleracea*)

Le chou pommé est une culture très ancienne parmi les crucifères, développée au début du moyen âge en Europe occidentale (Dickson & Wallace, 1986). C'est une plante herbacée érigée pouvant atteindre 60 cm de haut en maturité végétative. Les feuilles sont lisses, sessiles et s'insèrent les unes aux autres constituant une pomme dense de forme globuleuse ellipsoïdale, plus ou moins aplatie. Plantes de la famille des Brassicacées (ou crucifères), originaire du Sud-ouest de l'Europe. Le chou cultivé, est un légume volumineux, dense et nutritif (Mazollier, 2012).

I.1.3.2. Laitue (*Lactuca sativa*)

La laitue, laitue cultivée ou salade (*Lactuca sativa*) est une plante herbacée appartenant au genre *Lactuca*, de la famille des Astéracées, largement cultivée pour ses feuilles tendres et consommées comme légume, généralement crues en salade. Le nom « laitue » dérive du latin *lactuca* et *sativa* signifie « cultivé ». Selon D'Arondel de Hayes & Traoré (1990), les laitues sont peu exigeantes et s'adaptent à la plupart des sols pourvu que ceux-ci soient riches en humus frais.

I.1.3.3. Oignon et les feuilles d'oignons (*Allium cepa*)

L'oignon *Allium cepa* est la culture maraîchère la plus cultivée dans le monde après la tomate (FAO, 2010). D'origine asiatique, l'oignon est une plante saisonnière (Judd, 2002), bisannuelle de la famille des Amaryllidacées, dont le bulbe ne se divise pas, il est très apprécié dans la région des hautes terres tropicales d'Afrique centrale et orientale.

I.1.3.4. Tomate (*Solanum lycopersicon*)

La tomate est une plante originaire du Pérou, de la famille des solanacées (Skiredj *et al.*, 2002). Elle est une plante annuelle dont le cycle de croissance est d'environ quatre mois. Selon Skiredj *et al.* (2002), le fruit présente une excellente valeur nutritive et gustative (sucres, acides organiques, sels minéraux, vitamine B1, B2, C et carotène). La tomate se consomme comme un légume-fruit, crue ou cuite.

I.1.4. Impacts du maraîchage

I.1.4.1. Impacts positifs

Les cultures maraîchères constituent de nos jours un domaine très important dans l'économie nationale. Elles améliorent les conditions de vie des populations et créent des emplois (Mbaye & Moustier, 2000). Elles contribuent également par leur vente à l'amélioration de la situation économique de nombreux ménages (Schilter, 1991). Par ailleurs, elles concourent à la sécurité alimentaire (Brown & Jameton, 2000). A l'instar des autres types d'agricultures urbaines, le maraîchage est un grand consommateur de déchets urbains comme source de fertilisation. Cela est une contribution à la gestion de ces déchets et donc à la réduction d'un certain type de nuisance.

I.1.4.2. Impacts négatifs

L'agriculture urbaine se caractérise par des apports importants d'intrants qui sont profitables aux plantes mais qui pourraient être dangereux pour l'homme et l'environnement. Elle peut contaminer localement les sources d'eaux, si d'importantes quantités de fertilisants chimiques et pesticides sont utilisées. Selon Kiba (2012), les apports de déchets solides et liquides améliorent les teneurs en nutriments des sols et les rendements des cultures, mais augmentent les risques de pollution par les métaux lourds et les excès de nutriments.

I.2. GENERALITES SUR LES METAUX LOURDS

I.2.1. Définition

On appelle en général métaux lourds les éléments métalliques naturels dont la masse volumique est supérieure à 5 g/cm^3 (Miquel, 2001). Ils sont présents dans tous les compartiments de l'environnement, mais naturellement en quantités très faibles inférieure à 0,1% (Baize, 1997). On dit que les métaux sont présents « en traces ». Cette définition est souvent discutée, car certains métaux toxiques ne sont pas « lourds » (Zn par exemple). C'est pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent en lieu et place de métaux lourds, l'appellation « éléments en traces métalliques » ETM ou par extension éléments traces.

I.2.2 Caractéristiques physico-chimiques et toxicité des ETM

I.2.2.1. Arsenic (As)

L'arsenic est un métalloïde. Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 33 et $74,92 \text{ g/mol}$. Avec une masse volumique de $11,3 \text{ g/cm}^3$. Il est présent naturellement dans la croûte terrestre à raison de 2 à 5 mg.kg^{-1} . L'arsenic existe principalement sous forme trivalent, arsénite As(III) ou pentavalent, arséniate As(V). La toxicité de l'arsenic dépend de sa nature chimique : l'arsenic inorganique est beaucoup plus toxique que l'arsenic organique (son niveau de toxicité dépend aussi de son degré d'oxydation : $\text{As}(0) > \text{As}(\text{III}) > \text{As}(\text{V})$) (Joubert, 2008). L'oxyde arsénieux, ou arsenic blanc, As_2O_3 est un poison violent. L'hydrogène arsénié ou arsine, de formule AsH_3 , est une substance se vaporisant en un gaz incolore, d'odeur alliagée nauséabonde, très toxique qui a été utilisé comme gaz de combat, notamment lors de la Première Guerre mondiale. Le trioxyde d'arsenic est un poison, néanmoins utilisé en injection à très faibles doses comme médicament anticancéreux pour une forme de leucémie quand elle ne répond pas aux autres produits utilisés pour la chimiothérapie, avec des effets secondaires incluant l'arythmie cardiaque, voire l'arrêt cardiaque entraînant la mort (Salvarredy, 2008).

I.2.2.2. Cadmium (Cd)

Le cadmium est un métal blanc argenté, légèrement bleuté, très toxique, plus assimilable, mais plus rare. L'abondance naturelle du Cadmium dans l'écorce terrestre est de 0,11 mg.kg⁻¹. Le Cd possède 2 états de valence (0, +II). En solution, le Cd se trouve principalement sous forme de cation divalent Cd²⁺ (Joubert, 2008). Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 48 et 112,41 g/mol. Sa masse volumique est 8,69 g/cm³ à 20°C. A l'état élémentaire (atome) le Cadmium 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 Cd²⁺. 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. Il peut aussi affecter le tractus respiratoire (poumons, nasopharynx) et éventuellement la prostate (Nguelieu, 2017). Selon la classification de l'IARC (International Agency for Research on Cancer), le cadmium et ses dérivés appartiennent au groupe 1 soit « agent cancérigène pour l'homme ».

I.2.2.3. Chrome (Cr)

Le chrome est un métal dur, d'une couleur gris acier-argenté. Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 24 et 51,99 g/mol. Avec une masse volumique de 7,15 g/cm³. En termes d'abondance, le chrome est le 7ième élément sur la terre et le 21ème dans la croûte terrestre avec une concentration avoisinant les 100 mg/kg. C'est le 24ème élément dans le tableau périodique de Mendeleïev et se situe entre le vanadium et le manganèse (Yapi, 2015). Le chrome existe sous deux états de valence dans les sols, le chrome trivalent Cr(III) et le chrome hexavalent Cr(VI). Il fait partie des métaux toxiques présent dans certains déchets industriels, d'incinérateurs, ou dans certains sédiments. Le Chrome est peu toxique pour l'homme et les végétaux, du moins dans sa forme la plus répandue Cr(III). La forme toxique est l'état d'oxydation Cr(VI). La toxicité par voie orale est mineure car le Cr(VI) est réduit en Cr(III) au niveau stomacal. Cependant la possibilité d'effets gastro-intestinaux et notamment d'hémorragies peuvent y intervenir. Le Cr est un élément essentiel pour l'homme, mais sa carence peut produire des troubles neurologiques périphériques, un état diabétique et une perte de poids (Slatni, 2014). Selon la classification de l'IARC, le chrome VI appartient au groupe 1 « agent cancérigène pour l'homme » alors que le chrome III appartient au groupe 3 « agent ne pouvant être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme ».

I.2.2.5. Plomb (Pb)

Le plomb est le polluant le plus courant peu assimilable par les plantes, sauf en conditions acides, par définition rares dans les potagers (amendement). C'est un métal mou résistant à la corrosion. Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 82 et 207,2 g/mol. Avec une densité de 11,3 g/cm, le plomb possède un point de fusion de 327,46°C et une température d'ébullition de 1749°C. Il est difficilement détruit (Akesse, 2014). Il représente 0,004 % de la croûte terrestre. C'est un oligo-élément essentiel intervenant notamment dans le développement cellulaire et présent dans près de 200 enzymes (Nathan, 2017). Sa teneur moyenne dans la croûte terrestre varie entre 70 et 132 mg/kg (Baize, 1997). Sa configuration électronique autorise les degrés d'oxydation (+II), (+IV), en plus de la forme métal (0). Dans le milieu naturel, les espèces inorganiques du plomb incorporent cet élément sous le degré (+II) qui est stable dans pratiquement toutes les conditions environnementales (INERIS, 2003). Il se retrouve majoritairement dans les composés inorganiques dont la source est principalement anthropique. Dans le sol, le Pb peut se retrouver sous forme ionique, dissoute, ou liée plus ou moins fortement aux particules (Raskin & Ensley, 2000). Les principales voies de pénétration du plomb chez l'homme sont la voie digestive et la voie pulmonaire. Les cas d'intoxication aiguë sont très rares et se rencontrent lors d'inhalation ou d'absorption accidentelles de plomb. Les symptômes les plus précoces sont les troubles digestifs, suivis d'atteintes rénales et hépatiques. Les intoxications chroniques se traduisent par des effets sur le système nerveux central ou saturnisme ou des troubles du système immunitaire. Selon l'IARC, le plomb et ses dérivés sont classés dans le groupe 2B « substance potentiellement cancérigènes pour l'homme ».

I.2.2.4. Nickel (Ni)

Le nickel est l'élément chimique de numéro atomique 28. Avec une masse volumique de 8,90 g/cm³. La concentration moyenne du Nickel dans la croûte terrestre est de 75 µg/g et constitue le 24^{ème} élément le plus abondant soit deux fois plus abondant que le cuivre (Yapi, 2015). Il se retrouve particulièrement dans les minerais sulfurés (65% de la production mondiale) extraits des sous-sols et dans les minéraux silicatés se trouvant en surface. Il représente 0,8 à 0,9 % de la croûte terrestre (Zahui, 2014). Les composés du nickel sont essentiellement absorbés par l'homme via la voie respiratoire et peuvent provoquer des bronchites chroniques et de l'asthme. L'intoxication via une absorption cutanée n'est pas à négliger. Le nickel possède également une toxicité chronique puisque le centre international de recherche sur le cancer (CIRC) classe les

composés du nickel cancérigène et le nickel métallique comme cancérigène possible pour l'homme (Naert, 2017).

I.2.2.6. Zinc (Zn)

Le zinc a pour masse atomique 65,37 g/mol et pour densité 7,2. Il fond à 420°C et bout à 920°C sous la pression normale. Cet élément se trouve dans la nature uniquement sous le degré d'oxydation (+II), en plus de la forme métallique (Yapi, 2015). Le Zinc est un ETM qui semble nécessaire à toute forme de vie (oligo-éléments). Hickey & Kittrick (1984), Kuo *et al.* (1983) et Tessier *et al.* (1980), ont montré que la plus grande proportion de zinc dans les sols et les sédiments contaminés était associée aux oxydes de fer et de manganèse. Beaucoup d'aliments contiennent du zinc. La pénétration s'effectue principalement par voie orale (nourriture) et par inhalation en milieu professionnel. Cependant, lorsqu'on absorbe trop peu de zinc on peut alors avoir une perte de l'appétit, une diminution des sensations de goût et d'odeur, les blessures cicatrisent lentement et on peut avoir des plaies. En outre, les carences en zinc peuvent aussi provoquer des problèmes lors des naissances. En somme, bien que l'homme puisse proportionnellement gérer des quantités importantes de zinc, trop de zinc peut tout de même provoquer des problèmes de santé importants. Les besoins pour l'organisme humain sont de 15 mg/j, nécessaire à l'activité enzymatique. L'organisme d'un homme de 70 kg contient de 2 à 3 g de Zinc. Sa déficience entraîne le nanisme (INERIS, 2005). Le zinc et ses dérivés ne font pas l'objet d'une classification par l'IARC.

I.2.2.7. Mercure (Hg)

Le Mercure a pour masse atomique 200,6 g/mol et une densité élevée de 13,6 t/m³ qui facilite la ségrégation. C'est le seul métal liquide à température ambiante, entre -10° et + 40 °C. Il se divise par agitation en fines gouttelettes. C'est aussi le seul métal dont la température d'ébullition est inférieure à 357 °C. Il est très volatile et se combine très facilement avec d'autres métaux (formation d'amalgames), aux composés soufrés inorganiques ou organiques (carbonées) (Thomassin & Touze, 2003). Le Mercure possède trois degrés d'oxydation : 0, +I et +II. En solution, il est présent sous forme divalente ou neutre (Joubert, 2008). Chez l'homme, le mercure peut être toxique suite à l'inhalation répétée de faibles concentrations de vapeurs de mercure métallique ou de poussières de sels de mercure. Le système nerveux est l'organe le plus atteint. Les sujets présentent une encéphalopathie d'abord discrète et réversible à l'arrêt de l'intoxication. : céphalée, fatigue, troubles de l'humeur et de la mémoire. À un stade plus avancé, on peut noter principalement un tremblement, une détérioration intellectuelle et une

atteinte du cervelet (syndrome cérébelleux). À ceci peut s'ajouter, une insuffisance rénale (glomérulonéphrite ou tubulopathie) et une stomatite. (INRS, 2003).

I.2.3. Origines des éléments traces métalliques dans les sols

La présence des ETM dans l'environnement a essentiellement deux origines:

- Une origine naturelle : éruptions volcaniques, feux de forêt et brûlis, etc.
- Une origine anthropique (" pollution ")

I.2.3.1. Origines naturelles

Les ETM sont présent naturellement dans les roches (Miquel, 2001). Ils sont libérés dans l'environnement lors de l'altération pour constituer le fond pédo-géochimique (Sirven, 2006). La concentration naturelle des ETM dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge (Schmitt & Sirguez, 2004). Les sols acides sont généralement moins enrichis en ETM que les sols alcalins (Baize, 1997).

I.2.3.2. Origines anthropiques

Les sources majeures d'ETM dans l'environnement sont d'origines anthropiques. Les principaux types de pollution anthropique responsables de l'augmentation des flux d'ETM sont: la pollution urbaine, la pollution agricole et la pollution industrielle (Alloway, 1995).

I.2.3.2.1. Pollution agricole

C'est la pollution liée aux activités agricoles via l'application de produits ou substances destinées à améliorer les propriétés physico-chimiques du sol. Parmi ces apports il est possible de distinguer : les engrais (Cd dans les engrais phosphatés) Hamon *et al.* (1998), les produits phytosanitaires (Morgan & Taylor, 2004), les lisiers (Cu, Zn, Cd) (Moore *et al.*, 2006).

I.2.3.2.1.1. Les engrais

Certaines pratiques agricoles sont à l'origine de l'introduction de métaux lourds dans le sol. Les produits destinés à améliorer les propriétés physico-chimiques du sol sont souvent plus riches en métaux lourds que le sol lui-même par exemple les engrais, les composts et les boues de station d'épuration (Robert & Juste, 1999). Les plus fortes contaminations concernent les engrais phosphatés dont la teneur en cadmium peut atteindre des valeurs élevées pour certains gisements. L'usage à long terme de l'utilisation d'engrais phosphatés peut donc contribuer, à l'augmentation de teneurs du sol en cadmium (René & Brigitte, 1999). La composition chimique des produits phytosanitaires fait intervenir des composés métallo- organiques. Leur emploi

massif peut donc aussi être préjudiciable à la qualité de l'environnement et du couvert végétal (René & Brigitte, 1999). En outre, la lutte chimique est la seule méthode utilisée par les maraîchers qui utilisent une diversité d'insecticides et de fongicides à des doses inappropriées et sans matériel de protection.

I.2.3.2.1.2. Les produits phytosanitaires

La composition chimique des produits phytosanitaires fait intervenir des composés métallo-organiques. Leur emploi massif peut donc aussi être préjudiciable à la qualité de l'environnement et du couvert végétal (René et Brigitte, 1999). En outre, la lutte chimique est la seule méthode utilisée par les maraîchers.



Figure 1 : Quelques produits phytosanitaires utilisés.

I.2.3.2.2. Pollution industrielle

Les usines de traitement des ordures ménagères et l'incinération des déchets de la métallurgie de métaux ferreux et non ferreux sont des sources d'émission de Cd et de Pb (Miquel, 2001). La pollution urbaine regroupe des émissions atmosphériques liées au trafic routier, à l'incinération des ordures ménagères (Denison & Silbergeld, 1988). Elle provient aussi des usines de production de savons, de transformation de bois et de riz de la ville de Daloa.

I.2.3.2.3. Pollutions urbaines

Les déchets industriels et ménagers tout comme les déchets biomédicaux produits dans les différents milieux urbains sont une source potentielle d'émission d'éléments traces métalliques dans le sol. Par ailleurs, les plastiques, les papiers et les putrescibles issus des déchets ménagers sont également une source de contamination de l'environnement en ETM (Zahui, 2014). Aussi les ménages utilisent des produits contenant les ETM sous diverses formes: lessive, batterie (pile) de lampes jetées dans les ordures ménagères (Nguelieu, 2017). De plus, le trafic urbain

constitue une source de pollution à travers les gaz d'échappement des véhicules. Ces sources émettent dans l'atmosphère des ETM sous forme de particules de taille et de composition variables suivant leurs origines (Zahui, 2014). Les métaux sont transférés dans l'atmosphère essentiellement sous forme de particules fines. Elles constituent une source diffuse de pollution, dont l'origine peut être très éloignée du lieu de dépôt. Les retombées atmosphériques peuvent enrichir les sols sous forme de dépôts secs ou lors des événements pluvieux (Thomas, 2008).

I.3. ETM DANS LES PLANTES

I.3.1. Notion d'oligo-éléments

Les oligo-éléments sont encore appelés éléments trace, microéléments ou éléments mineurs. Ce sont des éléments indispensables à la vie, se trouvant présents en proportions très faibles dans les tissus biologiques. Le Cu, le Zn, le Fe, le Mn, le Mo et le B sont indispensables à la croissance des plantes tandis que le Cu, le Zn, le Fe, le Mn, le Mo, le Co et le Se sont indispensables à la croissance et à la santé chez les animaux et les êtres humains (Loué, 1993).

I.3.2. Transfert des éléments métalliques du sol vers les plantes

Les éléments traces métalliques peuvent être absorbés par voie foliaire (partie de la feuille) et par voie racinaire. La contamination foliaire devient importante quand les métaux se déposent sur les feuilles suite à une pollution atmosphérique. En effet, les organes d'une plante ont des capacités différentes à accumuler les métaux lourds. De manière générale le classement par ordre décroissant des capacités de la plante est le suivant : **racine**> **feuille**> **tige**>**fruit**> **graine** (Scarlett-kranz, 1986 ; Ireland-Ripert *et al.*, 1989). L'absorption foliaire dépend de la nature du métal déposé sur la plante. Les racines restent toutefois la principale voie d'accès pour les ETM. Il en résulte que les espèces alimentaires présentent des risques toxiques potentiels variables selon l'organe consommable.

I.4. APPRECIATION DE L'EXPOSITION ET EVALUATION DU RISQUE SANITAIRE

I.4.1. Appréciation de l'exposition

C'est une démarche scientifique destinée à identifier un danger chimique ou biologique et à en estimer la probabilité de survenue ainsi que l'importance de ses effets toxiques connus ou potentiels pour l'homme. L'évaluation de l'exposition nécessite l'identification de la population cible, des voies par lesquelles elle est exposée, des concentrations des contaminants, des doses

incorporées, de la fréquence et de la durée de l'exposition (Carrizales, 2006). Le risque pour la santé est défini comme le rapport de la valeur de l'exposition à la valeur de référence pour un élément contaminant donné.

I.4.2. Evaluation du risque sanitaire

I.4.2.1. Principe

Au XVI^e siècle, **PARACELSE** énonça le principe «**Sola dosis fecit venenum**», largement repris depuis comme une base de la toxicologie moderne dans les termes suivants « Tout est toxique, rien n'est toxique ; **c'est la dose qui fait le toxique**» (Keck & Vernus, 2000). L'évaluation quantitative des risques sanitaires a été proposée pour la première fois en 1983 par l'Académie des Sciences (National Research Council (NRC) aux États-Unis. Sa définition repose sur « l'utilisation de faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou à des situations dangereuses». L'objectif est l'identification et l'estimation des risques pour la santé des populations vivants des situations environnementales dégradées, les dégradations pouvant être naturelles ou liées à des activités humaines. L'évaluation du risque pour la santé humaine est définie comme un outil pour établir les conséquences du contact avec les contaminants et comme base pour développer les mesures de gestion des risques (Crawford-Brown, 1999 ; USEPA, 1999 ; Abt *et al.*, 2010). Le cadre méthodologique global de l'évaluation des risques basée sur l'aspect sanitaire, constitue de nos jours, l'outil le plus approprié pour quantifier le risque sanitaire.

I.4.2.2. Evaluation quantitative du risque

L'évaluation des risques constitue avant tout une méthode permettant d'organiser systématiquement l'information scientifique et technique, y compris les incertitudes qui l'entourent, pour répondre à des questions précises sur les risques sanitaires. Elle nécessite l'évaluation des informations pertinentes et le choix des modèles à utiliser pour en tirer des conclusions. Cette procédure est donc sujette à des incertitudes liées aux données et au choix du modèle approprié. Un risque est la probabilité d'occurrence d'un effet nocif résultant de l'exposition d'une entité (homme, population, écosystème) à un danger qui peut être un agent chimique (métaux lourds, pesticides), physique ou une action quelconque (Calvet *et al.*, 2005).

Partie 2 : MATERIEL ET METHODES

II.1. PRESENTATION DES ZONES D'ETUDES

II.1.1. Situation géographique

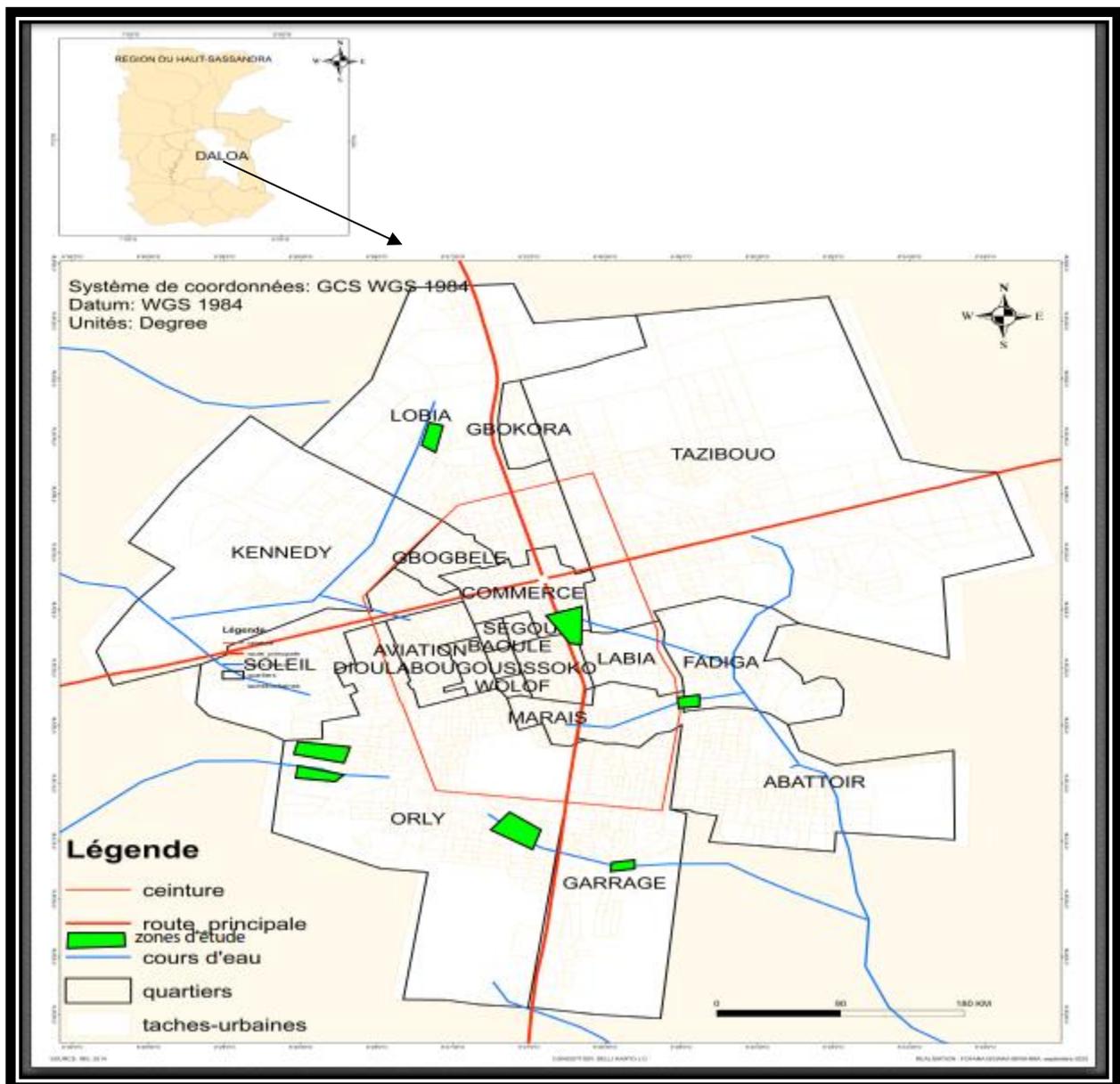


Figure 2 : Carte de la ville de Daloa présentant les zones d'études.

II.1.2. Bas-fonds 1 (Site de Gbokora)

Le site de Gbokora est situé entre la latitude $6^{\circ}54'N$ et longitude $6^{\circ}27'W$. Aux abords nous avons une ferme de poulets, un garage et des habitations (**figure 2**). Les spéculations qui y sont cultivées sont : la salade, le chou, l'oignon et ses feuilles, les feuilles de patates et l'épinard.



Figures 3 : Cultures maraîchères du bas-fond de Gbokora.

II.1.3. Bas-fonds 2 (Site en face de la résidence présidentielle)

Ce site est situé entre la CIE, le quartier Baoulé et non loin du grand marché. C'est une zone urbanisée où le site maraîcher s'entremêle aux habitations. A ses abords, nous pouvons constater la présence de garage, de restaurants, des habitations dont les eaux usées et celle des ruissellements s'y déversent (**figure 2**). Les cultures qui y sont cultivées sont: la salade, le chou, les feuilles d'oignons et l'aubergine violette. Les parcelles sont aussi utilisées pour la culture de menthes et des feuilles de patates. Le site est une zone d'accumulation d'eaux dues aux activités anthropiques.



Figure 4 : Eau usée utilisée pour arroser les cultures maraîchères du site 2.

II.1.4. Bas-fonds 3 (Site du quartier garage)

Le site du quartier garage est situé entre la latitude 6°51'N et longitude 6°26'W. Il est alimenté par une décharge de déchets solides à ces alentours (**figure 2**). Les spéculations qui y sont cultivées sont : la salade, le chou, les feuilles d'oignons et l'épinard.



Figures 5 : Décharge publique à proximité du site de culture.

II.1.5. Bas-fonds 4 (Site d'abattoir 2)

Le bas-fond 4 est situé entre la latitude 6°52'N et longitude 6°26'W. Il est alimenté par la présence d'un pont qui sert à évacuer les eaux usées du CHR (Centre Hospitalier Régional) et de ruissellements de ce quartier (**figure 2**). Le sol est de couleur noire. Ce bas-fond est majoritairement utilisé pour la riziculture car régulièrement inondé par les eaux de ruissellement en provenance des activités anthropiques du quartier Commerce. Les spéculations qui y sont cultivées sont : la salade, le chou, les feuilles de patate et d'oignon.



Figure 6 : Eau usée du quartier Abattoir 2 et du CHR servant à arroser les cultures maraîchères.

II.1.6. Bas-fonds 5 (Site d'Orly 2)

La zone d'Orly 2 est situé entre la latitude 6°52'N et longitude 6°27'W. Les sols sont de couleur noire, sableux et argileux. C'est l'un des bas-fonds maraîchers les plus importants en termes de volume de légumes-fruits frais produits. Il est essentiellement destiné au maraîchage avec une

prédominance des légumes-feuilles (le chou, la salade, le persil, les feuilles de patate et d'oignon). En plus des eaux de pluies, le site est régulièrement approvisionné par les eaux de ruissellement provenant du petit marché d'Orly (**figure 2**). Le bas-fond est exploité toute l'année car il bénéficie aussi d'un système de canalisation et de drainage des eaux entretenu par les maraîchers eux-mêmes. L'arrosage se fait traditionnellement à l'aide des arrosoirs. Nous avons la présence de toilette publique près du site.



Figure 7 : Cultures maraîchères à proximité des toilettes publiques.

II.1.7. Bas-fonds 6 (Site d'Orly plateau)

La zone d'Orly plateau est située entre la latitude 6°50'N et longitude 6°26'W. Aux environs du site nous avons la présence des habitations, des restaurants, des stations et présence de déchets solides (**figure 2**). Les cultures cultivées sont: le dah (*Hibiscus sabdariffa*), la laitue, les feuilles d'oignon et de patate.



Figure 8 : Cultures maraîchères à proximité d'une décharge.

II.2. MATERIEL UTILISE

II.2.1. Matériel biologique



Figure 9 : Matériel végétales

Les fruits de chou, de tomate et d'oignon ainsi que les feuilles d'oignons et de salade produites dans la ville de Daloa ont constitué le matériel biologique.

II.2.2. Matériel technique

Le matériel technique pour la collecte des échantillons se compose de :

- Sachets alimentaires pour la conservation des échantillons de légumes-fruits ;
- Des gants en plastique pour le prélèvement des échantillons de légumes-fruits ;
- D'un Global Positioning System (GPS) pour relever les coordonnées géographiques des sites de récoltes ;
- Une glacière pour la conservation des échantillons.

II.2.3. Matériel d'analyse

Les appareils qui ont servi à la réalisation des analyses des paramètres physico-chimiques sont:

- Un spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) pour le dosage des métaux lourds des échantillons ;
- Une balance de précision 0,01 g pour peser la masse sèche des échantillons ;

- Une hotte ;
- Des tubes FALCON 50 ml ;
- Une plaque chauffante ;
- Des téflons de minéralisation.



Spectrophotomètre (SAA)



Une balance



Une hotte



Des tubes FALCON 50ml



Des téflons de minéralisation

Figure 10 : Matériel d'analyses

II.3. METHODES

II.3.1. Approche méthodologique

La démarche consiste d'une part à quantifier l'état de pollution des aliments récoltés sur les sites d'étude et d'autre part à évaluer les risques encourus par les populations du fait de la consommation de ces aliments.

II.3.1.1. Enquête alimentaire

L'enquête alimentaire consiste à chiffrer la consommation d'un individu dans un but généralement thérapeutique ou épidémiologique mais parfois pour des études statistiques. En effet, elle permet d'avoir une connaissance plus précise des habitudes alimentaires et leurs conséquences. Dans le cas de notre étude, l'enquête alimentaire peut nous permettre de mieux apprécier les habitudes alimentaires de la population de la ville de Daloa.

II.3.1.2. Techniques d'enquêtes utilisées

II.3.1.2.1. Journal alimentaire

Le journal alimentaire donne une information en temps réel sur une durée de trois à sept jours de l'alimentation de l'individu. Cette technique peut être appliquée dans notre étude, aux populations de ladite ville. Elle consiste à demander à la personne enquêtée de noter les aliments préparés et servis sur une période donnée en précisant les quantités (soit par pesée, soit évaluée en unités mesurables).

II.3.1.2.2. Histoire alimentaire par l'interrogatoire

L'histoire alimentaire par l'interrogatoire est basée sur un interrogatoire détaillé de l'alimentation habituelle de l'individu. Elle sert à reconstituer la consommation alimentaire moyenne du sujet sur une période donnée en l'interrogeant sur ses consommations de la veille, puis de la semaine écoulée. Notre étude s'intéresse au déjeuner et au dîner.

Déroulement de l'enquête: Après avoir indiqué à l'enquêteur son âge, poids, taille, sexe et profession, le sujet décrit son alimentation. Pour chaque prise, l'enquêteur identifie les aliments consommés, estime leur fréquence et le poids des portions (exprimé en quantité par jour). Ainsi, nous avons été orientés en fonction de nos objectifs recherchés après enquête vers les légumes tel que : la laitue, le chou, les feuilles d'oignons, l'oignon et la tomate.

II.3.2. Méthodes d'échantillonnages

II.3.2.1. Prélèvements des fruits et légumes

Six zones ont été définies pour l'échantillonnage des légumes, fruits (tomate, oignon), des feuilles d'oignon, chou et de laitue. Sur chaque zone en tenant compte de la présence des quatre espèces à étudier, les légumes, fruits et feuilles ont été fraîchement récoltés à l'intérieur de chaque parcelle de manière aléatoire. Chacun des légumes, fruits et feuilles a été conditionné dans des sachets alimentaires hermétiquement fermé. Ensuite, des échantillons composites ont été constitués pour chaque produit.

L'enquête de consommation alimentaire s'est déroulée dans les six zones d'études et étendu sur quelques quartiers de la ville de Daloa pendant les deux dernières semaines du mois de septembre 2020. Le choix des zones d'études est motivé non seulement pour des raisons de la présence de décharge publique, de garage de moto mais également pour des raisons d'accessibilité de certaines denrées alimentaires et aussi de la forte circulation des engins à deux ou quatre roues.

II.3.3. Préparation des échantillons

Les échantillons de légumes, fruits et feuilles ont été découpés en taille uniforme pour faciliter le séchage des pièces. Les morceaux découpés ont été séchés à 105 °C pendant 24 h. Les échantillons séchés ont été broyés dans un mortier en porcelaine. Enfin, les échantillons ont été placés dans des boîtes de pétri étiquetées et séchés à poids constant dans des dessiccateurs de gel de silice facturés jusqu'à la digestion complète des échantillons. Après cette phase de broyage, des échantillons en poudre ont été obtenu.

II.3.4. Méthodes de dosage des métaux lourds dans les matrices cibles

II.3.4.1. Dosage des ETM

Les solutions obtenues après digestion acide des échantillons de végétaux ont été dosées au spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) à des longueurs d'ondes bien définies à LANADA (Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole). C'est une méthode de dosage d'éléments chimiques fondée sur l'absorption des radiations atomiques en phase vapeur. Les éléments inorganiques (métaux et non métaux) contenus dans un échantillon sont identifiés et quantifiés grâce à leur spectre atomique. Les concentrations sont calculées directement à partir de la formule suivante par l'ordinateur grâce au logiciel de pilotage :

$$C = \left(\frac{A-B}{m} \right) \times 50$$

C= Concentration du métal en mg/kg ;

A= Concentration brute du métal en mg/L ;

B= Concentration brute du blanc en mg/L ;

m= masse en g de l'échantillon ;

50= volume final après minéralisation.

II.3.4.2. Méthodes de dosage

II.3.4.2.1. Méthode flamme (Zn)

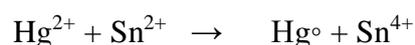
L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'un analyte (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. Chaque minéralisât est introduit dans l'appareil par le tube capillaire qui aspire environ 2 ml/min de chaque échantillon qui sera pulvérisé sur le trajet optique de l'appareil. L'échantillon est pulvérisé dans la flamme (source d'excitation atomique) tout en formant un nuage atomique qui est traversé par la lumière monochromatique.

II.3.4.2.2. Méthode Four (Pb, Cd, As, Cr, Ni)

Entre 10 et 20 μL de solution sont prélevés par l'injecteur automatique pour être injecté dans le tube graphique. Une fois déposée, cette goutte est séchée puis pulvérisé sur le trajet optique de l'appareil, formant un nuage atomique, qui est traversé par la lumière monochromatique caractéristique de l'élément à quantifier.

II.3.4.2.3. Méthode Hydrure (Hg)

L'échantillon d'eau ou minéralisé est aspiré et mélangé avec du chlorure d'étain dans un séparateur gaz-liquide où l'ion mercurique est réduit en mercure élémentaire gazeux selon la réaction de réduction suivante :



Les vapeurs froides de mercure générées sont entraînées par un courant d'azote directement vers le détecteur pour être quantifier.

II.3.5. Calcul du facteur de bioaccumulation (fbc)

La bioaccumulation se définit comme étant l'accumulation d'un contaminant dans les tissus d'un organisme vivant à la suite de son absorption à partir de son milieu de vie ou de sa consommation de proies contaminées (Diels *et al.*, 1995). Il y a bioaccumulation quand un organisme absorbe un contaminant plus vite qu'il ne l'élimine. Elle désigne le ratio entre la concentration d'un composé donné dans les tissus d'un organisme et de sa concentration dans l'environnement qui l'entoure ou dans les tissus des organismes vivants dont s'alimente cet organisme. Les facteurs de bioconcentration (FBC) sont calculés par la formule utilisée par

Casas (2005) :

$$\text{FBC} = \frac{[Co]}{[Ce]}$$

Avec :

Co : concentration en éléments traces de l'organisme contenu dans les fruits et légumes;

Ce : concentration environnementale (sol). Les deux sont exprimées en mg/kg.

Si **FBC > 1**, il y a bioaccumulation métallique.

II.3.6. Méthodologie de l'évaluation du risque alimentaire

La stratégie d'appréciation établie pour le processus d'évaluation des risques d'effets néfastes sur la santé découlant de l'exposition humaine aux substances toxiques présentes dans les aliments est fondée sur un modèle d'évaluation reconnu sur le plan international (OMS & FAO, 2009). L'application de ce modèle d'évaluation des risques peut varier en raison de l'un ou de plusieurs facteurs (le contexte du risque, le type de produit, l'ampleur de l'exposition, etc.). L'énoncé du problème exige l'élaboration d'un modèle précis.

La méthodologie utilisée se décompose en trois principales étapes : l'identification du danger potentiel, l'évaluation de l'exposition de la population et la caractérisation du risque alimentaire.

II.3.6.1. Identification du danger

C'est la détermination des effets néfastes potentiels sur la santé découlant de l'exposition à une substance. Le danger est mis en évidence, par l'examen des données sur la toxicité, sur les résultats des essais de toxicité chez des animaux de laboratoire, et sur les connaissances au sujet de ses effets sur la santé humaine à travers la littérature d'une part. Et par la détection des substances contenues dans les denrées alimentaires destinées à la consommation humaine d'autre part.

II.3.6.2. Caractérisation du risque alimentaire

La caractérisation du risque alimentaire permet d'estimer par calcul les risques pour la santé auxquels est soumise une population exposée à une pollution particulière d'origine anthropique ou naturelle (INERIS, 2007). Elle exprime le risque attendu en fonction des expositions.

II.3.6.2.1. Calcul de la Dose Journalière d'Exposition (DJE)

La dose journalière d'exposition est obtenue par la formule suivante :

$$DJE = \frac{C_i \times Q_i}{P} \times F$$

DJE: dose journalière d'exposition (mg/kg/j) ;

C_i: concentration moyenne de l'ETM dans l'aliment i (mg/kg) ;

Q_i: quantité d'aliment consommée par un individu par jour en kg ;

p: masse corporelle moyenne de la cible (individu exposé) en kg ;

F: fréquence ou taux d'exposition : nombre annuel d'heures ou de jours d'exposition.

Le poids corporel moyen d'un adulte est conventionnellement égal à 60 kg (IRIS, 1995).

II.3.6.2.2. Calcul du Quotient de Danger (QD) pour les effets à seuils

Le quotient de danger (QD) est le rapport de la dose journalière d'exposition (DJE) (exposition reçue) de l'individu ou de la population et de la dose journalière acceptable (DJA).

$$QD = \frac{DJE}{DJA}$$

QD : quotient de danger (sans unité) ;

DJE : dose journalière d'exposition (mg/kg) ;

DJA : dose journalière acceptable (mg/kg).

Ce résultat permet uniquement de conclure sur le potentielle d'apparition d'effets mais pas sur leur importance. En effet, lorsque :

- **QD < 1**, cela signifie que la population exposée est théoriquement hors de danger, c'est-à-dire que cette population exposée n'est pas susceptible de développer les effets sanitaires étudiés.
- **QD > 1**, cela signifie que l'effet toxique peut se déclarer sans qu'il soit possible de prédire la probabilité de survenue de cet événement.

II.3.6.2.3. Calcul de l'Excès de Risque Individuel (ERI) pour les effets sans seuils

Ce calcul s'effectue dans le cas des effets sans seuil (substances à effet cancérigène). Il résulte du produit de la dose journalière reçue par l'individu par la dose journalière acceptable attribuable à la substance pour une voie et un effet considéré (INERIS, 2007). Il est obtenu par

la formule suivante :
$$ERI = DJE \times \frac{T}{Tp} \times ERU$$

ERI : excès de risque individuel (mg^2/kg^2) ;

T: durée d'exposition (années) ;

Tp : temps de pondération (vie entière, en années) ;

DJE : dose journalière d'exposition (mg/kg) ;

ERU : excès de risque unitaire du métal ($\text{mg}/\text{kg}/\text{j}$).

En Côte d'Ivoire l'espérance de vie est estimée à 58ans (www.population/cote-divoire). Sois

Tp= 58 ans et l'exposition d'une personne a une substance s'effectue à partir de 15 ans. Alors le temps d'exposition est : T= Te= Tp – 15 = 43 ans.

II.3.6.2.4. Calcul de l'Impact Sanitaire (IS)

L'impact sanitaire (IS) se calcule à partir de l'ERI précédemment défini et de la taille N de la population considérée par la formule suivante:

$$IS=N*ERI$$

La population de la ville de Daloa est estimée à 255 354 habitants (RGPH, 2014). La population enquêtée est de 70 personnes. L'évaluation des risques sanitaires se portera sur ces deux populations (N et N'). Avec N= 255.354 et N'=70.

Partie 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1 RESULTATS

III.1.1. Description des populations enquêtées

La population d'étude, auprès de laquelle a été administré le questionnaire, est constituée de personnes habitant une des zones d'étude depuis plus de deux ans. L'effectif de la population enquêtée est de 70 sujets dont 10 personnes par site et 10 personnes pour les autres quartiers. Les populations enquêtées sont les femmes, les maraîchers et les commerçants mais de préférence les femmes.

III.1.2. Quantités d'aliments consommées

L'enquête réalisée a relevé que l'approvisionnement des ménages en produits alimentaires (légumes) se fait, dans leur grande majorité, directement à partir des marchés publics. Les données de consommation alimentaire obtenues auprès de la population enquêtée sont présentées dans le **Tableau I**. Soit Q cette quantité

Tableau I : Proportion de denrées consommées de façon journalière dans une ration(Kg/j)

Fréquences	2 à 3 fois par semaine		1 fois par jour		
	Chou	Laitue	Tomate	Oignon	Feuille oignon
Q(kg/j)	0,27	0,12	0,15	0,10	0,11

III.1. 3. Teneurs en ETM dans les fruits et légumes

L'analyse des échantillons au LANADA par le spectrophotomètre d'absorption atomique a permis d'obtenir les résultats des concentrations des ETM dans les fruits et légumes des sites étudiés consignés dans la **Figure 11**.

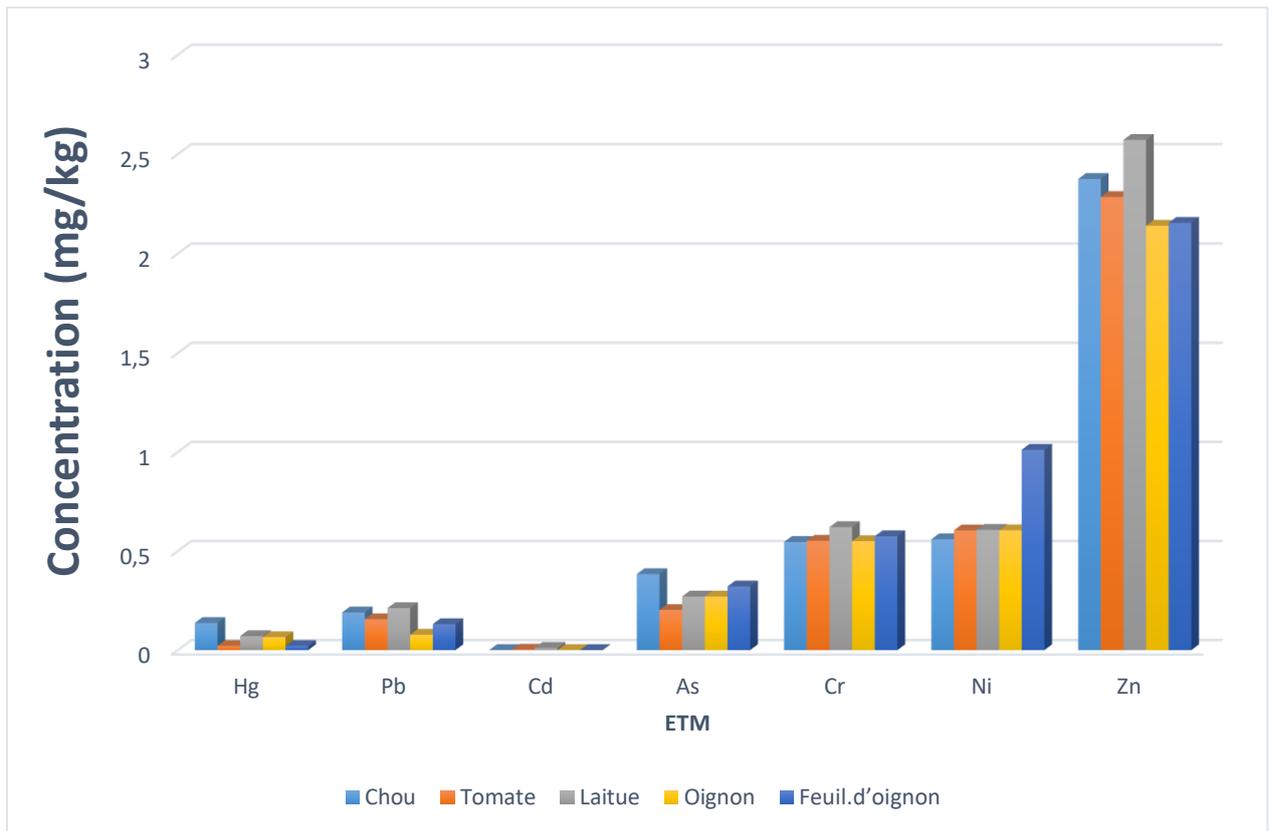


Figure 11 : Concentrations d'ETM dans les cultures maraîchères de la ville de Daloa.

Les concentrations d'ETM dans les cultures maraîchères produites sur les bas-fonds de la ville de Daloa sont données par la figure ci-dessus.

L'analyse des résultats obtenus révèle que les teneurs en métaux sont très disparates et varient en fonction du site de prélèvement mais aussi en fonction de l'espèce végétale. Cette analyse nous permet de classer les ETM étudiés en trois groupes.

Le premier groupe contient uniquement le zinc. Les teneurs en zinc déterminées dans ces produits (chou, tomate, laitue, oignon et feuilles d'oignon) sont toutes supérieures à 100 mg/kg avec une teneur maximale dans la laitue qui est de 372, 53 mg/kg.

Ensuite, nous avons le nickel et le chrome. Ils ont tous des concentrations obtenues dans les différents produits maraîchers compris entre 2 et 9,5 mg/kg. Les teneurs maximales en chrome et en nickel ont été obtenues respectivement dans la laitue (3,18 mg/kg) et les feuilles d'oignons 9,27 mg/kg.

En fin, l'arsenic, le cadmium, le mercure et le plomb font partie du troisième groupe de paramètres avec des concentrations déterminées comprises entre 0 et 1,42 mg/kg. Les teneurs

maximales du cadmium (0,03 mg/kg) et plomb (0,63 mg/kg) ont été obtenues dans la laitue et celles de l'arsenic (1,42 mg/kg) et du mercure (0,37 mg/kg) dans le chou.

Par ailleurs, la séquence d'ETM étudiés dans les produits maraichers se présente comme suit :

Choux : Zn > Ni > Cr > As > Pb > Hg > Cd

Feuilles d'oignons : Zn > Ni > Cr > As > Pb > Cd > Hg

Laitues : Zn > Cr > Ni > As > Pb > Hg > Cd

Oignons: Zn > Ni > Cr > As > Pb > Hg > Cd

Tomates: Zn > Ni > Cr > As > Pb > Cd > Hg

III.1.4. Facteur de bioaccumulation (FBC)

Le **tableau II** suivant présente les résultats du facteur de bioconcentration dans les fruits et légumes.

Tableau II : Facteurs de bioaccumulation.

ETM	[ETM] _{Sol} (mg/kg)	[ETM] plante (mg/kg)					FBC				
		Chou	Tomate	Laitue	Oignon	F.oignon	Chou	Tomate	Laitue	Oignon	F.oignon
As	5,79	1,42	0,59	0,87	0,87	1,09	0,24	0,10	0,15	0,15	0,18
Cd	0,39	nd	0,01	0,03	nd	nd	nd	0,02	0,07	nd	nd
Cr	22,72	2,52	2,57	3,18	2,55	2,76	0,11	0,11	0,14	0,11	0,12
Ni	20,15	2,63	3,02	3,05	3,03	9,27	0,13	0,15	0,15	0,15	0,46
Pb	0,64	0,55	0,43	0,63	0,2	0,35	0,86	0,67	0,98	0,31	0,55
Zn	627,11	236,5	191,70	372,5	137,12	141,8	0,37	0,31	0,59	0,22	0,23
Hg	0,59	0,37	Nd	0,18	0,16	nd	0,63	Nd	0,29	0,27	nd

FBC : Facteur de Bioaccumulation,

F. oignon : Feuille d'oignon

Les teneurs obtenues pour les différents ETM étudiés nous ont permis de calculer les Facteurs de Bioconcentrations (FBC). Les résultats obtenus sont tous inférieurs à 1 ($FBC < 1$). Cependant, la valeur de FBC calculée pour le plomb dans la laitue est très proche de 1 (0,98).

III.1.5. Risque sanitaire lié à l'exposition alimentaire de la population

III.1.5.1. Identification des dangers

Les analyses des espèces légumières que nous avons menées, ont permis de mettre en exergue 5 éléments traces métalliques (arsenic, zinc, cadmium, nickel et le plomb) dans l'ensemble des aliments prélevés ou cultivés sur les zones d'études. Les dépassements des normes de comestibilité ont porté exclusivement sur les éléments trace métalliques, notamment le plomb, le cadmium, le zinc et le l'arsenic.

III.1.5.2. Caractéristiques du risque

III.1.5.2.1. Dose journalière d'exposition (DJE) et du quotient de danger (QD)

Les éléments traces retenus pour l'EQRS sont l'arsenic, le cadmium, le plomb, le nickel et le zinc. Ceci à cause de leur présence en quantité évaluable dans les cultures maraîchères de la ville de Daloa. Aussi, de la disponibilité de leurs VTR(Valeur Toxicologique de Référence) et leurs effets toxiques sur la santé humaine. Cette évaluation porte sur la voie orale et concerne les expositions chroniques uniquement. Les VTR retenues pour cette étude sont celles issues principalement des études épidémiologiques chez l'homme, les plus protectrices donc les plus faibles et les années de révision les plus récentes. Ainsi, selon le rapport de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) pour les effets à seuil, l'ATSDR (2007) recommande pour le cadmium (Cd) $2 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j, l'As $3 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j (IRIS, 1995), le plomb $3,5 \cdot 10^{-3}$ mg/kg/j, le nickel l'US EPA (1996) recommande $2 \cdot 10^{-2}$ mg/kg/j et $3 \cdot 10^{-1}$ mg/kg/j pour le zinc (IRIS, 1995).

Les résultats de l'estimation des DJE et des QD par ingestion des légumes et fruits chez les adultes ont été consignés dans **les tableaux III, IV, V, VI et VII**. Pour la tomate, l'oignon et les feuilles d'oignon la fréquence de consommation est $F= 1$ tandis que pour le chou et la laitue, la fréquence est $F= 3/7 = 0,43$.

III.1.5.2.1.1. Arsenic (As)

Pour l'arsenic, les quotients de dangers calculés sont tous supérieurs à 1 ($QD \gg 1$). (Tableau III). En outre, le quotient de danger lié à la consommation du chou a la valeur la plus importante.

Tableau III : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour l'arsenic.

Espèces légumières	Concentration (mg/kg)	DJA (mg/kg)	Poids	DJE*10 ⁻³ (mg/kg/j)	QD
Chou	1,42	310 ⁻⁴	60	2,75	9,16
Tomate	0,59	310 ⁻⁴	60	1,49	4,96
Laitue	0,86	310 ⁻⁴	60	0,74	2,47
Oignon	0,86	310 ⁻⁴	60	1,44	4,80
Feuille oignon	1,09	310 ⁻⁴	60	2,01	6,7

III. 1.5.2.1.2. Cadmium (Cd)

Pour le cadmium, les quotients de danger calculés sont inférieurs à 1 ($QD < 1$) (Tableau IV).

Tableau IV : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour le cadmium.

Espèces légumières	Concentration (mg/kg)	DJA (mg/kg)	Poids	DJE*10 ⁻³ (mg/kg/j)	QD
Chou	<0,002	2 10 ⁻⁴	60	nd	nd
Tomate	0,007	2 10 ⁻⁴	60	0,01	0,08
Laitue	0,027	2 10 ⁻⁴	60	0,02	0,11
Oignon	<0,002	2 10 ⁻⁴	60	nd	nd
Feuille oignon	<0,002	2 10 ⁻⁴	60	nd	nd

III. 1.5.2.1.3. Nickel (Ni)

Pour le nickel, les quotients de danger calculés sont tous inférieurs à 1 (QD<1) (**tableau V**). Cependant, le quotient de danger lié à l'ingestion du nickel en consommant les feuilles d'oignons est très proche de 1 (QD = 0,85).

Tableau V : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour le nickel

Espèces légumières	Concentration (mg/kg)	DJA (mg/kg)	Poids	DJE*10 ⁻³ (mg/kg/j)	QD
Chou	2,63	2.10 ⁻²	60	5,08	0,25
Tomate	3,02	2.10 ⁻²	60	7,56	0,37
Laitue	3,05	2.10 ⁻²	60	2,62	0,13
Oignon	3,03	2.10 ⁻²	60	5,05	0,25
Feuille oignon	9,27	2.10 ⁻²	60	16,99	0,85

III. 1.5.2.1.4. Plomb (Pb)

Pour le Plomb, les quotients de danger calculés sont tous inférieurs à 1 (QD<1) (**tableau VI**).

Tableau VI : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour le plomb.

Espèces légumières	Concentration (mg/kg)	DJA (mg/kg)	Poids	DJE*10 ⁻³ (mg/kg/j)	QD
Chou	0,55	3,510 ⁻³	60	1,06	0,30
Tomate	0,43	3,510 ⁻³	60	1,08	0,31
Laitue	0,63	3,510 ⁻³	60	0,54	0,15
Oignon	0,19	3,510 ⁻³	60	0,33	0,09
Feuille oignon	0,35	3,510 ⁻³	60	0,65	0,18

III. 1.5.2.1.5. Zinc (Zn)

Pour le zinc, les quotients de danger calculés sont tous supérieurs à 1 (QD>1). Sauf dans l'oignon et ses feuilles car QD<1.

Tableau VII : Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les adultes pour le zinc.

Espèces légumières	Concentration (mg/kg)	DJA (mg/kg)	Poids	DJE (mg/kg/j)	QD
Chou	236,53	3 10 ⁻¹	60	0,46	1,53
Tomate	191,70	3 10 ⁻¹	60	0,48	1,6
Laitue	372,53	3 10 ⁻¹	60	0,320	1,07
Oignon	137,12	3 10 ⁻¹	60	0,23	0,76
Feuille oignon	141,88	3 10 ⁻¹	60	0,26	0,87

III. 1.5.2.2. Excès du risque individuel (ERI) pour les effets sans seuils

Tableau VIII : Excès de risque individuel chez les adultes pour l'arsenic.

Espèces légumières	ERU mg/kg/j	T(ans)	Tp(ans)	DJE*10 ⁻³ mg/kg/j	ERI*10 ⁻³ mg ² /kg ²
Chou	1,5	43	58	2,75	3,05
Tomate	1,5	43	58	1,49	1,65
Laitue	1,5	43	58	0,74	0,82
Oignon	1,5	43	58	1,44	1,6
Feuille oignon	1,5	43	58	2,01	2,23

L'ERI est à la base du calcul de l'impact sanitaire. L'ERU pour l'arsenic est 1,5 mg/kg/j (USEPA & IRIS, 1998). Les valeurs de l'ERI pour le contaminant toxique arsenic calculées sont de l'ordre de 10⁻³ et comprises entre 0 et 4.10⁻³ mg²/kg² (**Tableau VIII**). Les valeurs maximales ont été obtenues dans les choux (3,05.10⁻³ mg²/kg²) et les feuilles d'oignons (2,23.10⁻³ mg²/kg²).

III. 1.5.2.3. Impact sanitaire (IS)

Tableau IX : Impact sanitaire chez les adultes pour l'Arsenic.

Espèces légumiers	ERI*10 ⁻³ (mg ² /kg ²)	IS (N)*10 ²	IS (N')
Chou	3,05	7,78	0,21
Tomate	1,65	4,21	0,11
Laitue	0,82	2,09	0,06
Oignon	1,6	4,08	0,11
Feuille d'oignon	2,23	5,69	0,16

Les résultats du tableau IX montre que le nombre de cas de cancers susceptibles de se produire au sein de la population enquêtée est très faible IS (N') <1. Par contre, en prenant en compte la taille de la population de la ville de Daloa, le nombre de cas de cancers susceptible de se produire devient important avec une valeur maximale qui a été obtenue dans le chou (7,78.10²).

III.2. DISCUSSION

III.2.1 Influence de la pollution des sols cultivables sur le niveau des ETM dans les légumes

Notre étude a montré que les éléments traces étudiés sont présents dans les produits maraîchers. Cependant, les teneurs en cadmium déterminées sont pratiquement à l'état de trace. L'étude réalisée sur les sites maraîchers de Cocody et de Marcory en Côte d'Ivoire (Kouassi *et al.*, 2008) rapporte des teneurs en Cd supérieures aux nôtres dans les végétaux (0,12 - 0,41 mg/kg). Elles sont aussi inférieures à celle obtenues par Tankari *et al.* (2013) dans la vallée du Gounti yena à Niamey au Niger.

La concentration moyenne en nickel dans les légumes étudiés est de 4,2 mg/kg avec des teneurs maximales (9,23 mg/kg) obtenues dans les feuilles d'oignons. Cette valeur de concentration est inférieure aux données en Ni obtenues dans les légumes en Côte d'Ivoire (11,98 – 41,69 mg/kg) et à Dhaka (4,62 – 23,68 mg/kg) au Bangladesh (Uddin Ahmad & Abdul Goni, 2010). Les concentrations moyennes de Pb détectées dans les feuilles de Laitue et de chou de Gounti yena variant de 0,20 mg/kg à 0,63 mg/kg sont inférieures aux valeurs indiquées dans les légumes à

Marcory et Cocody en Côte d'Ivoire (8,69 – 20,30 mg/kg) et en Inde (21,59 – 57,63 mg/kg) mais relativement plus élevées que les teneurs en Pb signalées dans les végétaux (0,01 – 0,02 mg/kg) à Lagos au Nigeria (Tankari *et al.*, 2013).

Les concentrations en chrome obtenues dans les tomates, les choux, les laitues, les oignons et les feuilles d'oignons sont inférieures à 3,5 mg/kg avec une concentration maximale dans les laitues inférieures à celles rapportées à Tatigarh (34,83 – 96,30 mg/kg) en Inde (Gupta *et al.*, 2008).

Notre étude a révélé de fortes teneurs en zinc dans tous les produits maraîchers étudiés. Aussi, elles sont relativement supérieures à celles obtenues dans les plantes maraîchères de Lagos au Nigeria (Awofolou, 2005). Sensiblement proches des concentrations de Zn dans les légumes (3 – 17 mg/kg) de Tatigarh au Bengale Occidental en Inde (Gupta *et al.*, 2008), et sont très inférieures à celles déterminées dans les légumes (225,56 à 299,33 mg/kg) de Marcory et Cocody en Côte d'Ivoire (Kouassi *et al.*, 2008).

L'assimilation des oligo-éléments précisément le Zn par les légumes se fait de manière préférentielle dans toutes les zones d'études. Ceci s'explique d'une part, par le fait qu'originellement les oligo-éléments (Fe, Zn et Cu) sont présents en plus grande quantité dans la croûte terrestre (Bassuk, 1986), et d'autre part, de par leurs rôles essentiels dans les phénomènes de croissance, de métabolisme chimique, de photosynthèse et d'oxydoréduction. Les oligo-éléments sont très importants pour les plantes qui vont les absorber dans la solution du sol à la différence des métaux toxiques (Cd, As et Pb). Cependant, les fortes teneurs de Zn dans les légumes, fruits et feuilles seraient liées à leur forte accumulation dans les bas-fonds des quartiers Gbokora, Garage, Abattoir 2, Orly 2, Orly plateau et celui en face de la résidence présidentielle de la ville de Daloa. Cela est dû à la décomposition des déchets ménagers, industriels et biomédicaux apportés par les systèmes d'évacuations des eaux usées de la ville. Ils ne deviennent toxiques qu'à fortes doses (>100 mg/kg pour le Zn) (Agence chinoise pour la Protection Environnementale, 2005).

Par contre, il n'y a pas de bioaccumulation du zinc dans les fruits et légumes étudiés. Nous pouvons l'expliquer par de très fortes concentrations en zinc dans les basfonds de cultures maraîchères. Aussi, la tomate, le chou, les laitues, l'oignon et les feuilles d'oignons ne présentent pas de bioaccumulation des ETM étudiés notamment l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc.

Par ailleurs, les teneurs en ETM accumulés dans les plantes sont à un niveau de concentration généralement rencontrée dans les plantes mais les concentrations en mercure (Hg) dans les choux, arsenic (As) et zinc (Zn) dans toutes les cultures seraient supérieurs à la concentration tolérée dans les cultures (**tableau X**) donc pourraient présenter un risque de toxicité pour l'homme (Kabata & pendias A., 2001).

En revanche les concentrations en Cd et Pb dans les fruits et légumes prélevés sont inférieurs à la dose tolérable dans les cultures.

Tableau X : Normes OMS des concentrations des ETM dans les cultures maraîchères.

ETM	Normal	Tolérable dans les cultures	Toxique ou excessif
As	1 – 1,7	0,2	5 – 20
Cd	0,05 – 0,2	0,05 – 0,5	5 – 30
Hg	nd	0,2	1 – 3
Pb	5 – 10	0,5 – 10	30 – 300
Zn	27 – 150	50 – 100	100 – 400

III.2.2 Synthèse de l'évaluation des risques

III.2.2.1 Risques pour les effets à seuils: Quotient de Danger

Les résultats obtenus au cours de cette étude pour les effets à seuil traduisent la pertinence de l'évaluation quantitative des risques sanitaires. En effet, pour des quotients de danger supérieurs à 1 (QD>1) des risques d'apparition de pathologie au sein de la population peuvent être certains. Cependant, pour l'arsenic et le zinc les QD déterminés sont tous supérieurs à 1 (**Tableau VI et VII**) ce qui signifie que ces cultures maraîchères présentent des risques liés à l'ingestion du zinc et de l'arsenic.

Le cadmium, le nickel, le zinc (oignon et feuille d'oignon) et le plomb par contre, ont des Quotients de Dangers calculés inférieurs à 1 (QD<1) (**Tableau IV, V, VI et VII**). D'où l'ingestion du plomb et du cadmium contenu dans ces cultures légumières de la ville de Daloa peuvent donner lieu à des inquiétudes mais l'apparition de pathologies serait peu probable.

III.2.2.2. Risques pour les effets sans seuil: ERI et IS

Pour une population ingérant ces cultures maraîchères des différents sites étudiés, les ERI obtenus sont supérieurs à 1.10^{-5} (OMS, 2009). Ce qui traduit de fortes probabilités d'apparition individuel de cancer cutané au sein de la population liés à l'ingestion de l'arsenic en consommant les produits maraîchers notamment les choux, la tomate, l'oignon, les feuilles d'oignons et les laitues. (**Tableau VIII**).

Par ailleurs, les résultats obtenus de l'Impact Sanitaire (IS) sont tous inférieures à 1 pour la population enquêtée. Il faut préciser que ces résultats ne traduisent pas l'absence de possibilité d'apparition de cas de cancers. Par contre, pour la population estimée de la ville de Daloa ce résultat est supérieur à 1 (**Tableau IX**). Cela est dû à la taille de la population considérée.

Ces différents résultats au sein d'une même population justifient la pertinence des débats quant à l'utilisation de l'impact sanitaire dans l'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS). Certains experts revendiquent que les risques calculés dans le cadre d'une évaluation de risques pour la santé humaine ne se fondent pas sur la taille de la population exposée. C'est la raison pour laquelle il est défini des seuils de risques acceptables, en particulier par l'US-EPA. Ce souhait légitime de fixer des seuils d'acceptabilité équivalents quelle que soit la population exposée permet d'exiger le même niveau de risque quelle que soit la situation. Pour d'autres, en revanche, d'un point de vue scientifique, toutes les données disponibles devraient être prises en compte, et pas uniquement le seuil d'acceptabilité.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion et recommandations

Au terme de cette étude, il ressort que les sols de cultures maraîchères de la ville de Daloa sont enrichis en ETM tels que l'As, le Hg, le Cr, le Ni, le Zn, le Pb et le Cd contenues dans les déchets qui y sont déversés. Aussi retiendrons-nous que les activités anthropiques contribuent fortement à la pollution des milieux environnementaux de la ville de Daloa. En outre, l'analyse des aliments consommés (chou, laitue, tomate, oignons et feuilles d'oignons) nous a permis de faire le constat d'une pollution métallique dans ces sites d'études. Notamment l'arsenic, le chrome, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc ont été trouvés. Cependant, il n'y a pas de bioaccumulation de ces ETM étudiés dans les produits maraîchers. Par contre, on note la présence d'arsenic, de mercure et de zinc supérieure aux teneurs tolérées dans les plantes. Par ailleurs, la consommation de ces produits maraîchers pourrait constituer des dangers pour la population liée à l'ingestion de l'arsenic et du zinc. Aussi, il y'a de fortes probabilités d'apparitions de cas de cancer cutanées au sein de la population de la ville de Daloa qui se traduisent par des nombres de cas supérieurs à 1.

L'étude de l'analyse des risques est un outil indispensable à la lutte contre toutes les pathologies car elle permet de mettre en évidence les dangers à long terme d'une situation difficile à maîtriser. Notre travail, a permis de faire l'évaluation de risque, l'une des trois phases fondamentales de l'analyse du risque ; les deux autres à savoir la gestion et la communication auprès du public doivent être poursuivies afin d'aider les décideurs à comprendre les risques liés aux ETM et d'adopter dans leurs prises de décisions des comportements écologistes. De même, des campagnes répétées de sensibilisation sur la pollution sont indispensables afin d'attirer l'attention de la population sur les dangers de ces ETM.

Comme perspective de recherche, il importe d'appréhender les mécanismes d'exposition des végétaux par type de sol et la spéciation des contaminants dans les produits qui participent à l'exposition de l'homme à un danger. De nombreuses questions restent en suspens. Quels sont les effets des métaux toxiques sur la physiologie et le développement des plantes? Comment un élément toxique atteint-il sa cible moléculaire? L'une des réponses est la connaissance des multiples formes physico chimiques (spéciation) des métaux lourds.

REFERENCES

- Abt E., Rodricks J.V., Levy J.L., Zeise L. & Burke T. A. (2010). Science and decisions : advancing risk assessment. *Risk Analysis*, 30 (7) : 1028-1036.
- ADEME (2003). Les pratiques de gestion des sites pollués en France. ADEME, Angers. Rapport consolidé après phase contradictoire, Paris (France), 146 p.
- Agence Chinoise pour la Protection Environnementale (2005). The limits of pollutants in food. *State Environmental protection Administration*, 45 : 2762-2766.
- Akese D.P.V. (2014). Evaluation des risques alimentaires et, environnementaux en liaison avec la présence d'ETM dans les sols et les denrées alimentaires des zones d'Akouédo et d'Abouabou (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), 175 p.
- Alloway B.J. (1995). Soil Processes and the Behavior of Metals. *In: Heavy Metals in Soils Alloway B.J.(Eds.)*, Blackie Academic & Professional (Londres), pp. 38-57.
- Amoah P., Drechsel P., Abaidoo R.C. & Ntow WJ. (2006). Pesticide and pathogen contamination of vegetables in Ghana's urban markets. *Archive de la contamination de l'environnement et de la technologie*, 50 : 1-6.
- ATSDR (2007). Toxicological Profile for Lead. In ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Atlanta, GA: US. department of health and Human Services, Public Health Services. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.htm1>.
- Awofolu O.R. (2005). A survey of trace metals in vegetation, soil and lower animal along some selected major roads in metropolitan city of Lagos. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105 : 431- 447.
- Baize D. (1997). Teneurs totales en éléments métalliques dans les sols (France). INRA (Paris), 408 p.
- Bassuk N.L. (1986). Reducing lead uptake in lettuce. *HortScience*, 21 : 993-995.
- Berthelin J. & Bourrelier P.H. (1998). Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion. Académie des sciences, rapport n° 42. TEC & DOC, Londres, Paris, New York, 440 p.
- Brown K. & Jameton A. (2000). Public health implication of urban agriculture. *Journal of public health policy*, 21(4): 20-30.
- Calvet R., Barriuso E., Benoit P., Bedos C., Charnay M.P. & Coquet Y. (Eds.) (2005). Les pesticides dans le sol. *In : Conséquences agronomiques et environnementales*. Editions France Agricoles, Paris, (France) : pp. 502-558.

- Carrizales L., Raso I., Tallez H. J. I., Torres N.R., Torres A., Batres L. E., Cubillas A. C. & Diaz B.F. (2006). Exposure to arsenic and lead of children living near a copper smelter in San Luis Potosi, Mexico: Importance of soil contamination for exposure of children. *Environmental Research*, 101 : 110-114.
- Casas S. (2005). Modélisation de la bioaccumulation de métaux traces (Hg, Cd, Pb, Cu et Zn) chez la moule, *Mytilus galloprovincialis*, en milieu méditerranéen. Thèse de Doctorat, Spécialité Océanologie biologique, Environnement marin. Université du Sud Toulon (France), 363 p.
- Chaux C. & Fourry C. (1994). Production légumière, tome 1: généralité. Lavoisier, Paris (France), 543 p.
- Crawford-Brown D.J. (1999). Risk Based Environmental Decisions: Methods and Culture. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 123 p.
- D'Arondel D.H.J. & Traoré G. (1990). Cultures maraîchères en zone Soudano-sahélienne. CRAT-IRAT, INERA-CNREST. Bulletin de liaison-Direction du développement rural Ouagadougou (Burkina Faso), 79 p.
- Denison R. A. & Silbergeld E.K. (1988). Risks of municipal solid waste incineration: an environmental perspective. *Risk analysis*, 8 : 343-355.
- Dickson M.H. & Wallace D.H. (1986). Cabbage breeding. In: Bassett, Breeding vegetable crops. Dickson M.J. (Eds.), Avi Publishing Company, Westport, Connecticut (United States), pp. 395-432.
- Diels L., Dong, Q., Van der Lelie D., Baeyens W. & Mergeay M. (1995). The *czc* operon of *Alcaligenes eutrophus* CH34: from resistance mechanism to the removal of heavy metals. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 14 : 142-153.
- F.A.O. (Food agriculture organisation) (2010). Production agricole, cultures primaires, Banque de données statistiques. FAO Stat (Site Internet: <http://www.FAO-org.Com>).
- Gonroudobou O.D. (1985) : L'économie de la production maraîchère dans les quartiers périphériques de Porto-Novo, Bénin. Thèse de Doctorat, Université des sciences et technologies du Benin, 115 p.
- Gupta N., Khan D.K. & Santra S.C. (2008). An assessment of heavy metal contamination in vegetables grown in wastewater-irrigated areas of Titagarh, West Bengal, India. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80 : 115-118.

- Hamon R.E., Mc-Laughling M.J., Naidu R. & Corell A. (1998). Long-term changes in cadmium bioavailability in soil. *Environmental Sciences and Technology*, 32 : 3699- 3703.
- Hickey M.G. & Kittrich, J.A. (1984). Chemical partitioning of cadmium, copper, nickel and zinc in soils and sediments containing high levels of heavy metals. *Journal of Environmental Quality*, 13 : 372-376.
- Hocking P.J. & Mc-Laughling M.J. (2000). Genotypic variation in cadmium accumulation by seed of linseed an comparaison with seeds of some other crop species. *Journal of Agricultural and Research*, 51 : 427- 433.
- INERIS (2003). Plomb et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, version n°2, 90 p.
- INERIS (2005). Zinc et ses dérivés. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. Paris: INERIS, 69 p.
- INERIS (2007). Méthodologie d'évaluation quantitative des risques sanitaires relatifs aux substances chimiques. Conventions ADEME / SYPREA / SPDE / INERIS n° 03 75 C 0093 et 06 75 C 0071, 45 p.
- INRS (2003). Institut National de Recherche et de Sécurité. Laboratoire de chimie analytique minérale.
- Ireland R.J., Bermon D.A. & Ducauze C.J. (1989). Analytical aspects and evaluation of metal contamination of plants grown on soils having received residual sludges. Proceedings of Euro-Food Chem V, Versailles (France), 27-29 Juin 1989, pp. 263-267.
- IRIS (1995). Mercuric chloride (HgCl₂). In USEPA: Integrated Risk Information System. *Chemical assessment*, 7487 : 94-7.
- Joubert A. (2008). Etude de l'effet de facteurs environnementaux sur les processus biogéochimiques de mobilisation du Pb, Zn, Cd, As et Hg dans les sols - Modélisation empirique de la mobilité et phytodisponibilité des ETM. Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré 1(Nancy), 343 p.
- Judd M. (2002). Classification and system in flowering plants. *In: Historical Background. plant systematic: A Phylogenetic Approach*. Sinauer (Eds.), Sunderland (Etats-Unis), pp. 41-53.
- Kabata & Pendias A. (Eds.), (2001). Trace Elements in Soils and Plants. Editions CRC Press, (New York), 432 p.
- Keck G. & Vernus E. (2000). Déchets et risques pour la santé. Techniques de l'ingénieur, traité Environnement G 2450, 17 p.

- Kiba D.I. (2012). A decade of non-sorted solid urban waste inputs safely increases sorghum yield in the periurban areas of Burkina Faso. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Soil Plant Science*, 62(1) : 59-69
- Kouassi J.K., Ahoua E.S., Baize D., Denezon O.D., Moussa B., Fatiha Z. & Peggy M. (2008). Diagnostic d'une contamination par les éléments traces métalliques de l'épinard (*Spinacia Oleracea*) cultivé sur des sols maraîchers de la Ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) amendés avec de la fiente de volaille. *European Journal of Scientific Research*, 21 : 471-487.
- Kroll P. (Eds.) (1994). History of Public Onion Breeding Programs. *In: The horticulture*. Edition 1575 Linden Drive, University of Wisconsin-Madison, pp. 3-103.
- Kuo S., Heilman P.E. & Baker A.S. (1983). Distribution and forms of copper, zinc, cadmium, iron, and manganese in soils near a copper smelter. *Soil Science*, 135 : 101-109.
- Lee J.S., T., Chon H.T. & Kim K.W. (2005). Human risk assessment of As, Cd, Cu and Zn in the abandoned metal mine site. *Environmental Geochemistry and Health* 27, pp. 185-191.
- Lee P., Touray J.C., Baillif P. & Ildefonse J.P. (1997). Heavy metal contamination of settling particules in a retention pond along the A71 motorway in Sologne, France. *The Science of the Total Environment*, 01 : 1 - 15.
- Loué A. (1993). Oligo-éléments en agriculture. 2ème édition. Editions Nathan, (Paris): 577 p.
- Mazollier C. (2012). Variétés de chou de Milan et chou cabus Essai variétal 2011 en culture biologique de plein champ. URL: <http://www.grab.fr/wpcontent/uploads/2010/09/dossier-vari%C3%A9t%C3%A9s-chou-vert-lisse-etfris%C3%A9-MBI-72-2%C3%A8me-trim%E2%80%A61.pdf> (Consulté le 07/08/2017).
- Mbaye A. & Moustier P. (2000). Market oriental urban agriculture production in Dakar. *In: Urban agriculture on the policy agenda a reader on urban agriculture*. Bakker N., Dubbeling M., Gundel S., Sabel-Koschella U. & De Zeeuw F. (Eds.), Des-Etc, (Allemagne), pp. 53-57.
- Michel R. & Pierre S. (1999). Sol et agriculture : ressource en sol, qualité et processus de dégradations. Une perspective mondiale, européenne et Française. *Cahier et agriculture*, 8(4) : 301-308.
- Miquel G. (2001). Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Rapport n°261 de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, Paris (France), 365 p.

- Moore P.A., Joon B.C., Edwards D.R., Wood C.W. & Daniel T.C. (2006). Effects of manure amendments on environmental and production problems. *In* : Animal agriculture and the Environment: National center for Manure and Animal Waste Management White Papers. American Society of Agricultural and Biological Engineers. Rice, J.M., Caldwell D.F., Humenik F.J. (Eds.), St. Joseph, Michigan, (USA), pp.759-776.
- Morgan R.K. & Taylor E. (2004). Copper Accumulation in Vineyard Soils in New Zealand. *Environmental Sciences*, 1 : 139-167.
- Naert N. (2017). Étude de la contamination des sols par les éléments traces métalliques : influence de la profondeur de la contamination sur la croissance de plantes indigènes et évaluation de la mobilité du zinc. Mémoire de Master, Université de Liège (Belgique), 113 p.
- Nathan N. (2017). Étude de la contamination des sols par les éléments traces métalliques : influence de la profondeur de la contamination sur la croissance de plantes indigènes et évaluation de la mobilité du zinc. Mémoire de Master, Université de Liège (Belgique), 113 p.
- Nguelieu C.R. (2017). Evaluation des risques de contamination en éléments traces métalliques (Pb, Cd, Zn) des sites maraîchers urbains de Yaoundé (Cameroun). Mémoire de Master, Université de Liège (Belgique), 58 p.
- OMS & FAO (2009). Organisation mondiale de la santé et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et l'Organisation mondiale de la Santé. Environmental Health Criteria ; 240, Principles and methods for the risk assessment of chemicals 111 food. ISBN 978 92 4 1 57240 8. (http://whqlibdoc.who.int/ehc/WHO_EHC_240_6_eng_Chapter3.pdf)
- Raskin L. & Ensley B.D. (2000). Phytoremediation of toxic metals. *In*: using plants to clean up the environment. John Wiley & Sons (Eds.), New York, (Etats Unis), pp. 123-145.
- René R. & Brigitte C. (1999). Les métaux dans les végétaux, (Technologies des légumes). Tec & Doc Lavoisier, Paris (France), 487 p.
- RGPH (2014). Recensement Général de la Population et de L'Habitat Côte d'Ivoire.
- Robert M. & Juste C. (Eds.), (1999). Enjeux environnementaux et industriels. Dynamique des éléments traces dans l'écosystème sol. *In* : Spéciation des métaux dans le sol. Edition Les Cahiers du Club Crin, Paris (France) : pp. 15-37.
- Salvarredy A.M.M. (2008). Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique,

- minéralogique et hydrochimique. Thèse de Doctorat, Université Toulouse III -Paul Sabatier (France), 323 p.
- Scarlett-Kranz J.M. (1986). Survey of nitrate cadmium and selenium in baby foods: health considerations. *Journal of Food Safety*, 8 : 35-45.
- Schilter C. (1991). L'agriculture urbaine à Lomé (Togo). Approches agronomique et socioéconomique. CIRAD, IUED-Karthala. Genève, Paris (France), 334 p.
- Schmitt & Sirguy C. (2004). Dynamique du cadmium disponible du sol sous l'influence de l'hyperaccumulateur *Thaspi caerulescens*. Thèse de Doctorat, Université National Polytechnique, Lorraine (France), 157 p.
- Sirven J.B. (2006). Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par lazer (LJBS). Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1 (France), 252 p.
- Skiredj A., Elattir B., Cblaina N. & Cblycha A. (2002). Endurcissement des plantes de tomates industrielles au Loukkos. *Actes de l'IAV Hassan*, 21(3) : 169-176.
- Slatni I. (2014). Etude de la destruction ou la perturbation des espèces végétales par la pollution. Mémoire de Master, Université De Med Cherif Messaadia, 288 p.
- Stefan S. & Todor B. (2005). Heavy métal accumulation in solanaceae-plants grown at centaminared. Agricultural University of Plovdiv, Mémoire de Master, Université d'Arabie saoudite 231 p.
- Tankari A., Guéro Y., Nomaou D.L., Baragé M., Balla A., Sterckeman T., Chevarria G. & Feidt C. (2013). Evaluation des niveaux de contamination en éléments traces métalliques de laitue et de chou cultivés dans la vallée de Gounti Yena à Niamey, Niger. *Journal of Applied Biosciences*, 13(1) : 41-60.
- Tessier A., Campbell P.G.C. & Bisson M. (1980). Trace metal speciation in the Yamaoka and St. Francois Rivers (Quebec). *Canadian Journal Earth Sciences*, 17 : 90-105.
- Thomas B. (2008). Impact anthropique sur les éléments traces métalliques dans les sols agricoles de Midi-Pyrénées : implications en termes de limites et de charges critiques. Thèse de Doctorat, Université de Toulouse (France), 399 p.
- Thomassin J.F. & Touze S. (2003). Le mercure et ses composés Comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments, Rapport final BRGM/RP-51890-FR (France), 121 p.

- Uddin Ahmad J. & Abdul Goni Md. (2010). Heavy metal contamination in water, soil, and vegetables of the industrial areas in Dhaka, Bangladesh. *Environment Monitoring Assessment*, 166 : 347-357.
- US EPA & IRIS (1996). Nickel, soluble salts-reference dose chronic oral exposure, 12 p.
- USEPA (1999). Preliminary data summary of urban storm water best management practices. Washington, US Environmental Protection Agency, 135 p.
- Yapi Y.H.A. (2015). Evaluation de la pollution métallique d'un environnement minier aurifère cas de la sous-préfecture de Hire (Côte d'ivoire). *International Journal Biology Chemistry Sciences*, 8(3) : 1281-1289.
- Zahui F.M. (2014). Profil de contamination des sols de la décharge d'Akouédo en éléments traces métalliques (Cd, Cu, Ni, Pb et Zn). Mémoire de Master, Université Nangui Abrogoua, 70 p.

Sites internet

www.population/cote-divoire (Consulté le 05 / 01 / 2021).

ANNEXE

➤ **Oignons**

1fois par jour	Plus de 3 fois par semaine	2 ou 3 fois par semaine	1fois par semaine	2 ou 3 fois par mois	1fois par mois	Occasionnellement

➤ **Tomate**

1fois par jour	Plus de 3 fois par semaine	2 ou 3 fois par semaine	1fois par semaine	2 ou 3 fois par mois	1fois par mois	Occasionnellement

9- En moyenne combien de fois consommez-vous les repas à base de : feuilles de patates, feuilles d'oignons, d'oignons, choux, d'aubergines, tomate et de laitue.

..... / jour ; / semaines et / mois.

III/ PERCEPTIONS DES RISQUES SANITAIRES LIES AUX METAUX LOURDS

10- Avez-vous entendu parler des métaux lourds ? OUI NON

11- Si OUI, en connaissez-vous des exemples ?

.....

12- Ou rencontre t- on ces métaux ?

.....

13- Les métaux représentent-ils un danger pour l'homme ? OUI NON

14- Quels sont les risques auxquels la population est – elle exposée ?

.....

15- Peut – on éviter leur utilisation ? OUI NON

16- Si OUI, comment ?.....

RESUME

L'étude des risques sanitaires a permis de montrer que les cultures maraîchères (tomate, oignons, chou, laitue et feuilles d'oignon) cultivées dans la ville de Daloa sont contaminées par les ETM. Des prélèvements des échantillons des cultures étudiées ont été réalisés sur les six sites choisis pour l'étude. Sur chaque bas-fond, quatre échantillons ont été prélevés (tomate, chou, oignon et feuille, laitue) sur l'ensemble des sites. Ensuite, les échantillons de légumes, fruits et feuilles ont été transférés au laboratoire pour analyse. Enfin, les concentrations des ETM ont été déterminées par un Spectrophotomètre d'Absorption Atomique (SAA) à travers trois méthodes, à savoir : la méthode flamme (Zn), la méthode four (Pb, Cd, As, Cr, Ni) et la méthode hydrure (Hg). Les résultats obtenus ont montré que le Zn, le Cr et le Ni présentent les teneurs les plus élevées dans les fruits, légumes et feuilles. Par ailleurs, la présence du Pb, Cd et de l'As n'est pas à exclure. Les calculs du QD, de l'ERI et de l'IS nous ont permis de montrer que la consommation de ces légumes, fruits et feuilles exposerait les populations aux risques de cancers et de troubles neurologiques.

Mots clés : Cultures maraichères – ETM – Risques sanitaires.

ABSTRACT

The health risk study showed that vegetable crops (tomato, onions, cabbage, lettuce and onion leaves) grown in the town of Daloa are contaminated with ETM. Samples of the crops studied were taken from the six sites selected for the study. On each shallow, four samples were collected (tomato, cabbage, onion and leaf, lettuce) from all sites. The vegetable, fruit and leaf samples were then transferred to the laboratory for analysis. Finally, the concentrations of ETM were determined by an Atomic Absorption Spectrophotometer (SAA) through three methods: the flame method (Zn), the oven method (Pb, Cd, As, Cr, Ni) and the hydride method (Hg). The results showed that Zn, Cr and Ni have the highest levels in fruits, vegetables and leaves. Moreover, the presence of the Pb, Cd and Ace is not to be excluded. The calculations of QD, ERI and IS have allowed us to show that the consumption of these vegetables, fruits and leaves would expose populations to the risk of cancer and neurological disorders.

Keywords : Vegetable Crops - ETM - Health Risks.