



REPUBLIQUE DU BENIN
UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI
ECOLE DOCTORALE PLURIDISCIPLINAIRE
« ESPACE, CULTURES ET DEVELOPPEMENT »
AD MAJOREM SCIENTIAE GLORIAM



THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

Présentée par :

Mahoudjro Roméo ADAMOU

Discipline : Gestion de l'Environnement

Spécialité : Environnement, Santé et Développement Durable



Contamination des escargots par les métaux toxiques et les pesticides dans la vallée de l'Ouémé au Bénin et évaluation des risques d'exposition du consommateur

Sous la direction de :

Dr Elisabeth YEHOUEYOU AZEHOUN PAZOU

Maître de Conférences des Universités (C.A.M.E.S)

Soutenue publiquement le 09 / 11 / 2018 devant le jury composé de :

Président : M. Patrick EDORH, Professeur titulaire (Université d'Abomey-Calavi)

Examineur : M. Christophe HOUSSOU, Professeur titulaire (Université d'Abomey-Calavi)

Rapporteur : M. Guillaume KETOH, Professeur titulaire (Université de Lomé, Togo)

Rapporteur : M. Kissao GNANDI, Professeur titulaire (Université de Lomé, Togo)

Directrice de thèse : Mme Elisabeth YEHOUEYOU épouse AZEHOUN PAZOU, Maître de Conférences (Université d'Abomey-Calavi)

Mention : Très Honorable avec les félicitations du jury

Année académique : 2017-2018

DEDICACE

A mes parents, **Théodore V. ADAMOU** et **Noëlie SOSSOU**, pour le grand rôle qu'ils ont joué dans mon éducation, dans mon instruction et pour tous les inestimables efforts et sacrifices consentis à mon égard.

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements vont à l'endroit de :

Docteur Elisabeth YEHOUEYOU épouse AZEHOUN PAZOU, Maître de Conférences des Universités (C.A.M.E.S), Enseignante-Chercheuse au Département de Génie de l'Environnement, EPAC/UAC, pour avoir accepté de diriger ces travaux de recherche malgré ses multiples occupations ; vos conseils scientifiques m'ont beaucoup aidé non seulement pendant les travaux de terrain mais aussi pendant les travaux de laboratoire. Vous avez su me donner le goût de la recherche et votre rigueur scientifique m'a également aidé dans la rédaction de cette thèse et des articles scientifiques. Recevez mes profonds remerciements ;

Professeur Michel BOKO, précédemment Directeur de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire, pour tout son soutien et ses encouragements ;

Tous les enseignants de l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire, pour leur contribution dans notre formation ;

Professeur Virgile AHYI de l'IRGIB-Africa, pour son aide et ses précieux conseils ;

Docteurs Razack ADEOTI et Rousseau DJOUAKA de l'IITA, pour leurs nombreux conseils et soutiens ;

Ingénieurs Murielle SOGLO de l'IITA et Yannick SODJI de l'IRGIB-Africa, pour leur aide ;

Monsieur Gérard AGOGNON, précédemment Chef service de la promotion des filières agricoles du CARDER Ouémé-Plateau, pour ses conseils et ses orientations sur le terrain ;

Messieurs Janvier AMOUSSOU, Norbert KINKIN, Godonou YAVOEDJI et Eric AZAGOUN précédemment Responsables de Développement Rural des communes de Dangbo, d'Adjohoun, de Bonou et des Aguégus respectivement, pour leur contribution pendant la collecte des données sur le terrain ;

Madame OSSENI TOSSOU Sènamè, Présidente des Transformatrices de riz étuvé de Bonou, et son époux pour leurs conseils et leur grande aide pendant la collecte des données ;

Messieurs Cyrille GODONOU, Patrice KOUTCHIKO, Marc ZANNOU, Paul AHISSOU, Pascal CODJO, Arnaud SOTON et mesdames Pierrette AKOGBETO et Claudine KEKE,

pour la facilitation qu'ils nous ont accordée pendant la collecte des données respectivement à Dangbo, Adjohoun, Hozin, Todé, Avagbodji, Kétou, Akpadanou et Bonou ;

Madame OUSSOU, chef service de la Coordination Départementale de la Composante-Hygiène et Assainissement de Base (CDC-HAB) de la Direction Départementale de la Santé Atlantique-Littoral, pour son soutien et ses encouragements ;

Tout le personnel de la CDC-HAB/DDS Atlantique-Littoral en particulier monsieur Cyrille AKPAHOUN et de la Police Sanitaire, pour leur merveilleuse collaboration ;

Mes frères Freddy et Romuald, pour leur encouragement quotidien et la cohésion fraternelle qui a toujours existé entre nous ;

Mon épouse bien-aimée Ayoka Imelda CHABI, pour son amour indéfectible et son soutien permanent ;

Ma fille Eclat Jesukorédé Houéfa, afin qu'elle trouve en ce travail une source de motivation pour aller le plus loin possible dans sa vie ;

Mon oncle Elias AHOUANDJINOU et son épouse, pour leur aide et leur soutien ;

Mes oncles Consolen et Héribert AHOUANDJINOU, pour leur soutien et leur encouragement ;

Mes tantes Geneviève et Martine SOSSOU, pour leur précieuse contribution et leur soutien indéfectible ;

Ma grand-mère Elisabeth Agossi KPONSOU SOSSOU, pour ses prières et ses leçons de vie quotidiennes ;

Monsieur Gabriel AMOUCHAN et son épouse, pour leur aide et leur soutien quotidien ;

Mes compagnons de lutte Cyrus DOSSA et Carlos HOVIEGBE, pour tout leur soutien spirituel ;

Mes très chers amis Askandarirou GOUNOU N'GOBI et Gildas EKPANGBO, pour leur aide et leur encouragement quotidien ;

Tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

HOMMAGES

- Au président de jury,

En acceptant de présider ce jury de soutenance de thèse, veuillez recevoir mon profond respect et ma sincère gratitude.

- Aux membres de jury,

Vous me faites un grand honneur par votre présence dans ce jury de soutenance de thèse.
Hommages distingués !

SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ACTA	: Association de Coordination Technique Agricole
ATSDR	: Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BAF	: Bioaccumulation factor (facteur de bioaccumulation)
CARDER	: Centre Agricole Régional de Développement Rural
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
CE_x	: Concentration Efficace (concentration ayant un effet)
CL_x	: Concentration Létale
DJA	: Dose Journalière Admise
DJE	: Dose Journalière d'Exposition
DL_x	: Dose Létale
EM	: Eléments Métalliques
FAO	: Food and Agriculture Organization
GC-MS	: Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectroscopie de masse
HAP	: Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
HCB	: Hexachlorobenzène
HCH	: Hexachlorocyclohexane
IARC	: International Agency for Research on Cancer
IITA	: International Institute for Tropical Agriculture
INSAE	: Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
IRGIB	: Institut Régional du Génie Industriel, des Biotechnologies et Sciences Appliquées
LOEC	: Lowest Observed Effect Concentration (=CMEO : Concentration Minimale avec Effet Observé)
MO	: Matière Organique
NOEC	: No Observed Effect Concentration (=CSEO : Concentration maximale Sans

	Effet Observé)
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
PEC	: Predicted Environmental Concentration (concentration prédite dans l'environnement)
PNEC	: Predicted No Effect Concentration (concentration prédite dans l'environnement sans effet)
POC	Pesticides Organochlorés
PPB	: Partie Par Billion (équivalent à $\mu\text{g}/\text{kg}$)
PPM	: Partie Par Million (équivalent à mg/kg)
QD	: Quotient de Danger
RDR	: Responsable de Développement Rural
US EPA	: Environmental Protection Agency of United States
VTR	: Valeurs Toxicologiques de Références

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Mécanismes de transferts et de transformations des pesticides dans les milieux de l'environnement.....	9
Figure 2 :	Modes d'exposition de l'homme et des milieux aux pesticides.....	11
Figure 3 :	Répartition des éléments métalliques entre les compartiments du sol, sous les différentes formes possibles, avec indication de leur mobilité par des flèches.....	22
Figure 4 :	Les principales voies d'exposition des escargots.....	25
Figure 5 :	Localisation de la zone d'étude.....	42
Figure 6 :	Vallée de l'Ouémé dans les zones humides du Sud Bénin.....	43
Figure 7 :	Répartition de la population de la vallée de l'Ouémé.....	46
Figure 8 :	Anatomie d'un escargot sorti de sa coquille, avec représentation de la ligne de dissection séparant le pied des viscères.....	53
Figure 9 :	Proportion de trouvailles des espèces d'escargots dans la vallée de l'Ouémé.....	61
Figure 10 :	Proportion de la consommation des escargots dans la vallée.....	62
Figure 11 :	Mode de consommation des escargots dans la vallée.....	63
Figure 12 :	Quantité d'escargots consommés par repas dans la vallée de l'Ouémé.....	64
Figure 13 :	Fréquence de consommation des escargots dans la vallée de l'Ouémé.....	65
Figure 14 :	Quantité d'escargots ramassés par collecte dans la vallée l'Ouémé.....	66
Figure 15 :	Mode de collecte des escargots dans la vallée.....	67
Figure 16 :	Boxplot de la longueur des individus de <i>Archachatina marginata</i> dans les différentes localités.....	71
Figure 17 :	Boxplot du diamètre des individus de <i>Archachatina marginata</i> dans les différentes localités.....	72
Figure 18 :	Boxplot du poids des individus de <i>Archachatina marginata</i> dans les différentes localités.....	72
Figure 19 :	Boxplot du poids des individus de <i>Limicolaria spp</i> dans les différentes localités.....	72
Figure 20 :	Boxplot du diamètre des individus de <i>Limicolaria spp</i> dans les différentes localités.....	73
Figure 21 :	Boxplot de la longueur des individus de <i>Limicolaria spp</i> dans les différentes localités.....	73

Figure 22 :	Boxplot du diamètre, de la longueur et du poids des individus des deux espèces de façon globale.....	74
Figure 23 :	Concentrations de métaux lourds dans l'espèce <i>Archachatina marginata</i> cru.....	74
Figure 24 :	Concentrations de métaux lourds dans l'espèce <i>Limicolaria spp</i> cru.....	75
Figure 25 :	Facteurs de bioconcentration du cadmium et du plomb dans les deux espèces d'escargots.....	76
Figure 26 :	Concentrations de métaux lourds dans l'espèce <i>Archachatina marginata</i> bouilli...	79
Figure 27 :	Concentrations de métaux lourds dans l'espèce <i>Limicolaria spp</i> bouilli.....	79
Figure 28 :	Concentrations de métaux lourds dans l'espèce <i>Archachatina marginata</i> frit.....	81
Figure 29 :	Concentrations de métaux lourds dans l'espèce <i>Limicolaria spp</i> frit.....	82
Figure 30 :	Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des métaux lourds dans <i>Archachatina marginata</i>	86
Figure 31 :	Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des métaux lourds dans <i>Limicolaria spp</i>	86
Figure 32 :	Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce <i>Archachatina marginata</i> cru.....	89
Figure 33 :	Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce <i>Limicolaria spp</i> cru.....	89
Figure 34 :	Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par <i>Archachatina marginata</i> cru suivant les localités.....	93
Figure 35 :	Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par <i>Limicolaria spp</i> cru suivant les localités.....	94
Figure 36 :	Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce <i>Archachatina marginata</i> bouilli.....	94
Figure 37 :	Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce <i>Limicolaria spp</i> bouilli....	95
Figure 38 :	Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par <i>Archachatina Marginata</i> bouilli suivant les localités.....	96
Figure 39 :	Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par <i>Limicolaria spp</i> bouilli suivant les localités.....	97
Figure 40 :	Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce <i>Archachatina marginata</i>	

frit.....	97
Figure 41 : Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce <i>Limicolaria spp</i> frit.....	98
Figure 42 : Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par <i>Archachatina marginata</i> frit suivant les localités.....	99
Figure 43 : Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par <i>Limicolaria spp</i> frit suivant les localités.....	100
Figure 44 : Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des pesticides dans <i>Archachatina marginata</i>	103
Figure 45 : Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des pesticides dans <i>Limicolaria spp</i>	104

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	: Influence du pH et du potentiel redox sur la mobilité des éléments métalliques étudiés.....	24
Tableau II	: Classification des invertébrés terrestres selon Boháč et Pospíšil (1989) et les résultats obtenus par Dallinger (1993) pour quelques gastéropodes terrestres.....	28
Tableau III	: Toxicité du chlorure de cadmium sur différents invertébrés terrestres.....	29
Tableau IV	: Toxicité du plomb sur différents invertébrés terrestres (sem : semaines)...	31
Tableau V	: Mensurations des escargots de la vallée de l’Ouémé.....	69
Tableau VI	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur la longueur, le diamètre et le poids moyens des espèces d’escargots suivant les localités.....	70
Tableau VII	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans <i>Archachatina marginata</i> cru.....	77
Tableau VIII	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans <i>Limicolaria spp</i> cru..	77
Tableau IX	: Matrices de corrélation entre métaux lourds et caractéristiques morphologiques de <i>Archachatina marginata</i>	78
Tableau X	: Matrices de corrélation entre métaux lourds et caractéristiques morphologiques de <i>Limicolaria spp</i>	78
Tableau XI	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans <i>Archachatina marginata</i> bouilli.....	80
Tableau XII	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans <i>Limicolaria spp</i> bouilli.....	81
Tableau XIII	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans <i>Archachatina marginata</i> frit.....	83
Tableau XIV	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans <i>Limicolaria spp</i> frit..	84

Tableau XV	: Comparaison des concentrations de métaux lourds entre <i>Archachatina marginata</i> et <i>Limicolaria spp</i>	84
Tableau XVI	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans <i>Archachatina marginata</i> cru, bouilli et frit.....	88
Tableau XVII	: Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans <i>Limicolaria spp</i> cru, bouilli et frit.....	88
Tableau XVIII	: Comparaison des concentrations de pesticides entre <i>Archachatina marginata</i> et <i>Limicolaria spp</i>	101
Tableau XIX	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots <i>Archachatina marginata</i> frits contaminés par le Cd dans la vallée de l'Ouémé.....	107
Tableau XX	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots <i>Archachatina marginata</i> frits contaminés par le Pb dans la vallée de l'Ouémé.....	107
Tableau XXI	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots <i>Archachatina marginata</i> bouillis contaminés par le Cd dans la vallée de l'Ouémé.....	108
Tableau XXII	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots <i>Archachatina marginata</i> bouillis contaminés par le Pb dans la vallée de l'Ouémé.....	108
Tableau XXIII	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots <i>Limicolaria spp</i> frits contaminés par le Cd dans la vallée de l'Ouémé.....	109
Tableau XXIV	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots <i>Limicolaria spp</i> frits contaminés par le Pb dans la vallée de l'Ouémé.....	109
Tableau XXV	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots <i>Limicolaria spp</i> bouillis contaminés par le Cd dans la vallée de l'Ouémé...	110
Tableau XXVI	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots bouillis <i>Limicolaria spp</i> contaminés par le Pb dans la vallée de l'Ouémé...	110
Tableau XXVII	: Résultats du test t de Student sur le logarithme népérien des valeurs individuelles de risque sanitaire chez les adultes et les enfants.....	112
Tableau XXVIII	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots	114

	<i>Archachatina marginata</i> bouillis contaminés par le chlorpyrifos dans la vallée de l’Ouémé	
Tableau XXIX	: Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d’escargots <i>Archachatina marginata</i> frits contaminés par le chlorpyrifos dans la vallée de l’Ouémé	114
Tableau XXX	: Résultats du test de Mann-Whitney sur le risque sanitaire lié aux pesticides chez les adultes et les jeunes selon les formes de consommation.....	116
Tableau XXXI	: Résultats du test de Mann-Whitney sur le risque sanitaire lié aux pesticides chez les enfants.....	116
Tableau XXXII	: Résultats du test de Mann-Whitney sur le risque sanitaire lié aux pesticides chez les adultes.....	117

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 :	Metalyser HM 3000 avec sa tablette de pilotage.....	49
Photo 2 :	Espèces d'escargots rencontrées dans la vallée de l'Ouémé.....	61
Photo 3 :	Etalage de vente de pesticides dans le marché de Dangbo centre.....	91
Photo 4 :	Quelques pesticides observés dans le marché de Dangbo centre et dont les molécules sont retrouvées dans les escargots.....	92

RESUME

La viande des escargots de la famille des Achatinidae est très appréciée par certaines populations africaines en général et celles béninoises en particulier. Or, ces escargots ont la capacité d'absorber et de concentrer dans leur organisme des substances chimiques toxiques comme les métaux lourds et les pesticides. C'est ainsi que leur consommation pourrait avoir des effets sur la santé des consommateurs. L'objectif principal de cette étude est d'étudier la bioconcentration des métaux lourds et des pesticides dans les escargots comestibles de la vallée de l'Ouémé. La démarche méthodologique adoptée dans le cadre de cette étude se résume en trois étapes à savoir : la recherche documentaire, la collecte des données sur le terrain et les analyses de laboratoire, puis le traitement des données collectées. La méthode d'analyse utilisée pour le dosage des métaux lourds dans les échantillons des espèces *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp* collectés est la voltampérométrie inverse. Celle utilisée pour le dosage des pesticides est la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Il ressort des résultats des travaux qu'il existe quatre espèces d'escargots dans la vallée de l'Ouémé et que trois y sont consommées. Huit (08) individus de l'espèce *Archachatina marginata* sont consommés par personne par repas 3 fois par semaine contre seize (16) individus de l'espèce *Limicolaria spp* par repas 2 fois par semaine. Les concentrations du cadmium et du plomb chez les espèces *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp* sont supérieures aux normes de l'OMS et de l'UE dans presque toutes les localités dans les formes crues, bouillie et frite. Les concentrations des résidus de pesticides chez les deux espèces sont aussi presque toutes supérieures aux valeurs toxicologiques de référence fixées par la FAO/OMS selon les molécules. L'évaluation des risques sanitaires a révélé que la consommation des escargots *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp* présente un danger pour la santé des adultes et encore plus des enfants à cause de l'accumulation du cadmium dans la chair de ces deux espèces d'escargots malgré les méthodes de cuisson. Aussi existe-t-il un risque sanitaire dû au chlorpyrifos et lié à la consommation des escargots *Archachatina marginata* uniquement. La consommation de la viande d'achatine qui est très appréciée des populations de la vallée de l'Ouémé et environs, pose donc un véritable problème de santé publique auquel doivent s'intéresser les autorités à divers niveaux de notre pays pour le bien-être des populations de la vallée de l'Ouémé et d'ailleurs.

Mots-clés : Escargots, métaux lourds, pesticides, bioconcentration, risques sanitaires, vallée de l'Ouémé, Bénin.

ABSTRACT

Snails meat of the Achatinidae family is highly appreciated by certain African populations in general and Beninese in particular. These snails have the ability to absorb and to concentrate in their bodies toxic chemicals such as heavy metals and pesticides. Thus, their consumption could have effects on the health of consumer. The main objective of this study is to characterize the bioconcentration of heavy metals and pesticides in edible snails of the Ouémé valley. The methodological approach adopted in this study is summarized in three stages: documentary research, field data collection and laboratory analyzes, and then the processing of collected data. The analytical method used for determination of heavy metals in species *Archachatina marginata* and *Limicolaria spp* samples collected is reverse voltammetry. The one used for the determination of pesticides is gas chromatography coupled with mass spectrometry. The results of the work show that there are four snails species in the Ouémé Valley and three are consumed. Eight (08) individuals of *Archachatina marginata* species are consumed per meal 3 times per week against sixteen (16) individuals of *Limicolaria spp* species per meal twice a week. Cadmium and lead concentrations in *Archachatina marginata* and *Limicolaria spp* are higher than OMS and UE norms in the raw, boiled and fried forms in many localities. Pesticide residues concentrations in the two snails are almost all higher than the toxicological reference values set the FAO/WHO according to the molecules. The assessment of the health risks revealed that snails *Archachatina marginata* and *Limicolaria spp* consumption presents a danger for the health of the adults and even more of the children because of the cadmium accumulation in these two species of snails flesh in spite of cooking methods. There is therefore a health risk due to chlorpyrifos and related to the consumption of snails *Archachatina marginata* only. Consumption of achatins meat, which is highly appreciated by the people of the Ouémé Valley and surrounding areas, is therefore a real public health problem to which the authorities at various levels of our country should be concerned for the wellbeing populations of the Ouémé Valley and elsewhere.

Keywords: Snails, heavy metals, pesticides, bioconcentration, health risks, Ouémé Valley, Benin.

SOMMAIRE

Introduction.....	1
1. Problématique.....	3
2. Objectifs de l'étude.....	5
3. Hypothèses.....	5
PARTIE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
Chapitre 1 : Etude bibliographique sur les pesticides.....	7
Chapitre 2 : Etude bibliographique sur les métaux lourds.....	20
Chapitre 3 : Généralités sur les achatines.....	32
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES.....	40
Chapitre 4 : Cadre d'étude.....	41
Chapitre 5 : Matériel et méthodes d'étude.....	48
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	59
Chapitre 6 : Description des escargots de la vallée de l'Ouémé et de l'activité de ramassage.....	60
Chapitre 7 : Métaux lourds et résidus de pesticides accumulés dans les escargots avant et après cuisson, et risques sanitaires liés à leur consommation.....	69
Discussion générale.....	118
Conclusion.....	125
Suggestions.....	127
Perspectives.....	128
Références bibliographiques.....	129
Table des matières.....	145

Introduction

Il est indéniable de nos jours que, dans les pays en développement, les ressources alimentaires non conventionnelles (les espèces animales et végétales qu'on trouve à l'état naturel et qui sont consommées par l'homme ou les animaux) jouent un rôle assez substantiel dans l'alimentation des populations (CBDD, 1999). Au nombre de ces ressources, on retrouve, notamment des champignons, du sésame, des cricétomes, des aulacodes, des tortues, des insectes, des escargots géants africains (ou achatines), etc.

En Afrique, dans les régions soudaniennes et guinéennes, existent des escargots terrestres comestibles de grande taille ou de petite taille. Ces escargots appartiennent à la famille des Achatinidae dont la chair est très appréciée par de nombreuses populations africaines (Zongo, 1995), et celles béninoises en particulier. En effet, le pied (la partie consommée de l'escargot) représente, d'après une étude réalisée en Côte d'Ivoire par Ba-Cheikhne (1994), 30% du poids vif de l'escargot. Il est très riche en eau (80%) et renferme en matière sèche 62 à 75% de protéines brutes. Bien que pauvre en matière grasse, il possède une valeur calorifique très intéressante (341 à 358 Kcal/100g), une teneur élevée en calcium (1,3g/100g MS) et en fer (491mg/Kg MS). Presque tous les acides aminés essentiels dont l'homme a besoin y sont représentés avec une teneur en lysine allant jusqu'à 4,5 g/16 g N. Les vitamines A, D₃ et E sont également présentes. La chair des escargots représenterait la « viande de brousse » la plus prisée et la plus consommée en Côte d'Ivoire, après l'aulacode, avec près de 17.000 tonnes par an (O'Dji, 1998). Au Bénin, leur consommation était estimée à 300 tonnes par an (Heymans et Codjia, 1989). D'après Sodjinou et *al.* (2002), la viande d'achatine est la viande la plus consommée au Sud-Bénin devant l'aulacode, le poulet, l'ovin ou le caprin, le bœuf et le porc, avec une consommation de la ville de Cotonou estimée à 216 tonnes par an.

Dans la nature, les escargots jouent un rôle important dans l'équilibre écologique des forêts, des jachères et des zones humides. Ils sont des agents intéressants de dépollution des déchets comme l'on fait remarquer Heymans et Evrard (1989) d'où leur présence sur et autour des dépotoirs d'ordures. Ils sont des espèces bioaccumulatrices, capables d'absorber et de concentrer dans leur organisme certaines substances chimiques toxiques comme les pesticides et les métaux lourds. Ainsi, la pollution du biotope de ces escargots fait planer un risque de bioaccumulation des polluants chimiques. En effet, leur chair est souvent contaminée par des pesticides organochlorés et parfois par des radioéléments (Caklovica, 1991), outre les infections parasitaires dont ils sont aussi victimes (Odaibo et *al.*, 2000). Pourtant, les pesticides sont de nos jours soupçonnés de présenter un risque pour la santé de l'homme et

pour son environnement. Ils sont en effet fréquemment mis en cause dans la dégradation de la qualité des eaux douces souterraines et des eaux côtières, dans la réduction de la biodiversité terrestre constatée dans les zones agricoles et dans les milieux "naturels" contaminés ou bien encore dans des cas de surmortalité des abeilles et de baisse de production des ruches (Merhi, 2008). Par ailleurs, de nombreuses études épidémiologiques suggèrent une corrélation entre l'utilisation professionnelle des pesticides et l'apparition de certaines pathologies dans les populations concernées. Des effets cancérigènes, neurotoxiques ou de type perturbation endocrinienne des pesticides ont été mis en évidence chez l'animal (Merhi, 2008). La question des risques pour l'homme est donc posée tant au niveau professionnel qu'à celui du consommateur.

En outre, plusieurs métaux lourds comme le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le manganèse (Mn), le chrome (Cr), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), etc ont été retrouvés dans le pied et les viscères de différentes espèces d'escargots à des concentrations variées par plusieurs auteurs dont Swaileh et *al.* (2001a), Scheifler et *al.* (2002a), Viard (2004), Gimbert (2006) et Edoth et *al.* (2009). Vu que les escargots occupent une place de choix dans les assiettes des béninois, alors que les métaux lourds, quasi-totalement indestructibles dans l'environnement (Masters, 1997), sont capables de pénétrer directement dans la chaîne alimentaire et se concentrer dans certains organismes vivants, exposant l'Homme à une intoxication lente mais certaine, la contamination des escargots constituerait un véritable problème de santé publique.

Face à toutes ces menaces, il est urgent de prendre des mesures adéquates pour une gestion rationnelle et durable des écosystèmes ; ce qui implique la caractérisation, l'évaluation des risques et la surveillance de l'environnement. Le présent travail contribue à l'évaluation de ces risques à travers la biocontamination des escargots comestibles au Sud du Bénin.

Dans cette étude, nous avons abordé dans un premier temps la justification de l'étude et la synthèse bibliographique. Dans un deuxième temps, nous avons défini le cadre de l'étude et les approches méthodologiques utilisées. Enfin dans un troisième temps, nous avons présenté les résultats et les discussions. L'étude s'est achevée par une conclusion suivie des suggestions et des perspectives.

1. Problématique

Avant l'utilisation des produits phytosanitaires, les systèmes de culture étaient conçus pour assurer le meilleur équilibre entre le risque phytosanitaire et la production des cultures. Cependant, les pertes en rendement des productions agricoles dues aux maladies, aux ravageurs et aux adventices (ou mauvaises herbes) pouvaient atteindre des proportions importantes (Khera et *al.*, 2013).

Après la seconde guerre mondiale, les pesticides ont permis le développement de l'agriculture et ont contribué à l'augmentation des rendements et à la régulation de la production agricole. De plus, certains experts estiment que l'augmentation des rendements des terres agricoles a permis de limiter la déforestation et donc de préserver 50% de la surface de la forêt actuelle en 50 ans (International Workshop on Crop Protection Chemistry, 2005). L'utilisation des produits phytosanitaires a également limité ou éradiqué un certain nombre de maladies parasitaires très meurtrières.

Néanmoins, cette utilisation a provoqué des effets néfastes directs et indirects sur l'environnement et sur l'homme (Katrijn et *al.*, 2007). Des études ont montré la présence de résidus de pesticides à des teneurs atteignant 5900 ng/L d'atrazine et 3000 ppb de pyréthrianoïde dans les eaux superficielles et souterraines en Grèce (Ioannis et *al.*, 2006). Dans le sérum sanguin, les taux varient de 42,6 ppb pour le sulfate endosulfan à 24,8 et 21,9 ppb pour respectivement l'O,p'-DDT et le p,p'-DDT au Portugal (Celeste et *al.*, 2006). Chez des fleuristes en Espagne, des teneurs de 2 µmol/g de créatine d'alkylphosphate ont été enregistrées (Marina et *al.*, 2010). Dans les cultures maraîchères comme la carotte et le chou, des teneurs de 2,4 ppm à 9 ppm ont été retrouvées (Garey et *al.*, 2010). Cette pollution due aux pesticides s'observe de façon plus aiguë en zone de production cotonnière dans les pays africains au sud du Sahara. Traoré et *al.* (2008) en Côte d'Ivoire, à travers une étude menée sur le lait et les produits laitiers, ont remarqué que les résultats obtenus révèlent une contamination générale du lait et du beurre par les pesticides organochlorés (POCs) avec des teneurs moyennes respectives de 42,75 µg/kg et 165,94 µg/kg pour l'hexachlorocyclohexane (HCH), 31,58 et 436,80 µg/kg pour l'endosulfan, de 8,70 et 59,91 µg/kg pour l'heptachlore et enfin 36,20 et 227,82 µg/kg pour le Dichlorodiphényltrichloroethane (DDT).

Au Bénin où le coton constitue la principale culture de rente marquée par d'intenses utilisations d'insecticides de synthèse (Gbaguidi et *al.*, 2011), la situation n'est pas non plus reluisante. Adam et *al.* (2010) ont montré que les eaux de surface en zones de culture de coton du Nord Bénin sont contaminées par des résidus de pesticides à des teneurs allant à 0,12 ppm pour les pyréthrianoïdes et 0,09 ppm pour les organophosphorés. Les études de Yehouenou et

al. (2006a et 2006b), réalisées également sur le fleuve Ouémé ont révélé non seulement les mêmes familles de molécules, mais à des concentrations plus élevées dans les sédiments et les tissus de poisson analysés. Malgré ces résultats alarmants, environ 64,5 milliers de tonnes d'engrais et 1,2 millions de litres de pesticides ont été utilisés pendant la campagne agricole 2007-2008 au Bénin (PNE, 2011). Plus de 50% de la quantité de ces intrants n'a pas été valorisée par les plantes et serait drainée finalement par ruissellement vers les cours et plans d'eaux du pays (PNE, 2011). Ces mêmes cours d'eau sont aussi contaminés par divers métaux lourds d'après les travaux de plusieurs auteurs.

Vissin *et al.* (2010) ont enregistré des moyennes de plomb allant de 5 à 12,5 µg/L dans les eaux du chenal de Cotonou et jusqu'à 0,80 mg/L dans les poissons du même plan d'eau. Youssao *et al.* (2011) ont constaté d'une façon générale que la concentration du plomb au niveau du chenal (1,63 mg/L) dépasse celle du lac Nokoué (1,25 mg/L) et c'est l'inverse qui est observé pour les sédiments. Ils ont observé aussi que chez les différentes espèces de poissons (*Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis* et *Hemichromis fasciatus*) pêchées dans ce complexe lagunaire Nokoué – chenal de Cotonou, la concentration en plomb dans le foie est la plus importante, suivie de celle dans les branchies et puis de celle dans le muscle. La moyenne générale des concentrations du plomb dans les poissons est de 1,41 mg/kg. Gbesso *et al.* ont enregistré en 2015 une forte teneur en cadmium dans la chair du *Tilapia guineensis* avec une moyenne (0,70 mg/kg) dépassant 14 fois la norme admise (0,05mg/kg). Megnon *et al.* (2012) ont quant à eux constaté que la teneur en plomb était fortement élevée dans les crevettes (1,55 mg/kg) mais très faible dans les eaux du lac Nokoué (0,09 mg/L). Pendant que la teneur en cadmium dans les crevettes (0,149 mg/kg) et des eaux du lac (< 0,005 mg/L) est faible. Ces résultats diffèrent de ceux de Adamou (2011) qui a enregistré jusqu'à 1,23 mg/kg de cadmium dans les crevettes du complexe lagunaire lac Nokoué-lagune de Porto-Novo. Il a aussi détecté dans les huîtres jusqu'à 1779,34 mg/kg de zinc, 1,34 mg/kg de cadmium et 0,67 mg/kg de plomb. Dimon *et al.* (2014) ont enregistré dans les sédiments prélevés dans le lac Ahémé : 26 mg/kg de plomb, 170 mg/kg de zinc et 29 mg/kg d'arsenic. Ces résultats diffèrent de ceux trouvés par Agonkpahoun (2006) qui a observé pour le plomb 0,043 mg/kg dans la rivière Okpara au Nord Bénin et 0,040 mg/kg dans le lac Nokoué au Sud-Bénin. Quant à Edoth *et al.* (2009), ils ont détecté dans la chair de l'escargot *Achatina achatina* dans le village d'Okpara 439 mg/kg de cuivre, 406,8 mg/kg de zinc, 0,18 mg/kg de chrome et 1,24 mg/kg de cadmium.

Au regard de ce qui précède, on peut affirmer que les sols et les zones humides sont confrontés à une contamination chimique accrue. Les espèces animales comme les poissons,

les crevettes, les huîtres, les escargots, vivant dans ces zones ne sont pas épargnées. Plusieurs travaux ont alors montré le niveau de contamination de ces ressources animales au Bénin. Mais très peu de ces travaux se sont intéressés à la contamination des escargots consommés au Bénin. Pourtant ces escargots qui constituent des bio-indicateurs de la pollution des sols, sont des espèces bioaccumulatrices capables d'absorber et de concentrer dans leur organisme certaines substances chimiques comme les pesticides et les métaux lourds. Vu qu'ils occupent une place de choix dans les assiettes des populations béninoises surtout celles du Sud-Bénin, leur contamination pourrait poser un problème de santé publique. On se pose donc la question de savoir : jusqu'à quels degrés peuvent-ils concentrer des polluants chimiques comme les pesticides et les métaux lourds, puis quels sont les risques sanitaires encourus par le consommateur ? Voilà autant de raisons qui justifient le choix du thème intitulé : **« Contamination des escargots par les métaux toxiques et les pesticides dans la vallée de l'Ouémé au Bénin et réduction des risques d'exposition du consommateur ».**

2. Objectifs de l'étude

Ils se déclinent en objectif principal et en objectifs spécifiques.

2.1 Objectif principal

L'objectif principal de cette thèse est d'étudier la bioconcentration des métaux lourds et des pesticides dans les escargots comestibles de la vallée de l'Ouémé.

2.2 Objectifs spécifiques

De manière spécifique, il s'est agi de :

- Décrire toutes les espèces d'escargots consommées dans la vallée de l'Ouémé et l'activité de ramassage ;
- Déterminer la quantité de métaux lourds et de résidus de pesticides accumulés par certaines espèces d'escargots de la vallée avant et après cuisson ;
- Analyser l'effet de la consommation des escargots contaminés sur la santé des populations.

3. Hypothèses

Les hypothèses formulées pour atteindre ces objectifs sont :

- Les populations de la vallée de l'Ouémé consomment plusieurs espèces d'escargots ;
- Certaines espèces d'escargots accumulent une grande quantité de polluants chimiques toxiques ;
- La consommation de certaines espèces d'escargots de la vallée présente un risque sanitaire pour les consommateurs.

PARTIE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : Etude bibliographique sur les pesticides

1.1. Définitions

Le terme "pesticide" est une appellation générique couvrant toutes les substances (molécules) ou produits (formulations) qui éliminent les organismes nuisibles, qu'ils soient utilisés dans le secteur agricole ou dans d'autres applications. La substance ou le microorganisme qui détruit ou empêche les organismes nuisibles de s'installer sur les végétaux, parties de végétaux ou produits végétaux est dénommée substance active (anciennement dénommée matière active), à laquelle sont associés dans la préparation un certain nombre de « formulants » (mouillants, solvants, anti-mousses, ...) qui la rendent utilisable par l'agriculteur (ACTA, 2005).

Les pesticides à usage agricole peuvent être désignés de différentes façons : produits phytosanitaires pour les firmes qui les fabriquent et les vendent, produits phytopharmaceutiques pour la réglementation européenne et produits agropharmaceutiques pour les scientifiques agronomes.

Dans les textes relatifs à la réglementation européenne, on distingue :

- **les produits phytopharmaceutiques** (au sens de la Directive 91/414/CE du 15 Juillet 1991) : ils sont utilisés principalement pour la protection des végétaux en agriculture contre les attaques de champignons parasites, d'insectes, d'acariens, de rongeurs champêtres ou encore pour lutter contre les adventices ou "mauvaises herbes". Leurs utilisations peuvent s'élargir dans d'autres secteurs (sylviculture, aménagement des paysages et entretien des abords d'axes de transport, jardinage amateur).

- **les biocides** (au sens de la directive 98/8/CE) : les produits dénommés anciennement « pesticides à usage non agricole » sont maintenant appelés « produits biocides ». Ils concernent « les substances actives et les préparations contenant une ou plusieurs substances actives destinées à détruire, à repousser ou à rendre inoffensifs les organismes nuisibles ; à en prévenir l'action ou les combattre de toute autre manière par une action chimique ou biologique ». Les biocides sont destinés à des usages domestiques, par exemple dans des applications comme la protection du bois contre les champignons ou les termites, les insecticides ménagers, les produits antiparasitaires (anti-acariens, antipuces), etc.

1.2. Classification des pesticides

La classification des pesticides disponibles aujourd'hui sur le marché est complexe parce qu'ils sont caractérisés par une variété de structure chimique, de groupes fonctionnels et d'activité. Mais d'une manière générale, ils peuvent être classés en fonction de la nature de

l'espèce à combattre mais aussi en fonction de la nature chimique de la principale substance active qui les compose. L'index de l'ACTA qui référence les principaux produits autorisés et commercialisés mentionnait 489 substances actives en 2005 et 2600 préparations commerciales (liste arrêtée en Juillet 2004). De plus, les variétés et les quantités utilisées diffèrent selon les pays où ils sont utilisés. Néanmoins, les systèmes de classification sont universels.

Le premier système de classification repose sur le type de parasites à contrôler. Il existe principalement trois grandes familles de produits phytosanitaires selon la nature des cibles visées : les herbicides, les fongicides et les insecticides. A celles-ci s'ajoutent des produits divers tels que les acaricides (contre les acariens), les nématicides (contre les nématodes), les rodenticides (contre les rongeurs), les taupicides (contre les taupes), les molluscicides (contre les limaces et les escargots essentiellement), les corvicides et les corvifuges (contre les oiseaux ravageurs de culture et surtout les corbeaux) et enfin les répulsifs.

Le deuxième système de classification tient compte de la nature chimique de la substance active majoritaire qui compose les produits phytosanitaires. Les principaux groupes chimiques comprennent les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoïdes, les triazines et les urées substituées.

1.3. Pollution diffuse et contaminations

1.3.1. Pollution diffuse

L'utilisation des produits phytosanitaires a permis d'augmenter considérablement les rendements agricoles en réduisant les pertes dues aux ravageurs des cultures, mais cela n'a pas été sans contre partie. En effet, c'est en 1962, aux Etats-Unis, que la biologiste réputée Rachel Carson dénonça pour la première fois, dans un ouvrage nommé « Le Printemps Silencieux », la toxicité liée aux organochlorés. Cet ouvrage déclencha un renversement dans la politique nationale envers les pesticides (Merhi, 2008). Par la suite, des études ont démontré l'accumulation des organochlorés dans l'environnement et dans la chaîne alimentaire.

Par ailleurs, dans les années 70, des premiers travaux ont montré que les produits phytosanitaires peuvent aussi être transférés vers les eaux de surface et les eaux de profondeur (Merhi, 2008). Ceci enclenche une prise de conscience des pouvoirs publics dans le monde. En 1972, les organochlorés sont interdits d'utilisation aux Etats-Unis et en Europe et une réglementation concernant spécifiquement les produits phytosanitaires est mise en place dans les années 80.

Lors de l'utilisation des produits phytosanitaires, une certaine quantité de ces substances se retrouve dans l'environnement, principalement dans l'air par dérive sous forme de gouttelettes ou sur le sol (Sinfort et *al.*, 2009). Ils peuvent alors être soumis à différents processus (Figure 1) (INERIS, 2005) :

- la photo-dégradation (Rifai, 2013);
- la dégradation par le phénomène d'hydrolyse aqueuse ou de biodégradation grâce aux micro-organismes présents dans le sol (Calvet et *al.*, 2005);
- la rétention dans le sol jusqu'à la formation de résidus liés (adsorption) (par exemple l'accumulation des fongicides à base de cuivre dans les sols) (Calvet et *al.*, 2005) ;
- la volatilisation (Yates, 2009).

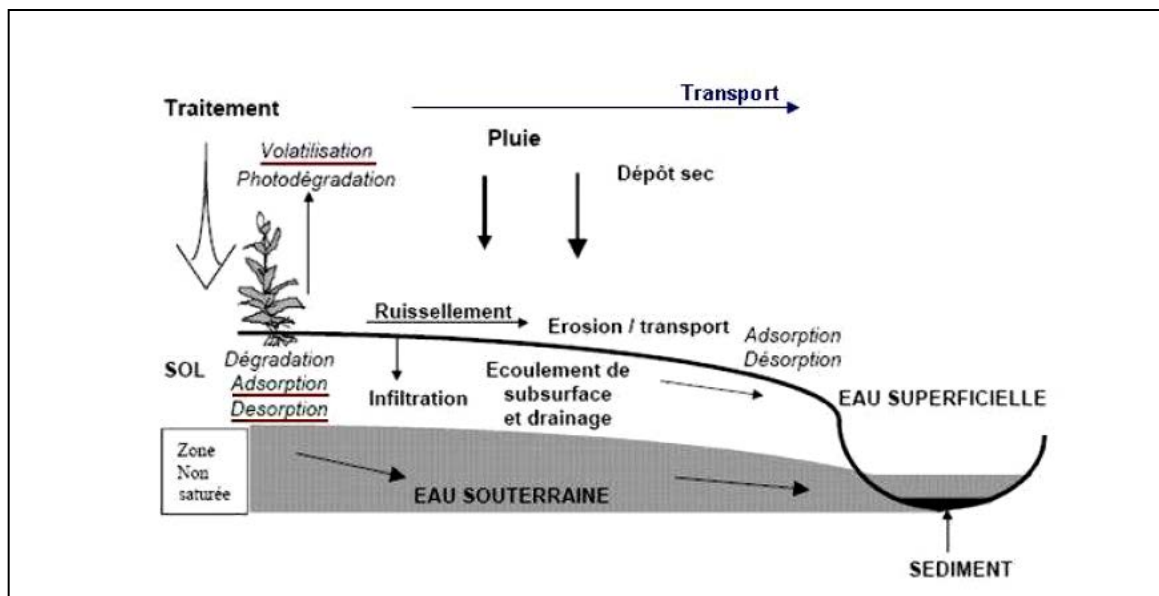


Figure 1 : Mécanismes de transferts et de transformations des pesticides dans les milieux de l'environnement (d'après le schéma conceptuel du CORPEN, INERIS 2005).

1.3.2. Contamination des eaux

L'une des conséquences environnementales majeures de l'agriculture intensive actuelle est la dégradation de la qualité des eaux. Cette dégradation se traduit, par une contamination des eaux de surface et des eaux souterraines, due aux intrants agricoles que sont les produits phytosanitaires, les engrais minéraux azotés et phosphatés ou encore les effluents d'élevage. Les pesticides peuvent facilement pénétrer dans le sol et les sources d'eau. Différents auteurs ont mis en évidence la présence de produits phytosanitaires dans les eaux de surface et de profondeur de bassins viticoles (La Jeunesse et *al.*, 2015). Au Bénin, des résidus de pesticides ont été retrouvés dans les rivières et les mares situées dans les zones de culture de coton au Nord Bénin (Adam et *al.*, 2010), ainsi que dans le fleuve Ouémé (Yehouenou et *al.*, 2006a et 2006b).

1.3.3. Contamination de l'air

Air extérieur

La présence de pesticides est observée dans l'atmosphère en concentrations variables dans le temps (avec parfois un caractère saisonnier, en lien avec les périodes d'application) et dans l'espace (selon la proximité des sources). L'air et l'eau pouvaient être contaminés, de manière locale, mais aussi à distance des lieux de traitement. Dans le cas spécifique de traitements en serre, des concentrations élevées ont pu être observées juste après l'application et malgré une décroissance, ces concentrations peuvent rester à un niveau significatif pendant plusieurs jours après le traitement.

Air intérieur

Les pesticides peuvent contaminer l'air intérieur non seulement suite à leur application ou leur stockage dans les logements mais également du fait du transport des produits utilisés à l'extérieur (agriculture, jardins, parcs) par l'intermédiaire des chaussures, des vêtements, des animaux domestiques ou par l'air. Il existe très peu de programmes de recherche dans le domaine de la qualité de l'air intérieur. Des études menées par l'INERIS en collaboration avec la Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de l'Université Paris V, sur des enfants de 6 à 7 ans ont montré qu'au moins un produit de type pesticide était présent dans 94% des foyers dont 93% d'insecticides, notamment des pyréthriinoïdes (88,5%) et des organophosphorés (39%), suivis par des fongicides pour plantes (30% des cas) et des herbicides (32% des cas). Parmi les pesticides les plus fréquemment retrouvés dans l'air figure le lindane (dans 88% des logements), un insecticide neurotoxique, interdit de tout usage en France (Bouvier et *al.*, 2006).

1.3.4. Contamination des sols

La contamination des sols par différentes substances, dont les pesticides, a été reconnue comme l'une des principales menaces qui pèsent sur les sols européens (Calvet et *al.*, 2005). Les pesticides dans les sols peuvent provenir des activités agricoles mais également des activités d'entretien des espaces verts et jardins ou de désherbage des réseaux routiers et ferrés. La vitesse d'infiltration des pesticides dans le sol dépend du sol (humidité, taux de matière organique, pH) et du pesticide.

Il est connu que les pesticides organochlorés sont assez persistants dans l'environnement et certains, bien qu'interdits d'usage peuvent rester présents dans le sol pendant plusieurs années (lindane, alpha-HCH). A l'heure actuelle, les pesticides utilisés (organophosphorés, pyréthriinoïdes, carbamates et autres) se dégradent rapidement, par contre

les herbicides sont assez persistants dans les sols et leurs produits de dégradation sont souvent stables.

La pollution par certaines substances minérales persistantes (cuivre dans les fongicides employés en viticulture) et l'existence éventuelle de "résidus liés" (non extractibles par les méthodes classiques d'analyse) pose le problème de risque environnemental à long terme (Barraclough et *al.*, 2005), notamment dans le cas d'une réallocation des terres agricoles à d'autres usages. Ce risque est illustré par le cas du chlordécone, utilisé de 1972 à 1993 en Guadeloupe et Martinique pour la lutte contre le charançon de la banane ; resté stocké dans les sols, il pollue depuis plusieurs années les eaux et peut contaminer les productions dans certaines zones (INRA-Cemagref, 2005). En outre, d'autres sources de contamination des sols proviennent des industries produisant et/ou procédant au stockage des substances phytosanitaires.

1.4. Les modes d'exposition possibles de l'homme aux pesticides

Les pesticides sont utilisés, non seulement dans l'agriculture, mais aussi par divers autres acteurs (industries, collectivités territoriales) ainsi qu'en usage domestique et vétérinaire. Des problèmes de résidus dans les légumes, les fruits, les vins, etc., sont aussi mis en évidence. L'exposition aux pesticides se caractérise donc par une multiplicité des voies d'exposition, ces substances pouvant pénétrer dans l'organisme par contact cutané, par ingestion et par inhalation. La grande variété de produits rend difficile l'évaluation des expositions des populations, qu'il s'agisse de la population exposée professionnellement (agriculteurs ou manipulateurs), ou de la population générale. La figure 2 résume les possibles modes d'exposition de l'homme et des différents milieux aux pesticides.

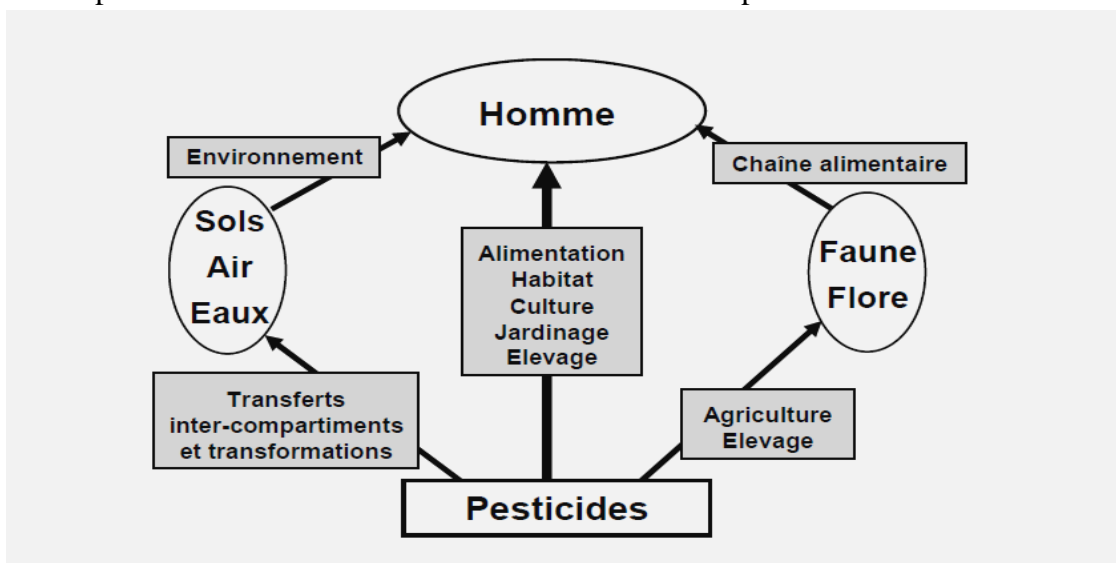


Figure 2 : Modes d'exposition de l'homme et des milieux aux pesticides (CPP, 2002)

1.4.1. Mesure de l'exposition

La diversité des produits, des pratiques et l'évolution des matières actives entraînent des difficultés méthodologiques considérables qui limitent l'estimation de l'exposition aux pesticides. Par ailleurs, la mesure des expositions peut être influencée par les situations exceptionnelles, voire accidentelles. Il est difficile de dissocier les effets propres à chaque substance active ; les produits sont souvent utilisés en mélange et les formulations peuvent aussi contenir d'autres produits toxiques (adjuvants ou autres « formulants ») (Zeljezic et *al.*, 2006).

Certains outils permettant d'estimer les expositions aux pesticides ont été décrits :

- *des outils biologiques* ; tels que le dosage direct des pesticides ou de leurs métabolites dans les compartiments biologiques (exemple : urines), ou la recherche d'effets précoces (génotoxicité) ;
- *des modèles prédictifs*, surtout appliqués aux professionnels, prenant en compte les méthodes d'application, les moyens de protection, ...
- *la reconstitution des expositions anciennes* au moyen de matrices activités-expositions construites idéalement par type de culture et par région.

1.4.2. Exposition professionnelle

L'exposition professionnelle concerne essentiellement les personnes manipulant les produits, au moment de la préparation, de l'application et du nettoyage des appareils de traitement. Les agriculteurs constituent une population particulièrement exposée qui forme un groupe sentinelle pour l'observation d'éventuels effets des pesticides. Cependant, les données des bilans de surveillance systématique (par les mutuelles agricoles par exemple) ne portent souvent que sur des manifestations toxiques aiguës ou subaiguës (Merhi, 2008). L'exposition professionnelle aux pesticides des agriculteurs est très variable et complexe selon les exploitations agricoles. Elle est le plus souvent saisonnière et correspond à une succession de journées d'utilisation de produits chimiquement différents au cours de la saison et souvent également au cours d'une même journée (Boulangier et *al.*, 2016). La reconstitution de l'exposition est également compliquée par l'évolution des pratiques agricoles au cours du temps. En général, l'exposition est essentiellement cutanée, à moindre mesure aérienne et secondairement orale (repas, tabac... sur le lieu de travail). L'absorption des pesticides par la peau est révélée comme la voie d'exposition la plus significative en milieu agricole (Jakubowski et Trzcinka-Ochocka, 2005). Par ailleurs, bien que les équipements de protection individuelle (gants, masques, combinaisons) constituent les principales mesures de prévention mises en œuvre afin de réduire l'exposition des professionnels, une étude menée en France, a

mis en évidence une insuffisance de l'efficacité de ces équipements. L'étude nommée PESTEXPO (Baldi et *al.*, 2006) visant à caractériser l'exposition et la contamination réelle des viticulteurs par des produits phytosanitaires (des fongicides dithiocarbamates), a montré que le port d'une combinaison de protection n'évitait pas totalement la contamination cutanée des opérateurs. Par contre, la contamination orale était relativement très faible. Cette problématique permet donc de montrer l'importance de la voie cutanée comme voie d'exposition critique au niveau professionnel.

1.4.3. Exposition non professionnelle

L'ensemble de la population peut être exposé aux pesticides lors des usages domestiques ou d'entretien des jardins mais surtout à des résidus de ces pesticides au travers de son environnement (eau, air, particules en suspension, poussières) et de son alimentation. Les chiffres de l'OMS indiquent que la contamination des aliments par les pesticides est la voie d'exposition de loin la plus importante. Les évaluations de risque attribuent 90% de l'exposition à l'alimentation contre 10% à l'eau. Le dernier rapport de la commission des communautés européennes concernant le suivi des résidus des pesticides dans les produits végétaux (Commission of the European Communities, 2007) donne un aperçu de l'état de contamination par ces produits dans les 25 Etats membres (+Norvège, Islande et Liechtenstein). Les principaux résultats montrent la présence de résidus détectables avec des niveaux inférieurs aux limites maximales de résidus dans 43% et supérieurs à ces limites dans 5% des 57334 échantillons de fruits, légumes et céréales analysés. Les échantillons testés provenaient en majorité de produits de l'Union Européenne (76%) mais également de produits importés (21%), le reste étant d'origine inconnue (2,7%) (Commission of the European Communities, 2007).

1.4.4. Exposition de l'enfant

L'exposition de l'enfant aux pesticides peut avoir lieu très tôt, in utero via le placenta suite à l'exposition de la mère (Etcheverry, 2013), mais également après la naissance, soit directement par exposition aux contaminations domestiques (pesticides utilisés dans la maison ou le jardin ou habiter dans une zone agricole) (Aschan-Leygonie et *al.*, 2015) ou via le lait maternel (Jurewicz et *al.*, 2006) et l'alimentation (Jurewicz et *al.*, 2006), soit indirectement pour les enfants de parents professionnellement exposés (exemple : agriculteurs). Il est à noter que l'alimentation a été montrée comme une source d'exposition majeure des enfants aux pesticides organophosphorés (Lu et *al.*, 2006 ; Lu et *al.*, 2008). Quant aux pesticides organochlorés, ils seraient essentiellement transmis via le lait maternel (Andree, 2017). En effet, selon une étude réalisée en Allemagne, les concentrations de composés organochlorés

(dont le DDT) sont très significativement supérieurs ($p < 0.0001$) dans les sérums de nouveau-nés allaités par rapport à ceux recevant du lait commercial (par exemple, $1,05\mu\text{g/L}$ versus $0,18\mu\text{g/L}$ pour le DDT) (Merhi, 2008).

1.5. Effets des pesticides sur la santé

1.5.1. Effets cancérigènes

1.5.1.1. Cancers de l'adulte - Exposition professionnelle

Chez les agriculteurs, malgré une espérance de vie plutôt supérieure à la moyenne du fait d'une sous-mortalité par maladies cardiovasculaires et par cancer en général, la mortalité et l'incidence de certains types de cancers sont augmentées par rapport à la population générale. Bien que de nombreuses études épidémiologiques suggèrent que cette augmentation serait corrélée avec l'exposition aux pesticides, cette relation reste toujours confuse et non conclusive.

Ainsi pour certains auteurs, il existe dans plusieurs études épidémiologiques, une association significative avec l'utilisation des pesticides pour certaines localisations tumorales telles que les cancers des lèvres, de la prostate, de l'estomac, des reins, du cerveau, mais également la plupart des cancers du système hématopoïétique (leucémies, myélomes multiples et surtout les lymphomes non hodgkiniens), le mélanome cutané et les sarcomes des tissus mous (Van Maele-Fabry et *al.*, 2006; Provost et *al.*, 2007). D'autre part, des études de corrélations géographiques (ou écologiques) ont suggéré des associations entre l'exposition environnementale (habitations dans des zones polluées ou agricoles) et l'augmentation du risque de mortalité par cancer (tumeurs cérébrales, tumeurs du système hématopoïétique et de la vessie) (Lee et *al.*, 2008b). De plus, il a été suggéré que certains cancers (le cancer des seins) pourraient être liés à l'exposition à certaines familles de pesticides (les organochlorés, en particulier le DDT) (Blanc-Lapierre et Baldi, 2011).

Dans une revue de la littérature portant sur l'association entre l'exposition chronique aux pesticides et le cancer, Bassil et *al.* ont observé qu'il existe une association positive significative entre l'augmentation du risque des leucémies, des lymphomes hodgkiniens et de certaines tumeurs solides en particulier les cancers du cerveau et de la prostate et l'exposition chronique (professionnelle ou domestique) aux pesticides (Bassil et *al.*, 2007). Une méta-analyse de 13 études cas-témoin concernant la relation entre l'exposition professionnelle aux pesticides et le risque d'apparition de cancers hématopoïétiques a été publiée entre 1990 et 2005. Les résultats ont montré que l'exposition professionnelle aux pesticides augmente significativement le risque de développement de cancers hématopoïétiques en particulier des

lymphomes non hodgkiniens et suite à des expositions supérieures à 10 ans (Merhi et *al.*, 2007).

En revanche pour d'autres auteurs, plusieurs études remettent en question cette relation de causalité et évoquent des causes de la fragilité des conclusions obtenues (Mink et *al.*, 2008; Salehi et *al.*, 2008). L'hétérogénéité et l'absence de concordance entre les données épidémiologiques concernant cette relation ont été également évoquées par Boffetta P. qui conclut qu'aucun cas de cancer ne pourrait être attribué à une exposition professionnelle ou non professionnelle, aux pesticides (Boffetta, 2006).

Une récente revue a montré que les résultats obtenus dans 13 études épidémiologiques (dont 8 cohortes) sont insuffisants et ne permettent pas de conclure quant à une augmentation du risque de cancer de la prostate suite à l'exposition professionnelle aux pesticides. Les auteurs soulignent également le fait que bien que les données disponibles tendent vers une association positive, aucune ne montre une augmentation du risque dépendante de l'augmentation de l'exposition ou de la durée (Mink et *al.*, 2008).

Malgré la forte significativité de l'association entre l'exposition professionnelle aux pesticides et l'augmentation des leucémies myéloïdes (risque relatif ; RR entre 6,32 et 6,99), obtenue par Van Maele-Fabry et *al.* dans deux larges méta-analyses, les auteurs soulignent l'insuffisance de données ne permettant pas de conclure sur le pesticide ou la famille de pesticides responsable de l'effet (Van Maele-Fabry et *al.*, 2007; Van Maele-Fabry et *al.*, 2008).

Malgré toutes ces divergences, et bien que la corrélation entre l'utilisation des pesticides et l'incidence de certains cancers ne soit pas clairement établie, des études cytogénétiques montrent l'existence, chez les utilisateurs des pesticides, de perturbations génétiques en relation avec le cancer. Globalement, ces études ont montré une augmentation de la fréquence des dommages à l'ADN (Simoniello et *al.*, 2008), des aberrations chromosomiques (exemple : cassures, translocations) (Muniz et *al.*, 2008), de la présence de micronoyaux (Costa et *al.*, 2006), d'adduits à l'ADN (Le Goff et *al.*, 2005) dans les lymphocytes du sang périphérique ainsi qu'une augmentation des bases oxydées de type 8-OH-dG dans le plasma (Muniz et *al.*, 2008). Bien qu'aucune relation n'ait été trouvée dans certaines études (Piperakis et *al.*, 2006a; Piperakis et *al.*, 2006b), ces dernières ont signalé que la majorité des personnes exposées prenaient des mesures de précautions (équipement de protection vestimentaire pour au moins 60% des personnes incluses). Par ailleurs, la présence de micronoyaux et d'aberrations chromosomiques a pu être reliée à l'absence ou à l'insuffisance de la protection des manipulateurs et ou des applicateurs des pesticides pendant l'activité (Costa et *al.*, 2006). En

conclusion, ces études confortent l'hypothèse selon laquelle les pesticides pourraient être au moins en partie à l'origine de certains cancers. En effet, certains cancers sont assez peu fréquents ce qui rend les études statistiques difficiles à réaliser et la plupart sont d'origine multifactorielle. Il n'est pas exclu, en effet, que d'autres facteurs de risque présents en milieu agricole puissent jouer un rôle dans l'incidence de ces pathologies et aient donc contribué à l'obtention d'une corrélation positive. Parmi ces facteurs, on peut citer le rayonnement solaire qui contribuerait au cancer des lèvres et au mélanome) ; les virus qui contribueraient au cancer de la prostate, aux leucémies et aux myélomes ; des facteurs communs tels le tabagisme qui contribuerait au cancer des lèvres, et l'alimentation qui contribuerait au cancer de la prostate et de l'estomac.

Enfin, pour apporter des arguments sur la plausibilité de la relation pesticides/cancers il est nécessaire de prendre en compte les expositions simultanées à des facteurs environnementaux (radiations, polluants, champs électromagnétiques) et les interactions gènes-environnement. En effet, les pesticides (et autres contaminants environnementaux) peuvent modifier l'expression de certains gènes via des mécanismes de régulation génique et épigénétique (Edwards et Myers, 2007).

1.5.1.2. Cancers de l'enfant

Les cancers constituent la deuxième cause de mortalité chez les enfants après les accidents domestiques (Nasterlack, 2007). Les leucémies représentent le groupe de cancers le plus fréquent chez l'enfant, suivies par les tumeurs cérébrales puis les lymphomes. Plusieurs facteurs peuvent être impliqués dans l'étiologie de ces cancers tels que l'exposition aux polluants environnementaux et en particulier les pesticides (Nasterlack, 2007).

En 1998, une revue d'études épidémiologiques a montré que l'exposition des enfants à des pesticides pourrait être associée au développement de tumeurs cérébrales, de leucémies et de lymphomes non hodgkiniens. Depuis, plusieurs études épidémiologiques ont été réalisées dans ce domaine (Merhi, 2008). Par exemple, il a été montré que l'incidence des cancers cérébraux était augmentée chez les enfants suite à l'exposition professionnelle des parents en particulier l'exposition du père (Clavel et Doz, 2016), mais également celle de la mère pendant la grossesse (Multigner, 2005). De plus, l'exposition professionnelle des parents a été associée à des cancers hématopoïétiques chez les enfants (Rudant et *al.*, 2007) comme par exemple des leucémies (Reynolds et *al.*, 2005) et des lymphomes non hodgkiniens (surtout suite à l'exposition paternelle) (Arjdali, 2016). D'autre part, il a été montré que le fait

d'habiter dans une zone agricole pourrait augmenter l'incidence des leucémies de l'enfant (Reynolds *et al.*, 2005).

Dans l'objectif d'apporter des précisions concernant le rôle des pesticides dans l'augmentation des cancers chez les enfants, Merhi (2008) a effectué une méta-analyse de 34 études (cas-témoins et cohortes) réalisées dans différents pays et concernant tous les types de cancers. Les résultats de cette étude montrent qu'une exposition aux pesticides est liée à une augmentation de 10% du risque de développer des cancers chez l'enfant. Ensuite, des analyses plus précises réalisées en fonction du i) type d'exposition : *directe* (enfant) et *indirecte* (mère ou père ou les deux), et de ii) la période d'exposition : avant la conception, pendant la grossesse (*in utero*) ou après la naissance, montrent que seule l'exposition indirecte était liée à l'augmentation des cancers. De plus, des analyses plus étayées ont permis de montrer l'importance de l'exposition maternelle aux pesticides puisqu'elle est associée à une augmentation de 30% de l'ensemble des cancers de la descendance. Aucune relation significative n'était observée dans le cas d'exposition paternelle dans cette étude. Pour l'ensemble des cancers, la période d'exposition « prénatale » semblerait la plus critique dans le sens où elle a présenté une augmentation de 36% de tous les cancers.

1.5.2. Effets sur le système endocrinien et la reproduction

Plusieurs études se sont intéressées aux effets des pesticides sur la reproduction, en particulier sur la fertilité masculine. Les pesticides peuvent agir au niveau de la spermatogénèse via des altérations des hormones ou des effets génotoxiques (Audebert, 2014). Par exemple une étude a montré une baisse significative du nombre et de la qualité des spermatozoïdes chez des ouvriers exposés au Chlordécone, un pesticide xéno-oestrogène (Legrand, 2016). D'autres études ont souligné l'effet des métabolites d'un fongicide, la Vinchlozoline, sur la reproduction chez les rats (Anway *et al.*, 2005). Cet effet affecte non seulement des rats exposés *in utero* mais également ceux des générations ultérieures. Ces effets étaient corrélés à une transmission épigénétique (Anway *et al.*, 2005). Par ailleurs, une étude réalisée auprès d'agriculteurs travaillant en serre au Danemark, a montré une relation inverse entre la concentration de spermatozoïdes, d'une part, et l'intensité de l'exposition ou le nombre d'années d'activité en serre, d'autre part (Medjdoub, 2013). De plus, des études de type cas-témoins chez des hommes consultant pour infécondité du couple montrent que l'exposition aux pesticides constitue un facteur de risque significatif pour la qualité du sperme (Srinivasa *et al.*, 2005). Une association entre le risque de cryptorchidie, une des

manifestations potentielles de la perturbation endocrinienne, et l'utilisation de pesticides, en particulier par la mère, a été montrée dans certaines études (Fernandez et *al.*, 2007).

Chez les enfants, la littérature disponible parle d'une puberté précoce associée à l'exposition aux organochlorés, d'une perturbation des hormones thyroïdiennes et sexuelles associée aux organophosphorés, pyréthrinoïdes ou éthylène-bis-dithiocarbamates (EBDCs) (Nicolopoulou-Stamati et *al.*, 2016). D'autres études associent des perturbations endocriniennes à des pesticides spécifiques, tels que Manèbe ou Zinèbe et un effet antithyroïdien, Vinchlozoline ou Procymidone ou DDT et effet anti-androgénique chez l'enfant (Mnif et *al.*, 2011).

1.5.3. Effets neurologiques et neurocomportementaux

Pour certains pesticides, la neurotoxicité est le mécanisme même de leur mode d'action (organophosphorés et inhibition de l'activité de l'acétylcholinestérase). Les effets aigus survenant à doses importantes chez les utilisateurs (surtout les agriculteurs) sont maintenant assez bien documentés notamment en raison des intoxications accidentelles (ou volontaires) (Ouédraogo et *al.*, 2009 ; Achour et *al.*, 2011). Ces effets informent sur la neurotoxicité potentielle de certains produits, principalement les organophosphorés et les carbamates, mais également les pyréthrinoïdes qui sont capables d'induire des paresthésies et des convulsions à des doses massives, et les dérivés de l'urée qui sont associés à différentes altérations tels que des troubles neurologiques centraux, une polyneuropathie, ainsi que les anciens organochlorés (comme DDT) qui peuvent entraîner des convulsions épileptiformes (Hénault-Ethier, 2015).

Quant aux effets chroniques les principales données disponibles concernent l'exposition aux pesticides et les troubles neurocomportementaux (Baldi et Lebailly, 2013) et neurodégénératifs (Blanc-Lapierre et *al.*, 2012) (tels que la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer) mais également des troubles du système nerveux périphérique (troubles neuromoteurs et neurosensoriels) (Moisan et *al.*, 2017). En revanche, l'association avec ces derniers semble moins claire et la plupart des études ont suggéré que le système nerveux central serait le plus souvent affecté (Masri et *al.*, 2011). Une enquête épidémiologique, « Phytoner », réalisée en Gironde (France), met en évidence que l'exposition des ouvriers viticoles aux pesticides altère leurs performances aux tests neurocomportementaux (Baldi et Lebailly, 2013).

1.5.4. Effets sur l'immunité

Les pesticides sont capables d'agir sur le système immunitaire selon différents mécanismes entraînant des pathologies immunitaires plus fréquentes chez l'enfant que chez

l'adulte. Certaines études ont montré que l'exposition de l'enfant aux pesticides organochlorés (en particulier DDE) engendrerait des altérations d'ordre immunologique, comme par exemple une augmentation des immunoglobulines IgE, et développement d'otites chroniques et d'asthmes bronchiques (Ruaux, 2013). Ces effets ont été observés essentiellement à la suite d'une exposition *in utero* ou via le lait maternel (p,p'-DDE et dieldrin) (Corsini *et al.*, 2008). D'autres études ont montré des perturbations de la production des cytokines (Medjdoub, 2013).

De plus, des études expérimentales *in vivo* et *in vitro* ont permis de déterminer l'effet immunotoxique et de comprendre le mécanisme d'action de certains pesticides. Par exemple, l'Atrazine induit une inhibition de la capacité des cellules NK humaines à sécréter des protéines lytiques sans affecter leur liaison avec les cellules cibles (Rowe *et al.*, 2007) et un effet immunomodulateur sur les lymphocytes T et NK humaines.

1.5.5. Les principaux mécanismes de toxicité des pesticides

Plusieurs études expérimentales *in vitro* ont permis de montrer que certains pesticides (l'Endosulfan, la Roténone, et des organophosphorés/Chlorpyrifos), peuvent induire un stress oxydant entraînant des perturbations de processus de régulation de la survie et de la prolifération cellulaire (Ledirac *et al.*, 2005 ; Saulsbury *et al.*, 2008).

Une augmentation des aberrations chromosomiques *in vitro* chez des lymphocytes humains a été observée en présence de certains pesticides tels que le Carbofuran, seul (Naravaneni and Jamil, 2007) ou en mélange avec l'Endosulfan et le Monochrotophos (Das *et al.*, 2007).

Par ailleurs, certains pesticides comme les carbamates et les organophosphorés provoquent une inhibition de l'activité de l'acétylcholinestérase au niveau du système nerveux périphérique ou central entraînant une hyperexcitabilité des cellules neuronales et des effets potentiellement neurotoxiques (Moser, 2007). Une inhibition de la neurotransmission provoquée par la diminution de l'activité de l'acétylcholinestérase cérébrale a également été liée à une suppression de la sécrétion d'hormones stimulant les gonades (exemple : hormone de stimulation folliculaire (FSH) et hormone lutéinisante (LH)) pouvant entraîner des effets sur la fertilité (Louat, 2013).

Chapitre 2 : Etude bibliographique sur les métaux lourds

2.1 Définition

Dans la convention de Genève de 1998, le terme "métaux lourds" est consacré aux métaux qui ont une masse volumique supérieure à $4,5 \text{ g/cm}^3$. L'expression "métaux toxiques" convient mieux que celle de "métaux lourds" utilisée habituellement. En effet, elle englobe l'ensemble des métaux et métalloïdes présentant un caractère toxique pour la santé et l'environnement : plomb (Pb), mercure (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd), Nickel (Ni), zinc (Zn), manganèse (Mn). Encore appelé éléments traces métalliques (ETM) ou éléments métalliques (EM), les métaux lourds les plus souvent considérés comme poisons pour l'Homme sont le plomb, le cadmium, le mercure et l'arsenic. D'autres comme le cuivre, le zinc, le chrome et le fer pourtant nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à doses plus importantes (Sirven, 2006). En effet, plusieurs métaux lourds ont une utilité dans le processus biologique. Le fer par exemple est un composant essentiel de l'hémoglobine ; le zinc, le cuivre sont des oligo-éléments indispensables à l'organisme.

Goyer (1991) classe les métaux lourds en quatre catégories selon leur degré de toxicité décroissante. On distingue :

- les métaux les plus toxiques : arsenic (As), béryllium (Be), cadmium (Cd), chrome (Cr), plomb (Pb), mercure (Hg), nickel (Ni) ;
- les métaux essentiels à la vie (oligo-éléments) avec une toxicité potentielle : cobalt (Co), cuivre (Cu), fer (Fe), manganèse (Mn), molybdène (Mo), sélénium (Se), zinc (Zn) ;
- les métaux présentant une toxicité liée à une thérapie médicale : aluminium (Al), bismuth (Bi), gallium (Ga), lithium (Li), platine (Pt) ;
- les métaux ayant une toxicité mineure : étain (Sn), baryum (Ba), indium (In), magnésium (Mg), argent (Ag), tellure (Te), titane (Ti), vanadium (V).

2.2 Sources des métaux lourds dans l'environnement

Les métaux lourds sont des composés qui se retrouvent dans tous les compartiments de l'environnement : l'air, l'eau et les sols. Ils sont à la fois d'origine naturelle et d'origine anthropique.

2.2.1 Sources naturelles

Si l'on s'intéresse aux effets sur la santé de quelques microgrammes de métal (0,000001 gramme), les gisements des métaux lourds au sein de la biosphère se chiffrent par millions de

tonnes (Miquel, 2001). Selon les métaux, les réserves les plus importantes se trouvent dans les roches et/ou les sédiments océaniques. Ils passent de minerais à contaminants par le phénomène de l'érosion. En plus des gisements, les métaux proviennent naturellement des éruptions volcaniques terrestres ou sous-marines. On estime que les volcans libèrent en moyenne annuelle dans le monde, de 800 à 1.400 tonnes de cadmium, 18.800 à 27.000 tonnes de cuivre, 3.200 à 4.200 tonnes de plomb, et 1.000 tonnes de mercure dans l'atmosphère (Miquel, 2001). En outre, les métaux proviennent aussi des incendies de forêts. Les métaux lourds sont redistribués naturellement dans l'environnement par les processus géologiques et les cycles biologiques.

2.2.2 Sources anthropiques

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait, des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes (Bennacer et Boubegtitene, 2016). Les sources anthropiques des métaux lourds sont entre autres : les activités pétrochimiques, l'utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières industrielles, fours à ciment...), le transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations), l'incinération de déchets, les produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents), les déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères) et agricoles (Boukrah, 2008).

2.3 Comportement des métaux lourds dans le sol

2.3.1 Mobilité et biodisponibilité des éléments métalliques

Une fois dans les sols, les éléments métalliques se répartissent entre la phase liquide et la phase solide qui constituent ces sols. Le plus souvent, la quantité d'EM dans la phase liquide est infime, les métaux se concentrant surtout dans la phase solide du sol dans laquelle ils se répartissent entre les différentes fractions organiques et minérales (Figure 3).

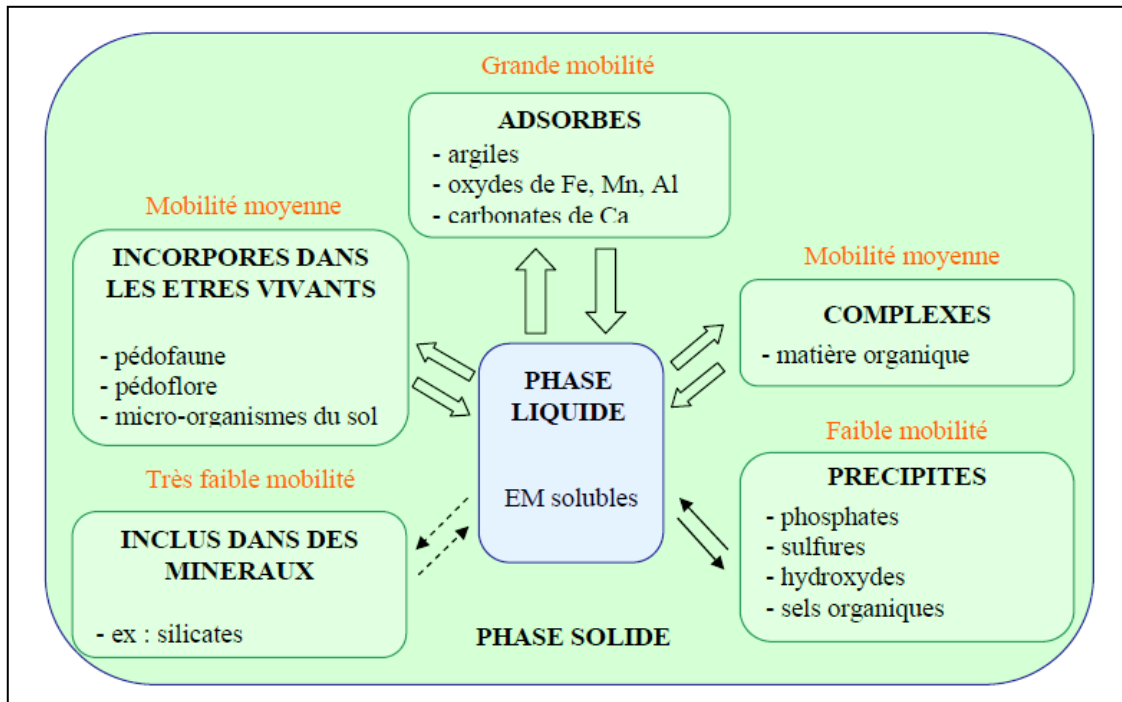


Figure 3 : Répartition des éléments métalliques entre les compartiments du sol, sous les différentes formes possibles, avec indication de leur mobilité par des flèches
 Source : Viard, 2004

Par définition, la mobilité désigne l'aptitude d'un élément à être transféré vers des compartiments du sol où il est de moins en moins énergétiquement retenu, le compartiment ultime étant la solution du sol (Sirven, 2006). La biodisponibilité caractérise l'aptitude d'un élément à passer d'un compartiment quelconque du sol dans un être vivant, (bactérie, végétal, animal ou homme). L'élément métallique qui se trouve dans un organisme est par définition biodisponible. La biodisponibilité recouvre deux phénomènes distincts :

- la disponibilité environnementale qui tient compte des processus physico-chimiques régissant la partition des EM entre la phase solide et la phase liquide du sol ;
- la biodisponibilité environnementale qui s'intéresse aux processus physiologiques liés à l'absorption de l'élément métallique.

Le pool labile d'un élément métallique (c'est-à-dire sa mobilité et sa biodisponibilité) varie en fonction des propriétés du sol. La répartition des EM entre les différents compartiments, qui a un impact direct sur leur biodisponibilité, n'est pas figée et se trouve sous l'influence de facteurs externes tels que les propriétés physico-chimiques du sol (pH, CEC, matière organique, texture...), le type de végétation présente à la surface ou les facteurs environnementaux (conditions climatiques, pratiques agricoles, topographie...).

2.3.2 Paramètres influençant la mobilité des éléments métalliques

De nombreuses études ont mis en évidence l'influence du pH sur la mobilité des éléments métalliques dans un sol (Sirven, 2006). La majorité des éléments métalliques est plus mobile en conditions acides qu'en conditions alcalines : l'abaissement du pH favorise la mobilité des éléments métalliques notamment par la mise en solution des sels métalliques alors qu'au contraire, l'augmentation du pH provoque l'immobilisation des éléments métalliques par la formation de composés insolubles (N'guessan et *al.*, 2017). Ce phénomène s'explique par la compétition avec les protons (Martínez-González, et *al.*, 2016). Dans les sols à pH acide, la plupart des sites de liaison potentiels sont occupés par des protons, les métaux sont donc libres et mobiles. Par contre, quand le pH augmente pour devenir alcalin voire basique, la compétition des éléments métalliques avec les protons, en nombre inférieur, diminue : les sites de liaison sont occupés par les éléments métalliques et donc immobilisés.

D'autres facteurs édaphiques interviennent, dans une moindre mesure, sur la mobilité des éléments métalliques : la matière organique (MO), la granulométrie ou le potentiel d'oxydo-réduction. La matière organique joue un rôle dans la partition des éléments métalliques, entre la phase solide et la phase liquide du sol, par complexation des éléments métalliques à la MO (Deschamps et *al.*, 2006). Ainsi, un sol riche en carbone organique produira une grande quantité de CO₂, formant des composés stables dans le sol. Un sol de texture grossière présentera une quantité plus importante d'éléments métalliques mobiles. Les facteurs favorisant l'anoxie d'un sol (pratiques culturales influençant le degré d'aération d'un sol ou les conditions climatiques) modifient la mobilité de certains EM comme le manganèse et le fer, dont les formes réduites sont plus mobiles dans les sols que les formes oxydées. De plus, les conditions d'oxydo-réduction ont aussi une influence sur les composants du sol fixant les EM : ainsi, en condition aérobie, les composés ferriques et manganiques sont très peu solubles et immobilisent donc les EM qui leur sont associés. A l'inverse, en condition anaérobie, ces composés vont être réduits et solubilisés, entraînant une libération des EM associés (Testiati, 2012). Dans le même temps, les réactions d'oxydo-réduction peuvent avoir une action importante pour certains éléments métalliques dont la toxicité varie selon leur forme chimique : ainsi, le chrome est beaucoup plus toxique sous forme Cr(VI) que sous forme Cr(III) (Devallois, 2009). Le tableau suivant synthétise la mobilité potentielle des éléments métalliques étudiés en fonction du pH du sol et de son potentiel d'oxydo-réduction.

Tableau I : Influence du pH et du potentiel redox sur la mobilité des éléments métalliques étudiés

Mobilité relative	pH		Potentiel redox	
	Neutre-alkalin	Acide	Oxydant	Réducteur
Très haute				
Haute		Zn, Cd, Ni, Mn	Cu, Ni, Zn, Cd	
Moyenne	Mn	Fe (III)	Pb	Mn
Faible	Pb, Fe, Zn, Cd		Cr, Fe, Mn	Fe, Zn, Ni
Très faible	Cr, Ni			Cr, Cu, Cd, Pb

Source : Viard, 2004

L'influence de chaque paramètre édaphique est donc difficile à évaluer, d'autant plus qu'ils sont étroitement liés et que la variation d'un seul entraîne la variation de plusieurs autres. La biodisponibilité des éléments métalliques dépend donc de leur mobilité dans le sol mais aussi de leur disponibilité et de la forme chimique sous laquelle ils sont présents ou spéciation.

2.3.3 Transfert des polluants vers les invertébrés terrestres

Les organismes terrestres ont, potentiellement, plusieurs voies d'absorption dépendant principalement de l'écologie de l'organisme considéré (de Vaufleury et *al.*, 2011). Ces voies d'absorption sont :

- la voie digestive par ingestion de nourriture (sol, végétaux ou animaux en décomposition, eau)
- la voie cutanée par contact direct avec les polluants du sol
- la voie respiratoire par inhalation de gaz et de particules en suspension dans l'atmosphère.

Les principales voies d'exposition d'un escargot sont présentées dans la figure suivante.

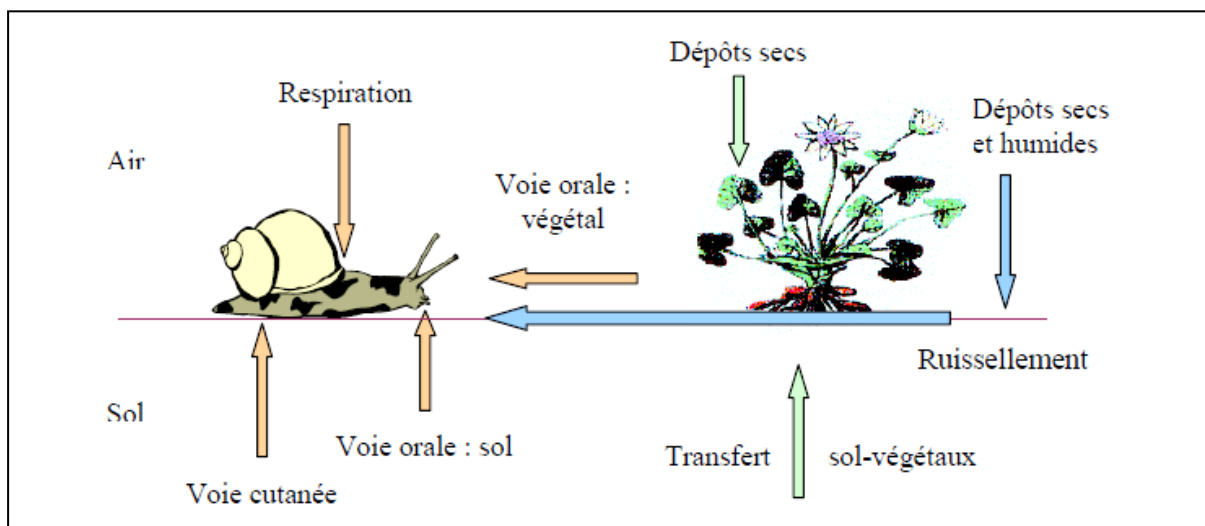


Figure 4 : Les principales voies d'exposition des escargots

Source : Viard, 2004

Les risques encourus par les organismes dépendent de la durée d'exposition au toxique, de l'importance des dommages physiologiques engendrés (diminution du taux de croissance, de reproduction ou de survie) et de la vitesse à laquelle l'organisme est capable de recouvrer son état d'origine, ou réversibilité, une fois le toxique éliminé, inactivé ou transformé (Huynh, 2009). L'évaluation de l'exposition est difficile à réaliser mais revêt une importance capitale : des différences entre espèces peuvent s'expliquer par des expositions différentes. Ainsi, les organismes vivant à l'interface air-sol sont exposés à des doses supérieures de contaminants car ces derniers tendent à se concentrer à ce niveau. De plus, chaque espèce présente une sensibilité propre déterminée par les propriétés intrinsèques des organismes, comme la présence de système de détoxification adapté ou de cibles biochimiques potentielles : elle s'exprime grâce aux doses létales (DLx) ou concentrations ayant un effet (CEx).

L'écotoxicité d'une substance varie non seulement entre les espèces mais aussi en fonction des caractéristiques du sol, pouvant influencer la bioconcentration en métaux par modification de leur biodisponibilité (Gourlay-Francé et *al.*, 2010).

2.4 Devenir des métaux lourds dans les organismes et toxicité

Dans l'environnement, les métaux sont présents, le plus souvent, à l'état de traces. En raison de la complexité des sols, l'évaluation de la contamination métallique s'avère très délicate. Pour évaluer les transferts de polluants dans les chaînes alimentaires, il est nécessaire de connaître leur devenir (accumulation, excrétion ou transformation), leur distribution au sein de l'organisme et leur forme de stockage.

2.4.1 Devenir des métaux lourds dans les invertébrés

2.4.1.1 Principales voies d'entrée dans l'organisme des invertébrés

La majorité des invertébrés terrestres, dont les gastéropodes, absorbent les EM essentiels ou toxiques par la nourriture et une absorption via l'épithélium digestif, ou par la peau (Medhioub, 2011). Une fois les différentes barrières biologiques passées (épithélium cutané et digestif), les éléments métalliques circulent dans l'organisme grâce à l'hémolymphe et sont distribués entre les différents organes où ils peuvent être stockés. Les hémocytes jouent un rôle important dans le métabolisme des métaux et leur distribution dans les différents tissus, grâce à leur faculté de phagocytose des corps étrangers (Gagnaire, 2005).

2.4.1.2 Différentes formes de stockage des éléments métalliques

2.4.1.2.1 Les granules intracellulaires

Au niveau cellulaire, certains métaux sont directement dirigés vers des cellules spécifiques dans lesquelles ils seront séquestrés dans des granules de nature variée (Brunet, 2008). Les granules sont des structures sphériques, denses aux électrons, classés en quatre catégories (Gimbert, 2006) en fonction des affinités des métaux pour les ligands oxygénés (classe A), les ligands azotés ou soufrés (classe B) ou pour les deux types de ligands (classe intermédiaire) (Annexe 1) :

- *les granules de type A*, constitués de couches concentriques de phosphates, de calcium et de magnésium, peuvent séquestrer des métaux de classe A et intermédiaire (Mn, Zn...). Chez les mollusques, ces granules, désignés concrétions ou sphérocristaux, permettraient la détoxification de ces EM ou la constitution de réserves de calcium. La tolérance de l'escargot vis-à-vis de concentrations élevées en Zn est due à l'incorporation de ce métal dans des granules de pyrophosphate riches en calcium, présents dans les cellules à calcium de la glande digestive (Moreno et Docampo, 2009).

- *les granules de type B*, d'aspect plus hétérogène, contiennent de grandes quantités de soufre, probablement issues de la dégradation de métallothionéines (Gimbert, 2006), associées avec des métaux de classe B ou intermédiaire (Cu, Cd, Zn, Pb...). Ces granules présentent une forme de stockage importante permettant la détoxification des EM.

- *les granules de type C* sont composés presque exclusivement de fer, associés à d'autres EM (Pb ou Zn) chez les individus exposés à de fortes concentrations.

- Dans *les granules de type D*, aucun métal n'a jamais été détecté en quantité significative.

- Cas particulier des concrétions à silice dans les cellules rénales (Aranguren, 2008).

Lorsqu'ils sont séquestrés dans des granules, les EM peuvent être stockés dans les tissus pendant de longues périodes ou excrétés dans la lumière du tube digestif (Grara *et al.*, 2012). Ces granules ont été observés chez de nombreux invertébrés terrestres dont les gastéropodes (Boudour, 2014).

2.4.1.2.2 Les protéines liant les métaux

Au niveau moléculaire, quelques métaux tels que le zinc, le cuivre ou le cadmium, peuvent se lier à des métallothionéines cytosoliques ou d'autres protéines liant les métaux (Desaunay, 2011). Les métallothionéines sont des molécules de faible poids moléculaire, de composition en acides aminés distincts et riches en soufre, grâce auquel elles sont capables de lier des métaux des classes B ou intermédiaires. Inductibles lors d'exposition aux EM, les métallothionéines interviennent non seulement dans la détoxification des éléments toxiques mais aussi dans le maintien de l'homéostasie ou le métabolisme des éléments essentiels comme le cuivre ou le zinc, afin de les maintenir disponibles pour d'autres métalloprotéines comme l'hémocyanine (Scheifler *et al.*, 2002). Les métaux présentent une affinité variable pour les MTs selon l'ordre Hg>>Cu-Ag>>Cd>Pb>Zn>Co>Fe. Dans la glande digestive des escargots, un des isoformes d'une métallothionéine entre en jeu dans l'accumulation, la fixation et la détoxification du cadmium. Le second isoforme, présent lui dans le manteau, se lie exclusivement au cuivre et permet la régulation de la concentration intracellulaire en cuivre (Pedrini-Martha *et al.*, 2017). Quand les possibilités de liaison aux métallothionéines sont saturées, soit des effets toxiques apparaissent dans les cellules, soit une autre stratégie de détoxification intervient comme l'excrétion (Oves *et al.*, 2016).

2.4.1.2.3 Accumulation des éléments métalliques

L'accumulation est un phénomène par lequel une substance, présente dans l'environnement, pénètre dans un organisme même si elle n'a aucun rôle métabolique, voire même si elle est toxique pour ce dernier (Ramade, 2007). L'accumulation traduit un état d'équilibre dynamique entre les processus d'absorption, de distribution, de stockage et d'excrétion (Gimbert, 2006) et permet d'indiquer le niveau de contamination d'un milieu.

Parmi la faune du sol, les Collemboles, les Vers de terre, les Isopodes et les Gastéropodes présentent des facultés d'accumulation importantes. Boháč et Pospíšil (1989) cités par Viard (2004) ont proposé une classification des invertébrés terrestres en différents groupes en fonction de leur capacité à accumuler les métaux lourds (Tableau II), représentée par le facteur de bioaccumulation (BAF) pour chacun des métaux :

$$\text{BAF} > 2 \text{ macroconcentreur}$$

$1 \leq \text{BAF} \leq 2$ microconcentreur

$\text{BAF} < 1$ déconcentreur

Tableau II : Classification des invertébrés terrestres selon Boháč et Pospíšil (1989) et les résultats obtenus par Dallinger (1993) pour quelques gastéropodes terrestres

Eléments	Macroconcentreur	Microconcentreur	Déconcentreur
Cd	<i>Helix pomatia</i> , <i>Helix aspersa</i> , <i>Cepaea nemoralis</i> , <i>Arianta</i> <i>arbustorum</i>	-	-
Cr	-	-	Toutes les espèces étudiées
Cu	Arachnides, Lombricidés, Isopodes, Diplopodes, <i>Helix</i> <i>pomatia</i> , <i>Helix aspersa</i> , <i>Arianta</i> <i>arbustorum</i>	-	Hétéroptères
Mn	-	Lombricidés	Lombricidés, Arachnides, Diplopodes, Isopodes
Pb	Lombricidés, Isopodes, Diplopodes, Chilopodes	Coléoptères, <i>Helix</i> <i>pomatia</i> , <i>Arianta</i> <i>arbustorum</i>	-
Zn	<i>Helix pomatia</i> , <i>Arianta</i> <i>arbustorum</i>	<i>Helix aspersa</i>	-

Source : Viard, 2004

2.4.2 Devenir des polluants organiques

La majorité des études concernant le devenir des polluants organiques, dont les HAPs, dans les organismes vivants ont été réalisées dans des écosystèmes aquatiques, afin d'évaluer leur accumulation dans les sédiments et la faune ainsi que leur transfert dans la chaîne trophique par biomagnification (Vignet, 2014). Les composés organiques peuvent s'accumuler dans les organismes après leur pénétration directement à partir de l'eau au niveau des branchies et de la peau, par ingestion de particules en suspension dans l'eau ou par la consommation de nourriture contaminée (Vignet, 2014).

Une fois que le polluant organique a pénétré dans un organisme, il se répartit entre quatre sites distincts :

- sites de métabolisme où les polluants organiques sont métabolisés par des enzymes soit en métabolites détoxifiés (métabolites polaires hydrophiles plus facilement excrétables) soit, au contraire, en métabolites plus toxiques (phénomène d'activation) ;
- sites d'action toxique où les molécules interagissent avec des molécules endogènes (ADN, protéine) ou des structures cellulaires, à l'origine de toxicité ;

- sites de stockages dans lesquels les polluants sont conjugués ou complexés. Chez les animaux, les structures de stockage sont surtout des structures lipophiles ou des membranes cellulaires ;

- sites d'excrétion du contaminant ou de ses métabolites. L'excrétion se fait généralement par les fèces ou l'urine, en fonction des métabolites produits et de l'espèce.

2.4.3 Toxicité aiguë et chronique des polluants

2.4.3.1 Le cadmium

➤ Sources d'exposition et comportement

Le cadmium est un élément rare, présent dans la croûte terrestre à des concentrations entre 1 et 2 ppm, le plus souvent associé au zinc et au plomb. Le cadmium rejeté dans l'atmosphère provient de sources naturelles et anthropiques, telles que le raffinage de métaux non ferreux, la combustion de charbon et de produits pétroliers, l'incinération d'ordures ménagères, les engrais phosphatés ou la métallurgie. Dans l'environnement, il n'est quasiment jamais retrouvé à l'état particulaire mais est présent dans son état d'oxydation unique Cd^{2+} , sous forme d'oxyde, de chlorure ou de sulfure.

Dans les sols, le cadmium est assez mobile mais a tendance à s'accumuler dans les horizons de surface riches en matières organiques. Sa mobilité est fonction du pH. Peu volatile dans l'air, il est présent majoritairement sous forme particulaire.

➤ Ecotoxicité

De nombreuses données sont disponibles concernant la toxicité du cadmium, c'est pourquoi seules les données concernant sa toxicité sur les invertébrés terrestres sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau III : Toxicité du chlorure de cadmium sur différents invertébrés terrestres

Organismes	Espèce	Critère d'effet	Valeur ($\mu\text{g.g}^{-1}$ PS)	Référence
Annélides	<i>Eisenia fetida</i>	NOEC 56 jours NOEC 21 jours	5	INERIS
	<i>Eisenia andrei</i>	CL 50 CE 50	10	INERIS
	<i>Enchytraeus albidus</i>		554 130	Lock et Janssen, 2002a
Insectes	<i>Folsomia candida</i>	NOEC 42 jours NOEC 35 jours	50	INERIS
			71-148	INERIS
			778-977 159-326	Crommentuijn et al., (1995a, 1995b)
			34.8-326	
Gastéropodes	<i>Helix aspersa</i>	CE 50	140	Gomot, 1997

Source : Viard, 2004

➤ **Toxicité pour l'homme**

Les principales voies d'absorption du cadmium chez l'homme sont l'inhalation et l'ingestion. Une fois absorbé, il va être transporté dans le sang, fixé à l'hémoglobine ou à des métallothionéines, et va se concentrer principalement dans le foie et le rein (à hauteur de 50 à 70% du cadmium total) ainsi que dans le pancréas, les testicules, la glande thyroïde et les glandes salivaires. Il pourra enfin être excrété dans les phanères, les fèces ou l'urine.

Une intoxication aiguë due à ce métal, lors d'exposition par voie orale, est à l'origine de l'apparition de différents symptômes tels que des épisodes gastro-entériques, des vomissements, des diarrhées ou des douleurs musculaires. En cas d'inhalation de fumées de cadmium, la mortalité est estimée entre 15 et 20% des sujets exposés, trois jours après, suite à une irritation pulmonaire sévère.

Lors d'une exposition chronique à ce métal, le rein est l'organe cible principal ; des néphropathies irréversibles peuvent se développer, pouvant évoluer vers des insuffisances rénales. Des troubles respiratoires sont associés aux particules et poussières présentes dans les fumées, dus à leur caractère irritant. Dans certains cas, le squelette peut aussi être atteint par modification de métabolisme du calcium.

Selon la classification de l'IARC (International Agency for Research on Cancer), le cadmium et ses dérivés appartiennent au groupe 1 soit « agent cancérogène pour l'homme ».

2.4.3.2 Le plomb

➤ **Sources d'exposition et comportement**

Le plomb est présent dans tous les compartiments de la biosphère. Les sources principales d'émission de plomb dans l'atmosphère sont les fumées industrielles et les gaz d'échappement mais aussi les déchets industriels solides provenant de l'extraction des minerais de plomb, du recyclage des batteries électriques ou de l'affinage du plomb.

La plupart des composés inorganiques du plomb (galène, cérusite et anglésite) sont peu solubles dans l'eau, les composés halogénés ou les acétates de plomb étant plus solubles. Dans le sol, la mobilité du plomb est réduite en raison de sa forte affinité pour les constituants du sol (matière organique, oxydes de manganèse, argile). Il s'accumule donc dans les horizons de surface.

➤ **Ecotoxicité**

De nombreuses données sont disponibles concernant la toxicité du plomb, c'est pourquoi seules les données concernant sa toxicité sur les invertébrés terrestres sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau IV : Toxicité du plomb sur différents invertébrés terrestres (sem : semaines)

Organismes	Espèce	Critère d'effet	Valeur (mg.kg ⁻¹ PS)	Référence
Annélides	<i>Eisenia fetida</i>	NOEC	2000 (8 sem)	INERIS
		Pb(CH ₃ COO) ₂		
	<i>Lumbricus rubellus</i>	NOEC PbCl ₂	200 (12 sem)	INERIS
	<i>Enchytraeus albidus</i>	CL 50	4530	Lock et Janssen, 2002a
	CE 50	320		
Gastéropodes	<i>Arion ater</i>	NOEC Pb(NO ₃) ₂	1000 (7 jours)	INERIS
	<i>Helix aspersa</i>	CE 50 juvéniles	> 30000	Gomot, 2000

Source : Viard, 2004

➤ Toxicité pour l'homme

Les principales voies de pénétration du plomb chez l'homme sont la voie digestive et la voie pulmonaire. Le plomb atmosphérique, présent sous forme de gaz, vapeur ou particules, peut alors migrer jusque dans les alvéoles pulmonaires et passer dans le sang. Il peut alors soit se fixer aux hématies, soit être stocké dans les tissus (os, foie, rein, poumon, cerveau). Le plomb non absorbé lors de son passage dans le tractus gastro-intestinal est éliminé par les fèces.

Les cas d'intoxication aiguë sont très rares et se rencontrent lors d'inhalation ou d'absorption accidentelle 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 : irritabilité, troubles du sommeil, anxiété, perte de mémoire, confusion... Chez les enfants, le plomb peut avoir des effets sur le développement cérébral et les fonctions cognitives.

Outres ces effets sur le système nerveux, le plomb peut être à l'origine d'effets hématologiques (anémie par inhibition de la synthèse de l'hème), d'atteintes rénales, d'hyperthyroïdie ou de troubles du système immunitaire.

Selon l'IARC, le plomb et ses dérivés sont classés dans le groupe 2B « substance potentiellement cancérigènes pour l'homme ».

2.5 Evaluation des risques environnementaux et pour la santé humaine

L'évaluation des risques est une méthodologie née au début des années 80 pour répondre aux préoccupations croissantes de la société en matière de santé environnementale et

à son souci de précaution. Il est nécessaire d'adopter une approche intégrée associant concepts environnementaux, chimiques, toxicologiques et écologiques afin de pouvoir comprendre les effets écotoxicologiques des polluants dans les écosystèmes contaminés (Fent, 2003).

L'évaluation des impacts d'une substance sur le milieu se déroule en trois étapes :

- évaluation des dangers par la caractérisation de l'écotoxicité d'une substance en vue d'identifier sa concentration prédite sans effet sur l'environnement ou PNEC ;
- évaluation de l'exposition des populations et de l'écosystème à une substance visant à déterminer sa concentration prédite dans l'environnement ou PEC ;
- caractérisation des risques correspondant à une confrontation de la concentration d'exposition à la substance et de sa concentration prédite sans effet sur l'environnement.

Si le rapport PEC/PNEC est inférieur à 1, le milieu récepteur n'est pas directement menacé par la substance ; si le rapport PEC/PNEC est supérieur à 1, il existe un risque potentiel pour le milieu récepteur.

Pour chaque compartiment de l'environnement (eau douce, eau marine, sédiment, sol, etc.), la concentration prédite sans effet (PNEC) d'une substance peut être déterminée lorsqu'il existe suffisamment d'informations sur l'écotoxicité de cette substance. En dessous de cette concentration, la substance ne devrait pas avoir d'effet indésirable sur le compartiment de l'environnement considéré. Une PNEC est extrapolée à partir de résultats d'essais d'écotoxicité réalisés en laboratoire, sur des organismes représentant tous les niveaux trophiques du milieu récepteur.

Pour évaluer les risques d'une substance sur la santé humaine, l'analyse des données toxicologiques permet de déduire les valeurs de **Dose Journalière Tolérable (DJT)**, valeur à comparer à l'exposition réelle des hommes à la substance dans l'environnement, exprimée par la **Dose Journalière (DJ)** : si le rapport DJ/DJT est inférieur à 1, il n'y a aucun risque pour l'homme.

Chapitre 3 : Généralités sur les achatines

3.1 Systématique

Les escargots géants africains sont des Mollusques Gastéropodes Pulmonés Stylommatophores. Ce sont des invertébrés à corps mou, non segmenté à symétrie plus au moins bilatérale, se déplaçant grâce à des ondes musculaires parcourant la sole pédieuse. Ils sont pourvus d'une cavité pulmonaire et de deux paires de tentacules rétractiles inégaux du point de vue de la taille.

La taxonomie des escargots est complexe et fait l'objet de plusieurs controverses par les auteurs. Elle comprend plusieurs genres, sous-genres, de très nombreuses espèces et de multiples sous-espèces. Les travaux cités par Otchoumou (2005) de Bequaert (1950) sur la classification des achatinidae, d'Abbott (1949) sur les escargots géants africains, de Crowley et Pain (1959 et 1970) sur les deux genres *Burtoa* et *Limicolaria* et de Mead (1961) sur l'examen de l'anatomie des appareils génitaux des achatinidae ont permis de distinguer les genres suivants :

- ✓ *Achatina* Lamarck, 1799
- ✓ *Archachatina* Albers, 1850
- ✓ *Atopocochis* Muller, 1774
- ✓ *Burtoa* Bourguignat, 1889
- ✓ *Callistopepla* Ancey, 1888
- ✓ *Columa* Perry, 1811
- ✓ *Lignus* Gray, 1834
- ✓ *Limicolaria* Schumacher, 1817
- ✓ *Metachatina* Pisbry, 1904
- ✓ *Perideriopsis* Putzeys, 1898
- ✓ *Pseudachatina* Albers, 1850

Ces genres comprennent un total de 56 espèces réparties en 71 taxa.

3.1.1 Famille des Achatinidae

Le groupe des Stylommatophores (ordre) qui correspond aux escargots et aux limaces terrestres comprend de nombreuses espèces d'escargots vivant dans les forêts d'Afrique et dans les régions du Pacifique. Ce sont les plus gros mollusques terrestres vivants, leur poids variant de 200 à 600 grammes (Zongo, 1990).

On distingue en général deux grands genres présentant aussi un intérêt pour l'achaticulture : *Archachatina* et *Achatina* qui se distinguent morphologiquement par la

forme, la taille et la couleur de coquille, la taille et le nombre d'œufs par ponte (Codjia et Noumonvi, 2002).

3.1.2 Caractéristiques

- **Archachatina (*A. marginata* et *A. ventricosa*)**

Ce genre Archachatina est caractérisé par :

- Un sommet de la coquille ;
- Peu d'œufs (3 à 12 œufs) en moyenne 7 œufs par ponte, 12 à 15 fois l'an ;
- De gros œufs (1,5 à 2,5 g) ;
- Des jeunes très résistants.

- **Achatina (*A. achatina* et *A. fulica*)**

Ce genre Achatina est caractérisé par :

- un sommet de la coquille pointu ;
- beaucoup d'œufs (50 à 400), en moyenne 225 œufs par ponte, 1 à 2 fois l'an ;
- de petits œufs (0,3 à 0,8g) ;
- des jeunes très fragiles (Codjia et Noumonvi, 2002).

Selon Becquaert (1950), le genre Achatina est présent en Afrique occidentale au Sud du Sahara. Ces espèces dont le nombre se situerait entre 65 et 80, sont réparties en huit sous genres dont les plus connues en Afrique sont : - *Achatina fulica* (Bowdich) - *Achatina achatina* (Linné) - *Achatina monochromatica* (Pilsbry) - *Achatina balteata* (Reeve).

Le genre Archachatina comprendrait selon Mead (1950) et Becquaert (1950), quatre sous-genres. Ces espèces sont limitées en Afrique Occidentale (Hodasi, 1984) dont les plus courantes de ce genre sont : - *Archachatina (calachatina) degneri* (Becquaert et Clench) - *Archachatina (calachatina) ventricosa* (Gould) - *Archachatina (calachatina) marginata* (Swainson).

3.1.3 Description de quelques espèces

3.1.3.1 *Achatina fulica*

On le rencontre en Afrique de l'Est, en Afrique de l'Ouest où il a été introduit et dans les îles du pacifique. On le trouve dans les jardins, les jachères et autour des maisons d'habitation. Sa coquille est effilée et il est communément appelé « escargot des jardins ». Il peut atteindre 130 g et est capable de pondre 50 à 120 œufs de petite taille de 30 à 60 g (Zongo, 1990).

3.1.3.2 *Achatina achatina*

Mead (1950) distingue sept sous-espèces de l'espèce *Achatina achatina* après une étude d'anatomie fine complétée des caractères de la coquille dont deux sont décrites comme suit.

- **La sous-espèce *Achatina monochromatica***

Elle est rencontrée au Bénin et en Sierra-Léone, et est reconnaissable par sa coquille monochrome. Elle peut atteindre 200 g, pond des œufs peu nombreux (20-40) et assez gros de 8,5 à 11,3 mm de longueur sur 6,6 mm de large (Nisbet, 1974).

- **La sous-espèce *Achatina balteata***

On la rencontre en Afrique Equatoriale, du Cameroun à l'Angola. Elle se distingue par sa coquille ovale, allongée à fusiforme, beaucoup plus effilée que celle de *Achatina (achatina) monochromatica*. Son poids peut atteindre 500 g. Elle pond 20 à 30 œufs relativement gros de 9 à 11 mm de longueur sur 6 à 7 mm de large (Nisbet, 1974).

Quant au genre *Archachatina*, on note :

3.1.3.3 *Archachatina degneri*

Contrairement aux autres espèces, cette espèce est plus courante au Ghana, Togo et Bénin. Elle est rencontrée plus à proximité des habitations, dépotoirs et tas d'ordures ménagères. Sa coquille présente de nombreuses stries avec tâches verdâtres. Le poids varie de 150 à 200 g. Elle pond 3 à 12 œufs dont le poids varie de 1 à 2,5 g.

3.1.3.4 *Archachatina marginata*

Elle a une aire de répartition qui couvre la basse Guinée, sa coquille présente de nombreuses stries verticales, des lignes zigzag et des tâches brun-noisettes à brun- pâles ; la columelle et la cloison pariétale sont blanc à blanc ben. Le poids varie de 194,5g à 227g. Elle pond 2 à 5 œufs d'environ 5 g (Hodasi, 1984).

3.1.3.5 *Archachatina ventricosa*

Cette espèce présente un renflement au ventre d'un côté. Elle est plus courante à l'Ouest du Bénin et en Côte d'Ivoire. La coquille a de nombreuses stries verticales, des lignes en zigzag et des tâches verdâtres (Hodasi, 1984). Son poids frais peut atteindre 250 g et peut pondre 3 à 12 œufs dont le poids varie de 1,5 à 2,5 g (Zongo, 1990).

3.2 Origine et répartition géographique

Les achatinidae sont en général d'origine africaine Mead (1979) cité par Otchoumou (2005), au Sud du Nigéria. Mais *Achatina fulica* serait originaire de l'Afrique de l'Est. De cette zone originelle, plusieurs branches évolutives se distinguent :

- Une ayant progressé vers le Sud-Est dont est issue une branche congolaise ou « Congo branch » regroupant les espèces d'Afrique Centrale qui présenteraient une anatomie génitale

différente de celle de l'espèce ouest africaine *Achatina achatina*. Ces espèces pourraient constituer un nouveau genre encore à l'étude (Mead, 1979 cité par Otchoumou (2005).

- Une Guinéenne ou « Upper Guinea Branch » ayant progressé vers l'ouest et le nord-ouest jusqu'en Afrique Occidentale. De cette branche dériveraient notamment *Achatina* et *Archachatina*.
- Une orientale ou « East Africa Branch » dont dérivent les escargots du genre *Burtoa*.

Le genre *Achatina* occupe une zone de répartition, allant de l'Est à l'Ouest du continent africain, comprise entre les tropiques du cancer et du capricorne. Le genre *Archachatina* occupe les zones forestières du sud-ouest africain de la Sierra Léone au Nigéria. Le genre *Limicolaria*, quant à lui, occupe une aire de répartition qui couvre l'Afrique Occidentale, centrale et la moitié Ouest de l'Afrique Orientale (Pilsbry, 1919). Quant au genre *Burtoa*, son aire de répartition occupe le centre Nord et la moitié ouest de l'Afrique orientale.

En Afrique subsaharienne, les genres concernés par le mini-élevage sont actuellement *Archachatina*, *Achatina*, *Burtoa* et *Limicolaria*. Si les trois premiers sont des escargots géants, le genre *Limicolaria* concerne des escargots moins imposants, dont certaines espèces peuvent cependant comporter des animaux dotés d'une coquille d'une dizaine de centimètres de longueur. Certaines espèces d'escargots géants africains des genres *Achatina* et *Archachatina* fournissent une viande de brousse très prisée depuis la Guinée jusqu'en Angola. Dans ces pays gros consommateurs d'escargots géants africains, les cheptels sauvages sont parfois menacés par la cueillette menée trop intensivement depuis de nombreuses années (De valko, 2006).

3.3 Eléments d'écologie

3.3.1 Les espèces dans leurs milieux naturels

Les Achatines se répartissent dans les forêts denses humides sempervirentes et dans les recrus secondaires des brousses de l'Afrique Occidentale au Sud du Sahara (Hodasi, 1984). On les rencontre sur les sols qui sont riches en calcium. Ils connaissent un rythme de vie rigoureux qui est soumis à la dépendance des facteurs climatiques, édaphiques et biotiques.

Ces escargots mangent diverses variétés d'espèces de plantes depuis les feuilles et les fruits jusqu'aux tubercules et aux racines. De nombreuses espèces végétales ont été testées pour leur appétibilité ou leur efficacité alimentaire au cours d'expériences alimentaires (Otchoumou et *al.*, 1990, Koundande et Ehouison, 2010). Les préférences alimentaires semblent varier avec l'âge et la taille des animaux. Les plus jeunes préfèrent les feuilles aux fruits tandis que les plus âgés choisissent les fruits (Hardouin et Stievenart, 1990).

3.3.2 Rythmes d'activité

L'escargot ne peut réguler sa température corporelle (poïkilotherme), c'est-à-dire que leur métabolisme fonctionne à la température ambiante (Hardouin et *al.*, 1994). Selon Zongo (1990), les escargots sont des animaux à activité préférentiellement nocturne, mais ne se nourrissent pas continuellement la nuit. Trois facteurs interviennent dans le déclenchement de cette activité : la température, l'humidité relative et la photopériode.

Otchoumou et *al.* (1990) dans leur étude sont arrivés aux résultats selon lesquels l'escargot *Achatina achatina* (Linné) est essentiellement nocturne et s'enfouit le jour pour déféquer et pondre ; les feuilles de taro, de papayer ainsi que les tubercules de patate et d'igname sont ses aliments préférés. En outre les litières ensemencées de gazon (*Chrysopogon oiculatus*) ou de feuilles mortes ainsi les faibles densités d'élevage (10 et 20 individus/m²) optimisent sa croissance.

3.3.3 Estivation et hibernation

Les achatines, lorsque les conditions deviennent défavorables (chaleur et sécheresse surtout), sécrètent une membrane protectrice à l'ouverture de leur coquille et mène une vie ralentie (Codjia et Noumonvi, 2002).

3.3.4 L'alimentation

En achatiniculture, l'alimentation est d'une importance capitale. En effet, la formation de l'œuf et de ses enveloppes, et les croissances pondérale et coquillière sont étroitement liées à la teneur de certains nutriments comme les protéines et calcium (Otchoumou, 2005).

L'escargot géant africain est végétarien. En élevage les expériences ont montré qu'il apprécie les feuilles de taro (*Xanthosoma malaffa*), de Talinum, de Telfairia, de Centrosema, d'amarante hybride (*Amaranthus hybridus*), de patate douce (*Ipomea batatas*), de manioc (*Manihot esculents*), de laitues (*Lactuca taraxacifolia*) (*Lactuca sativa*), de même que les fruits tels que la « noix de palme » (*Elaies guineensis*), la papaye (*Carica papaya*), la banane (*Musa sapientum*), l'avocat (*Persea gratissima*), l'orange douce (*Citrus sinensis*), le concombre (*Cucumis sativus*), les racines (carottes), ou les jeunes pousses de végétaux et d'arbres, les sous-produits agricoles (farine de riz...). Tout comme l'Hélix (Elmslie, 1982), l'escargot géant africain ne mange pas ou très peu la peau des légumes (courgette, concombre) ou des fruits (poire, pomme) (observations personnelles réalisées sur certaines Archachatina (Stiévenart et Hardouin, 1990)). En outre, cette préférence alimentaire varie en fonction de l'âge des individus.

3.3.5 La reproduction

L'escargot est hermaphrodite et possède donc à la fois les lignées germinales male et femelle. Néanmoins, l'accouplement est nécessaire pour la reproduction naturelle (Hardouin et Stiévenart, 1990). Selon Rousselet (1982), l'âge de la maturité sexuelle dépend du climat, des espèces, de la température et de l'époque de la naissance. Il est de 7 à 11 mois pour *Achatina fulica* selon Plummer (1975) et Siegnund (1987) cités par Mandangi (2010) et de 21 mois pour *Achatina achatina* selon Korn et al (1987) cité par Mandangi (2010).

Cet âge est d'un an pour *Helix aspersa* (petit-gris), et 3 ans pour le Bourgeois (*Helix pomatia*) qui ne pond qu'après deux ou trois hivers selon qu'il est né au printemps ou à l'automne (Rousselet, 1982). Il recouvre généralement les œufs dans la chambre de ponte de terre.

L'incubation des œufs dure entre dix et quatorze jours suivant l'espèce et la taille de l'œuf. Elle peut être naturelle (dans la litière de sciure de bois, avec 90 % d'éclosion) ou en incubateur. Les animaux sont alors commercialisables à 90-120 jours d'âge (Codjia et Noumonvi, 2002).

3.4 Modes d'élevage des escargots géants africains

Il existe deux modes d'élevage :

- A l'extérieur (outdoor farming system) : les achatinières sont construites sous bananeraie ou toute autre plantation. Elles offrent un microclimat. Ce mode est peu pratiqué car victime des prédateurs.
- Sous bâtiment (indoor farming system) : il se fait à l'intérieur du bâtiment appelé « escargotière » de forme variable, rectangulaire (8m x 4m en moyenne), carrée (6 m x 6 m en moyenne) ou circulaire. Les murs sont faits en terre ou en briques et la toiture en chaume. C'est le modèle le plus pratiqué.

3.4.1. Systèmes d'élevage avec enclos au sol

Le compartiment d'élevage (trou d'élevage) fait 1,5 m de long, 0,6 m de large et 0,5 m de hauteur. La fosse à l'intérieur 20 cm de haut et 15 cm de large où l'on dépose les mangeoires et abreuvoirs.

De part et d'autre du muret, des trous de 20 cm de profondeur sont remplis de sciure de bois, comme substrat de ponte, en plus d'un couvercle pour empêcher les escargots de fuir et les protéger contre les prédateurs.

Ce système est destiné à l'élevage des reproducteurs et des jeunes animaux d'au moins 3 mois d'âge. La charge est de 560 géniteurs (4m x 8m), avec une densité de 40 sujets/m². On prévoit un dispositif anti-prédateur.

3.4.2 Système d'élevage hors sol

Dans un bâtiment on place des étagères à trois niveaux construites en bois, sur lesquelles sont déposées des bacs qui servent d'enclos d'élevage, faits en argile cuite munis d'un couvercle des lattes de palmier. La charge est de 12.000 escargots (4 m x 8 m). Il est surtout pratiqué pour les jeunes. On obtient une forte humidité (92% à 98%) entretenue par les bacs.

3.4.3 Système d'élevage en semi-liberté

Le bâtiment d'élevage comme précédemment, est muni de petites fosses de ponte. Il n'y a d'enclos d'élevage, mais des tranchées carrées de 40 cm de côté et de 20 cm de profondeur, remplies de sciure de bois où seront creusés les nids de ponte. Un mur de 2 m d'environ de hauteur muni d'un dispositif anti-fuite est prévu. Ce système est utilisé pour les escargots sub-adultes et les reproducteurs.

L'escargotière (bâtiment d'environ 40 m² avec toit en chaume à l'ombre) permet d'éviter la fuite des individus et de limiter la prédation. Elle peut être au sol ou surélevée. Il est de plus indispensable d'arroser quotidiennement les escargotières (Codjia et Noumonvi, 2002).

Les densités observées sont de l'ordre de 20 m² pour 500 à 800 escargots (environ 40 animaux/m²). Les rendements sont principalement fonction de l'espèce et du mode d'élevage (intensif, semi-intensif ou extensif).

3.5 Ennemis des escargots géants

Les maladies infectieuses et parasitaires ont été peu étudiées jusqu'à présent. Les escargots sont sujets aux parasitoses (helminthes, insectes, protozoaires, bactéries et champignons) (Codjia et Noumonvi, 2002). Les grands prédateurs sont surtout en dehors de l'homme, les insectes, les rongeurs et les oiseaux. Le maintien de la prophylaxie sanitaire constitue une garantie efficace pour éviter les pathogènes.

PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

Chapitre 4 : Cadre d'étude

La présente étude a été réalisée dans la vallée de l'Ouémé, plus précisément dans la basse vallée de l'Ouémé. Elle a pris en compte quatre communes du Sud Bénin : les communes de Dangbo, d'Adjohoun, de Bonou et des Aguégus.

4.1. Localisation de la basse vallée de l'Ouémé

Localisée dans la région Sud-Est du Bénin entre les parallèles 7°12' et 6°23' NORD et les méridiens 2°21' et 2°33' EST (Sossou-Agbo, 2013), la basse vallée de l'Ouémé est une plaine d'inondation en forme d'un triangle allongé mesurant 90 km du Nord au Sud. Elle est limitée au Sud par le lac Nokoué et la lagune de Porto-Novo ; au Nord, à l'Est et à l'Ouest, ses limites sont imprécises car elles varient énormément avec l'importance des crues. Sa superficie peut donc varier de 1000 à 9000 km² selon le moment où les observations ont été faites (Welcomme et Lang et Paradis cités par Lalèyè, 1995). Toutefois on admet qu'elle est limitée à l'Est par le plateau de Pobè-Porto-Novo et à l'Ouest par les marais de la Sô. Elle est partagée en quatre communes que sont Dangbo, Adjohoun, Bonou, et Aguégus. Elle est couramment divisée en trois zones à savoir :

- Le haut delta : c'est la limite Nord du delta ; il s'étend au-delà de Bonou.
- Le moyen delta : c'est une longue plaine de 50 km qui va de Bonou à Azowlissè dans la Commune d'Adjohoun. Elle a une largeur relativement uniforme d'environ 10 km. Le lit du fleuve y est sablonneux, les berges assez hautes et l'eau peu profonde en saison sèche.
- Le bas delta : il va de l'aval d'Azowlissè où la vallée s'élargit jusqu'à 20 km à la façade Sud où le fleuve se jette dans le complexe lagunaire formé du lac Nokoué et de la lagune de Porto-Novo. Parallèlement, coule la Sô qui se jette dans le lac Nokoué. Le lit du fleuve dans le bas delta est vaseux, les berges sont basses et l'eau y est profonde en saison sèche (Akpalo, 1987).

Le moyen et le bas delta constituent la basse vallée de l'Ouémé (Akélé, 2002), milieu où s'est déroulée la présente étude. La figure 5 présente la zone d'étude avec les sites prospectés dans les différentes communes de la vallée de l'Ouémé. La figure 6 quant à elle présente la vallée de l'Ouémé dans les zones humides du Sud Bénin.

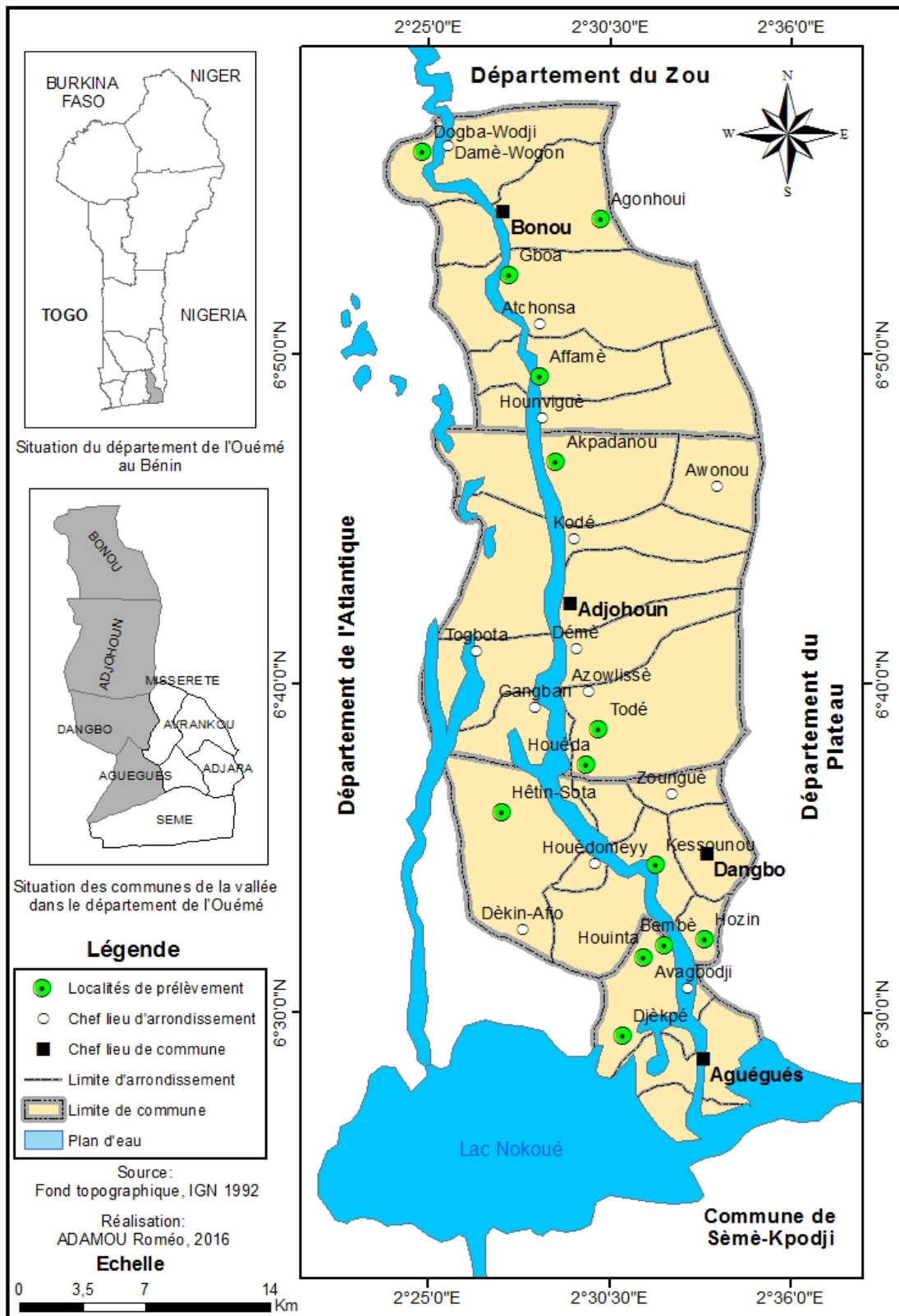


Figure 5 : Localisation de la zone d'étude
Source : Adamou, 2016

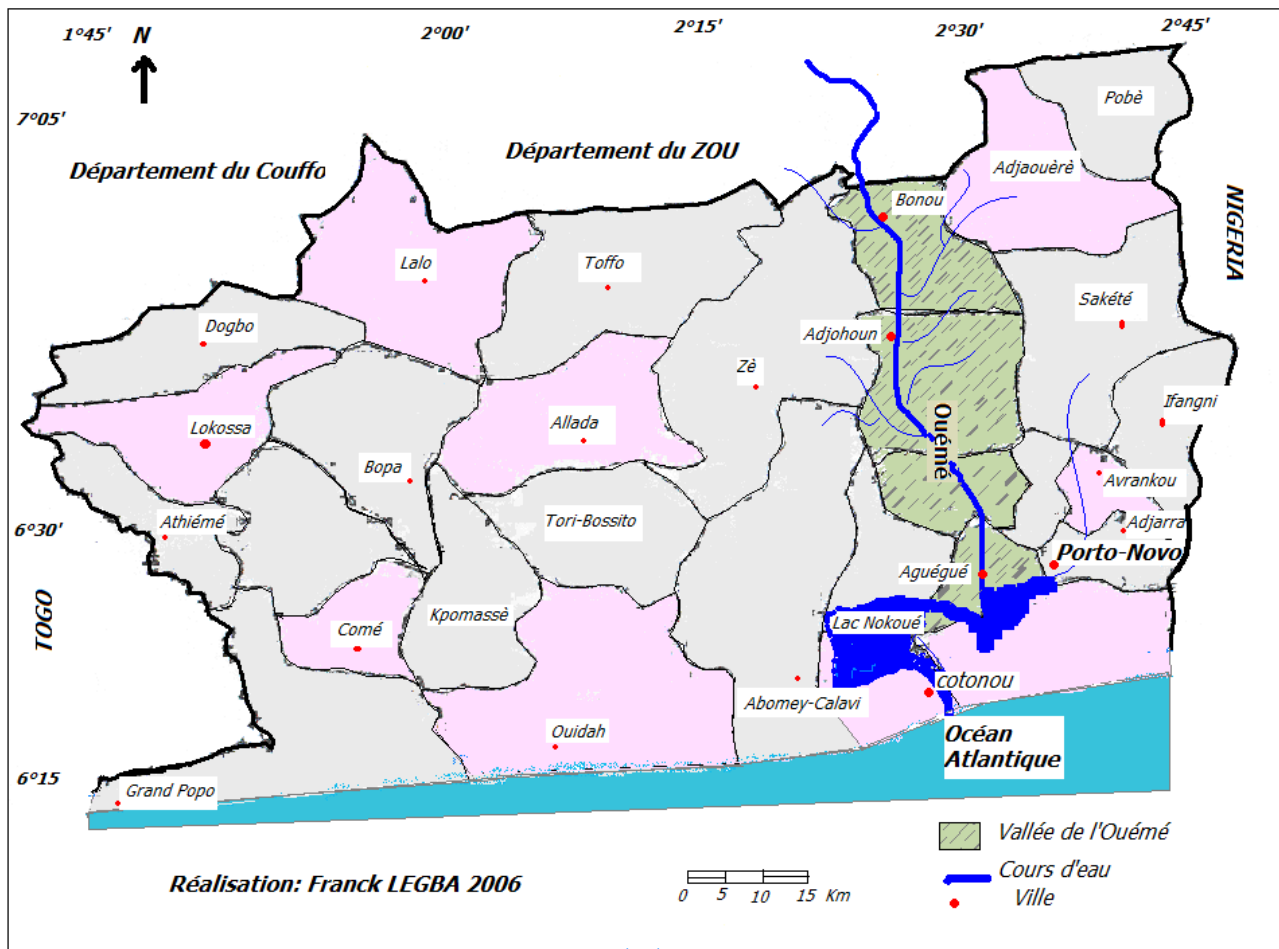


Figure 6 : Vallée de l’Ouémé dans les zones humides du Sud Bénin
 Source : Legba, 2006.

4.2. Relief, sols et réseau hydrographique

Selon Pelissier (1963), les coupes topographiques Est-Ouest de la vallée de l’Ouémé montrent deux unités géomorphologiques :

- Le plateau qui est une zone de formation latéritique très perméable. Il est parsemé de marécages dont certains ne s’assèchent pas au cours de l’année.
- La basse plaine inondable qui est la zone de dépôt des alluvions apportés chaque année par les eaux de crue de l’Ouémé.

Dans le delta de l’Ouémé, deux principaux types de sols sont rencontrés :

- Les sols ferralitiques localisés sur les plateaux. Ils sont pour la plupart appauvris sur 50-60 cm et renferment 40 % d’argile et une proportion allant de 2 à 3 % de matière organique (Legba, 2006).
- Les tourbes argileuses et brutes des sols humiques à gley sont localisées au pied des plateaux de sols ferralitiques (Legba, 2006).

Le réseau hydrographique de la vallée est constitué de deux axes parallèles, l'Ouémé et la Sô. Ils sont reliés par des marigots jouant tantôt le rôle d'affluent et celui de défluent. Il s'agit de la Zounga (18,9 km), l'Agbagbé (7 km), l'Ouovi (10,2 km) et du Zouvi (6,9 km) qui sont bordés par des vastes plaines d'inondation (Legba, 2006).

4.3. Climat

Le climat de la zone d'étude est de type subéquatorial avec une succession annuelle de quatre saisons, deux pluvieuses et deux sèches réparties comme suit :

- une grande saison des pluies de mi-mars à mi-juillet ;
- une petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre ;
- une petite saison des pluies de mi-septembre à mi-novembre ;
- une grande saison sèche de mi-novembre à mi-mars.

Cela permet deux cycles de cultures aussi bien sur le plateau que dans la plaine inondable. Le second cycle de culture (culture de contre saison) est pratiqué pendant la grande saison sèche dans la plaine inondable grâce au retrait des eaux de la crue c'est-à-dire la décrue (PDC Adjohoun, 2004). Les précipitations sont irrégulièrement réparties tout au long des saisons pluvieuses, ce qui constitue un handicap pour l'agriculture pluviale. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1122,19 mm en 50 jours de précipitation (Cabinet Afrique Conseil, 2006).

4.4. Habitats et diversité faunique

4.4.1. Végétation

La végétation naturelle de la vallée de l'Ouémé comme la plupart des régions du Sud Bénin a été fortement dégradée. Le domaine des forêts occasionnellement inondées a été transformé en palmeraies ou en champs cultivés ; de même, les actions anthropiques ont transformé les forêts ombrophiles en formations ouvertes.

On note dès lors quelques îlots forestiers dont les principaux sont les forêts de Bonou, d'Affamè, de Dogla, de Bamè et de Baha (Guèdègbé, 1996), des savanes herbeuses à *Mitragyna inermis* et *Andropogon gayanus*, des savanes à *Echinochloa pyramidalis* et *Polygonum limbatum* et des prairies flottantes et semi-aquatiques à *Pistia stratiotes*, *Bambusa vulgaris*, *Eichhornia crassipes* et *Nymphaea lotus* (Salako, 1999).

Les principales cultures rencontrées dans les milieux déjà humanisés sont vivrières. Nous pouvons citer le maïs (*Zea mays*), le manioc (*Manihot utilissima*), le niébé (*Vigna unguiculata*), l'arachide (*Arachis hypogea*) et des cultures maraîchères telles que le piment

(*Capsicum frutescens*), la tomate (*Solanum lycopersicum*), les légumes feuilles et le gombo (*hibiscus esculentus*).

La topographie et l'hydrographie favorisent une exploitation agricole permanente durant l'année.

4.4.2. Faune

La vallée de l'Ouémé est une zone de grande diversité faunique. On y rencontre des oiseaux, des poissons, des mammifères et des reptiles.

- L'avifaune : Les travaux de Adjakpa et *al.* (1996) signalent que l'avifaune de la vallée est composée d'espèces autochtones et migratrices, paléartiques et afropaléarctiques, d'oiseaux typiques d'eau et non typiques d'eau. Cet écosystème représente d'ailleurs le plus riche en oiseaux de toutes les zones humides du Sud Bénin. Les familles les plus représentatives sont celles des Charadriidae, des Ardeidae, des Accipitridae, des Ploceidae, des Laridae et des Sylviidae.
- L'ichtyofaune : La faune ichthyologique de la vallée de l'Ouémé est très riche surtout en période de crue. Les familles de poissons qui dominent les captures sont, selon Welcomme cité par Agbéssi (2000), les Cichlidae, les Anabantidae, les Claroteidae, les Schilbeidae, les Mochokidae, les Claridae, les Osteoglossidae, les Mormyridae et les Bagridae.
- La faune mammalienne et reptilienne : Bien qu'ayant subi les effets négatifs des activités anthropiques sur leurs habitats, la faune mammalienne et reptilienne reste toujours diversifiée. On y rencontre aussi dans le milieu des espèces rares ou menacées. Guèdègbé (1996) a démontré comme mammifères ou reptiles le sitatunga (*Tragelaphus spekei*), le guib harnaché (*Tragelaphus scriptus*), le potamochère (*Potamochoerus porcus*), la loutre (*Lutra macullicolis*), la mangouste brune (*Crossarchus obscurus*), le daman d'arbre (*Dendryx arboreus*), le lamantin (*trichechus senegalensis*), le porc-épic (*Hystrix cristata*), l'oryctérope (*Orycteropus after*), le singe à ventre rouge (*Cercopithecus erithrogaster erythrogaster*), le singe mona (*Cercopithecus mona*), le varan du Nil (*Varanus niloticus*), le crocodile du Nil (*Crocodylus niloticus*), le python de Sebae (*Python sebae*), le python royal (*Python regius*) et les tortues (*Kinixys homeana* et *Kinixys belliana*).

4.5. Population et activités économiques

4.5.1. Population

D'après le quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH₄), la population de la basse vallée de l'Ouémé (Communes de Dangbo, d'Adjohoun, de Bonou et

des Aguégusés) s'élève en 2013 à 260.660 habitants (INSAE, 2016) répartis par commune sur la figure 7. Dans le milieu, en dehors des Ouéménous, groupe ethnique dominant, on rencontre les Yorouba, les Tori, les Fon et les Adja. Sur le plan religieux, le catholicisme, le protestantisme, l'islam s'ajoutent aux cultes traditionnels.

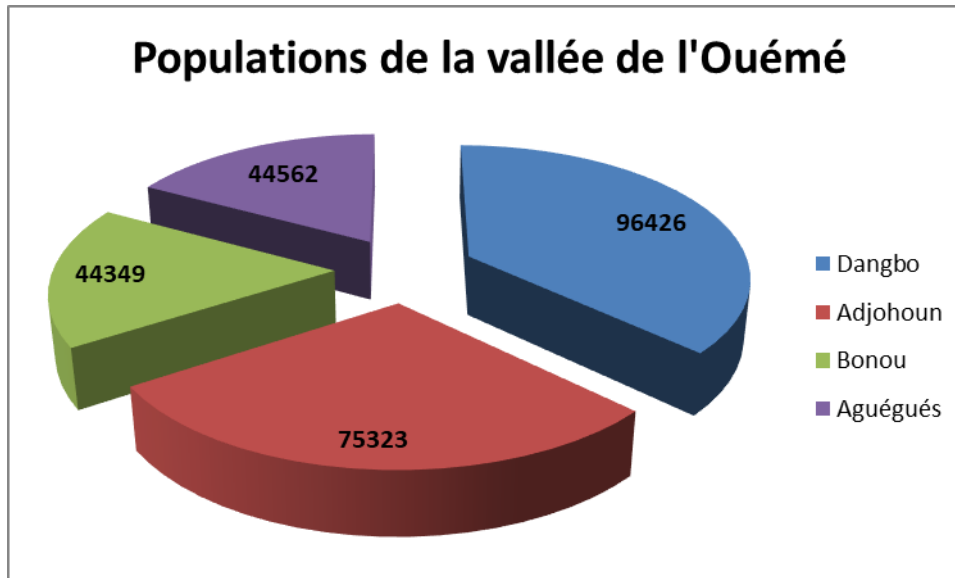


Figure 7 : Répartition de la population de la vallée de l'Ouémé
 Source : INSAE, 2016

4.5.2. Activités économiques

Les principales activités économiques de la basse vallée de l'Ouémé sont la pêche, l'agriculture, l'élevage, le commerce, l'artisanat et la chasse.

- La pêche : C'est la principale activité de la population. Elle se pratique durant toute l'année mais la période de pêche fructueuse s'étale d'août en septembre avec l'arrivée de la crue. Les techniques utilisées sont les différents types de filets, les houédos, les nasses et les ahlos.
- L'agriculture : La seconde activité occupant la population est l'agriculture. Les ménages agricoles représentent un peu plus de 40 % de la population. L'agriculture se pratique à la fois dans la plaine inondable que sur les plateaux et ce, en fonction des saisons.
- L'élevage : L'élevage est une activité secondaire. Il se fait sur les berges, les plateaux et porte sur les bovins de la race lagunaire, les porcins, les caprins et la volaille. Pendant la crue, les propriétaires d'animaux sont confrontés à des problèmes d'affouragement du cheptel et d'enclos car le mode d'élevage est la divagation. La solution endogène adoptée est de parquer les animaux sur les voies et quelques fois dans les enclos surélevés. De ce fait, les bêtes sont nourries au fourrage distribué et

perdent en conséquence suffisamment de poids à leur sortie d'enclos. L'élevage des espèces animales non conventionnelles est encore timide dans la vallée (Lègba, 2006).

- Le commerce : Le commerce est une activité importante de la région et son pôle se retrouve au niveau du marché d'Azowlissè dans la commune d'Adjohoun. Il est l'apanage des femmes. Il faut souligner que la plupart des marchés de la vallée ont une périodicité de trois jours.
- L'artisanat : Il est très peu développé et concerne la forge, la vannerie, la réfection des cases, la fabrication des nasses et des filets.
- La chasse : Elle se pratique frauduleusement dans le milieu et ce, sur toutes les espèces fauniques. Le cas est préoccupant pour les espèces menacées ou rares telles que le singe à ventre rouge (*Cercopithecus erithrogaster erythrogaster*) et les poules d'eau (*Porphyrio alleni* et *Gallinula chloropus meridionalis*).

Chapitre 5 : Matériel et méthodes

5.1 Matériel

Dans le souci d'obtenir des résultats fiables, plusieurs matériels ont été utilisés dans le cadre de cette étude.

5.1.1 Nature de l'étude

Il s'agit d'une étude toxicologique portant sur la contamination des escargots par des polluants chimiques et l'effet induit sur la santé humaine.

5.1.2 Eléments de l'étude

Cette étude a porté sur deux espèces d'escargot appartenant à la famille des Achatinidae. Il s'agit de l'*Archachatina marginata* et du *Limicolaria spp.* Ce sont des espèces très prisées dans le Sud du Bénin et particulièrement dans les départements de l'Ouémé et du Plateau.

5.1.3 Critères de choix des stations

Les stations de prélèvements ont été choisies selon trois critères à savoir :

- une bonne répartition géographique des sites de prélèvement dans la vallée ;
- les zones reconnues de collecte et de commercialisation des escargots ;
- les zones agricoles reconnues d'utilisation de pesticides.

Au total, huit (08) sites de prélèvement ont été retenus à travers les quatre communes. Il s'agit des localités de Kessounou, de Hozin, d'Akpadanou, de Todé, d'Affamè, d'Agonhoui, de Bembè et de Houinta.

5.1.4 Matériel de transport

Un véhicule a été utilisé pour assurer le déplacement du matériel et des échantillons jusqu'à l'embarcadère. L'utilisation d'une pirogue a facilité le déplacement et la collecte des échantillons dans les différentes localités.

5.1.5 Matériel de prélèvements

Le matériel utilisé pour faire les prélèvements des échantillons d'escargots est constitué: des bocaux en plastique résistants, d'un GPS, d'un appareil photométrique et d'une glacière.

Les prélèvements des échantillons ont été réalisés dans des bocaux en plastiques résistants préalablement lavés avec de l'eau et du savon puis stérilisés avec de l'acide chlorhydrique qui a séjourné 12h environ dans les bocaux. Ces derniers ont ensuite été rincés avec de l'eau déionisée pour enlever tout ion des bocaux. Le GPS a servi à prendre les coordonnées géographiques des sites de prélèvements et l'appareil photométrique a permis

de prendre des photos pour illustrer ce document. La phase de collecte s'est déroulée du 1^{er} mai au 16 octobre 2016.

Au total, 48 échantillons ont été collectés sur les huit sites de prélèvements à raison de 6 échantillons par site constitués de trois répliquats biologiques par espèce d'escargot étudié.

5.1.6 Matériel de laboratoire

Les analyses de laboratoire requièrent l'utilisation de petit et de grand matériels selon les paramètres à déterminer.

Le petit matériel utilisé dans le cadre de cette étude est composé de :

- une balance électronique et un pied à coulisse pour les mensurations sur les escargots ;
- un dessiccateur, des creusets en porcelaine, les tubes Falcon de 50 ml à bouchon à vis, les papiers filtres Whatman N°42, les micropipettes, les éprouvettes, un scalpel, etc. pour la minéralisation des escargots.

Le grand matériel utilisé dans le cadre de cette étude est composé de :

- une étuve et un four à moufle programmable respectivement pour le séchage et la calcination des escargots ;
- un Metalyser HM 3000 (Trace₂O, Berkshire, Royaume-Uni) accompagné d'une tablette de pilotage pour le dosage des métaux lourds.



Photo 1 : Metalyser HM 3000 avec sa tablette de pilotage

5.2 Méthodes d'étude

La démarche méthodologique adoptée dans le cadre de cette étude se résume en trois étapes à savoir : la recherche documentaire, la collecte des données sur le terrain et les analyses de laboratoire, puis le traitement des données collectées.

5.2.1 La recherche documentaire

La recherche documentaire a consisté à capitaliser les connaissances sur des thèmes de recherche similaires au notre. Ainsi nous avons visité plusieurs centres de documentation à savoir la bibliothèque de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences humaines (FLASH), du ministère de l'Environnement, des changements climatiques et des ressources forestières, de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE), de la Direction des Pêches, et du CARDER de l'Ouémé-Plateau, etc. Nous avons également effectué des recherches sur l'internet.

5.2.2 La collecte des données

Pour atteindre les objectifs fixés, la méthodologie de collecte des données utilisée se résume en deux étapes : (i) la pré-enquête ou enquêtes préliminaires, afin de définir la zone d'étude ; (ii) et l'enquête proprement dit afin de collecter les informations nécessaires pour mener à bien cette étude.

5.2.2.1 Pré-enquête et choix de la zone d'étude

Les enquêtes préliminaires ont été réalisées dans le but de définir la zone d'étude. A cet effet, nous avons parcouru une grande partie des localités dans lesquelles on peut trouver des escargots dans les départements de l'Ouémé et du Plateau. La première partie de cette enquête a donc été consacrée à l'identification des localités de ramassage ou de vente d'escargots. La seconde partie a été consacrée à la descente sur le terrain pour faire des observations directes et recueillir les informations préliminaires.

Avec l'aide du chef service de la promotion des filières agricoles du CARDER Ouémé-Plateau, plusieurs localités ont été identifiées et parcourues dans les deux départements. Il s'agit des localités de Ouando, Ahouangbomè et de Houssou-Mèdé dans la commune de Porto-Novo, d'Azowlissè et d'Akpadanou dans la commune d'Adjohoun ; de Dangbo centre et de Malomè dans la commune de Dangbo ; d'Assèna dans la commune Kétou ; d'Ikpinlè, de Mowodani et de Tatonnonkon dans la commune d'Adja-Ouèrè ; d'Itadjèbou et de Takon dans la commune de Sakété ; et la commune de Pobè. Dans chacune de ces localités, nous nous sommes rendus dans les principaux marchés locaux le jour de marché et avons interrogé les vendeuses d'escargots rencontrées et quelques passants, tout en faisant des observations directes. Auprès des vendeuses, les informations recueillies ont concerné les différentes espèces d'escargot présentes dans la localité, les localités de provenance des escargots vendus dans le marché, le mode de cuisson des escargots, la période d'abondance d'escargots dans la localité et la disponibilité effective d'escargots dans la localité. Au total, 21 vendeuses ont été interrogées.

Ces interrogations conduites avec succès grâce à des interprètes surtout dans les localités du Plateau ont permis de dégager la vallée de l'Ouémé comme zone d'étude de ces travaux de recherche. En effet, la grande partie des vendeuses d'escargots enquêtées dans les marchés locaux des communes de Porto-Novo, de Sakété, d'Adja-Ouèrè et de Pobè s'approvisionnent le plus dans les marchés locaux de la vallée de l'Ouémé, soit les marchés de Dangbo, Azowlissè, Affamè, Hozin, Malomè, etc. De plus dans les communes précitées et surtout celles du Plateau, les escargots sont de nos jours rares à cause d'une collecte abusive, du défrichement de nouvelles terres agricoles et de l'avancement de l'urbanisation, tout ceci renforcé par la poussée démographique. Et si dans certaines localités on en trouve encore, la quantité est vraiment insuffisante pour alimenter les marchés de la localité et en faire une activité génératrice de revenus. Voilà autant de raisons qui ont poussé à retenir comme zone d'étude la vallée de l'Ouémé.

5.2.2.2 Echantillonnage

Le type d'échantillonnage utilisé est l'échantillonnage de commodité non probabiliste et la technique d'échantillonnage est le choix raisonné qui a consisté à interroger les ramasseurs d'escargots disponibles dans les grandes localités de chaque commune où l'activité de ramassage et la commercialisation des escargots sont importantes.

5.2.2.3 Enquête proprement dit

Les enquêtes de terrain se sont déroulées uniquement dans la zone d'étude retenue. Elles ont pris en compte les quatre communes de la vallée de l'Ouémé, à savoir : Dangbo, Adjohoun, Bonou et Aguégus.

A cette étape, les travaux ont été facilités par les responsables de développement ruraux des différentes communes. Sur le terrain, nous avons une fois encore identifié d'abord les différents jours des marchés locaux et interrogé les vendeuses d'escargots afin de connaître les localités dans lesquelles elles s'approvisionnent dans la commune et les ramasseurs qui les approvisionnent. Ce travail préalable a permis de retenir les trois ou quatre grandes localités de chaque commune où l'activité de ramassage et de commercialisation des escargots est importante. Une fiche d'enquête conçue a été administrée aux ramasseurs des escargots qui constituent la cible secondaire de cette étude (cf. annexe 2). Ainsi les données ont été collectées à Kessounou, Hétin et Hozin dans la commune de Dangbo ; à Akpadanou, Todé et Houèda dans la commune d'Adjohoun ; à Affamè, Dogba-Wodji, Gboa et Agonhoui dans la commune de Bonou ; à Houinta, Djèkpé et Bembè dans la commune des Aguégus ; soit au total 202 ramasseurs d'escargots enquêtés dans les quatre communes. La fiche d'enquête utilisée est annexée à la fin du présent document.

5.3 Méthodes de prélèvement

Soixante (60) individus d'escargots ont été prélevés par espèce directement auprès des ramasseurs dans toutes les localités retenues. Ils ont été immédiatement mis dans des bocaux en plastique préalablement lavés et stérilisés à l'acide chlorhydrique. Les échantillons prélevés ont été gardés au froid jusqu'à leur acheminement au Laboratoire de Biologie Moléculaire et de Génétique de l'IITA pour l'analyse des métaux lourds et au Laboratoire Régional de Sûreté Sanitaire, d'Expertises et d'Analyses de l'IRGIB-Africa pour l'analyse des pesticides.

5.4 Méthodes d'analyse

5.4.1 Préparation des échantillons d'escargots

Une fois ramenés aux laboratoires, les escargots ont d'abord été mis à jeun pendant deux jours (48 h) afin d'éliminer la nourriture non absorbée et les fèces de leur tractus digestif. Ensuite, plusieurs mesures ont été prises sur une quarantaine d'escargots de chaque site de prélèvement. Il s'agit du poids de l'escargot, de la longueur et du diamètre de sa coquille. Après, une dissection de chaque individu d'escargots a été faite par site de prélèvement afin de séparer le pied des viscères, au niveau du bord du manteau (figure 8), après leur extraction des coquilles. En effet, le dosage des métaux lourds et des pesticides a porté seulement sur le pied des escargots (la partie consommée par les populations). La partie « pied » contient la tête avec le complexe nerveux, les glandes salivaires, le bulbe buccal, l'œsophage, une partie de l'estomac, la partie terminale des conduits génitaux ainsi que les muscles, téguments et conjonctifs de la sole pédieuse. La partie « viscères » regroupe le bord du manteau appelé aussi bourrelet palléal, le manteau, le cœur, le rein, la glande digestive (autrefois appelée hépatopancréas), l'estomac, l'intestin, la gonade, la glande à albumen et une partie des conduits génitaux. Les escargots de chaque site de prélèvement ont été découpés en petits morceaux formant un tas et mélangés ensemble afin de permettre une certaine homogénéisation des polluants. Enfin, trois pools d'escargots ont été constitués de ce tas, mis dans des sachets stériles et conservés à -80°C jusqu'au moment des analyses. Le premier pool a servi aux analyses des escargots témoins, le deuxième aux analyses des escargots bouillis et le troisième aux analyses des escargots frits.

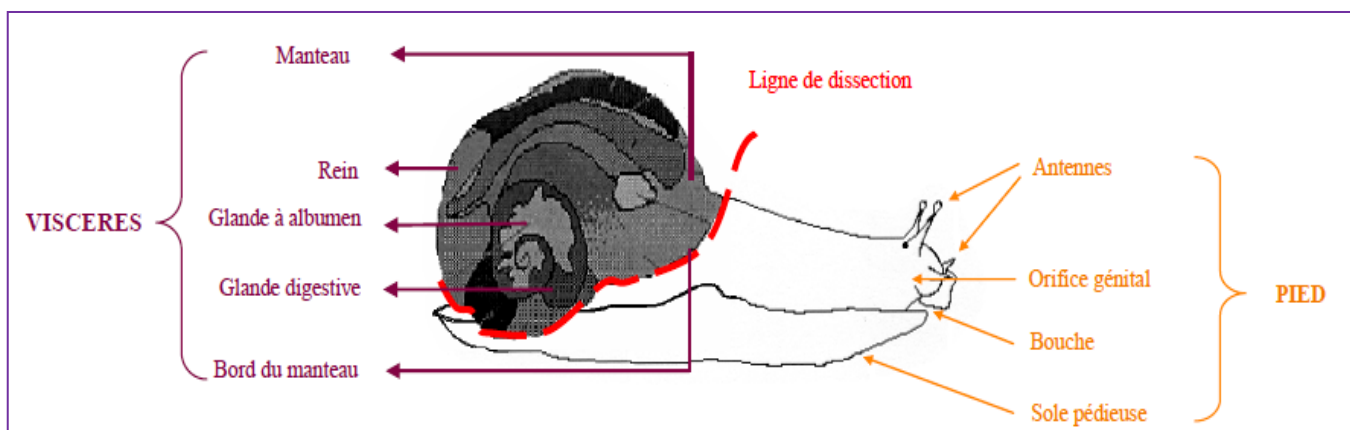


Figure 8 : Anatomie d'un escargot sorti de sa coquille, avec représentation de la ligne de dissection séparant le pied des viscères.

Source : Viard, 2004

5.4.2 Cuisson des escargots bouillis et frits

Les pools d'escargots réservés pour être bouillis ont d'abord été lavés plusieurs fois à l'eau et à l'alun (appelé en langue locale : sindakin). L'alun est du sulfate double de potassium et d'aluminium hydraté, très utilisé par les populations locales pour non seulement enlever les saletés mais aussi la substance gluante de la chair des escargots (cf. annexe 4). Ils ont été ensuite portés au feu dans de l'eau salée jusqu'à ébullition.

Quant aux escargots frits, ils ont en un premier temps subi les mêmes étapes décrites ci-dessus pour les escargots bouillis. Dans un second temps, ils ont été frits dans de l'huile chaude à environ 180°C pendant 4 minutes.

5.4.3 Méthode d'analyse des métaux lourds

5.4.3.1 Réactifs

Les réactifs utilisés pour le dosage des métaux lourds sont les suivants :

- Acide nitrique (HNO_3 0,5 N) ;
- Acide chlorhydrique HCl (1 N) ;
- Eau déionisée ;
- Solutions standard et tampon de type $M_{1,4,5}$ Metalyser HM 3000.

5.4.3.2 Contrôle de la qualité des résultats

La validité des méthodes analytiques a été vérifiée par un contrôle interne. Des échantillons à blanc ont été préparés dans les mêmes conditions expérimentales et analysés pour chaque série d'échantillons. Ce qui a permis de mettre en évidence la contamination de l'échantillon et d'éliminer les erreurs de quantification. Pour chaque métal analysé, un

standard contenant une concentration connue du métal cible a été ajouté à l'échantillon pour la précision de la quantification du métal. Aussi, afin de vérifier la répétabilité des résultats, des dosages multiples (les doublons) ont été réalisés pour chaque échantillon d'escargots.

5.4.3.3 Minéralisation

5g d'escargot sont d'abord pesés par échantillon dans des creusets et ensuite séchés à l'étuve à 105°C pendant 24h. La calcination a été faite dans un four programmable dont la température a progressivement été portée à 550°C jusqu'à l'obtention de la cendre pour faciliter l'extraction des métaux (Nica et *al.*, 2012). La cendre a été recueillie dans des tubes Falcon qui ont aussi servi à la digestion de la cendre. Cette dernière a été dissoute dans 20 mL d'HNO₃ (0,5N) et agitée jusqu'à l'obtention d'une solution transparente. L'échantillon digéré a été filtré à travers un papier filtre Whatman N° 42. Enfin le volume de chaque échantillon a été porté à 50 mL par un ajout de 30 mL d'HNO₃ (0,5N) et gardé à température ambiante pour les analyses subséquentes (cf. annexe 4).

5.4.3.4 Dosage des métaux lourds

La méthode d'analyse utilisée pour le dosage des métaux lourds est la voltampérométrie inverse. Il s'agit d'une mesure électrochimique basée sur une variation contrôlée du potentiel électrique appliqué à l'échantillon grâce à l'usage des électrodes (une électrode de référence, une électrode de travail, et une contre-électrode).

Les échantillons après minéralisation sont dilués à trente pour cent (30%) avec de l'eau déionisée puis les métaux lourds ont été quantifiés grâce au Metalyser HM 3000 (Trace2O, Berkshire, Royaume-Uni). Les électrodes ont été placées et conditionnées en fonction du métal recherché. Le métal a été quantifié par le Metalyser dans 70 mL du minéralisât auquel sont ajoutés les réactifs du kit correspondant au métal recherché (tampon et standard) conformément à la méthode de Djouaka et *al.* (2016). A la fin de l'analyse, la concentration du métal est directement affichée sur une tablette connectée à la machine. Des graphes correspondant aux pics sont également affichés.

Une fois les résultats affichés, les concentrations réelles en cations métalliques dans la chair des escargots sont déterminées selon l'équation suivante :

$$C \text{ en ppm (mg/kg)} = \frac{C_s * V_f * F_d * 10^{-3}}{P}$$

Tel que :

C : concentration finale ;

C_s : concentration de l'élément dans la solution ;

Vf : volume final de l'échantillon (50 mL) ;

Fd : facteur de dilution ;

P : Prise d'essai en g (poids frais) de l'échantillon.

Aussi les facteurs de bioconcentration (FBC) des métaux lourds ont été calculés par la formule utilisée par Casas (2005) :

$$\text{FBC} = \frac{\text{C}}{\text{Ce}}$$

Tel que :

C : concentration finale en éléments traces de l'organisme (mg/kg) ;

Ce : concentration environnementale ou norme environnementale (mg/kg).

5.4.4 Méthode d'analyse des pesticides

5.4.4.1 Réactifs

Les réactifs utilisés pour le dosage des pesticides sont les suivants :

- Dichlorométhane (CH_2Cl_2) ;
- Hexane (C_6H_{14}) ;
- Sulfate de sodium anhydre.

5.4.4.2 Préparation des échantillons

Les échantillons d'escargots ont été d'abord broyés et 10g en sont pesés dans un bécher. On y a ajouté 25 mL de dichlorométhane et on a homogénéisé pendant 5 min avec un agitateur magnétique. Le mélange a été filtré avec du papier filtre qu'on a rincé avec 15 mL de dichlorométhane. On a filtré à nouveau le mélange avec du sulfate de sodium anhydre pour retenir toute gouttelette d'eau et on a rincé encore avec 10 mL de dichlorométhane. On a filtré une dernière fois avec du papier filtre whatman pour enlever tout résidu de sulfate de sodium anhydre. On a fait ensuite évaporer le filtrat sous hotte jusqu'à assèchement total. On a ajouté 1mL d'hexane dans le bécher pour solubiliser le résidu sec qu'on a récupéré dans un tube vial pour le dosage des pesticides (cf. annexe 4).

5.4.4.3 Dosage des pesticides

La méthode d'analyse utilisée pour le dosage des pesticides est la chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (CG-MS). La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (en anglais Gas chromatography-mass spectography ou GC-MS) est une technique d'analyse qui combine les performances de la chromatographie en phase gazeuse, pour la séparation des composés d'un échantillon, et de la

spectrométrie de masse, pour la détection et l'identification des composés en fonction de leur rapport masse sur charge.

- **Chromatographie en phase gazeuse**

- L'injecteur : L'échantillon est introduit avec une microseringue, à travers un septum en élastomère, dans la chambre de vaporisation. L'injecteur a une double fonction : il porte l'échantillon à l'état de vapeur, puis il l'amène dans le flux gazeux en tête de colonne. Le volume d'injection utilisée est de 10 µL et la température de l'injecteur est de 230°C.
- La colonne : elle est placée dans une enceinte à température régulée. Elle se présente sous la forme d'un tube de silice, enroulée sur lui-même et de longueur allant de 1 à plus de 60 m. Entraînés par un gaz vecteur inerte, les analytes étudiés sont séparés en fonction de leur capacité d'interaction avec la phase stationnaire. Le gaz chromatographique utilisé est l'hélium.
- Le détecteur : il s'agit du module qui va permettre de détecter voire d'identifier les composés en sortie de colonne. Le gaz détecteur du spectromètre de masse utilisé est le méthane.

- **Mode de détection : la spectrométrie de masse**

- Analyseur quadripolaire : L'étude des trajectoires suivies, dans une enceinte où règne le vide, permet de déterminer le rapport masse sur charge (m/z) de l'ion. En balayant les amplitudes U et V, la trajectoire des ions peut être stabilisée ou déstabilisée en fonction de leur rapport m/z. Seuls les ions qui ont une trajectoire stable vont pouvoir traverser le quadripôle et arriver au détecteur, les autres étant éjectés.
- Chambre d'ionisation : en sortie de colonne, l'intégralité des analytes entre dans la chambre d'ionisation. Le mode d'ionisation est l'impact électronique (EI) :



Ces ions formés dans la source sont ensuite accélérés et focalisés par une électrode chargée positivement (le repousseur) vers l'analyseur : le quadripôle.

- Détecteur : Le détecteur recueille alors ces ions séparés par l'analyseur en fonction de leur rapport m/z. Puis un micro-ordinateur a assuré le traitement des données et fourni un spectre de masse. L'EI est un procédé reproductible qui permet des comparaisons spectrales à l'aide de bibliothèques de spectres (NIST).

5.5 Méthode d'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés par les métaux lourds et les pesticides

L'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés par les éléments traces métalliques et les résidus de pesticides a suivi trois principales étapes (Gay *et al.*, 2007) : l'identification du danger, le choix des valeurs toxicologiques de référence (VTR) et l'évaluation de l'exposition de la population (Bisson *et al.*, 2009).

Elle aboutit au calcul de la dose journalière d'exposition (DJE). Les scénarios d'exposition où l'individu est le plus exposé (hypothèse maximaliste) ont été utilisés. En effet, par hypothèse, la quantité journalière moyenne d'escargot ingérée par un enfant sera considérée comme égale à celle d'un adulte. Cette quantité est déterminée par une enquête de terrain couplée aux mesures du poids des escargots prises au laboratoire. La DJE des polluants liée à la consommation des escargots est déterminée comme suit :

$$\text{DJE} = \text{C} * \text{Q} * \text{F} / \text{P}$$

Tel que :

DJE : Dose journalière d'exposition aux éléments traces (mg/kg/j) ;

C : Concentration en éléments traces/résidus de pesticides des escargots (mg/kg) ;

Q : Quantité d'escargots ingérés par jour (kg/j) ;

F : Fréquence d'exposition (F = 1), il est sans unité ;

P : Poids corporel de la cible (kg).

Le poids corporel moyen des enfants de 0 à 15 ans est de 28 kg et celui d'un adulte est conventionnellement égal à 70 kg selon l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA) (ASTEE, 2003).

Caractérisation du risque

La caractérisation du risque pour les effets à seuil est exprimée par le quotient de danger (QD). Il est calculé pour la voie d'exposition orale de la manière suivante :

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

Tel que :

DJE : Dose Journalière d'Exposition (mg/kg/j) ;

DJA : Dose Journalière Admise (mg/kg/j).

Si $\text{QD} < 1$, la survenue d'un effet toxique est très peu probable ;

Si $\text{QD} > 1$, l'apparition d'un effet toxique ne peut pas être exclue.

5.6 Traitements statistiques des données

Les données des caractéristiques morphologiques (longueur, diamètre et poids) des deux espèces d'escargots mesurées ont été soumises au test non paramétrique de Kruskal Wallis catégorie par catégorie pour tester l'existence éventuelle de différences morphologiques des escargots entre les différentes localités. Ensuite, le test de structuration des médianes de Nruskal Kramer Nemenyi a été effectué sur la valeur médiane des caractéristiques et a permis de détecter les localités présentant les meilleures performances de croissance des espèces d'escargots. Aussi, des boxplots ont été établis pour illustrer les valeurs extrêmes, le premier, le deuxième et le troisième quartile et la valeur médiane de chaque traitement. Toutes les analyses ont été effectuées dans le logiciel R 3.2.3.

Pour la bioaccumulation des métaux lourds et des pesticides par les espèces d'escargots suivant les différentes formes de cuisson, des valeurs moyennes ont été calculées pour toutes les localités puis des diagrammes en bande ont été réalisés pour voir les tendances des différents pesticides dans la viande des deux espèces d'escargots suivant les formes de cuisson. L'analyse en composante principale a été utilisée pour analyser la variabilité des différentes pesticides bioaccumulées suivant les localités.

Pour l'analyse des risques sanitaires, les conditions de normalité et d'égalité des variances des populations ont été respectées après la transformation logarithmique népérienne sur les données de risques sanitaires. Ensuite, le test t Student a été réalisé sur le logarithme népérien des valeurs individuelles de risque sanitaire pour les métaux lourds et pesticides évalués et aussi suivant les formes de cuisson à la fois pour les adultes et les jeunes.

Le lien entre les paramètres morphologiques et la concentration en métaux lourds a été évalué à travers le coefficient de corrélation de Pearson. Les différents diagrammes ont été réalisés au moyen du logiciel Excel et la carte au moyen du logiciel Arc.Gis.

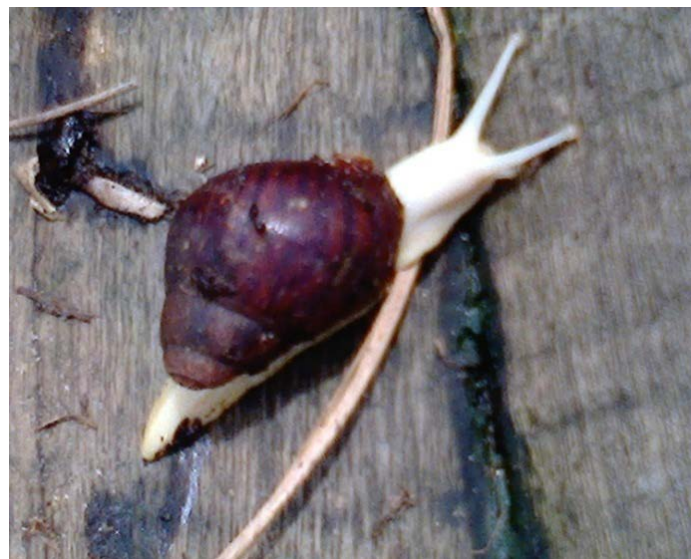
En somme, les différents matériels et méthodes utilisés au cours de cette étude ont permis l'obtention des résultats présentés ci-dessous.

PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 6 : Description des escargots de la vallée de l'Ouémé et de l'activité de ramassage

6.1 Les différentes espèces rencontrées dans la vallée de l'Ouémé

Au terme des enquêtes réalisées dans les quatre communes de la vallée, il ressort qu'on rencontre quatre (04) espèces différentes d'escargots dans la vallée de l'Ouémé. Il s'agit de : *Archachatina marginata* (a), *Archachatina degneri*(b), *Achatina fulica* (c) et *Limicolaria spp* (d). Les noms vernaculaires par lesquels les populations les désignent dans la zone d'étude sont respectivement : hô-agbin, duduwa, hô et akouété. La première est la plus répandue dans la vallée. On la rencontre surtout en période de crue dans les bas-fonds et forêts surtout. La deuxième avec une chaire blanchâtre est sa forme mutante. Elle est rare dans toutes les localités. Les deux dernières se rencontrent plus dans la saison pluvieuse dans les champs, les broussailles et les forêts.



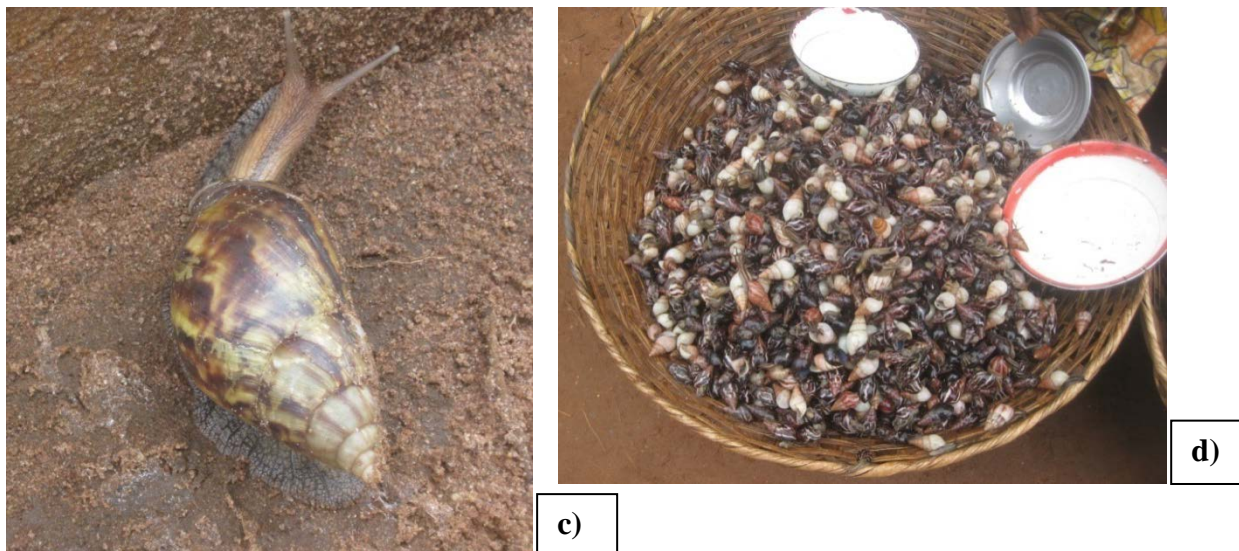


Photo 2 : Espèces d’escargots rencontrées dans la vallée de l’Ouémé

a) *Archachatina marginata* ; b) *Archachatina degneri* ; c) *Achatina fulica* ; d) *Limicolaria spp*

Ces différentes espèces se retrouvent chacune dans les quatre communes mais à une proportion différente comme l’indique les ramasseurs dans la figure suivante.

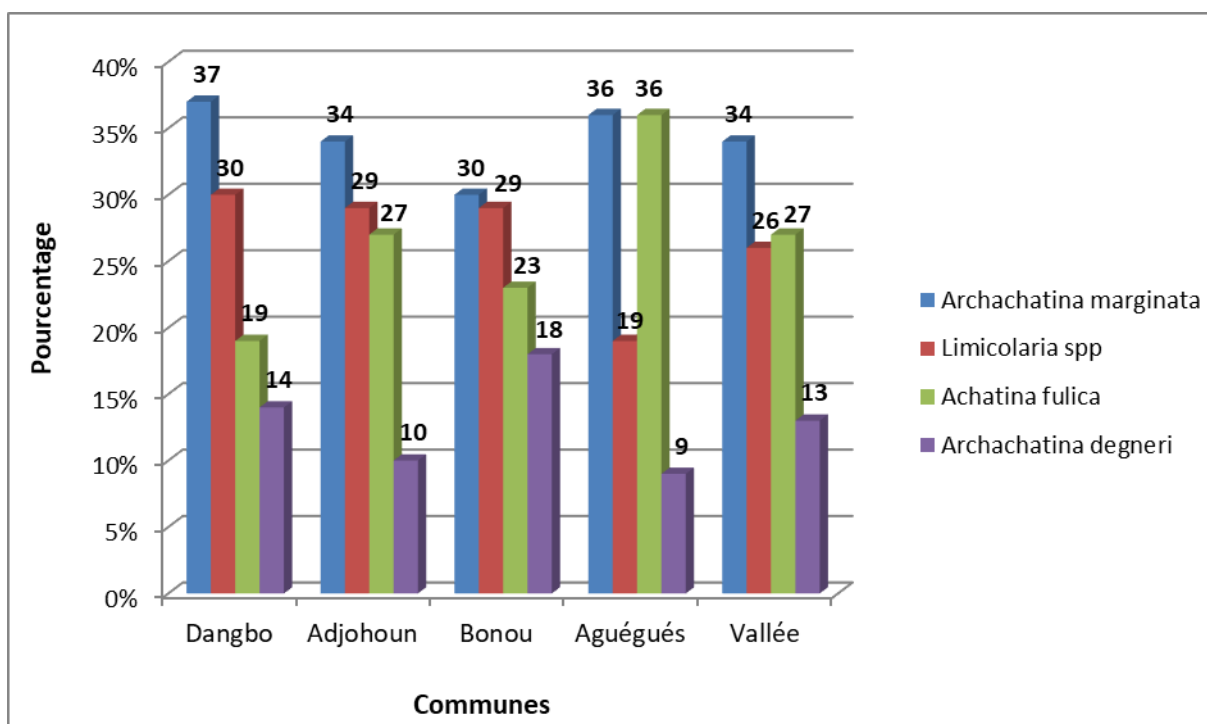


Figure 9 : Proportion de trouvailles des espèces d’escargots dans la vallée de l’Ouémé

Il en ressort que dans toutes les communes à l’exception des Aguégus, les différentes espèces sont plus rencontrées selon l’ordre suivant : *Archachatina marginata* > *Limicolaria spp* > *Achatina fulica* > *Archachatina degneri*. Au total dans toute la vallée, les ramasseurs d’escargots enquêtés affirment rencontrer les espèces *Archachatina marginata*, *Limicolaria spp*, *Achatina fulica* et *Archachatina degneri* respectivement dans une proportion de 34%,

26%, 27% et 13%. Ce qui justifie que l'espèce *Archachatina marginata* est la plus répandue dans la vallée de l'Ouémé.

Ce résultat se rapproche de celui enregistré par Sodjinou et *al.* (2001) qui ont trouvé que l'espèce *Archachatina marginata* fait les 40% des prises opérées par les ramasseurs d'escargots dans le village Avakpa, dans la commune de Porto-Novo. Ils ont aussi observé la présence dans ce village des espèces *Achatina fulica* et *Archachatina degneri*. Par contre Ekoué et Kuevi-Akue (2002) ont observé que l'espèce *Archachatina degneri* est la plus répandue au Togo. Ils ont en plus observé la présence de trois autres, à savoir : *Archachatina marginata*, *Achatina achatina* et *Achatina fulica*.

6.2 Les différentes espèces consommées dans la vallée de l'Ouémé

6.2.1 Espèces consommées

En ce qui concerne la consommation des escargots dans la vallée de l'Ouémé, toutes les espèces recensées sont consommées à l'exception d'*Archachatina degneri* pour diverses raisons. D'abord parce qu'elle est rare. Ensuite parce qu'elle coûte chère et est plus recherchée par les féticheurs et les tradi-thérapeutes pour des traitements médicaux. Enfin à cause de certains tabous qui disent que l'escargot à chair blanche appartient aux divinités Shango et Duduwa, raison pour laquelle elle est aussi recherchée par leurs adeptes.

Les ramasseurs d'escargots enquêtés dans les différentes communes témoignent de la consommation de ces trois espèces d'achatines comme suit.

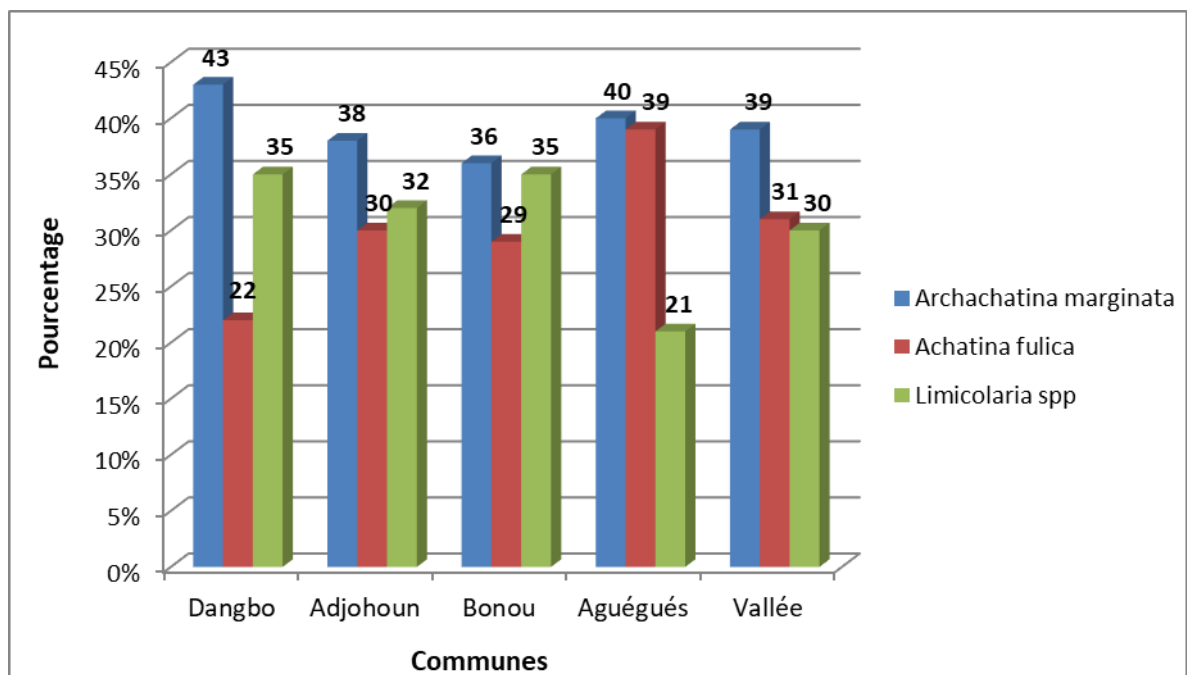


Figure 10 : Proportion de la consommation des escargots dans la vallée

L'analyse de cette figure permet de constater que dans toutes les communes à l'exception des Aguégus, les populations consomment les escargots prioritairement selon l'ordre suivant : *Archachatina marginata* > *Limicolaria spp* > *Achatina fulica*. Mais en général, les espèces *Archachatina marginata*, *Achatina fulica* et *Limicolaria spp* sont consommées respectivement par 39%, 31% et 30% de la population de la vallée. On en déduit donc que l'espèce la plus consommée dans la vallée de l'Ouémé est l'*Archachatina marginata* qui est d'ailleurs l'espèce d'escargot la plus abondante de la vallée et celle qu'on retrouve le plus sur les marchés locaux. Ce résultat est le même que celui enregistré par Sodjinou et al. (2001) dans le village Avakpa.

Il est important d'ajouter qu'à part sa consommation, l'escargot sert aussi aux populations de la vallée à plus d'un titre. Sa coquille calcinée est en effet utilisée pour la cicatrisation des plaies de brûlure et pour l'apport en calcium dans l'alimentation des volailles, des porcs et des caprins. Elle est aussi utilisée comme épouvantail dans les champs. Le liquide blanchâtre et gluant de la coquille est quant à lui utilisé pour guérir les maux d'oreilles. L'escargot est aussi utilisé pour traiter l'anémie, les maux de ventre, les problèmes de fécondité chez les hommes, le manque de calcium chez les enfants et personnes âgées. L'escargot entrerait aussi en entier dans des potions pour traiter des femmes enceintes contre la fatigue.

6.2.2 Mode de consommation des escargots dans la vallée

Les escargots sont consommés dans la vallée de l'Ouémé sous deux (02) différentes formes. Ils sont soit consommés frits soit consommés bouillis.

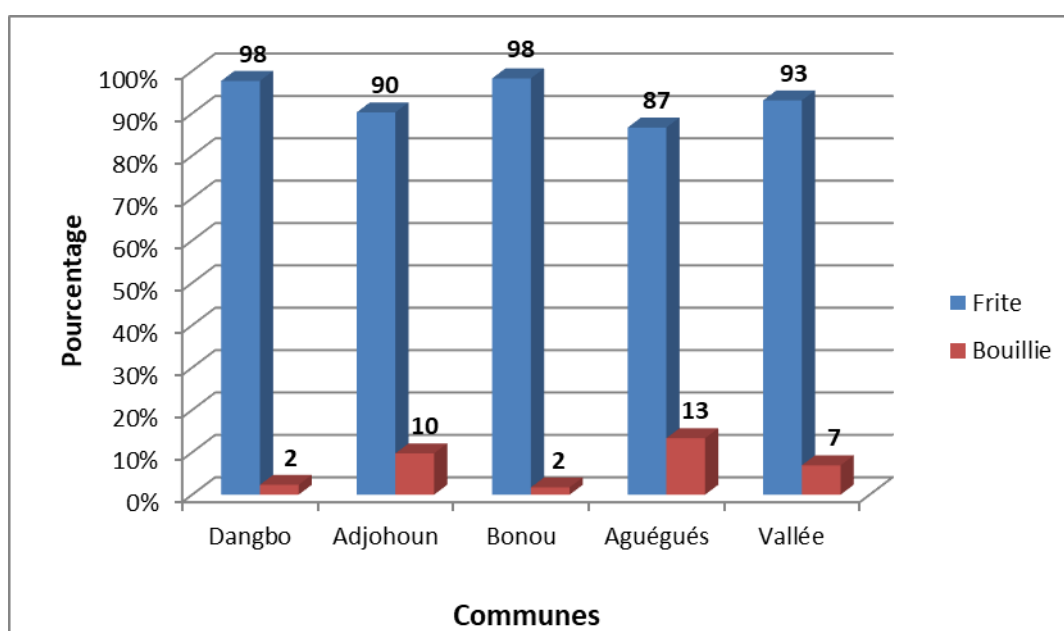


Figure 11 : Mode de consommation des escargots dans la vallée

Il ressort de cette figure que dans la vallée de l'Ouémé, les escargots sont à 93% consommés frits et à 7% consommés bouillis. Les populations préfèrent donc la forme frite à la forme bouillie. Mais avant la consommation, il y a l'étape de la préparation.

En général d'après les enquêtés, on chauffe d'abord de l'eau à 100°C qu'on verse sur les escargots dans une bassine où on les introduit dans l'eau déjà chaude ou encore on les porte au feu dans la marmite (surtout les *Limicolaria spp*). Après la mort des escargots, on retire la chair de la coquille à l'aide d'une bûchette pointue ou en agitant simplement la coquille. Ensuite, on enlève la partie viscérale (les intestins) du pied (la chair) qu'on lave plusieurs fois (6 fois environ) avec du "alun" ou du "citron" pour enlever les saletés et la substance gluante qui s'y trouve. On assaisonne enfin et on porte au feu pour la cuisson. Pour cette dernière, on la frit pour la consommer avec du crin-crin et de la friture ou on la bouillit pour la consommer avec de la sauce graine, etc.

Ces formes de consommation diffèrent des résultats de Ekoué et Kuevi-Akue (2002) au Togo. Ils ont remarqué que la population togolaise consomme les escargots sous trois formes : frite, blanchie et séchée. Par contre, Sodjinou et al. (2002) ont observé que dans les départements du Littoral et de l'Atlantique au sud du Bénin, les escargots sont consommés sous cinq formes : frite, grillée, séchée, beurrée et court-bouillonnée.

6.2.3 Quantité consommée par repas et fréquence de consommation

La quantité d'escargot consommée par repas dans la vallée de l'Ouémé et la fréquence de consommation varient selon les communes parcourues comme l'indique les figures suivantes.

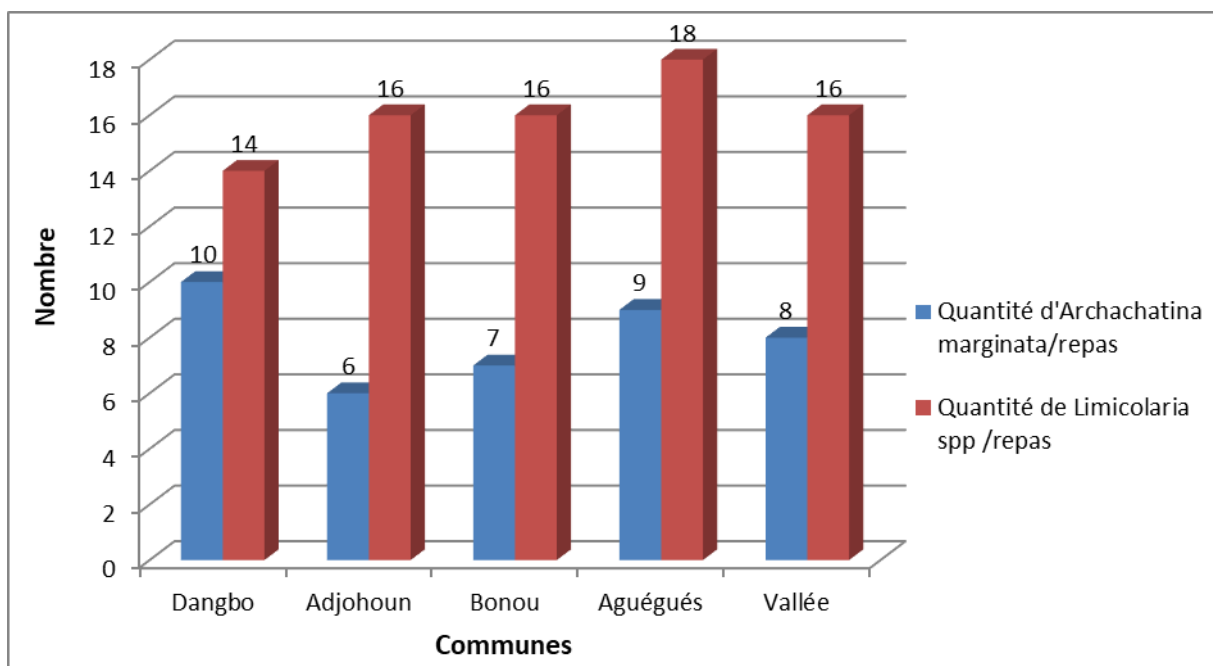


Figure 12 : Quantité d'escargots consommés par repas dans la vallée de l'Ouémé

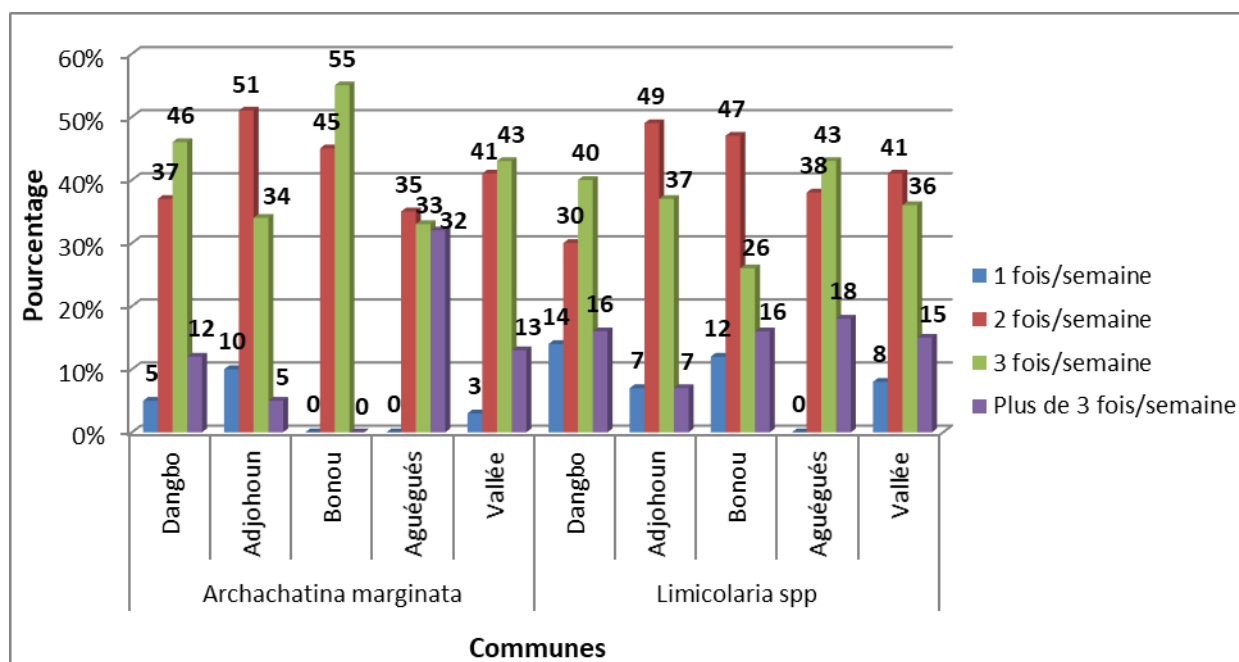


Figure 13 : Fréquence de consommation des escargots dans la vallée de l’Ouémé

L’analyse de la figure 12 montre que la commune de Dangbo est celle dans laquelle les populations consomment le plus l’escargot *Archachatina marginata* par repas soit 10 et la commune d’Adjohoun celle dans laquelle les populations consomment le moins cette espèce par repas soit 6. Quant à l’espèce *Limicolaria spp*, elle est consommée le plus dans la commune des Aguégués soit 18 et le moins dans la commune de Dangbo soit 14. Au total dans la vallée, il est consommé par repas en moyenne 8 escargots *Archachatina marginata* et 16 escargots *Limicolaria spp* par personne. L’analyse de la figure 13 montre que 3%, 41%, 43% et 13% des populations de la vallée consomment respectivement les escargots *Archachatina marginata* 1 fois/semaine, 2 fois/semaine, 3 fois/semaine et plus de 3 fois/semaine. Aussi montre-t-elle que 8%, 41%, 36% et 15% des populations de la vallée consomment respectivement les escargots *Limicolaria spp* 1 fois/semaine, 2 fois/semaine, 3 fois/semaine et plus de 3 fois/semaine. De ces deux figures, on peut déduire qu’en général dans la vallée, il est consommé par personne 8 escargots *Archachatina marginata* par repas et ceci 3 fois par semaine entre la saison pluvieuse et la période de crue. Pendant cette même période, il est aussi consommé par personne 16 escargots *Limicolaria spp* par repas et ceci 2 fois par semaine. La quantité d’escargots *Limicolaria spp* consommés par repas est supérieure à celle des escargots *Archachatina marginata* consommés par repas parce que les premiers sont beaucoup plus petits que les derniers et après la cuisson, leurs poids diminuent davantage. Ce qui fait que les populations en consomment plusieurs par repas. Toutefois la fréquence de consommation est moindre que celle des escargots *Archachatina marginata*.

6.3 L'activité de ramassage des escargots

Le ramassage des escargots constitue une activité secondaire pratiquée par les populations de la vallée surtout en période pluvieuse et/ou de crue. Les acteurs de cette activité sont généralement les cultivateurs, les élèves, les cultivateurs-pêcheurs, les commerçants et autres qui font respectivement 75%, 10%, 7%, 3% et 5% de la population enquêtée. Leur tranche d'âge est située entre]10;25],]25;40],]40;55],]55;70] et]70;85] et fait respectivement 19%, 61%, 16%, 3% et 1% des enquêtés. Donc 61% des ramasseurs d'escargots ont entre 25 ans et 40 ans et 75% parmi eux sont cultivateurs. Par contre, au sein des ramasseurs enquêtés à Avakpa par Sodjinou et *al.* (2001), il y avait 37% d'enfants et seulement 13% de personnes âgées ayant entre 25 et 35 ans.

6.3.1 Quantité d'escargots ramassés par collecte et la part vendue

La quantité d'escargots ramassés à chaque collecte varie d'une commune à une autre comme le révèle la figure suivante.

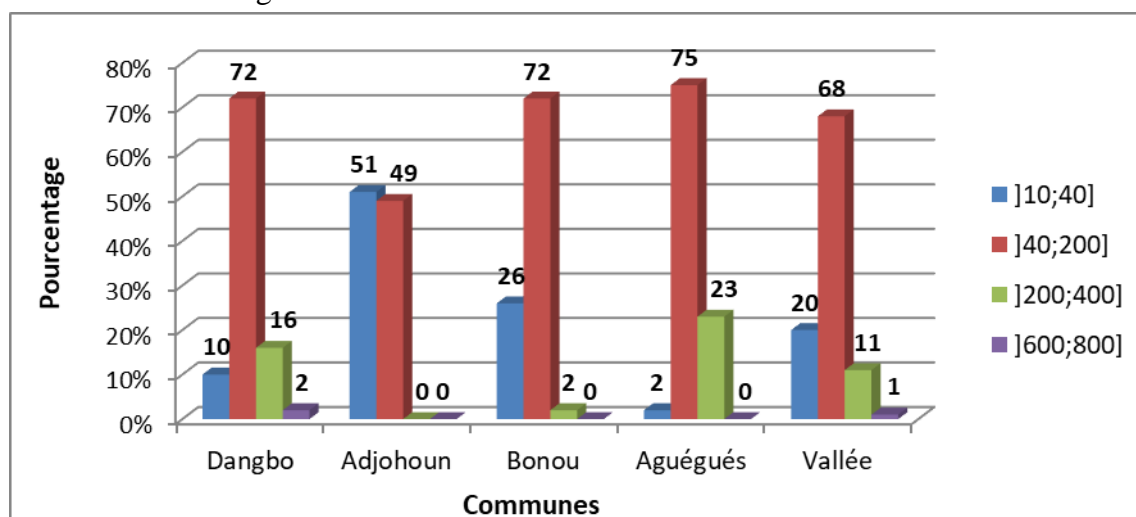


Figure 14 : Quantité d'escargots ramassés par collecte dans la vallée l'Ouémé

Il en ressort que dans toutes les communes à l'exception d'Adjohoun, la grande partie des ramasseurs réunissent à chaque collecte entre 40 et 200 escargots. Dans toute la vallée, 20%, 68%, 11% et 1% des ramasseurs réunissent respectivement]10;40],]40;200],]200;400] et]600;800] escargots par collecte.

Des escargots ramassés, 97% des ramasseurs consomment une petite quantité (en général les plus petits) et vendent le reste (en général les gros), 2% les vendent totalement et seulement 1% les consomment totalement. La part réellement vendue est les 2/3 par 93% des ramasseurs, le 1/3 par 5% des ramasseurs et le tout (toute la collecte) par 2% des ramasseurs. Il est important de préciser que les escargots ramassés ne sont pas vendus qu'aux populations de la vallée. En effet, les revendeuses des escargots viennent aussi d'horizons divers à

savoir les localités de Porto-Novo, de Sakété, de Takon, d'Ita-Djèbou, de Kétou et même de Lagos, etc. Cela justifie que cette activité est vraiment une activité génératrice de revenus. Au Togo, 80% des revendeurs enquêtés par Ekoué et Kuevi-Akue (2002) ont aussi affirmé que le commerce des escargots est rentable. Dans l'évaluation de l'impact de ce commerce, ces mêmes auteurs ont montré que le commerce d'escargots participe à 30% au revenu global annuel du revendeur d'escargots.

Mais les ramasseurs de la vallée de l'Ouémé enquêtés ont tous affirmé que les quantités ramassées ont considérablement chuté depuis quelques années. Ce constat est le même observé par Sodjinou et *al.* (2001) qui ont enregistré une baisse de 37% du stock d'escargots en 10 ans dans le village Avakpa. Selon Boni (1993) cité par Sodjinou et *al.* (2001), la raréfaction des achatines, autrefois abondantes dans le Sud-Bénin, serait due à la disparition des forêts primaires (zones de prédilection des achatines). Mais pour Cecodi/Snv/Veco (1998) et Fao (1994), c'est l'action conjuguée des facteurs naturels (les aléas climatiques) et des facteurs anthropiques, tendant à induire un déséquilibre des écosystèmes forestiers voire leur disparition, qui constitue un réel danger pour la survie des escargots.

6.3.2 Mode de collecte des escargots

La collecte des escargots se fait de différentes manières dans la vallée de l'Ouémé. Pendant que les uns ne font que le ramassage, les autres font d'abord le piégeage avant de ramasser. D'autres encore pour augmenter les prises pratiquent les deux modes à la fois. Le piégeage ici, consiste à mettre un appât dans les milieux où il est sûr de rencontrer les escargots. La figure suivante présente les modes de collecte par communes.

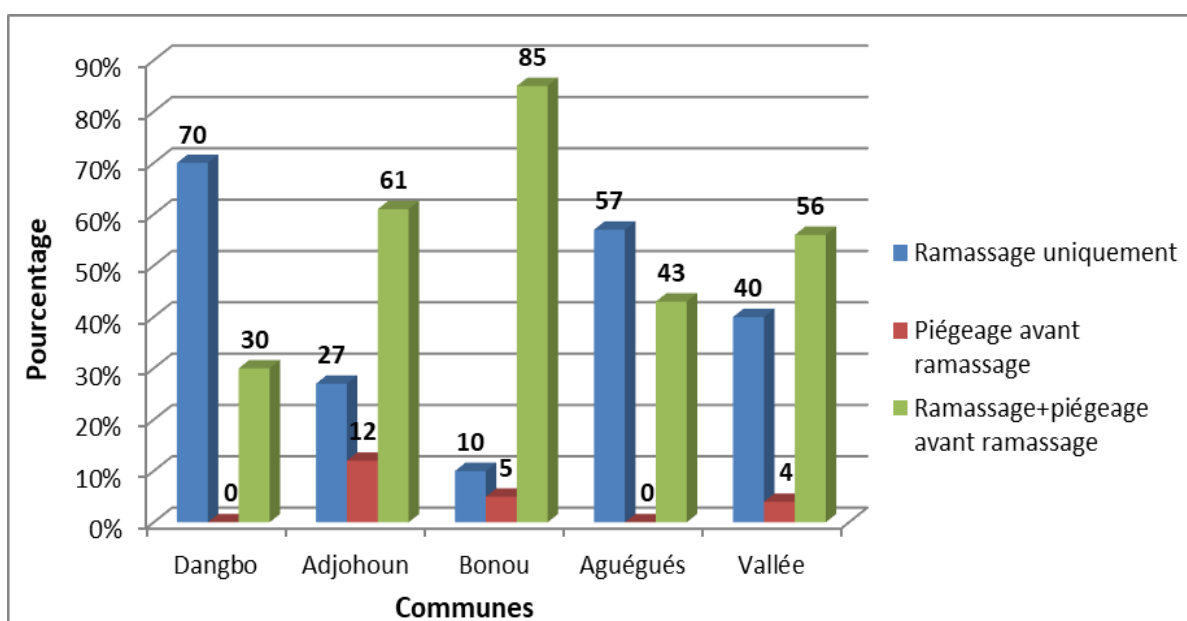


Figure 15 : Mode de collecte des escargots dans la vallée

Il ressort de cette figure que les modes de collecte diffèrent d'une commune à une autre. Pendant qu'à Dangbo et aux Aguégus, les populations préfèrent le ramassage uniquement, à Adjohoun et à Bonou, le mode ramassage+piégeage avant ramassage devance le ramassage uniquement. En définitive dans la vallée, 40% de la population enquêtée ramasse uniquement les escargots, 4% les piègent avant de les ramasser et 56% pratiquent les deux modes de collecte à la fois.

Pour le piégeage, les ramasseurs utilisent les restes de pâte, les sons de maïs, les ananas et mangues pourries, les calebasses, etc. L'odeur de ces produits due à leur fermentation attire les escargots qui viennent les manger. Les escargots étant nocturnes, c'est tard la nuit entre 22h - 00 h et 02 h - 05 h que les ramasseurs reviennent sur les traces des appâts pour ramasser les escargots, à en croire leur dire. Les lieux de collecte varient selon les espèces et sont généralement les marécages, les forêts, les champs laissés en jachère, les berges du fleuve Ouémé et parfois même les végétations flottantes sur le fleuve. Ces résultats sont proches de ceux enregistrés par Sodjinou et *al.* (2001) qui ont observé comme mode de collecte le ramassage et le piégeage avant ramassage avec trois variantes.

6.3.3 Circuits de commercialisation des escargots

Au terme des enquêtes, deux circuits de commercialisation des escargots ont été identifiés. Le premier se déroule dans la zone d'étude et le second sort de la zone d'étude.

Circuit 1 : Ramasseurs → Vendeurs → Acheteurs

Circuit 2 : Ramasseurs → Vendeurs → Revendeurs → Acheteurs

Pour le premier circuit, les acheteurs sont directement les consommateurs, en l'occurrence les populations de la vallée de l'Ouémé. Ils vont s'en procurer dans les marchés locaux. Pour le second circuit, les acheteurs sont les responsables des hôtels, les maquis, les restaurants, etc. Ils s'approvisionnent auprès des revendeurs de divers horizons venus acheter les escargots dans la vallée.

Ainsi la viande d'escargots de la vallée de l'Ouémé est très bien appréciée par les populations de cette zone du Sud-Bénin, et d'ailleurs. Leur capacité à accumuler des polluants chimiques et le degré de bioaccumulation sont évalués dans le chapitre suivant.

Chapitre 7 : Métaux lourds et résidus de pesticides accumulés dans les escargots avant et après cuisson, et risques sanitaires liés à leur consommation

Les espèces qui feront l'objet de cette étude toxicologique sont l'*Archachatina marginata* et le *Limicolaria spp.* En effet, elles sont les espèces d'escargots les plus abondantes et les plus consommées dans notre zone d'étude comme décrit dans le chapitre précédent. La présence et la quantité de métaux lourds et de résidus de pesticides seront évaluées dans chacune de ces espèces sous leur forme crue, bouillie et frite.

7.1 La mensuration des escargots

Les escargots ramassés et vendus par les ramasseurs n'ont généralement pas les mêmes caractéristiques physiques. Afin de mieux apprécier les caractéristiques physiques des escargots collectés sur les différents sites retenus, plusieurs mesures ont été prises. Il s'agit du poids de l'escargot, de la longueur et du diamètre de sa coquille. Les moyennes des mesures prises sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau V : Mensurations des escargots de la vallée de l'Ouémé

Localités	<i>Archachatina marginata</i>			<i>Limicolaria spp</i>		
	Longueur moyenne (cm)	Diamètre moyen (cm)	Poids moyen (g)	Longueur moyenne (cm)	Diamètre moyen (cm)	Poids moyen (g)
Kessounou	6,92±0,94	3,82±0,47	37,66±14,26	3,86±0,37	1,78±0,12	3,76±0,81
Hozin	6,79±0,43	3,84±0,24	35,69±8,46	4,72±0,37	2,09±0,12	6,23±1,38
Akpadanou	7,11±1,71	3,79±0,93	39,74±35,41	5,54±0,39	2,52±0,16	10,02±1,66
Todé	8,50±1,23	4,56±0,64	69,23±29,33	3,75±0,22	1,83±0,09	3,39±0,63
Affamè	10,25±1,45	5,67±0,73	120,51±44,62	4,80±0,48	2,14±0,18	8,52±2,00
Agonhoui	12,07±1,01	6,52±0,50	192,68±45,05	4,01±0,33	1,87±0,13	4,64±1,00
Bembè	7,10±0,41	4,03±0,27	42,26±7,71	4,62±0,41	2,02±0,13	6,16±1,36
Houinta	6,79±0,40	3,88±0,25	37,85±9,09	4,44±0,37	2,02±0,12	5,88±1,20

Source : Travaux de terrain et de laboratoire, 2016.

L'analyse de ces résultats montre que les mesures des escargots collectés varient d'une espèce à une autre et d'une localité à une autre. Les longueurs moyennes enregistrées varient entre 6,79 cm et 12,07 cm pour l'*Archachatina marginata* et entre 3,75 cm et 5,54 cm pour le *Limicolaria spp.* Les diamètres moyens enregistrés varient entre 3,82 cm et 6,52 cm pour l'*Archachatina marginata* et entre 1,78 cm et 2,52 cm pour le *Limicolaria spp.* Quant aux

poids moyens enregistrés, ils varient entre 35,69 g et 192,68 g pour l'*Archachatina marginata* et entre 3,39 g et 10,02 g pour le *Limicolaria spp.* Ces mesures sont globalement inférieures à celles observées par Edoth et al. (2009) sur l'espèce *Achatina achatina* dans l'Okpara. Il a enregistré une longueur moyenne de 12 cm et un poids moyen de 225g. La différence de l'espèce et du milieu de prélèvement pourrait justifier cette infériorité.

Pour l'*Archachatina marginata*, les longueurs maximales et minimales enregistrées sont respectivement 15,9 cm (à Agonhoui) et 4,92 cm (à Akpadanou) ; les diamètres maximaux et minimaux enregistrés sont respectivement 8,26 cm (à Agonhoui) et 2,65 cm (à Akpadanou) ; les poids maximaux et minimaux enregistrés sont respectivement 357,53 g (à Agonhoui) et 14,3 g (à Kessounou).

Pour le *Limicolaria spp.*, les longueurs maximales et minimales enregistrées sont respectivement 6,96 cm (à Akpadanou) et 3,2 cm (à Kessounou) ; les diamètres maximaux et minimaux enregistrés sont respectivement 3,09 cm (à Akpadanou) et 1,23 cm (à Kessounou) ; les poids maximaux et minimaux enregistrés sont respectivement 15,7 g (à Akpadanou) et 2,3 g (à Kessounou et Todé).

L'analyse de ces résultats après le test Kruskal-Wallis de comparaison des moyennes et celui de Nruskal Kramer Nemenyi pour la structuration des moyennes nous permet d'avoir le tableau suivant.

Tableau VI : Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur la longueur, le diamètre et le poids moyens des espèces d'escargots suivant les localités

Localités	<i>Archachatina Marginata</i>			<i>Limicolaria Spp</i>		
	Longueur moyenne (cm)	Diamètre moyen (cm)	Poids moyen (g)	Longueur moyenne (cm)	Diamètre moyen (cm)	Poids moyen (g)
Kessounou	6,92±0,94 ^b	3,82±0,47 ^b	37,66±14,26 ^c	3,86±0,37 ^c	1,78±0,12 ^c	3,76±0,81 ^c
Hozin	6,79±0,43 ^b	3,84±0,24 ^b	35,69±8,46 ^c	4,72±0,37 ^b	2,09±0,12 ^b	6,23±1,38 ^b
Akpadanou	7,11±1,71 ^b	3,79±0,93 ^b	39,74±35,41 ^c	5,54±0,39 ^a	2,52±0,16 ^a	10,02±1,66 ^a
Todé	8,50±1,23 ^b	4,56±0,64 ^b	69,23±29,33 ^b	3,75±0,22 ^c	1,83±0,09 ^c	3,39±0,63 ^c
Affamè	10,25±1,45 ^a	5,67±0,73 ^a	120,51±44,62 ^a	4,80±0,48 ^b	2,14±0,18 ^b	8,52±2,00 ^a
Agonhoui	12,07±1,01 ^a	6,52±0,50 ^a	192,68±45,05 ^a	4,01±0,33 ^c	1,87±0,13 ^c	4,64±1,00 ^c
Bembè	7,10±0,4 ^b	4,03±0,27 ^b	42,26±7,71 ^c	4,62±0,41 ^b	2,02±0,13 ^b	6,16±1,36 ^b
Houinta	6,79±0,40 ^b	3,88±0,25 ^b	37,85±9,09 ^c	4,44±0,37 ^b	2,02±0,12 ^b	5,88±1,20 ^b
Globale	8,26±0,12	4,54±0,07	73,71±3,53	4,46±0,04	2,04±0,02	6,07±0,15
Probabilité	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Les moyennes avec les mêmes lettres en colonne ont des médianes qui ne sont pas significativement différentes.

Les résultats du test de Mann-Whitney sur les caractéristiques des deux espèces d'escargot inventoriées ont montré de façon globale que la longueur médiane, le diamètre médian et le poids médian de l'espèce *Archachatina marginata* diffère très significativement de ceux de *Limicolaria spp* (P-value < 0,001). L'analyse des valeurs moyennes montre que la longueur et le diamètre de *Archachatina marginata* constitue presque le double de ceux de *Limicolaria spp* (8,26 et 4,54 cm contre 4,46 et 2,04 cm respectivement) et son poids moyen (73,71 g) est au moins 12 fois celui de *Limicolaria spp* (6,07) (Tableau 7). La comparaison de la taille de chaque espèce d'escargot entre les différentes localités étudiées à travers le test de Kruskal-Wallis a révélé que le développement de chaque espèce varie très significativement entre les différentes localités pour toutes les caractéristiques étudiées (Tableau 7) P-value < 0,001. Le test de structuration des médianes de Nruskal Kramer Nemenyi a permis de déterminer les localités pour lesquelles les caractéristiques morphologiques des escargots sont les mêmes. Ainsi, la longueur médiane des individus de *Archachatina marginata* est la même pour Affamè et Agonhoui et diffère des autres localités qui ont des longueurs médianes similaires. Les boxplots ont été établis pour toutes les caractéristiques afin de voir la distribution des valeurs individuelles de chaque caractéristique au niveau des différentes localités (Figure 16 à 21) et de façon globale pour toutes les localités (Figure 22).

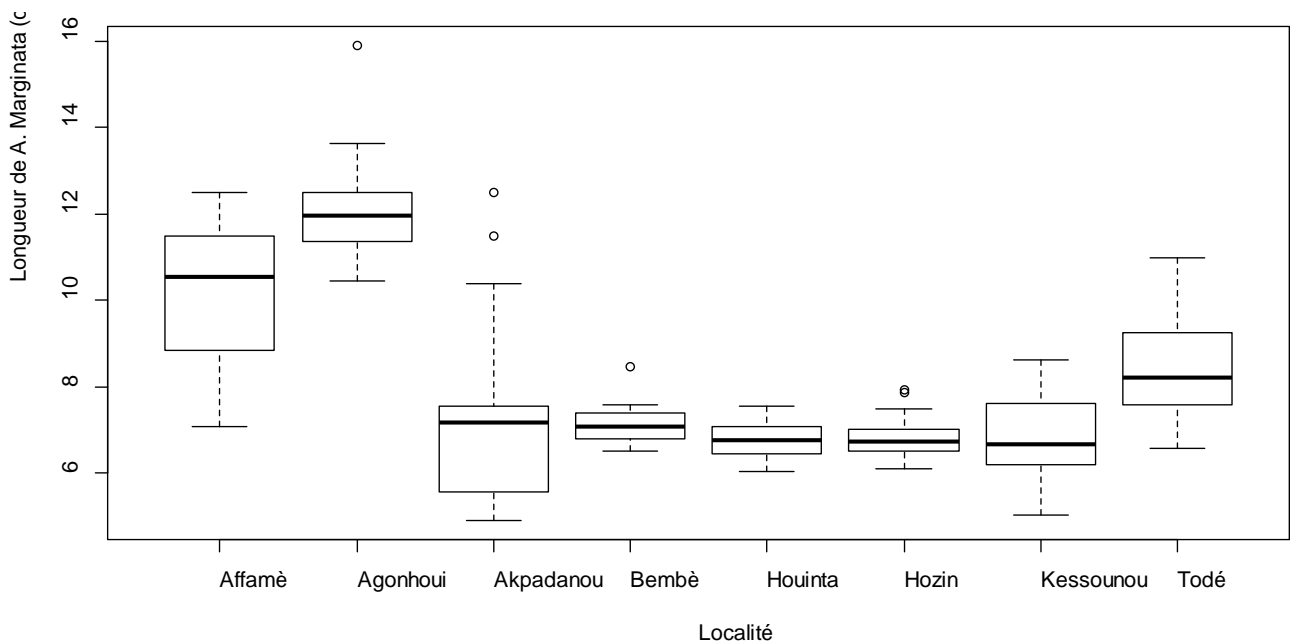


Figure 16 : Boxplot de la longueur des individus de *Archachatina marginata* dans les différentes localités

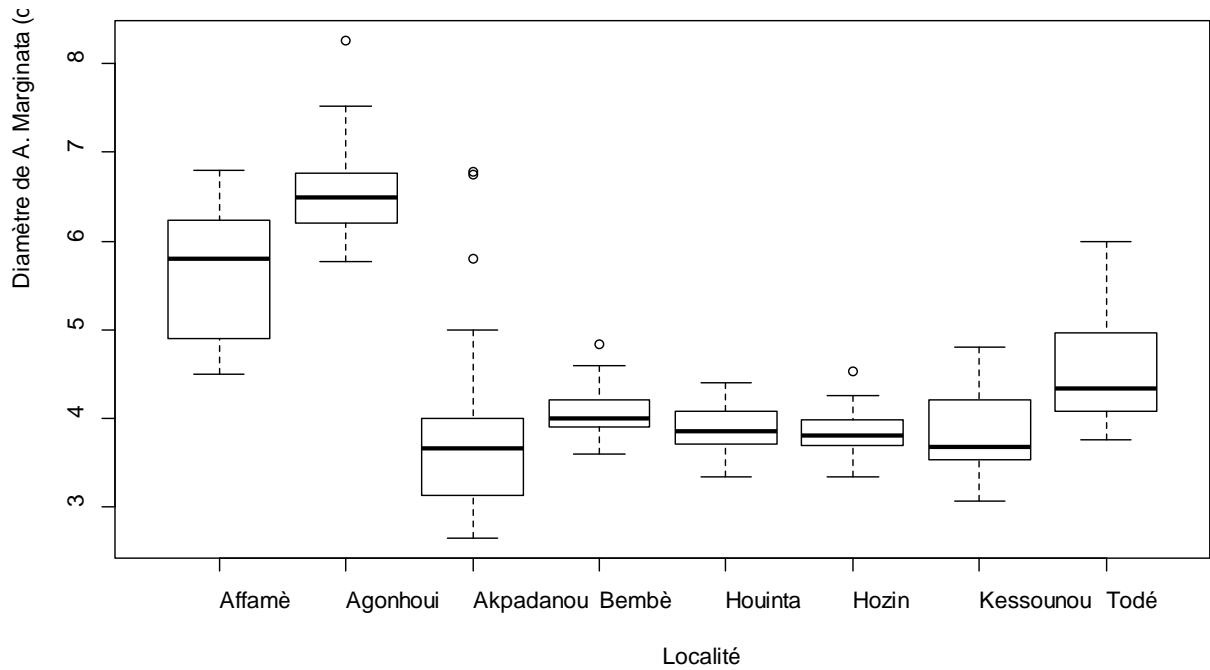


Figure 17 : Boxplot du diamètre des individus de *Archachatina marginata* dans les différentes localités

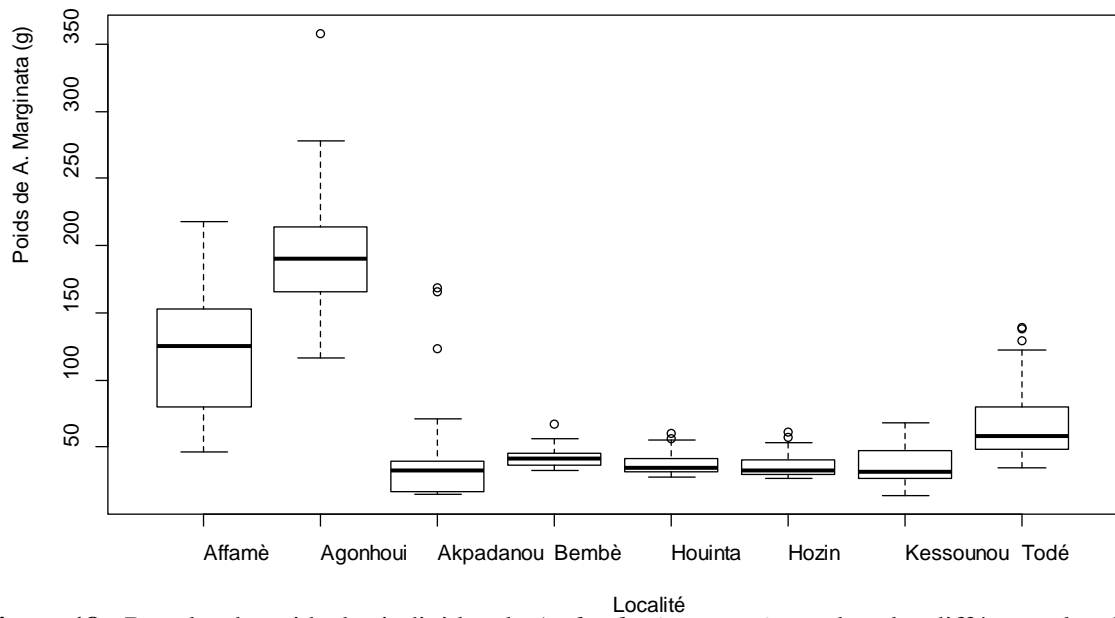


Figure 18 : Boxplot du poids des individus de *Archachatina marginata* dans les différentes localités

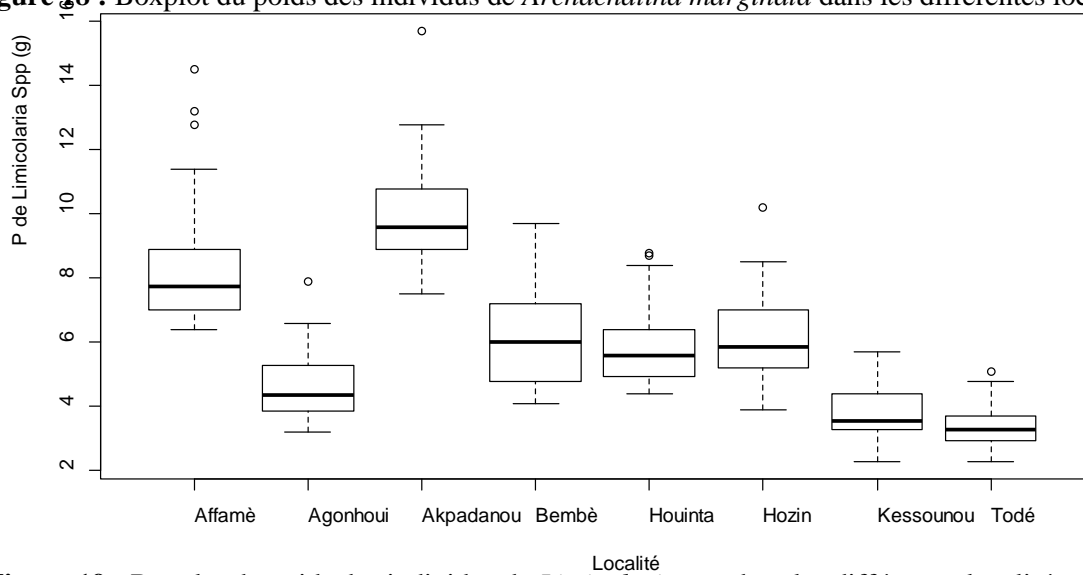


Figure 19 : Boxplot du poids des individus de *Limicolaria spp* dans les différentes localités

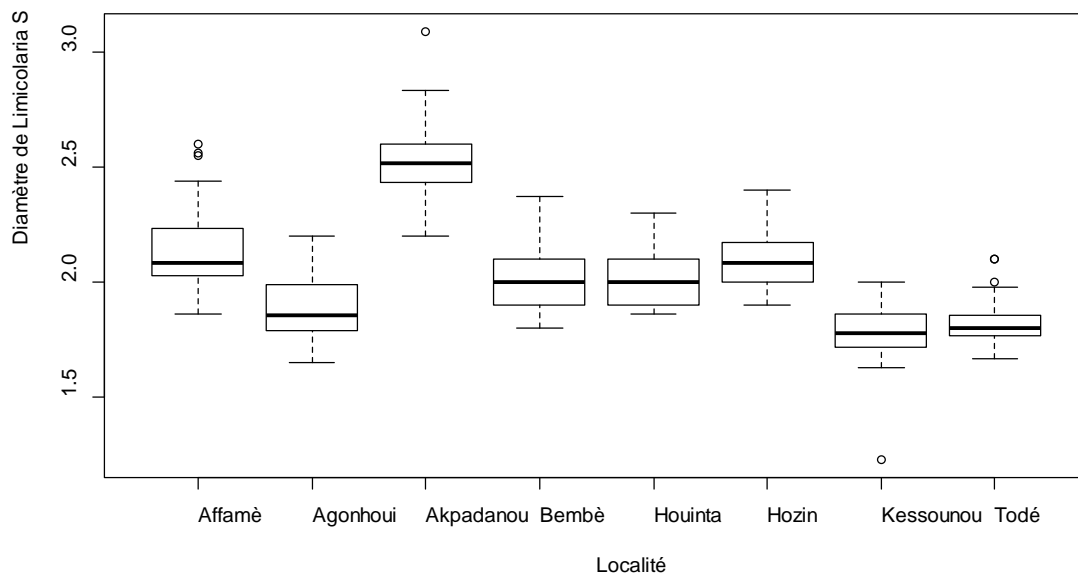


Figure 20 : Boxplot du diamètre des individus de *Limicolaria spp* dans les différentes localités

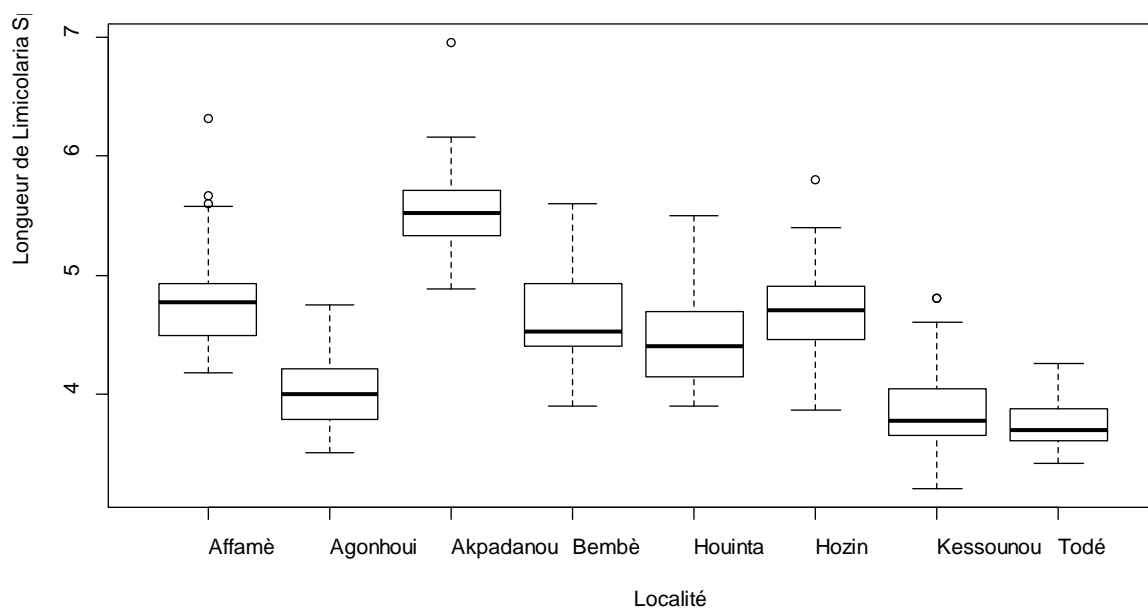
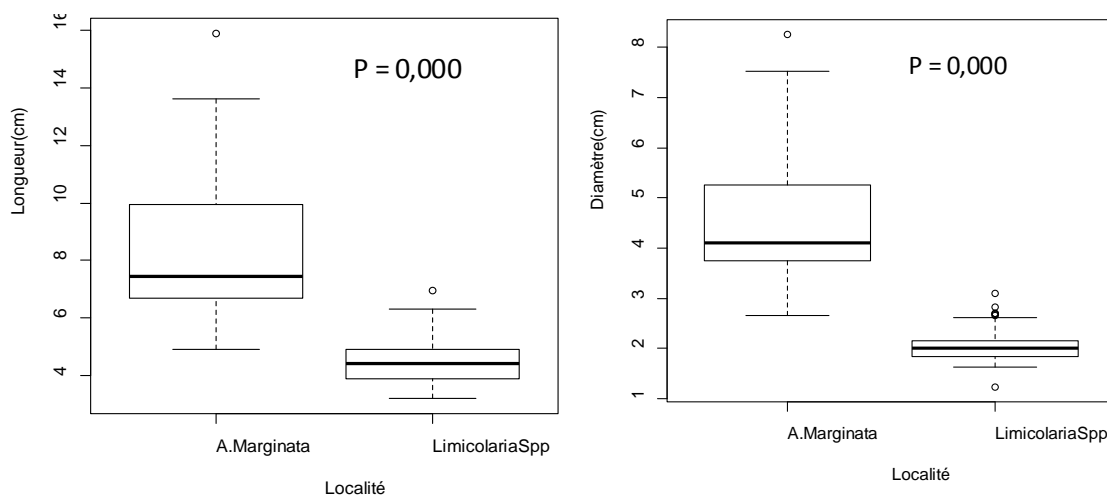


Figure 21 : Boxplot de la longueur des individus de *Limicolaria spp* dans les différentes localités



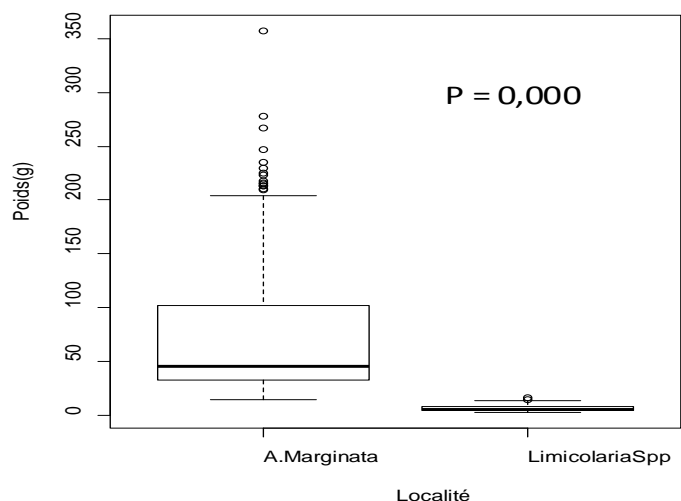


Figure 22 : Boxplot du diamètre, de la longueur et du poids des individus des deux espèces de façon globale

7.2 Les concentrations de métaux lourds dans les escargots

7.2.1 Les concentrations de métaux lourds dans les escargots crus

Les résultats obtenus après l'analyse des échantillons d'escargots crus de la vallée de l'Ouémé révèlent que l'accumulation des différents métaux dans les escargots varie suivant les localités d'une espèce à une autre. Les figures 23 et 24 présentent les différentes teneurs enregistrées par localité.

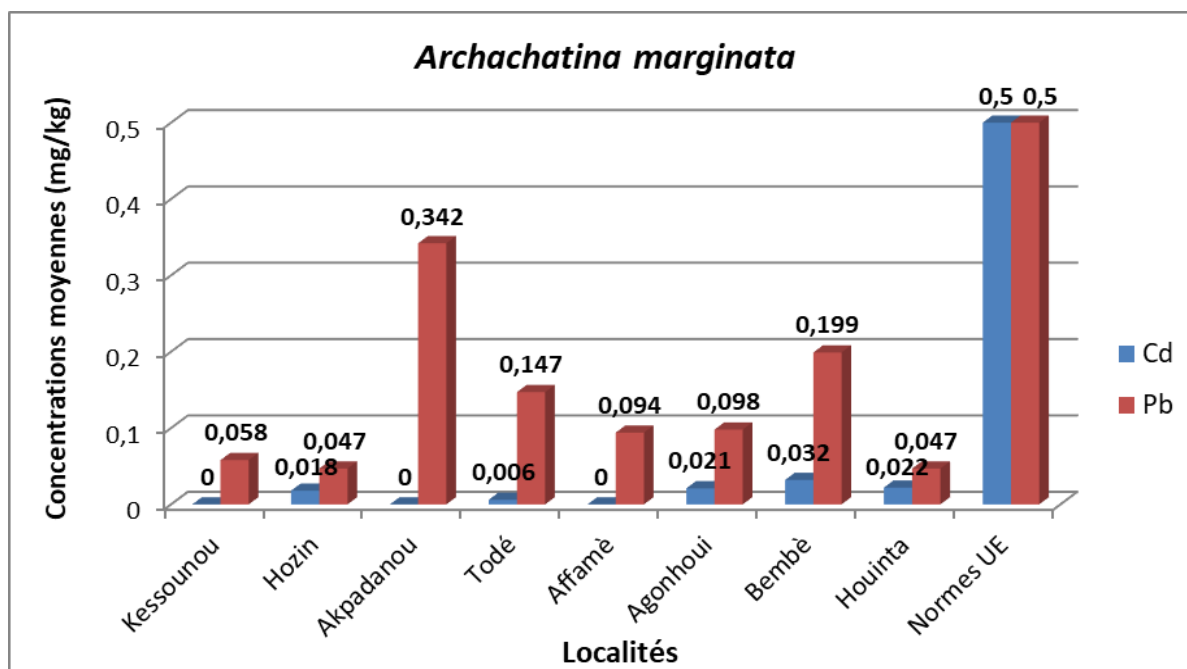


Figure 23 : Concentrations de métaux lourds dans l'espèce *Archachatina marginata* cru

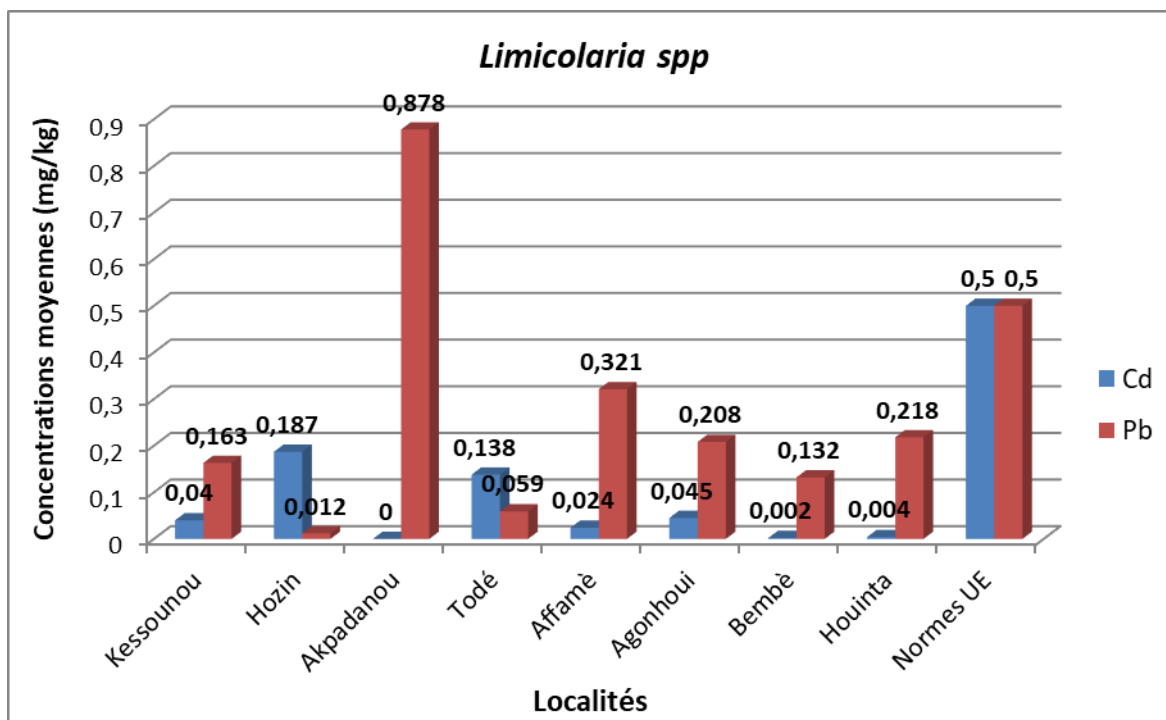


Figure 24 : Concentrations de métaux lourds dans l'espèce *Limicolaria spp* cru

L'analyse des figures 23 et 24 montre la présence du cadmium et du plomb dans les deux espèces d'escargots collectés dans les différentes localités. Pour l'*Archachatina marginata*, les concentrations moyennes du cadmium enregistrées varient entre 0 et 0,032 mg/kg tandis que celles du plomb varient entre 0,047 et 0,342 mg/kg. Et pour le *Limicolaria spp*, les concentrations moyennes du cadmium enregistrées varient entre 0 et 0,187 mg/kg tandis que celles du plomb varient entre 0,012 et 0,878 mg/kg. L'analyse des figures permet de ranger par ordre décroissant les concentrations en métaux lourds dans les échantillons d'escargots crus de chaque localité (à l'exception de Hozin et Todé pour le *Limicolaria spp*) de la manière suivante : $Pb > Cd$. On peut en déduire que les deux espèces concentrent plus le plomb que le cadmium. Mais l'espèce *Limicolaria spp* accumule en général plus de métaux lourds que l'espèce *Archachatina marginata*. Les teneurs moyennes de cadmium et de plomb enregistrées pour l'*Archachatina marginata* n'excède pas les normes N°420/2011 de l'Union Européenne pour les céphalopodes (0,5 mg/kg) dans toutes les localités. Par contre pour le *Limicolaria spp*, la teneur de plomb enregistrée est supérieure aux normes de l'Union Européenne à Akpadanou. Les teneurs de cadmium n'excèdent pas les normes dans toutes les localités. En effet, le calcul des facteurs de bioconcentration des métaux lourds indique que dans cette localité l'espèce *Limicolaria spp* a accumulé le plomb près de 2 fois plus que la norme (Figure 25). Cette supériorité de la teneur de plomb à Akpadanou serait due aux déchets métalliques jetés dans les bas-fonds, brousses et palmeraies, lieux de collecte de cette

espèce d'escargot dans la localité. Ce qui laisse penser à une probable pollution du sol par le plomb dans cette localité.

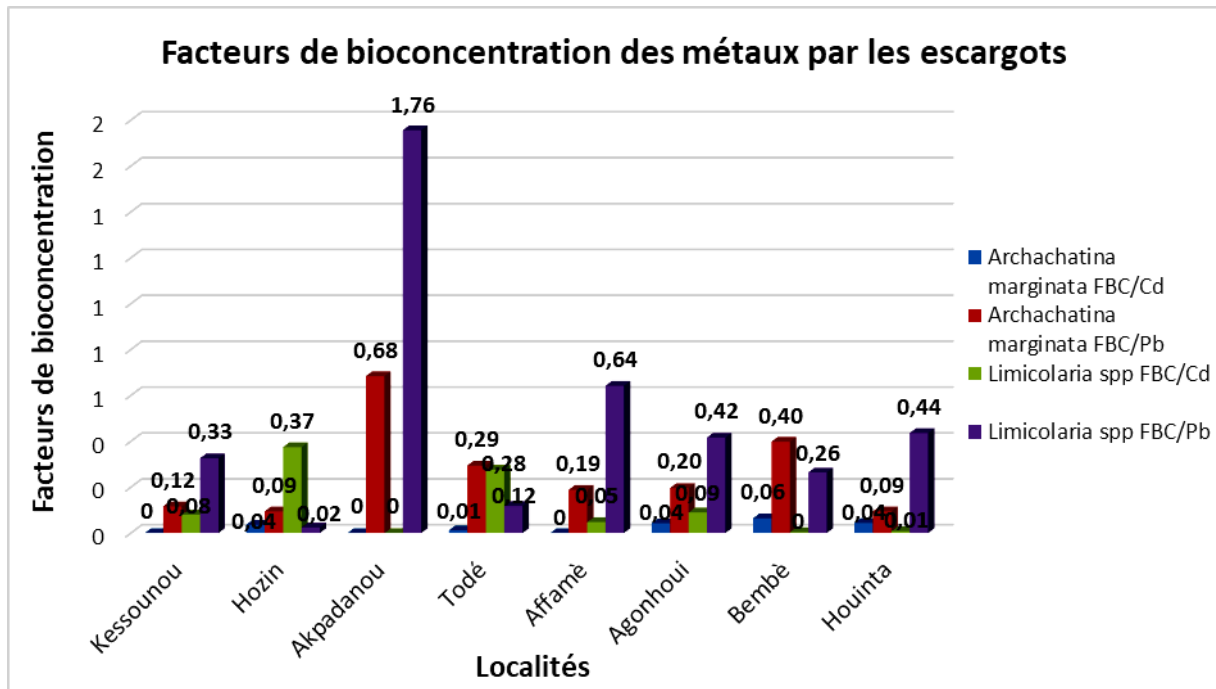


Figure 25 : Facteurs de bioconcentration du cadmium et du plomb dans les deux espèces d'escargots

Ces résultats sont largement inférieurs à ceux obtenus par Viard et *al.* (2004) dans les viscères de l'escargot *Helix aspersa aspersa* transféré sur des sites à proximité de l'autoroute A31 (France) où ils ont enregistré des concentrations allant jusqu'à 21,3 mg Pb.kg⁻¹ PS et 5,7 mg Cd.kg⁻¹ entre 5 et 20 m de l'autoroute. Ils sont aussi inférieurs à ceux obtenus par Etorh et *al.* (2009) sur l'escargot *Achatina achatina* dans le village Okpara au Bénin où ils ont enregistré des teneurs moyennes de 1,24 mg/kg pour le cadmium et 8,56 mg/kg pour le plomb. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par Waykar et Petare (2013) sur les escargots *Bellamya bengalensis* et *Lymnea accuminata* du barrage de Malangaon en Inde où ils ont enregistré des teneurs de 83,5 et 1541,3µg/g respectivement pour le cadmium et le plomb dans *Bellamya bengalensis* puis 107,63 et 603,3µg/g respectivement dans *Lymnea accuminata*. Ils diffèrent aussi de ceux obtenus par Merzouki et *al.* (2009) sur un autre gastéropode, la moule *Mytilus galloprovincialis* de la côte d'El Jadida (Maroc). Les concentrations enregistrées pour le cadmium vont jusqu'à 62,629 µg/g dans la glande digestive de la moule. La dissemblance entre les résultats des divers auteurs et des nôtres pourrait être due à la différence des espèces, de la partie analysée (pied ou viscères) et du milieu de collecte des espèces analysées.

L'analyse des résultats après le test Kruskal-Wallis de comparaison des moyennes et celui de Nruskal Kramer Nemenyi pour la structuration des moyennes permet d'avoir les tableaux VII et VIII.

Tableau VII : Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans *Archachatina Marginata* cru

Localité	Cd	cv (%)	Probabilité	Pb	cv (%)	Probabilité
Affamè	0	*		0.0945	23.196	
Agonhoui	0.0205	65.537		0.098	23.089	
Akpadanou	0	*		0.342	79.394	
Bembè	0.0325	58.744	0.11	0.1995	20.203	0.076
Houinta	0.022	77.139		0.047	87.26	
Hozin	0.018	47.14		0.0475	10.421	
Kessounou	0	*		0.0575	1.23	
Todé	0.0065	141.421		0.1465	72.883	

Tableau VIII : Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans *Limicolaria spp* cru

Localité	Cd	cv (%)	Probabilité	Pb	cv (%)	Probabilité
Affamè	0.0245	20.203		0.3205	5.074	
Agonhoui	0.0455	141.421		0.208	73.43	
Akpadanou	0.000	*		0.878	98.415	
Bembè	0.002	141.421	0.151	0.132	36.427	0.101
Houinta	0.0045	141.421		0.2175	49.091	
Hozin	0.1875	82.59		0.0125	141.421	
Kessounou	0.040	70.711		0.1625	36.987	
Todé	0.1375	83.824		0.0595	24.957	

Il ressort des deux tableaux qu'il n'y a pas de différence significative ($P > 0,05$) entre les valeurs médianes des concentrations en métaux lourds (cadmium et plomb) contenues dans la viande crue des deux espèces d'escargot dans les différentes localités.

Le lien entre les caractéristiques morphologiques et la concentration en métaux lourds a été évalué à travers le coefficient de corrélation de Pearson. L'analyse des matrices de corrélation métaux lourds et caractéristiques morphologiques des escargots a montré qu'il y a de faibles liens et non significatifs entre les métaux lourds bioaccumulés et les caractéristiques morphologiques des deux espèces d'escargot (Tableau IX et X). Donc les concentrations des

métaux lourds dans les escargots ne dépendent ni de leur longueur ni de leur diamètre ni de leur poids. Par conséquent, un gros et un petit escargots peuvent avoir les mêmes concentrations de métaux lourds. Les teneurs en métaux lourds seraient alors plutôt liées aux phénomènes d'absorption et d'excrétion de ces polluants chimiques au moment de la capture de l'escargot.

Tableau IX : Matrices de corrélation entre métaux lourds et caractéristiques morphologiques de *Archachatina Marginata*

	Cd	Pb	Long	Diam
Pb	-0.163 0.547			
Long	-0.325 0.22	0.345 0.19		
Diam	-0.33 0.212	0.344 0.192	0.972 0	
Poids	-0.247 0.357	0.227 0.399	0.977 0	0.963 0

Tableau X : Matrices de corrélation entre métaux lourds et caractéristiques morphologiques de *Limicolaria Spp*

	Long	Diam	Poids	Cd
Diam	0.876 0			
Poids	0.893 0	0.923 0		
Cd	-0.112 0.68	-0.118 0.663	-0.189 0.483	
Pb	0.445 0.084	0.49 0.054	0.422 0.104	-0.356 0.176

7.2.2 Les concentrations de métaux lourds dans les escargots bouillis

Les résultats obtenus après l'analyse des échantillons d'escargots bouillis révèlent aussi que l'accumulation des différents métaux dans les escargots varie suivant les localités d'une espèce à une autre. Les figures 26 et 27 présentent les différentes teneurs enregistrées par localité.

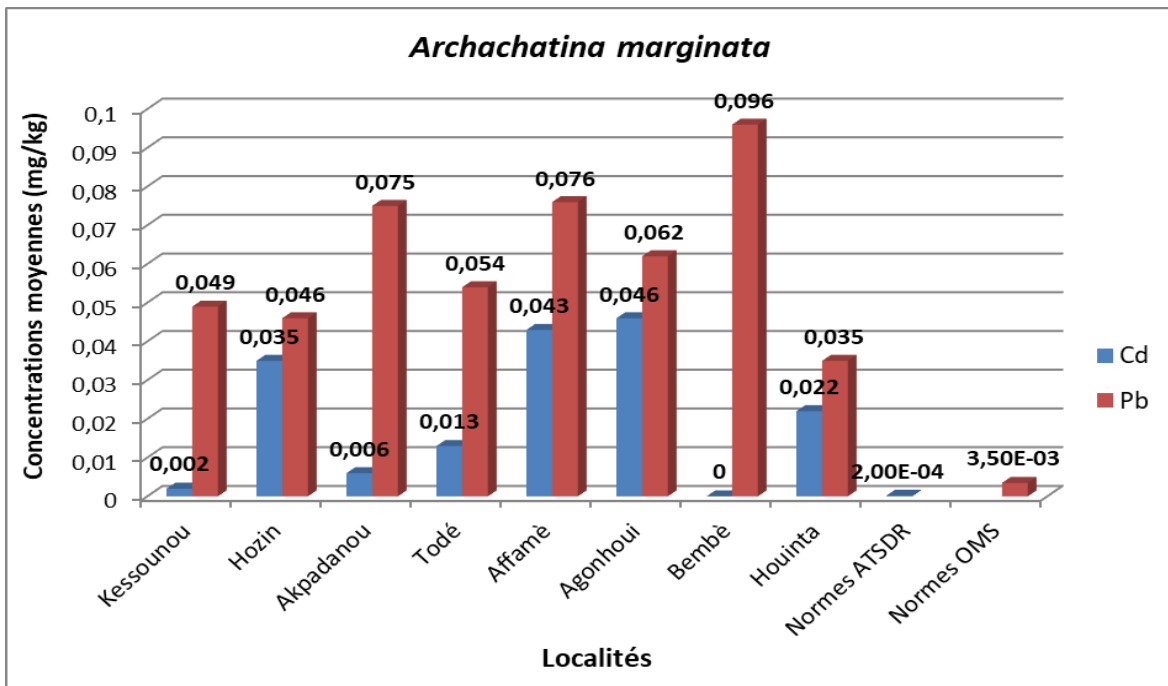


Figure 26 : Concentrations de métaux lourds dans l'espèce *Archachatina marginata* bouilli

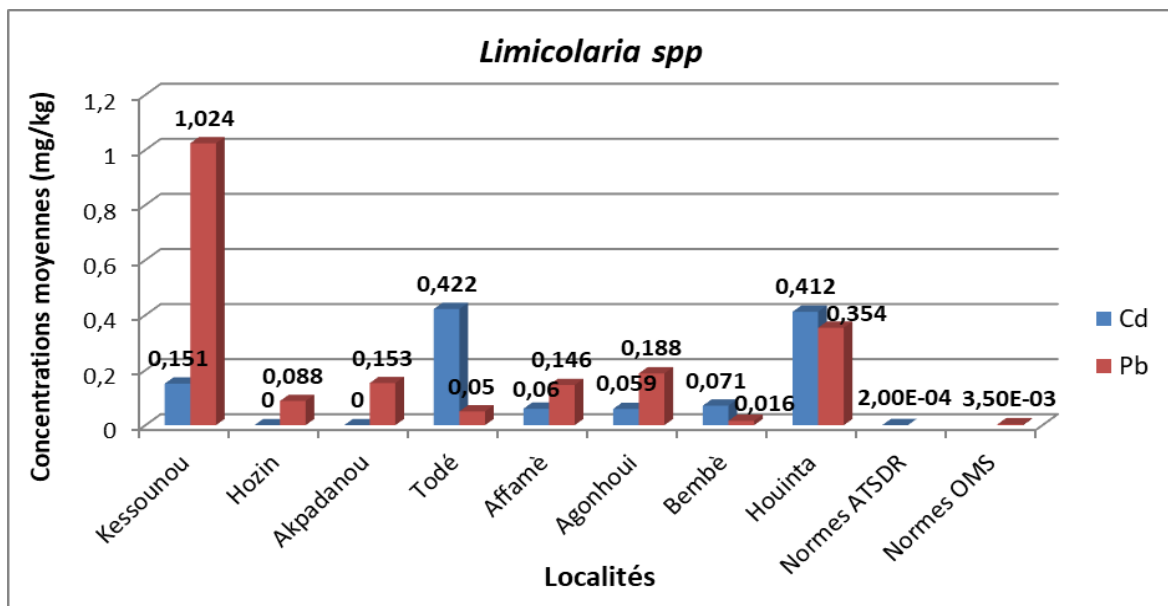


Figure 27 : Concentrations de métaux lourds dans l'espèce *Limicolaria spp* bouilli

L'analyse des figures 26 et 27 montre la présence du cadmium et du plomb dans les deux espèces d'escargots bouillis. Pour l'*Archachatina marginata*, les concentrations moyennes du cadmium enregistrées varient entre 0 et 0,046 mg/kg tandis que celles du plomb varient entre 0,035 et 0,096 mg/kg. Et pour le *Limicolaria spp*, les concentrations moyennes du cadmium enregistrées varient entre 0 et 0,422 mg/kg tandis que celles du plomb varient entre 0,016 et 1,024 mg/kg. Les concentrations moyennes de plomb obtenues dans toutes les localités après avoir bouilli l'*Archachatina marginata* surpassent de loin les valeurs toxicologiques de référence fixées par l'OMS (normes journalières) pour l'exposition à ce

métal par voie orale. Ces concentrations dépassent jusqu'à 27 fois la norme à Bembè. Cette grande supériorité des concentrations moyennes de plomb est aussi observée pour le *Limicolaria spp* bouilli dans toutes les localités où les teneurs enregistrées vont jusqu'à 292 fois la norme à Kessounou. Les concentrations moyennes de cadmium obtenues après avoir bouilli l'*Archachatina marginata* sont aussi supérieures aux valeurs toxicologiques de référence fixées par l'ATSDR (normes journalières) pour l'exposition à ce métal par voie orale dans toutes les localités à l'exception de Kessounou et de Bembè. Les concentrations moyennes enregistrées dépassent jusqu'à 230 fois la norme à Agonhoui. Pour le *Limicolaria spp* bouilli, cette grande supériorité des concentrations moyennes de cadmium est aussi observée dans toutes les localités à l'exception de Hozin et d'Akpadanou. A Todé, la concentration moyenne enregistrée dépasse 2110 fois la norme et à Houinta 2060 fois. On peut déduire de ces résultats qu'il pourrait y avoir un risque sanitaire lié à la consommation des escargots bouillis de la vallée de l'Ouémé.

La chair d'escargot est considérée par plusieurs auteurs comme une viande de brousse. Ainsi, ces résultats sont différents de ceux obtenus par Kobia et al. (2016) sur la viande d'animaux de brousse au Ghana, en l'occurrence le rat géant. Les concentrations moyennes de plomb (13,93 mg/kg) qu'ils ont enregistré dans la viande bouillie dépassent largement celles obtenues dans cette étude dans toutes les localités pour toutes les deux espèces. Par contre les concentrations moyennes de cadmium enregistrées (0,10 mg/kg) sont inférieures à celles enregistrées dans cette étude à Kessounou, Todé et Houinta pour le *Limicolaria spp*.

L'analyse des résultats après le test Kruskal-Wallis de comparaison des moyennes et celui de Nruskal Kramer Nemenyi pour la structuration des moyennes permet d'avoir les tableaux XI et XII.

Tableau XI : Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans *Archachatina Marginata* bouilli

Localité	Cd	cv (%)	Probabilité	Pb	cv (%)	Probabilité
Affamè	0.0425	78.198		0.076	29.773	
Agonhoui	0.046	12.298		0.0615	54.039	
Akpadanou	0.0065	76.15		0.0755	59.004	
Bembè	0	*		0.096	85.442	
Houinta	0.0225	28.284	0.075	0.035	32.325	0.728
Hozin	0.035	68.69		0.046	21.521	
Kessounou	0.0025	28.284		0.049	2.886	
Todé	0.013	32.636		0.0535	1.322	

Tableau XII : Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans *Limicolaria spp* bouilli

Localité	Cd	cv (%)	Probabilité	Pb	cv (%)	Probabilité
Affamè	0.06	14.142		0.146	5.812	
Agonhoui	0.059	141.421		0.188	32.346	
Akpadanou	0.000	*		0.153	24.957	
Bembè	0.071	9.959	0.068	0.016	141.421	0.301
Houinta	0.4115	99.15		0.354	141.421	
Hozin	0.000	*		0.087	141.421	
Kessounou	0.1505	18.324		1.023	52.161	
Todé	0.422	33.847		0.049	141.421	

Il ressort des deux tableaux qu'il n'y a pas de différence significative ($P > 0,05$) entre les valeurs médianes des concentrations en métaux lourds (cadmium et plomb) contenues dans la chair bouillie des deux espèces d'escargot dans les différentes localités.

7.2.3 Les concentrations de métaux lourds dans les escargots frits

Les résultats obtenus après l'analyse des échantillons d'escargots frits de la vallée de l'Ouémé révèlent que l'accumulation des différents métaux dans les escargots varie suivant les localités d'une espèce à une autre. Les figures 28 et 29 présentent les différentes teneurs enregistrées par localité.

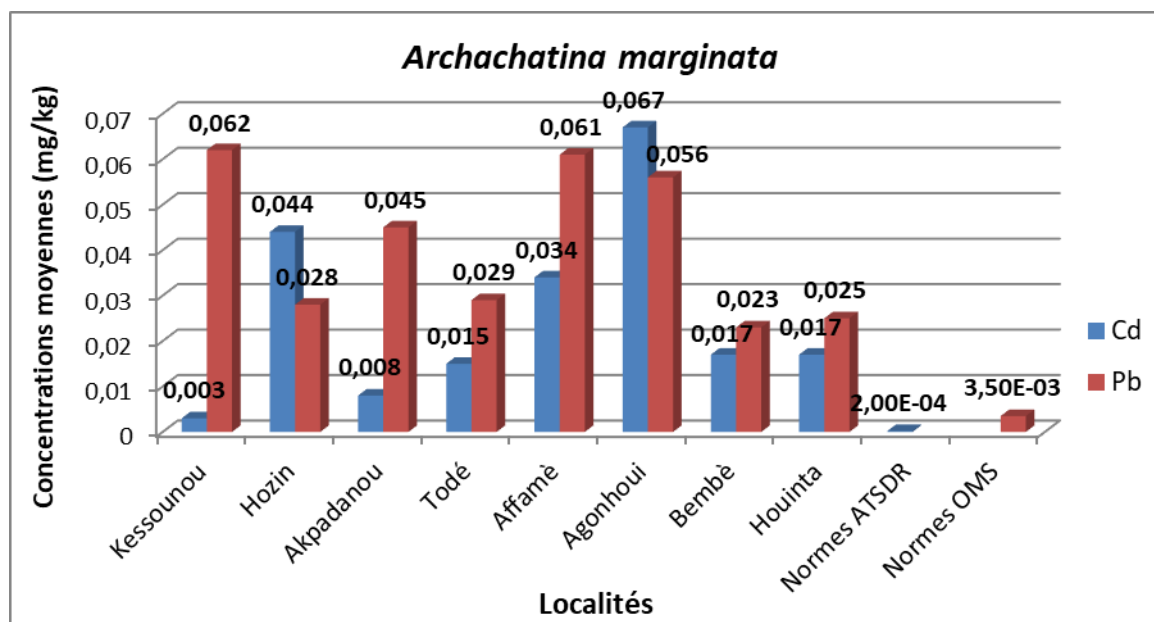


Figure 28 : Concentrations de métaux lourds dans l'espèce *Archachatina marginata* frit

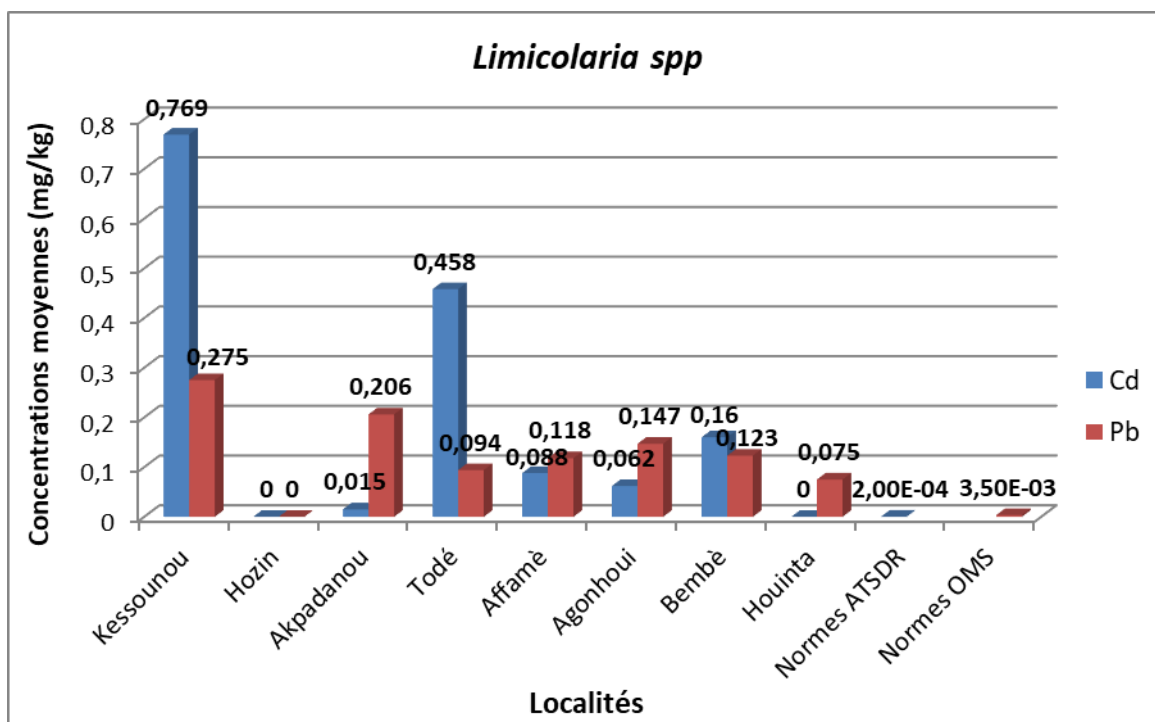


Figure 29 : Concentrations de métaux lourds dans l'espèce *Limicolaria spp* frit

L'analyse des figures 28 et 29 montre la présence du cadmium et du plomb dans les deux espèces d'escargots frits. Pour l'*Archachatina marginata*, les concentrations moyennes du cadmium enregistrées varient entre 0,003 et 0,067 mg/kg tandis que celles du plomb varient entre 0,023 et 0,062 mg/kg. Et pour le *Limicolaria spp*, les concentrations moyennes du cadmium enregistrées varient entre 0 et 0,769 mg/kg pendant que celles du plomb varient entre 0 et 0,275 mg/kg. Les concentrations moyennes de plomb obtenues dans toutes les localités après avoir frit l'*Archachatina marginata* sont largement au-delà des valeurs toxicologiques de référence fixées par l'OMS (normes journalières) pour l'exposition à ce métal par voie orale. Ces concentrations dépassent jusqu'à 17 fois la norme à Kessounou et à Agonhoui. A l'exception de Hozin, cette grande supériorité des concentrations moyennes de plomb est aussi observée pour le *Limicolaria spp* frit dans toutes les localités où les teneurs enregistrées vont jusqu'à 78 fois la norme à Kessounou. Les concentrations moyennes de cadmium obtenues après avoir frit l'*Archachatina marginata* sont aussi supérieures aux valeurs toxicologiques de référence fixées par l'ATSDR (normes journalières) pour l'exposition à ce métal par voie orale dans toutes les localités à l'exception de Kessounou. Les concentrations moyennes enregistrées dépassent jusqu'à 335 fois la norme à Agonhoui. Pour le *Limicolaria spp* frit, cette grande supériorité de concentrations moyennes de cadmium est aussi observée dans toutes les localités à l'exception de Hozin et de Houinta. A Kessounou, la

concentration moyenne enregistrée dépasse 3485 fois la norme et à Todé 2290 fois. On peut déduire de ces résultats qu'il pourrait y avoir un risque sanitaire lié à la consommation des escargots frits de la vallée de l'Ouémé.

Ces résultats sont largement inférieurs dans toutes les localités pour l'*Archachatina marginata* à ceux obtenus par Kobia et al. (2016) dans la viande de brousse où il a enregistré pour le cadmium et le plomb respectivement 0,10 mg/kg et 17,32 mg/kg. Par contre, les concentrations enregistrées dans notre étude pour le *Limicolaria spp* dépassent dans plusieurs localités celles obtenues par Kobia et al. (2016) pour le plomb. Nos résultats diffèrent aussi de ceux obtenus par Czech et Stachyra (2012) en Pologne dans la crevette *Penaeus setiferus* (0,100 mg Cd.kg⁻¹ et 0,057 mg Pb.kg⁻¹), le calmar *Todarodes pacificus* (0,704 mg Cd.kg⁻¹ et 0,140 mg Pb.kg⁻¹), la moule *Mytilus edulis* (0,190 mg Cd.kg⁻¹ et 0,059 mg Pb.kg⁻¹) et la pieuvre *Octopus vulgaris* (1,913 mg Cd.kg⁻¹ et 0,401 mg Pb.kg⁻¹). Ces teneurs sont largement supérieures à celles enregistrées dans cette étude pour l'*Archachatina marginata* dans presque toutes les localités. Elles sont par contre inférieures, dans certaines localités, aux teneurs enregistrées pour le *Limicolaria spp*.

L'analyse des résultats après le test Kruskal-Wallis de comparaison des moyennes et celui de Nruskal Kramer Nemenyi pour la structuration des moyennes nous permet d'avoir les tableaux XIII et XIV.

Tableau XIII : Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans *Archachatina marginata* frit

Localité	Cd	cv (%)	Probabilité	Pb	cv (%)	Probabilité
Affamè	0.0345	6.149		0.061	46.368	
Agonhoui	0.067	101.317		0.0555	11.467	
Akpadanou	0.0085	141.421		0.045	53.426	
Bembè	0.017	141.421	0.194	0.023	141.421	0.503
Houinta	0.017	24.957		0.0245	141.421	
Hozin	0.044	12.856		0.028	20.203	
Kessounou	0.0025	28.284		0.0625	19.233	
Todé	0.015	9.428		0.029	97.532	

Tableau XIV : Résultats du test de Kruskal-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans *Limicolaria spp* frit

Localité	Cd	cv (%)	Probabilité	Pb	cv (%)	Probabilité
Affamè	0.0885	3.995		0.118	31.626	
Agonhoui	0.0625	69.014		0.147	72.154	
Akpadanou	0.0145	141.421		0.206	35.699	
Bembè	0.1595	47.436	0.097	0.123	141.421	0.503
Houinta	0.000	*		0.075	141.421	
Hozin	0.000	*		0.000	*	
Kessounou	0.769	139.398		0.275	4.877	
Todé	0.458	22.541		0.094	22.567	

Il ressort des deux tableaux qu'il n'y a pas de différence significative ($P > 0,05$) entre les valeurs médianes des concentrations en métaux lourds (cadmium et plomb) contenues dans la viande frite des deux espèces d'escargot dans les différentes localités.

7.2.4 Comparaison des concentrations de métaux lourds entre *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp*

Les deux espèces d'escargot sur lesquelles a porté cette étude sont des espèces dites bioaccumulatrices. En effet, elles sont dotées d'une capacité bioaccumulatrice de polluants chimiques. La bioaccumulation est un phénomène qui s'observe chez les métaux lourds, mais elle est également mise en évidence chez d'autres composés chimiques comme les pesticides et a pour conséquence une concentration en polluant dans un organisme vivant, supérieure à la concentration de ce polluant dans le biotope de l'organisme. Au-delà de cette définition qui sert à comprendre l'utilité des bio-indicateurs (organismes vivants dont la contamination est révélatrice de la pollution du biotope), dans le cas des métaux lourds, c'est la bioaccumulation qui se transmet tout au long de la chaîne alimentaire qui explique le fait que l'Homme soit exposé à des quantités dangereuses de métaux lourds par son alimentation (Adamou, 2011). Le tableau suivant présente la comparaison des teneurs en métaux lourds entre les deux espèces d'escargots dans chaque localité.

Tableau XV : Comparaison des concentrations de métaux lourds entre *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp*

Localités	Cd (mg/kg)		Pb (mg/kg)	
	<i>Archachatina Marginata</i>	<i>Limicolaria Spp</i>	<i>Archachatina Marginata</i>	<i>Limicolaria Spp</i>
Kessounou	<0,000001	0,040±0,028	0,058±0,001	0,163±0,060

Hozin	0,018±0,008	0,187±0,155	0,047±0,005	0,012±0,018
Akpadanou	<0,000001	<0,000001	0,342±0,271	0,878±0,864
Todé	0,006±0,009	0,138±0,115	0,147±0,107	0,059±0,015
Affamè	<0,000001	0,024±0,005	0,094±0,022	0,321±0,016
Agonhoui	0,021±0,014	0,045±0,064	0,098±0,023	0,208±0,153
Bembè	0,032±0,020	0,002±0,002	0,199±0,041	0,132±0,048
Houinta	0,022±0,017	0,004±0,006	0,047±0,041	0,218±0,106

Source : Travaux de terrain et de laboratoire, 2017.

L'analyse de ce tableau permet de constater que dans presque toutes les localités, les teneurs de cadmium et de plomb accumulées par le *Limicolaria spp* sont supérieures à celles accumulées par l'*Archachatina marginata*. On peut en déduire que l'espèce *Limicolaria spp* concentrerait plus les métaux lourds, en l'occurrence le plomb et le cadmium, que l'espèce *Archachatina marginata*. Cela justifie d'ailleurs que les concentrations de métaux lourds ne sont pas liées aux caractéristiques morphologiques des escargots. Aussi, constate-t-on que chacune des deux espèces d'escargot concentre plus le plomb que le cadmium dans presque toutes les localités. De ce constat, on peut déduire que l'*Archachatina marginata* et le *Limicolaria spp* seraient des bio-indicateurs indiqués pour contrôler la pollution au plomb.

Ces résultats ressemblent à ceux obtenus par Waykar et Petare (2013). En effet d'après leurs travaux, les escargots *Bellamya bengalensis* et *Lymnea accuminata* accumulent chacun plus le plomb que le cadmium. Les deux espèces seraient donc aussi des bio-indicateurs indiqués pour la pollution au plomb.

7.2.5 Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des métaux lourds dans les escargots

Les différentes méthodes de transformation des denrées alimentaires ont généralement un effet sur les polluants chimiques présents dans ces dernières. D'après Hajeb et al. (2014), les méthodes de transformation peuvent avoir un effet positif ou négatif sur la réduction des éléments toxiques dans les denrées alimentaires. Dans le cadre de cette étude, les deux espèces d'escargots ont été bouillies et frites. Les effets de ces deux méthodes de transformation des escargots sur les métaux lourds sont appréciés à travers les figures 30 et 31 (Cf. tableau annexe 7).

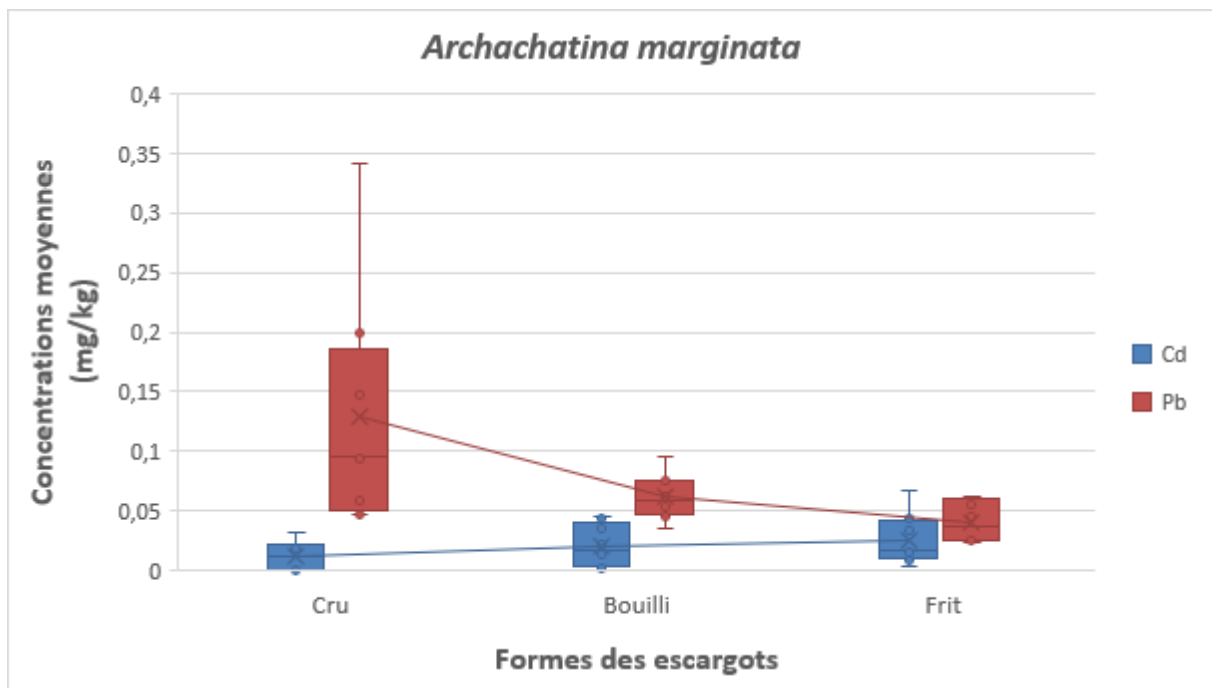


Figure 30 : Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des métaux lourds dans *Archachatina marginata*

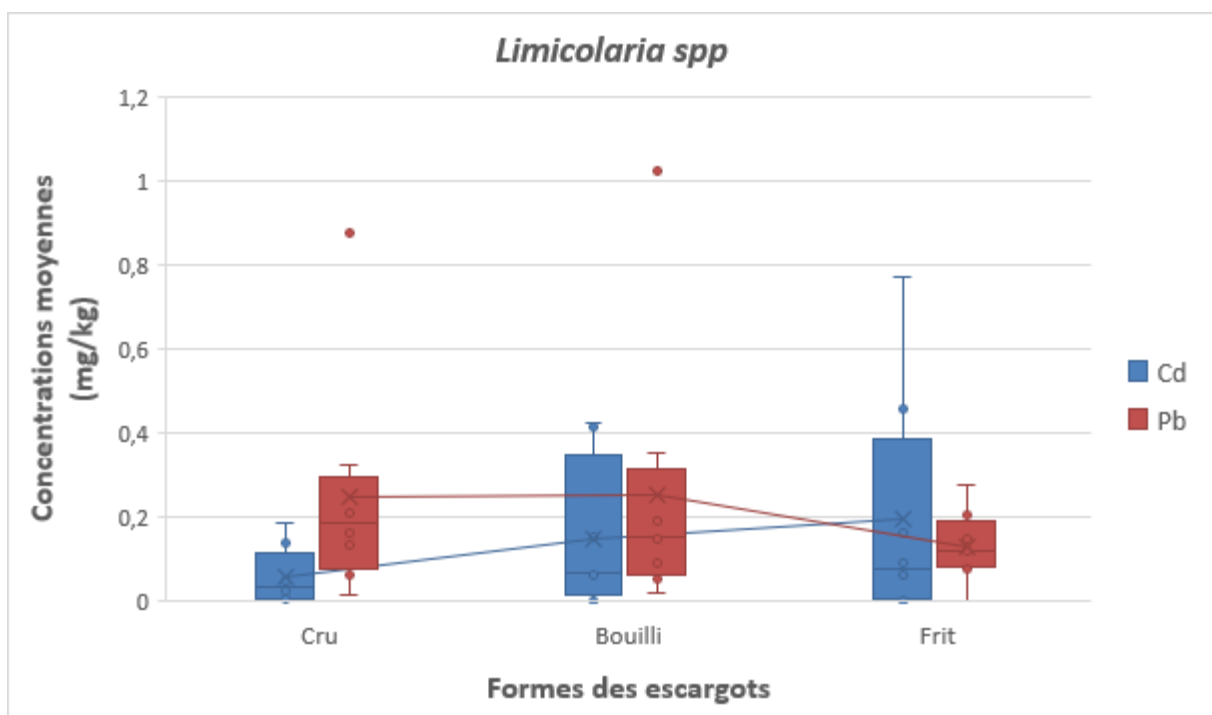


Figure 31 : Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des métaux lourds dans *Limicolaria spp*

Il ressort de l'analyse des deux figures qu'à l'exception de quelques localités, les concentrations de cadmium augmentent du cru au frit tandis que celles du plomb diminuent du cru au frit pour chacune des deux espèces d'escargots étudiées. On peut donc déduire que

globalement les deux méthodes de transformation (ébullition et friture) ont un effet positif sur la réduction du plomb dans les escargots et un effet négatif sur la réduction du cadmium dans les escargots. En effet, chez l'espèce *Archachatina marginata*, le plomb diminue selon les localités de 2% à 78% après ébullition et de 35% à 88% après friture. En revanche, le cadmium augmente de 0% à 119% après ébullition et de 144% à 219% après friture. Chez l'espèce *Limicolaria spp*, le plomb diminue selon les localités de 10% à 88% après ébullition et de 7% à 100% après friture. Par contre, le cadmium augmente de 31% à 10200% après ébullition et de 38% à 7900% après friture. Il en ressort que la friture est la méthode de cuisson qui permet les meilleurs taux de diminution de la concentration du plomb. Cette diminution de la concentration du plomb serait due au fait que la friture et l'ébullition altèrent la structure des protéines par chauffage (Ouédraogo et Amyot, 2011), ce qui rendrait les complexes plomb-protéine moins disponibles, et donc affecterait la concentration du plomb dans les escargots. L'augmentation de la concentration du cadmium quant à elle pourrait être due selon Gheisari et al. (2016) et Kalogeropoulos et al. (2012) à la perte d'eau résultant de la friture et de l'ébullition. Il a également été signalé que les méthodes de cuisson (ébullition, cuisson à la vapeur, friture et autres) peuvent modifier les concentrations de métaux toxiques par divers moyens, dont l'évaporation de l'eau et des composants volatils, la solubilisation de l'élément, et également par liaison métallique à d'autres macronutriments présents dans l'aliment comme les hydrates de carbone, les lipides et les protéines (Kobia et al., 2016).

Ces résultats sont proches de ceux enregistrés par plusieurs auteurs. Houlbrière et al. (2011) ont montré dans leurs travaux que les procédés de cuisson (ébullition) ont augmenté la concentration du cadmium dans la chair de la moule. Bassey et al. (2014) ont enregistré une augmentation de 100% du Cd dans le *Polydactylus quadratifilis* bouilli et frit, puis le double du Cd dans le *Chrysichthys nigrodigitatus* grillé par rapport au cru. Kobia et al. (2016) ont obtenu une augmentation du plomb dans la viande de brousse après ébullition et friture. Ersoy et al. (2006) ont quant à eux étudié l'effet de la cuisson, de la grillade, des micro-ondes et de la friture sur les métaux lourds dans le *Dicentrarchus labrax*. Parmi les différents métaux lourds étudiés, seule la concentration de plomb a significativement diminué chez les poissons cuits aux micro-ondes et au four. Par contre, Musaiger et D'Souza (2008) ont signalé une diminution du mercure, du plomb et du cadmium dans les poissons et les crevettes après différents processus de cuisson (grillade, friture et ébullition). Ainsi l'effet d'une méthode de cuisson sur la concentration d'un métal lourd varie selon la nature de métal lourd, le type de méthode de cuisson et l'espèce animale étudiée.

La comparaison des concentrations en métaux lourds suivant les formes de cuisson, toutes localités confondues, a révélé une différence très significative ($P < 0,05$) entre la valeur médiane du plomb contenu dans les différentes formes de cuisson et ceci, seulement au niveau de *Archachatina marginata* (Tableaux XVI et XVII). Les résultats du test de structuration des médianes de Nruskal Kramer Nemenyi révèlent que c'est la forme crue qui concentre beaucoup de plomb (0,129 mg/kg) que les deux autres qui ont des concentrations similaires.

Tableau XVI : Résultats du test de Kruskall-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans *Archachatina marginata* cru, bouilli et frit

Formes	Cd		Pb	
	Moyenne	cv (%)	Moyenne	cv (%)
Cru	0.012	116.845	0.129 ^a	96.361
Bouilli	0.021	99.005	0.061 ^b	53.177
Frit	0.026	109.296	0.041 ^b	58.478
Probabilité	0,145	-	0,002	-

Les moyennes avec les mêmes lettres ont des médianes qui ne sont pas significativement différentes

Tableau XVII : Résultats du test de Kruskall-Wallis et de Nruskal Kramer Nemenyi sur les concentrations moyennes des métaux lourds dans *Limicolaria spp* cru, bouilli et frit

Formes	Cd		Pb	
	Moyenne	cv (%)	Moyenne	cv (%)
Cru	0.055	155.356	0.248	140.034
Bouilli	0.147	137.925	0.252	147.327
Frit	0.194	199.312	0.129	78.892
Probabilité	0.369	-	0.517	-

Les moyennes avec les mêmes lettres ont des médianes qui ne sont pas significativement différentes

7.3 Les concentrations de résidus de pesticides dans les escargots

7.3.1 Les concentrations de résidus de pesticides dans les escargots crus

Les résultats obtenus après l'analyse des échantillons d'escargots crus de la vallée de l'Ouémé révèlent une accumulation de plusieurs molécules de pesticides dont les concentrations varient selon les localités et d'une espèce d'escargot à une autre. Les figures 32 et 33 présentent les différentes teneurs enregistrées par localité.

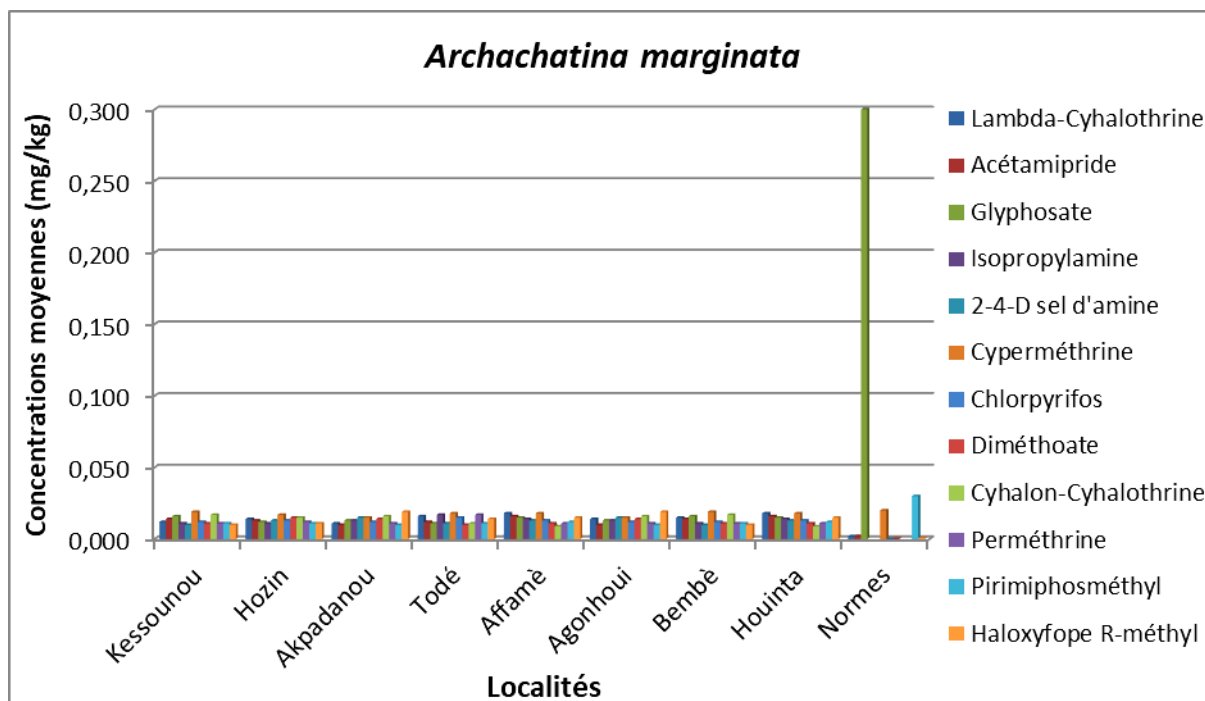


Figure 32 : Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce *Archachatina marginata* cru

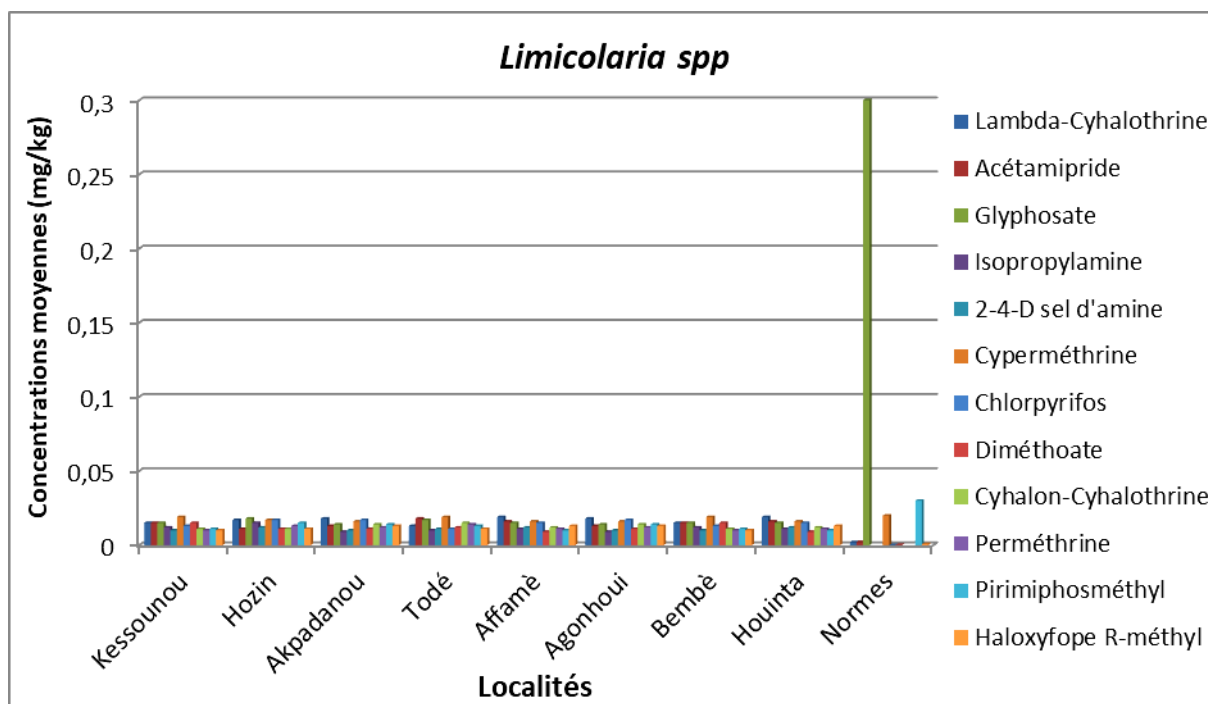


Figure 33 : Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce *Limicolaria spp* cru

L'analyse des figures 32 et 33 révèle la présence de douze molécules de pesticides dans les escargots crus. Il s'agit du lambda-cyhalothrine, de l'acétamipride, du glyphosate, de l'isopropylamine, du 2-4-D sel d'amine, de la cyperméthrine, du chlorpyrifos, du diméthoate, du cyhalon-cyhalothrine, du perméthrine, du pirimiphosméthyl et du haloxyfope R-méthyl. Ces molécules sont réparties en trois familles de pesticides à savoir : les organophosphorés

(chlorpyrifos, glyphosate, isopropylamine, 2-4 D sel d'amine, diméthoate, pirimiphosméthyl et haloxyfope R-méthyl), les pyréthriinoïdes (lambda-cyhalothrine, cyperméthrine, cyhalon-cyhalothrine et perméthrine) et les néonicotinoïdes (acétamipride) (cf. annexe 3 pour leur description). Elles peuvent être aussi réparties en deux catégories à savoir : les herbicides (glyphosate, isopropylamine, 2-4-D sel d'amine et haloxyfope R-méthyl) et les insecticides (lambda-cyhalothrine, acétamipride, cyperméthrine, chlorpyrifos, diméthoate, cyhalon-cyhalothrine, perméthrine, pirimiphosméthyl).

Pour l'*Archachatina marginata*, les concentrations moyennes du lambda-cyhalothrine, de l'acétamipride, du glyphosate, de l'isopropylamine, du 2-4-D sel d'amine, de la cyperméthrine, du chlorpyrifos, du diméthoate, du cyhalon-cyhalothrine, du perméthrine, du pirimiphosméthyl et du haloxyfope R-méthyl varient respectivement entre 0,011 et 0,018 mg/kg, 0,010 et 0,016 mg/kg, 0,011 et 0,016 mg/kg, 0,011 et 0,017 mg/kg, 0,010 et 0,015 mg/kg, 0,015 et 0,019 mg/kg, 0,012 et 0,015 mg/kg, 0,010 et 0,015 mg/kg, 0,009 et 0,017 mg/kg, 0,011 et 0,017 mg/kg, 0,010 et 0,012 mg/kg, 0,010 et 0,019 mg/kg. Le résidu de pesticide le plus élevé à Kessounou, à Hozin, à Todé et à Bembè est la cyperméthrine. A Akpadanou et à Agonhoui, c'est le Haloxyfope R-méthyl. A Affamè et à Houinta, c'est à la fois le lamda-cyhalothrine et la cyperméthrine. On peut en déduire que l'espèce *Archachatina marginata* accumule plus la cyperméthrine.

Pour le *Limicolaria spp*, les concentrations moyennes du lambda-cyhalothrine, de l'acétamipride, du glyphosate, de l'isopropylamide, du 2-4-D sel d'amine, de la cyperméthrine, du chlorpyrifos, du diméthoate, du cyhalon-cyhalothrine, du perméthrine, du pirimiphosméthyl et du haloxyfope R-méthyl varient respectivement entre 0,013 et 0,019 mg/kg, 0,011 et 0,018 mg/kg, 0,014 et 0,018 mg/kg, 0,009 et 0,015 mg/kg, 0,010 et 0,012 mg/kg, 0,016 et 0,019 mg/kg, 0,011 et 0,017 mg/kg, 0,009 et 0,015 mg/kg, 0,011 et 0,015 mg/kg, 0,010 et 0,015 mg/kg, 0,010 et 0,015 mg/kg, 0,010 et 0,013 mg/kg. Le résidu de pesticide le plus élevé à Akpadanou, à Affamè, à Agonhoui et à Houinta est le lamda-cyhalothrine. A Kessounou, à Todé et à Bembè, c'est la cyperméthrine. A Hozin, c'est le glyphosate. On peut en déduire que l'espèce *Limicolaria spp* accumule plus le lamda-cyhalothrine et la cyperméthrine.

Les concentrations moyennes des résidus de lambda-cyhalothrine, d'acétamipride, de chlorpyrifos, de diméthoate, et du haloxyfope R-méthyl enregistrées dans l'*Archachatina marginata* et le *Limicolaria spp* surpassent de loin, dans toutes les localités, les valeurs toxicologiques de référence fixées par la FAO/OMS (normes journalières) pour l'exposition à ce métal par voie orale. En revanche, les concentrations moyennes des résidus de glyphosate,

de cyperméthrine et de pirimiphosméthyl enregistrées dans les deux espèces sont inférieures dans toutes les localités aux valeurs toxicologiques de référence fixées par la FAO/OMS (normes journalières) pour l'exposition à ce métal par voie orale.

Cette supériorité de la concentration des molécules de pesticides serait due à leur forte utilisation dans les champs de maïs, de riz, de niébé, de piment, de gombo, de manioc, etc... par les agriculteurs de la vallée de l'Ouémé. Les observations directes sur le terrain nous ont en effet permis de remarquer que plusieurs agriculteurs de la zone d'étude ne se procurent pas les pesticides aux endroits indiqués, à savoir les CARDER. En effet, pour raison de leur moindre coût et de leur forte disponibilité, ils préfèrent les acheter sur les marchés locaux de certaines localités, notamment de Dangbo, d'Azowlissè et d'Agonhoui (photos 18 et 19). La conséquence est une utilisation abusive de ces pesticides faute de la maîtrise de leur mode d'emploi. Ce constat est confirmé par la déclaration du RDR de la commune d'Adjohoun qui a affirmé pendant les entretiens qu'il y a beaucoup de pesticides non homologués qui pillulent sur le marché d'Azowlissè et que les producteurs les achètent à cause de la raréfaction de la main d'œuvre agricole. Le responsable du Centre de Promotion Rurale d'Agonhoui quant à lui dénonce l'utilisation abusive de ces produits chimiques où certains producteurs utilisent 10L d'herbicides à l'hectare au lieu de 4L, soit plus du double. Le RDR de la commune de Bonou précise que les emballages de ces produits non homologués sont même utilisés par les producteurs pour conserver de l'huile ou de l'eau dans les ménages. De plus, ces pesticides sont utilisés par les pêcheurs sur le fleuve Ouémé pour capturer les poissons. Toutes ces déclarations justifient les concentrations élevées enregistrées.



Photo 3 : Etalage de vente de pesticides dans le marché de Dangbo centre



Photo 4 : Quelques pesticides observés dans le marché de Dangbo centre et dont les molécules sont retrouvées dans les escargots

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par Druart (2011) dans ses travaux au laboratoire sur l'escargot *Helix aspersa* (invertébré bioindicateur) en France. Elle a enregistré une accumulation du glyphosate allant jusqu'à 6 mg/kg après l'avoir nourri continuellement par de l'aliment contaminé (à 30 mg/kg). Cœurdaissier et *al.* (2001), après une exposition de quatre semaines à des doses croissantes de diméthoate dans l'alimentation cette même espèce d'escargot, ont enregistré une concentration létale médiane (CL50) de 3700 µg/g de nourriture. Nos résultats diffèrent aussi de ceux de Raggaa (2011) qui lui aussi dans des conditions de laboratoire a enregistré en Egypte dans l'escargot *Biomphalaria alexandrina* des concentrations de profenophos allant à 4,6 ppm et 10,7 ppm respectivement pour les valeurs de CL50 et CL90. La dissemblance de ces résultats d'avec les nôtres pourrait être expliquée par la différence des espèces, des parties analysées et des conditions expérimentales.

Le niveau de bioaccumulation des pesticides par *Archachatina marginata* cru par localité a été analysé au moyen d'une analyse en composante principale. Les principaux résultats obtenus montrent que les deux premières composantes principales expliquent à 76,68% toute la variabilité liée au niveau de bioaccumulation des pesticides par *Archachatina marginata* cru par localité (Figure 34). L'analyse des pesticides et des localités dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales montre que les escargots *Archachatina marginata* de Bembè, Affamè, Houinta et Todé renferment de forte

concentration de chlorpyrifos, lambda-cyhalothrine, pirimiphosméthyl, acétamipride, cyperméthrine et glyphosate alors que les individus de *Archachatina marginata* dans les localités de Agonhoui et Akpadanou renferment seulement de forte concentration de haloxyfope R-méthyl, 2-4-D sel d'amine, diméthoate et de cyhalon-cyhalotrine. Les individus de *Archachatina marginata* de Kessounou ont bioaccumulé de forte concentration de cyhalon-cyhalotrine et glyphosate seulement et s'oppose à ceux de Todé qui en plus de forte concentration en chlorpyrifos, lambda-cyhalothrine, pirimiphosméthyl, acétamipride, cyperméthrine et glyphosate renferment en forte concentration haloxyfope R-méthyl, 2-4-D sel d'amine, perméthrine et isopropylamine. Il s'en suit que la localité Todé est très polluée par l'usage des pesticides de différentes natures pendant que Hozin est le moins pollué.

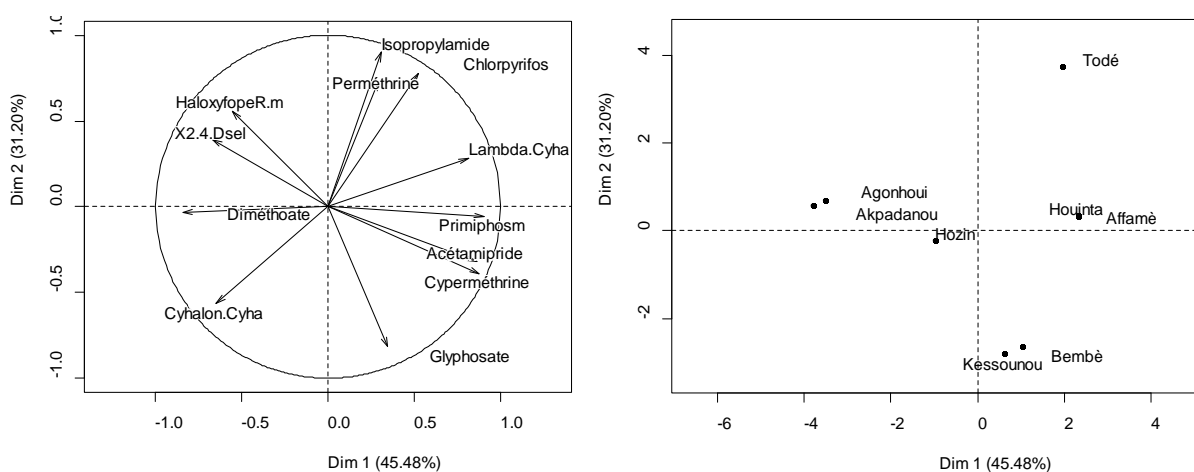


Figure 34 : Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par *Archachatina marginata* cru suivant les localités

Les principaux résultats obtenus après l'analyse en composante principale du niveau de bioaccumulation des pesticides par *Limicolaria spp* cru par localité montrent que les deux premières composantes principales expliquent à 62,17% toute la variabilité liée au niveau de bioaccumulation des pesticides par *Limicolaria spp* cru par localité (Figure 35). L'analyse des pesticides et des localités dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales montre que les individus de *Limicolaria spp* cru de Affamè, Houinta, Akpadanou et Agonhoui renferment de fortes concentrations de 2-4-D sel d'amine, chlorpyrifos, haloxyfope R-méthyl, lambda-cyhalothrine, pirimiphosméthyl et cyhalon-cyhalotrine alors que les individus de *Limicolaria spp* dans les localités de Kessounou, Bembè et Todé renferment de fortes concentrations de diméthoate, perméthrine, 2-4-D sel d'amine, cyperméthrine, glyphosate, isopropylamine, acétamipride et cyhalon-cyhalotrine. Les individus de *Limicolaria spp* de Hozin renferment seulement de forte concentration de glyphosate, isopropylamine, pirimiphosméthyl, perméthrine et chlorpyrifos. Les individus de

Limicolaria spp de Akpadanou et Agonhoui contiennent aussi de fortes concentrations en acétapmipride.

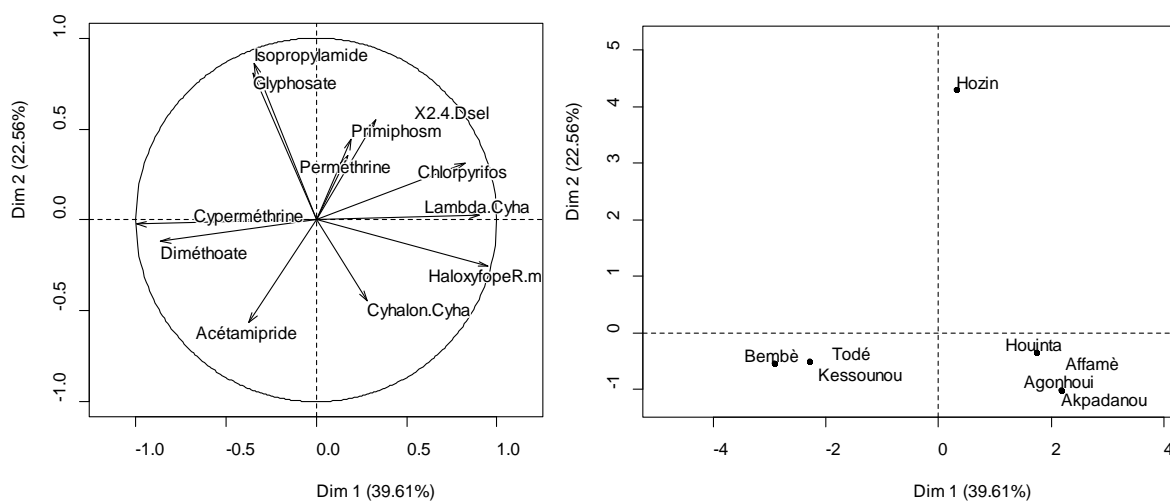


Figure 35 : Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par *Limicolaria spp* cru suivant les localités

7.3.2 Les concentrations de résidus de pesticides dans les escargots bouillis

Les résultats obtenus après l'analyse des échantillons d'escargots bouillis de la vallée de l'Ouémé révèlent que l'accumulation des molécules de pesticides varie suivant les localités d'une espèce d'escargot à une autre. Les figures 36 et 37 présentent les différentes teneurs enregistrées par localité.

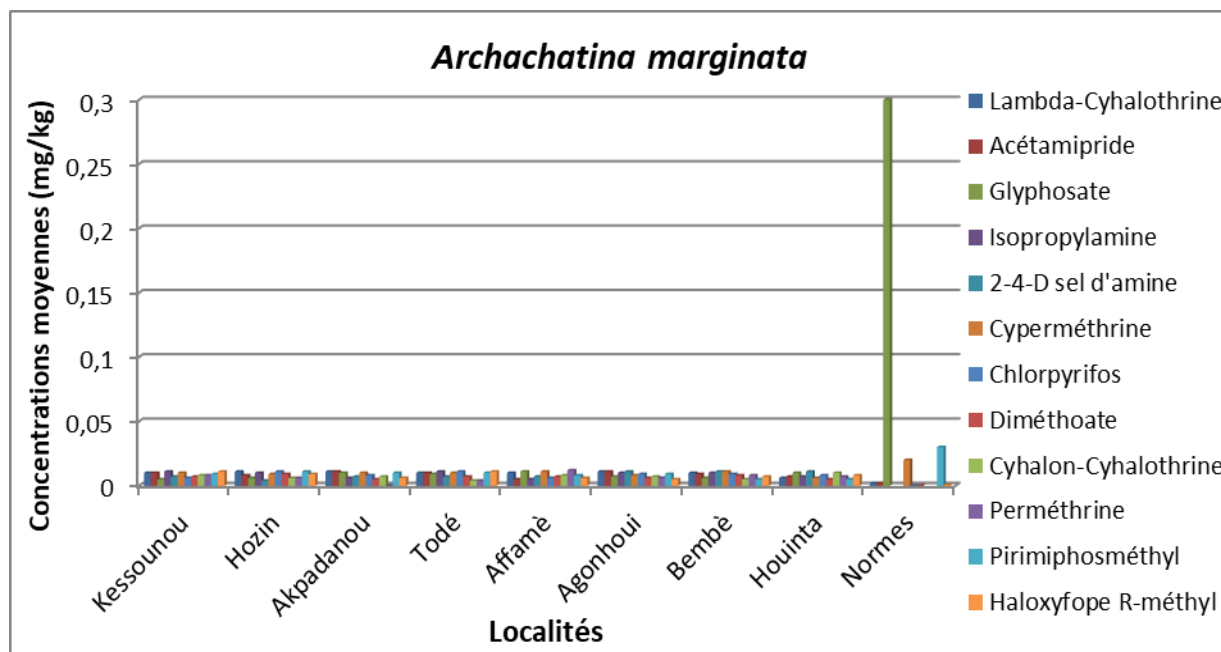


Figure 36 : Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce *Archachatina marginata* bouilli

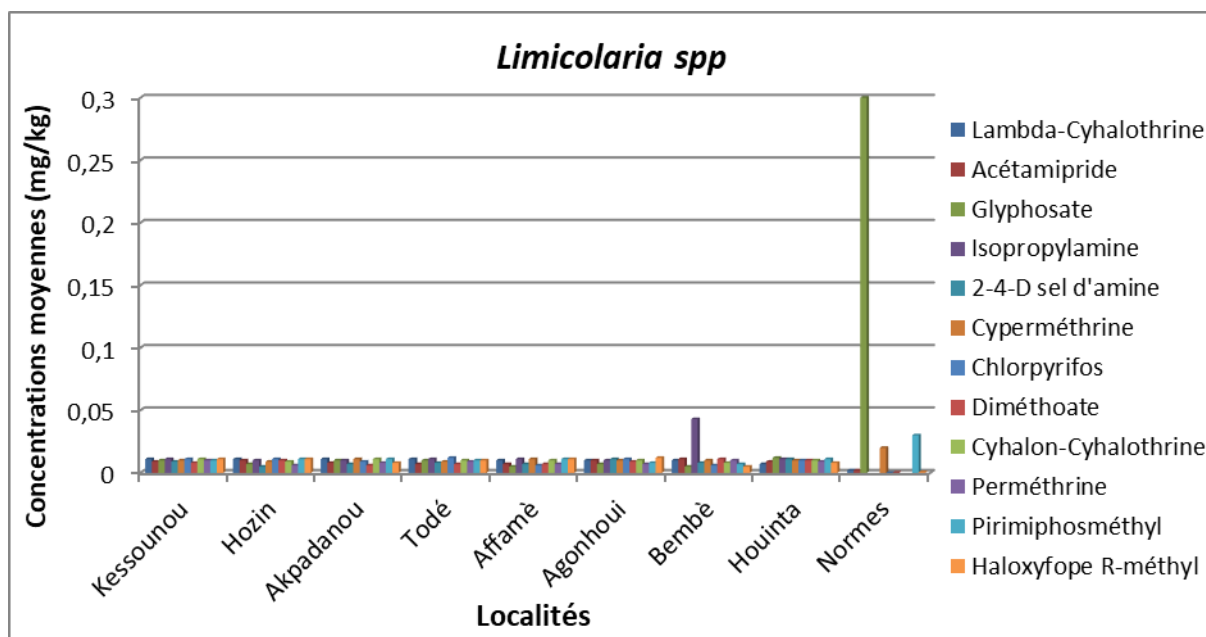


Figure 37 : Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce *Limicolaria spp* bouilli

L'analyse des figures 36 et 37 révèle la présence des mêmes molécules de pesticides dans les escargots bouillis. Pour l'*Archachatina marginata*, les concentrations moyennes du lambda-cyhalothrine, de l'acétamipride, du glyphosate, de l'isopropylamide, du 2-4-D sel d'amine, de la cyperméthrine, du chlorpyrifos, du diméthoate, du cyhalon-cyhalothrine, du perméthrine, du pirimiphosméthyl et du haloxyfop R-méthyl varient respectivement entre 0,006 et 0,011 mg/kg, 0,005 et 0,011 mg/kg, 0,005 et 0,011 mg/kg, 0,005 et 0,011 mg/kg, 0,004 et 0,011 mg/kg, 0,006 et 0,011 mg/kg, 0,006 et 0,011 mg/kg, 0,005 et 0,009 mg/kg, 0,004 et 0,008 mg/kg, 0 et 0,012 mg/kg, 0,005 et 0,011 mg/kg, 0,005 et 0,011 mg/kg.

Pour le *Limicolaria spp*, les concentrations moyennes du lambda-cyhalothrine, de l'acétamipride, du glyphosate, de l'isopropylamide, du 2-4-D sel d'amine, de la cyperméthrine, du chlorpyrifos, du diméthoate, du cyhalon-cyhalothrine, du perméthrine, du pirimiphosméthyl et du haloxyfop R-méthyl varient respectivement entre 0,007 et 0,011 mg/kg, 0,007 et 0,011 mg/kg, 0,005 et 0,012 mg/kg, 0,010 et 0,043 mg/kg, 0,005 et 0,011 mg/kg, 0,009 et 0,011 mg/kg, 0,006 et 0,012 mg/kg, 0,006 et 0,011 mg/kg, 0,008 et 0,011 mg/kg, 0,006 et 0,010 mg/kg, 0,007 et 0,011 mg/kg, 0,005 et 0,012 mg/kg.

Comme dans les escargots crus, les concentrations moyennes des résidus de lambda-cyhalothrine, d'acétamipride, de chlorpyrifos, de diméthoate, et du haloxyfop R-méthyl enregistrées dans l'*Archachatina marginata* et le *Limicolaria spp* bouillis sont très supérieures dans toutes les localités aux valeurs toxicologiques de référence fixées par la FAO/OMS (normes journalières) pour l'exposition à ce métal par voie orale. Par contre, les concentrations moyennes des résidus de glyphosate, de cyperméthrine et de pirimiphosméthyl

enregistrées dans les deux espèces sont inférieures dans toutes les localités aux valeurs toxicologiques de référence fixées par la FAO/OMS (normes journalières) pour l'exposition à ce métal par voie orale.

Le niveau de bioaccumulation des pesticides par *Archachatina marginata* bouilli par localité a été analysé au moyen d'une analyse en composante principale. Malgré l'effet de cuisson dans l'eau, de fortes concentrations de cyperméthrine, cyhalon-cyhalothrine, pirimiphosméthyl, diméthoate, haloxyfope R-méthyl, chlorpyrifos, isoprompylamine et acétamipride s'observent dans la viande des individus de *Archachatina marginata* bouillis des localités de Hozin et Todé (Figure 38). De fortes concentrations de cyperméthrine, lambda-cyhalothrine, pirimiphosméthyl, diméthoate et perméthrine s'observent dans la viande des individus de *Archachatina marginata* bouilli d'Affamè et de fortes concentrations de 2-4-D sel d'amine, chlorpyrifos, acétamipride et isopropylamine sont notées dans la viande des individus de *Archachatina marginata* bouilli provenant de Houinta et Agonhoui. La viande des individus de *Archachatina marginata* bouilli provenant de Akpadanou, Bembè et Kessounou ont eu de faibles concentrations de pesticides après cuisson.

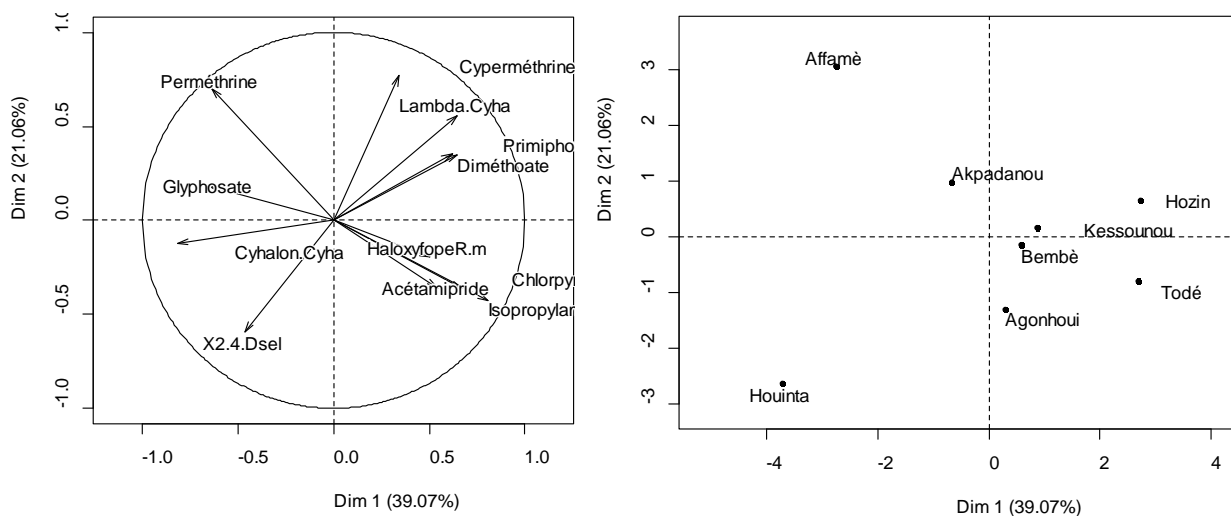


Figure 38 : Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par *Archachatina Marginata* bouilli suivant les localités

L'analyse en composante principale sur le niveau de concentration des pesticides dans les individus de *Limicolaria spp* bouilli suivant les localités a expliqué à 58,25% toute la variabilité liée à la concentration en pesticides entre les localités (Figure 39). Les projections dans les plans d'axe factoriels montrent que les individus de *Limicolaria spp* bouilli des localités de Kessounou, Todé, Akpadanou et Affamè renferment des concentrations élevées de glyphosate, chlorpyrifos, cyhalon-cyhalothrine, pirimiphosméthyl, lambda-cyhalothrine et haloxyfope R-méthyl par opposition à ceux de Bembè où les concentrations en

isopropylamine, perméthrine, diméthoate, cyperméthrine et acétamipride sont toujours élevées. Les individus de *Limicolaria spp* bouilli à Houinta contiennent aussi des concentrations élevées de 2-4-D sel d'amine, glyphosate, perméthrine et chlorpyrifos par opposition à ceux de Hozin qui ne contiennent que du lambda-cyhalothrine en concentration élevée.

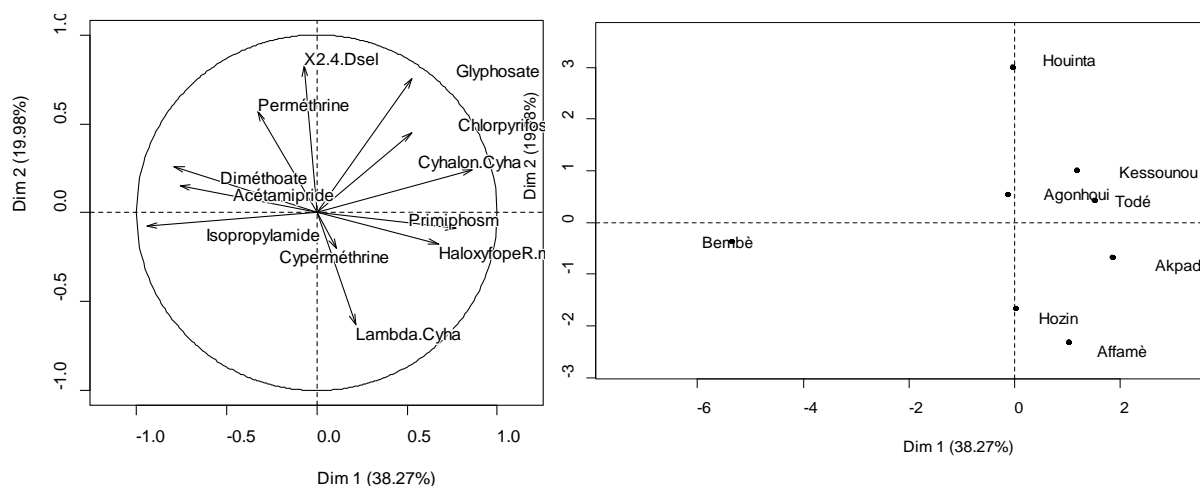


Figure 39 : Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par *Limicolaria spp* bouilli suivant les localités

7.3.3 Les concentrations de résidus de pesticides dans les escargots frits

Les résultats obtenus après l'analyse des échantillons d'escargots frits de la vallée de l'Ouémé révèlent que l'accumulation des molécules de pesticides varie suivant les localités d'une espèce d'escargot à une autre. Les figures 40 et 41 présentent les différentes teneurs enregistrées par localité.

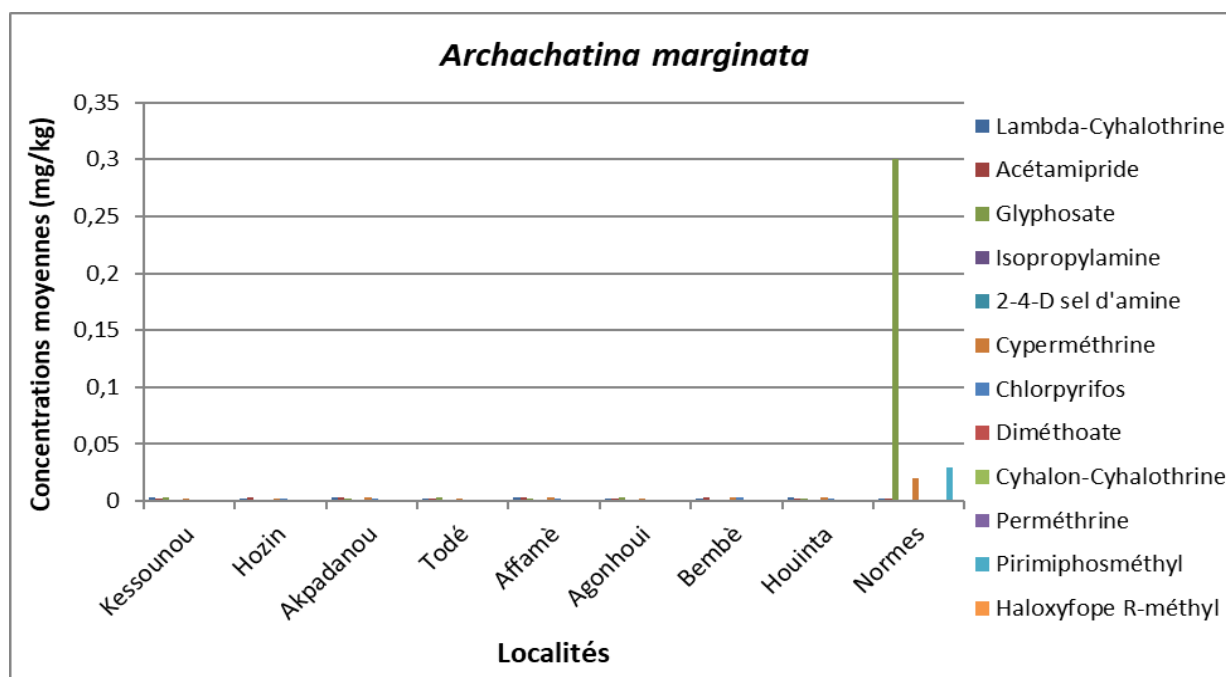


Figure 40 : Concentrations des résidus de pesticides dans l'espèce *Archachatina marginata* frit

0,001 mg/kg, 0 et 0,001 mg/kg, 0 et 0,003 mg/kg. Seules les concentrations moyennes des résidus du chlorpyrifos demeurent supérieures dans la quasi-totalité des localités aux valeurs toxicologiques de référence fixées par la FAO/OMS (normes journalières) pour l'exposition à ce métal par voie orale. Cependant, celles du glyphosate et de cyperméthrine sont toujours inférieures aux valeurs toxicologiques de référence dans toutes les localités. Les concentrations moyennes des résidus de lambda-cyhalothrine, d'acétamipride et de diméthoate sont supérieures aux valeurs toxicologiques de référence seulement dans quelques localités. Dans le *Limicolaria spp* frit, les résidus de cyhalon-cyhalothrine, perméthrine, pirimiphosméthyl et haloxyfope R-méthyl apparaissent juste dans quelques localités en traces, alors que les résidus d'isopropylamine et de 2-4-D sel d'amine ont complètement disparu.

Le niveau de bioaccumulation des pesticides par *Archachatina marginata* frit par localité a été analysé au moyen d'une analyse en composante principale (Figure 42). Il en ressort que la friture de *Archachatina marginata* entraîne une quasi disparition des résidus de pesticides sauf du lambda-cyhalothrine, du cyperméthrine et du glyphosate qui sont encore présents dans la viande des individus provenant de Akpadanou, Affamè, Houinta et Kessounou. L'acétamipride, le cyperméthrine et le chlorpyrifos sont toujours présents dans la viande des individus provenant de Affamè, Akpadanou, Bembè et Hozin. Le glyphosate est quant à lui toujours présent dans la viande des individus provenant de Todé.

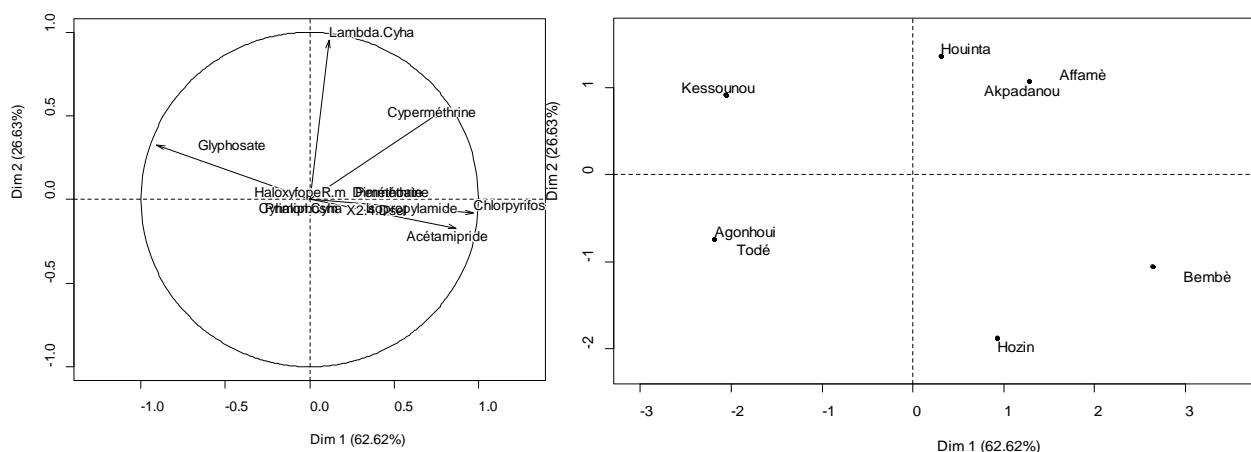


Figure 42 : Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par *Archachatina marginata* frit suivant les localités

L'analyse en composante principale du niveau de concentration des pesticides montre qu'après la friture du *Limicolaria spp* des différentes localités, la présence de diméthoate, pirimiphosméthyl et cyperméthrine s'observe toujours dans les individus des localités de Kessounou, Agonhoui et Todé par opposition aux individus de Houinta, Affamè, Hozin et Bembè où la présence de lambda-cyhalothrine, haloxyfope R-méthyl et glyphosate s'observe

aussi (Figure 43). A Akpadanou, Houinta et Affamè la présence de cyperméthrine, haloxyfope R-méthyl, glyphosate, perméthrine et isopropylamine est observé pendant qu'à Bembè, Hozin, Todé et Agonhoui ce sont l'acétamipride, chlorpyrifos, lambda-cyhalothrine et cyhalon-cyhalotrine qu'on observe.

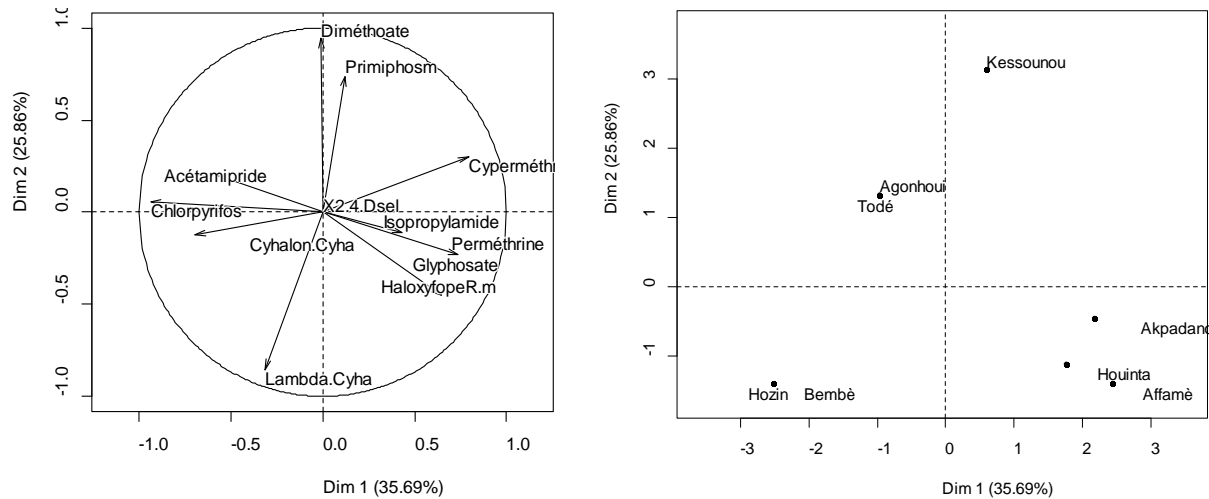


Figure 43 : Représentation dans le plan d'axe factoriel formé par les deux premières composantes principales du niveau de bioaccumulation des types de pesticides par *Limicolaria spp* frit suivant les localités

7.3.4 Comparaison des concentrations de pesticides entre *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp*

Les deux espèces d'escargots étudiées dans ces travaux étant des espèces bioaccumulatrices, il importe de connaître les résidus d'escargots qu'elles accumulent le plus. Le tableau suivant présente la comparaison des teneurs en pesticides entre les deux espèces d'escargots dans chaque localité.

Tableau XVIII : Comparaison des concentrations de pesticides (mg/kg) entre *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp*

Molécules de pesticides	Kessounou		Hozin		Akpadanou		Todé	
	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Limicolaria spp</i>	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Limicolaria spp</i>	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Limicolaria spp</i>	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Limicolaria spp</i>
Lambda-Cyhalothrine	0,012±0,0006	0,015±0,0010	0,014±0,0006	0,017±0,0006	0,011±0,0006	0,018±0,0010	0,016±0,0006	0,013±0,0006
Acétamipride	0,014±0,0006	0,015±0,0006	0,013±0,0006	0,011±0,0006	0,010±0	0,013±0,0006	0,012±0,0006	0,018±0,0010
Glyphosate	0,016±0,0006	0,015±0,0000	0,012±0,0006	0,018±0,0006	0,013±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,017±0,0006
Isopropylamine	0,011±0,0010	0,012±0,0006	0,011±0,0006	0,015±0,0000	0,013±0,0006	0,009±0,0006	0,017±0,0006	0,010±0,0000
2-4-D sel d'amine	0,010±0,0006	0,010±0,0000	0,013±0,0006	0,012±0,0006	0,015±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0006
Cyperméthrine	0,019±0,0006	0,019±0,0006	0,017±0,0006	0,017±0,0006	0,015±0,0000	0,016±0,0006	0,018±0,0006	0,019±0,0000
Chlorpyrifos	0,012±0,0006	0,013±0,0006	0,013±0,0006	0,017±0,0006	0,012±0,0006	0,017±0,0006	0,015±0,0000	0,011±0,0006
Diméthoate	0,011±0,0006	0,015±0,0006	0,015±0,0006	0,011±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,010±0,0006	0,012±0,0006
Cyhalon-Cyhalotrine	0,017±0,0006	0,011±0,0010	0,015±0,0000	0,011±0,0006	0,016±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,015±0,0006
Perméthrine	0,011±0,0006	0,010±0,0006	0,012±0,0006	0,013±0,0006	0,011±0,0010	0,012±0,0006	0,017±0,0006	0,014±0,0006
Pirimiphosméthyl	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,015±0,0006	0,010±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,013±0,0006
Haloxypofe R-méthyl	0,010±0,0000	0,010±0,0000	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,019±0,0006	0,013±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006
Molécules de pesticides	Affamè		Agonhoui		Bembè		Houinta	
	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Limicolaria spp</i>	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Limicolaria spp</i>	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Limicolaria spp</i>	<i>Archachatina marginata</i>	<i>Limicolaria spp</i>
Lambda-Cyhalothrine	0,018±0,0006	0,019±0,0006	0,013±0,0010	0,018±0,0010	0,015±0,0006	0,015±0,0010	0,018±0,0006	0,019±0,0006
Acétamipride	0,016±0,0006	0,016±0,0006	0,010±0	0,013±0,0006	0,014±0,0006	0,015±0,0006	0,016±0,0006	0,016±0,0006
Glyphosate	0,015±0,0000	0,015±0,0006	0,013±0,0006	0,014±0,0006	0,016±0,0006	0,015±0,0000	0,015±0,0000	0,015±0,0006

Isopropylamine	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,013±0,0006	0,009±0,0006	0,011±0,0010	0,012±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006
2-4-D sel d'amine	0,013±0,0006	0,012±0,0006	0,015±0,0006	0,010±0,0006	0,010±0,0006	0,010±0,0000	0,013±0,0006	0,012±0,0006
Cyperméthrine	0,018±0,0010	0,016±0,0006	0,015±0,0000	0,016±0,0006	0,019±0,0006	0,019±0,0006	0,018±0,0010	0,016±0,0006
Chlorpyrifos	0,013±0,0006	0,015±0,0000	0,012±0,0006	0,017±0,0006	0,012±0,0000	0,013±0,0006	0,013±0,0006	0,015±0,0000
Diméthoate	0,011±0,0006	0,009±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,015±0,0006	0,011±0,0006	0,009±0,0006
Cyhalon- Cyhalotrine	0,009±0,0006	0,012±0,0006	0,016±0,0006	0,014±0,0006	0,017±0,0006	0,011±0,0010	0,009±0,0006	0,012±0,0006
Perméthrine	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0010	0,012±0,0006	0,011±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0006
Pirimiphosméthyl	0,012±0,0006	0,010±0,0000	0,010±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,012±0,0006	0,010±0,0000
Haloxypofe R- méthyl	0,015±0,0006	0,013±0,0006	0,019±0,0006	0,013±0,0006	0,010±0,0000	0,010±0,0000	0,015±0,0006	0,013±0,0006

L'analyse de ce tableau permet de constater que dans presque toutes les localités, les teneurs de lambda-cyhalothrine, d'acétamipride, de glyphosate, de cyperméthrine, de chlorpyrifos et de pirimiphosméthyl accumulées par le *Limicolaria spp* sont supérieures à celles accumulées par l'*Archachatina marginata*. Par contre, les teneurs d'isopropylamine, de 2-4-D sel d'amine, de diméthoate, de cyhalon-cyhalothrine et de haloxyfope R-méthyl accumulées par l'*Archachatina marginata* sont supérieures à celles accumulées par le *Limicolaria spp* dans presque toutes les localités. Les teneurs de perméthrine sont accumulées par les deux espèces de manière équivalente. On peut en déduire que l'espèce *Limicolaria spp* concentrerait plus les pesticides que l'espèce *Archachatina marginata*. Elle serait donc un bio-indicateur indiqué pour contrôler la pollution due à plusieurs types de pesticides.

7.3.5 Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des pesticides dans les escargots

Dans le cadre de cette étude, les deux espèces d'escargots ont été bouillies et frites. Les effets de ces deux méthodes de transformation des escargots sur les pesticides sont appréciés à travers les figures suivantes (Cf. tableaux en annexe 8).

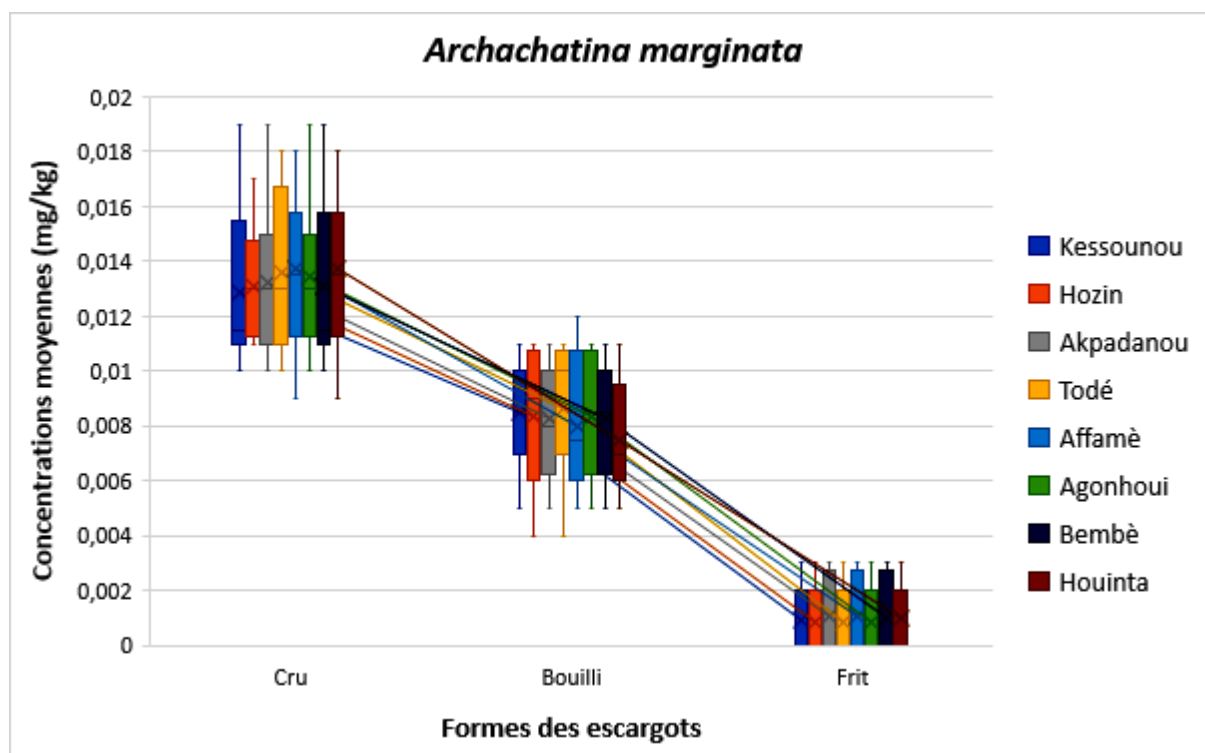


Figure 44 : Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des pesticides dans *Archachatina marginata*

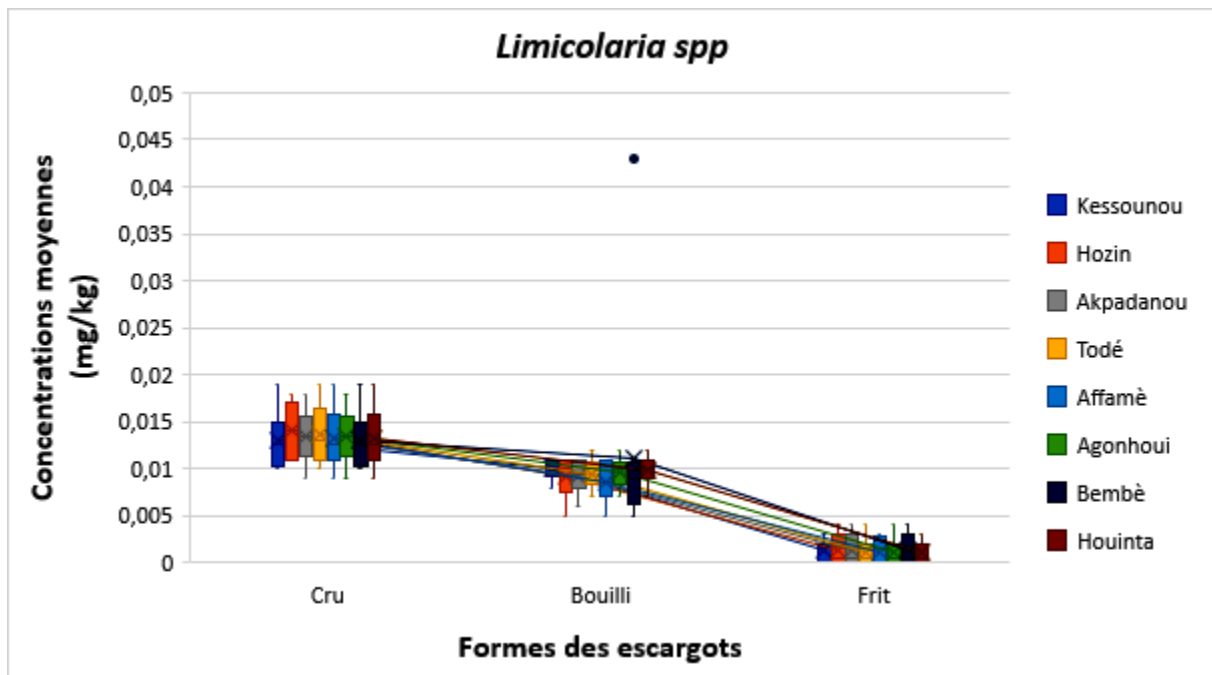


Figure 45 : Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des pesticides dans *Limicolaria spp.*

Il ressort de l'analyse des deux figures que dans presque toutes les localités, les concentrations de tous les pesticides diminuent du cru au frit pour chacune des deux espèces d'escargots étudiées. En effet, chez *Archachatina marginata* la diminution des pesticides après ébullition varie selon les localités de 0% à 67% pour le lambda-cyhalothrine, de 17% à 69% pour l'acétamipride, de 18% à 69% pour le glyphosate, de 0% à 64% pour l'isopropylamine, de 15% à 69% pour le 2-4-D sel d'amine, de 33% à 67% pour le cyperméthrine, de 15% à 54% pour le chlorpyrifos, de 27% à 64% pour le diméthoate, de 11% à 71% pour le cyhalon-cyhalothrine, de 27% à 100% pour le perméthrine, de 0% à 58% pour le pirimiphosméthyl et de 18% à 74% pour le haloxyfope R-méthyl. Cette diminution des pesticides chez la même espèce après friture varie de 73% à 88% pour le lambda-cyhalothrine, de 70% à 88% pour l'acétamipride, de 73% à 92% pour le glyphosate, de 80% à 89% pour le cyperméthrine, de 75% à 92% pour le chlorpyrifos, et de 100% pour l'isopropylamine, le 2-4-D sel d'amine, le diméthoate, le cyhalon-cyhalothrine, le perméthrine, le pirimiphosméthyl et le haloxyfope R-méthyl.

Quant au *Limicolaria spp.*, la diminution des pesticides après ébullition varie selon les localités de 15% à 63% pour le lambda-cyhalothrine, de 18% à 29% pour l'acétamipride, de 20% à 67% pour le glyphosate, de 0% à 33% pour l'isopropylamine, de 8% à 58% pour le 2-4-D sel d'amine, de 31% à 53% pour le cyperméthrine, de 15% à 60% pour le chlorpyrifos, de 9% à 47% pour le diméthoate, de 0% à 33% pour le cyhalon-cyhalothrine, de 0% à 54% pour

le perméthrine, de 9% à 43% pour le pirimiphosméthyl et de 0% à 53% pour le haloxyfope R-méthyl. Cette diminution des pesticides chez la même espèce après friture varie de 73% à 89% pour le lambda-cyhalothrine, de 43% à 78% pour l'acétamipride, de 71% à 94% pour le glyphosate, de 81% à 95% pour le cyperméthrine, de 69% à 100% pour le chlorpyrifos, de 80% à 100% pour le diméthoate, de 73% à 100% pour le cyhalon-cyhalothrine, de 92% à 100% pour le perméthrine, de 91% à 100% pour le pirimiphosméthyl, de 77% à 100% pour le haloxyfope R-méthyl et de 100% pour l'isopropylamine et le 2-4-D sel d'amine.

Il apparaît clairement donc que la friture est la méthode de cuisson qui permet les plus grandes diminutions de résidus de pesticides allant jusqu'à une réduction de 100% pour plusieurs molécules. On peut en déduire que les deux méthodes de transformation (ébullition et friture) ont un effet positif sur la réduction des résidus de pesticides dans les escargots *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp.* Mais la friture est celle qui offre un meilleur taux de réduction des résidus de pesticides. Cette diminution de la concentration des pesticides serait due à la décomposition des molécules par l'effet de la chaleur, à l'adsorption plus forte des pesticides sur les tissus et / ou à la faible solubilité des pesticides (Bajwa et Sandhu, 2014). Les procédés impliquant le chauffage peuvent augmenter la volatilisation, l'hydrolyse ou d'autres dégradations chimiques et ainsi réduire les niveaux de résidus de pesticides (Shoeibi et al., 2010).

L'analyse des deux espèces d'escargot très consommées par les populations de la vallée de l'Ouémé et environs affiche des concentrations de métaux lourds et de pesticides élevées dans plusieurs localités, et même malgré les méthodes de cuisson. Ainsi, leur contamination par ces toxiques pourrait être associée à de graves effets sur la santé humaine. Le chapitre suivant présente les risques sanitaires liés à la consommation de ces escargots de la vallée de l'Ouémé.

7.4 Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés aux métaux lourds et aux pesticides

Dans le but d'évaluer l'effet de la consommation des escargots contaminés aux métaux lourds et aux pesticides sur la santé humaine, les risques sanitaires ont été calculés sur la base de la DJE et appréciés à travers le QD. Selon Basse et al. (2014), il est plus indiqué de calculer la DJE en tenant compte des produits cuits que des produits crus. Ainsi, l'évaluation des risques sanitaires dans le cadre de cette étude a été faite en tenant compte des concentrations de métaux lourds et de résidus de pesticides enregistrées dans les escargots

bouillis et frits, tenant compte aussi du fait que les populations ne consomment pas les escargots sous leur forme crue.

7.4.1 Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés aux métaux lourds

Les populations permanemment exposées sont les riverains, en particulier les ramasseurs et leur famille qui consomment en moyenne 8 escargots *Archachatina marginata* par repas 3 fois par semaine et 16 escargots *Limiolaria spp* par repas 2 fois par semaine. Toutefois, ces escargots se retrouvent aussi dans les assiettes de plusieurs autres consommateurs de la vallée de l'Ouémé, dans le Plateau, à Porto-Novo, à Cotonou et autres régions comme citées plus haut car aucune source n'est indiquée pour les escargots vendus sur le marché. Cette étude porte sur la voie orale et concerne les expositions chroniques uniquement. Les valeurs des doses journalières admises (DJA) les plus protectrices donc les plus faibles et les années de révision les plus récentes et issues des études épidémiologiques chez l'homme ont été privilégiées. Ainsi, selon le rapport de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) (Bisson et *al.*, 2009), pour les effets chroniques à seuil, l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) recommande pour le Cd 2.10^{-4} mg/kg/j et l'OMS préconise pour le Pb $3,6. 10^{-3}$ mg/kg/j. La quantité d'escargots ingérés par jour **Q** a été calculée en considérant que le pied (la partie consommée de l'escargot) représente, d'après une étude réalisée en Côte d'Ivoire par Ba-Cheikhne (1994), 30% du poids vif de l'escargot, et en tenant compte des 8 escargots *Archachatina marginata* et des 16 escargots *Limiolaria spp* consommés par repas puis de la mesure du poids des escargots au laboratoire.

Les résultats de l'évaluation de l'exposition au Cd et au Pb liée à l'ingestion des escargots ainsi que les quotients de danger (QD) correspondants chez les adultes et les enfants sont reportés dans les tableaux suivants.

Tableau XIX : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* frits contaminés par le Cd dans la vallée de l'Ouémé

Cadmium	Concentration moyenne en métaux lourds C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j) du Cd	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,003	0,03766	0,090384			3,87E-06	9,68E-06		0,02	0,05
Hozin	0,044	0,03569	0,085656			5,38E-05	1,35E-04		0,27	0,67
Akpadanou	0,008	0,03974	0,095376			1,09E-05	2,73E-05		0,05	0,14
Todé	0,015	0,06923	0,166152	70	28	3,56E-05	8,90E-05	2,00E-04	0,18	0,45
Affamè	0,034	0,12051	0,289224			1,40E-04	3,51E-04		0,70	1,76
Agonhoui	0,067	0,19268	0,462432			4,43E-04	1,11E-03		2,21	5,53
Bembè	0,017	0,04073	0,097752			2,37E-05	5,93E-05		0,12	0,30
Houinta	0,017	0,03785	0,09084			2,21E-05	5,52E-05		0,11	0,28

Tableau XX : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* frits contaminés par le Pb dans la vallée de l'Ouémé

Plomb	Concentration moyenne en métaux lourds C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j) du Pb	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,062	0,03766	0,090384			8,01E-05	2,00E-04		0,02	0,06
Hozin	0,028	0,03569	0,085656			3,43E-05	8,57E-05		0,01	0,02
Akpadanou	0,045	0,03974	0,095376			6,13E-05	1,53E-04		0,02	0,04
Todé	0,029	0,06923	0,166152	70	28	6,88E-05	1,72E-04	3,60E-03	0,02	0,05
Affamè	0,061	0,12051	0,289224			2,52E-04	6,30E-04		0,07	0,18
Agonhoui	0,056	0,19268	0,462432			3,70E-04	9,25E-04		0,10	0,26
Bembè	0,023	0,04073	0,097752			3,21E-05	8,03E-05		0,01	0,02
Houinta	0,025	0,03785	0,09084			3,24E-05	8,11E-05		0,01	0,02

Tableau XXI : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le Cd dans la vallée de l'Ouémé

Cadmium	Concentration moyenne en métaux lourds C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j) du Cd	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,002	0,03766	0,090384			2,58E-06	6,46E-06		0,01	0,03
Hozin	0,035	0,03569	0,085656			4,28E-05	1,07E-04		0,21	0,54
Akpadanou	0,006	0,03974	0,095376			8,18E-06	2,04E-05		0,04	0,10
Todé	0,013	0,06923	0,166152			3,09E-05	7,71E-05		0,15	0,39
Affamè	0,043	0,12051	0,289224	70	28	1,78E-04	4,44E-04	2,00E-04	0,89	2,22
Agonhoui	0,046	0,19268	0,462432			3,04E-04	7,60E-04		1,52	3,80
Bembè	0,001	0,04073	0,097752			1,40E-06	3,49E-06		0,01	0,02
Houinta	0,022	0,03785	0,09084			2,85E-05	7,14E-05		0,14	0,36

Tableau XXII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le Pb dans la vallée de l'Ouémé

Plomb	Concentration moyenne en métaux lourds C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j) du Pb	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,049	0,03766	0,090384			6,33E-05	1,58E-04		0,02	0,04
Hozin	0,046	0,03569	0,085656			5,63E-05	1,41E-04		0,02	0,04
Akpadanou	0,075	0,03974	0,095376			1,02E-04	2,55E-04		0,03	0,07
Todé	0,054	0,06923	0,166152			1,28E-04	3,20E-04		0,04	0,09
Affamè	0,076	0,12051	0,289224	70	28	3,14E-04	7,85E-04	3,60E-03	0,09	0,22
Agonhoui	0,062	0,19268	0,462432			4,10E-04	1,02E-03		0,11	0,28
Bembè	0,096	0,04073	0,097752			1,34E-04	3,35E-04		0,04	0,09
Houinta	0,035	0,03785	0,09084			4,54E-05	1,14E-04		0,01	0,03

Tableau XXIII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le Cd dans la vallée de l'Ouémé

Cadmium	Concentration moyenne en métaux lourds C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j) du Cd	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,769	0,00376	0,018048			1,98E-04	4,96E-04		0,99	2,48
Hozin	0	0,00623	0,029904			0,00E+00	0,00E+00		0,00	0,00
Akpadanou	0,015	0,01002	0,048096			1,03E-05	2,58E-05		0,05	0,13
Todé	0,458	0,00339	0,016272	70	28	1,06E-04	2,66E-04	2,00E-04	0,53	1,33
Affamè	0,088	0,00852	0,040896			5,14E-05	1,29E-04		0,26	0,64
Agonhoui	0,062	0,00464	0,022272			1,97E-05	4,93E-05		0,10	0,25
Bembè	0,16	0,00616	0,029568			6,76E-05	1,69E-04		0,34	0,84
Houinta	0	0,00588	0,028224			0,00E+00	0,00E+00		0,00	0,00

Tableau XXIV : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le Pb dans la vallée de l'Ouémé

Plomb	Concentration moyenne en métaux lourds C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j) du Pb	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,275	0,00376	0,018048			7,09E-05	1,77E-04		0,02	0,05
Hozin	0	0,00623	0,029904			0,00E+00	0,00E+00		0,00	0,00
Akpadanou	0,206	0,01002	0,048096			1,42E-04	3,54E-04		0,04	0,10
Todé	0,094	0,00339	0,016272	70	28	2,19E-05	5,46E-05	3,60E-03	0,01	0,02
Affamè	0,118	0,00852	0,040896			6,89E-05	1,72E-04		0,02	0,05
Agonhoui	0,147	0,00464	0,022272			4,68E-05	1,17E-04		0,01	0,03
Bembè	0,123	0,00616	0,029568			5,20E-05	1,30E-04		0,01	0,04
Houinta	0,075	0,00588	0,028224			3,02E-05	7,56E-05		0,01	0,02

Tableau XXV : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par le Cd dans la vallée de l'Ouémé

Cadmium	Concentration moyenne en métaux lourds	Poids moyen des escargots	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j) du Cd	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
	C (mg/Kg)	(kg)		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,151	0,00376	0,018048			3,89E-05	9,73E-05		0,19	0,49
Hozin	0	0,00623	0,029904			0,00E+00	0,00E+00		0,00	0,00
Akpadanou	0	0,01002	0,048096			0,00E+00	0,00E+00		0,00	0,00
Todé	0,422	0,00339	0,016272	70	28	9,81E-05	2,45E-04	2,00E-04	0,49	1,23
Affamè	0,06	0,00852	0,040896			0,18	0,44			
Agonhoui	0,059	0,00464	0,022272			0,09	0,23			
Bembè	0,071	0,00616	0,029568			0,15	0,37			
Houinta	0,412	0,00588	0,028224			0,83	2,08			

Tableau XXVI : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots bouillis *Limicolaria spp* contaminés par le Pb dans la vallée de l'Ouémé

Plomb	Concentration moyenne en métaux lourds	Poids moyen des escargots	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j) du Pb	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
	C (mg/Kg)	(kg)		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	1,024	0,00376	0,018048			2,64E-04	6,60E-04		0,07	0,18
Hozin	0,088	0,00623	0,029904			3,76E-05	9,40E-05		0,01	0,03
Akpadanou	0,153	0,01002	0,048096			1,05E-04	2,63E-04		0,03	0,07
Todé	0,05	0,00339	0,016272	70	28	1,16E-05	2,91E-05	3,60E-03	0,00	0,01
Affamè	0,146	0,00852	0,040896			0,02	0,06			
Agonhoui	0,188	0,00464	0,022272			0,02	0,04			
Bembè	0,016	0,00616	0,029568			0,00	0,00			
Houinta	0,354	0,00588	0,028224			0,04	0,10			

L'analyse des tableaux ci-dessus révèle que pour le Cd dans les escargots *Archachatina marginata* frits, le quotient de danger est supérieur à 1 dans la localité d'Agonhoui chez les adultes (QD=2,21) et les enfants (QD=5,53), puis dans la localité d'Affamè chez les enfants seulement (QD=1,76). Toujours pour le Cd dans les escargots *Archachatina marginata* bouillis, on note aussi que le quotient de danger est supérieur à 1 dans la localité d'Agonhoui chez les adultes (QD=1,52) et les enfants (QD=3,80), puis dans la localité d'Affamè chez les enfants seulement (QD=2,22). Par contre pour le Pb dans ces escargots frits et bouillis, le quotient de danger est inférieur à 1 dans toutes les localités. On peut en déduire que la survenue d'un effet toxique provenant du Pb et lié à la consommation d'escargots frits et bouillis de la vallée de l'Ouémé est très peu probable chez les adultes et les enfants. Il n'y a donc pas de risque d'effets toxiques lié au Pb. Cependant l'on peut s'attendre à des effets toxiques provenant du Cd et liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* frits et bouillis à Agonhoui chez les adultes et les enfants, puis à Affamè chez les enfants. Notons que le risque est plus élevé chez les enfants en raison de leur faible poids corporel. Les localités d'Agonhoui et d'Affamè sont toutes dans la commune de Bonou. Ces résultats révèlent donc que la consommation des escargots *Archachatina marginata* provenant de la commune de Bonou présenterait un risque sanitaire pour les adultes et les enfants en raison de l'accumulation du Cd dans la chair des escargots malgré la cuisson.

Quant aux escargots *Limicolaria spp*, l'analyse des tableaux révèle que pour le cadmium, le quotient de danger n'est supérieur à 1 que chez les enfants à Kessounou (QD=2,48) et à Todé (QD=1,33) pour la forme frite, puis à Todé (QD=1,23) et à Houinta (QD=2,08) pour la forme bouillie. En revanche pour le Pb dans ces escargots frits et bouillis, le quotient de danger est inférieur à 1 dans toutes les localités. On peut alors en déduire que la survenue d'un effet toxique provenant du Pb et lié à la consommation d'escargots frits et bouillis de la vallée de l'Ouémé est très peu probable chez les adultes et les enfants. Il n'y a donc pas de risque d'effets toxiques lié au Pb. Cependant l'on peut s'attendre à des effets toxiques provenant du Cd et liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits et bouillis à Kessounou, Todé et Houinta chez les enfants uniquement. Le risque élevé observé uniquement chez les enfants se justifie par leur faible poids corporel. Ces résultats révèlent donc que la consommation des escargots *Limicolaria spp* provenant de ces trois localités présenterait un risque sanitaire pour les enfants en raison de l'accumulation du Cd dans la chair des escargots malgré la cuisson.

Ces résultats s'apparentent à ceux obtenus par Ouorou-Sama et al. (2014). Ils ont en effet enregistré que la survenue d'un effet toxique provenant du cadmium et lié à la

consommation des poissons du lac Togo est peu probable ($QD = 0,81 < 1$) chez les adultes. Cependant, l'on peut s'attendre à des effets toxiques chez les enfants ($QD = 2,04 > 1$). Aussi ont-ils noté qu'il n'y a pas de risque d'effets toxiques lié au plomb en ce qui concerne la consommation des poissons du lac aussi bien chez les adultes ($QD = 0,16 < 1$) que chez les enfants ($QD = 0,40 < 1$). Les résultats diffèrent de ceux obtenus par Edoth et al. (2009) qui a observé que la consommation de seulement 100 g de viande de l'escargot *Archachatina marginata* par jour empoisonnera le consommateur avec 856 µg de plomb et 124 µg de cadmium, qui dépassent déjà largement la dose journalière admise qui est respectivement de 234µg et 124 µg pour un adulte de 65kg. Seule une personne qui a mangé 27 mg d'escargot par jour est protégée contre toute exposition, au moins en ce qui concerne le plomb d'après leur étude.

Les résultats du test t de Student sur le logarithme népérien des valeurs individuelles de risque sanitaire diffèrent très significativement ($P \leq 0,01$) entre les métaux lourds, que ce soit chez les enfants ou chez les adultes (Tableau XXVII). Le risque sanitaire lié au cadmium est plus élevé (voire 10 fois) que celui de plomb et est plus élevé chez les enfants que chez les adultes. Aucune différence significative n'est observée pour les formes de cuisson.

Tableau XXVII : Résultats du test t de Student sur le logarithme népérien des valeurs individuelles de risque sanitaire chez les adultes et les enfants

Formes	Adultes		Enfants		Probabilité
	Moyenne	cv (%)	Moyenne	cv (%)	
Cadmium	0.41	152.34	1.04	152.34	0.041
Plomb	0.04	92.84	0.09	92.84	0.163
Probabilité	0.004	-	0.004	-	
Bouilli	0.21	197.65	0.52	197.65	0.381
Frit	0.24	226.17	0.61	226.17	0.306
Probabilité	0.999	-	0.999	-	-

7.4.2 Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés aux pesticides

Les populations permanemment exposées sont les riverains, en particulier les ramasseurs et leur famille qui consomment en moyenne 8 escargots *Archachatina marginata* par repas 3 fois par semaine et 16 escargots *Limicolaria spp* 2 fois par semaine. Le calcul des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés aux pesticides a été fait en tenant compte des mêmes paramètres que le calcul des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés aux métaux lourds. Les valeurs des doses

journalières admises (DJA) les plus protectrices donc les plus faibles chez l'homme, ont été aussi privilégiées. Il s'agit pour le chlorpyrifos, le cyperméthrine, le pirimiphosméthyl et le haloxyfope R-méthyl de 0,00002 mg/kg/j, 0,02 mg/kg/j, 0,03 mg/kg/j et 0,0007 mg/kg/j respectivement recommandés par la FAO/OMS (2006), pour le lambda-cyhalothrine et l'acétamipride de 0,002 mg/kg/j et 0,0021 mg/kg/j respectivement recommandés par la FAO/OMS (2008), pour le diméthoate de 0,0002 mg/kg/j recommandé par l'US EPA (1998) et pour le glyphosate de 0,3 mg/kg/j recommandé par l'UE (2003), cités par Bisson et *al.* (2009). Les résultats de l'évaluation de l'exposition aux différents pesticides à l'ingestion des escargots ainsi que les quotients de danger (QD) correspondants chez les adultes et les enfants sont reportés dans les tableaux suivants. Il s'agit des résultats des molécules présentant des quotients de danger supérieurs à 1. Ceux des autres molécules se trouvent en annexe 9.

Tableau XXVIII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le chlorpyrifos dans la vallée de l'Ouémé

Chlorpyrifos	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,006	0,03766	0,090384			7,75E-06	1,94E-05		3,87E-01	9,68E-01
Hozin	0,011	0,03569	0,085656			1,35E-05	3,37E-05		6,73E-01	1,68E+00
Akpadanou	0,008	0,03974	0,095376			1,09E-05	2,73E-05		5,45E-01	1,36E+00
Todé	0,011	0,06923	0,166152	70	28	2,61E-05	6,53E-05	0,00002	1,31E+00	3,26E+00
Affamè	0,006	0,12051	0,289224			1,24E+00	3,10E+00			
Agonhoui	0,009	0,19268	0,462432			2,97E+00	7,43E+00			
Bembè	0,009	0,04073	0,097752			6,28E-01	1,57E+00			
Houinta	0,008	0,03785	0,09084			5,19E-01	1,30E+00			

Tableau XXIX : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* frits contaminés par le chlorpyrifos dans la vallée de l'Ouémé

Chlorpyrifos	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,001	0,03766	0,090384			1,29E-06	3,23E-06		6,46E-02	1,61E-01
Hozin	0,002	0,03569	0,085656			2,45E-06	6,12E-06		1,22E-01	3,06E-01
Akpadanou	0,002	0,03974	0,095376			2,73E-06	6,81E-06		1,36E-01	3,41E-01
Todé	0,001	0,06923	0,166152	70	28	2,37E-06	5,93E-06	0,00002	1,19E-01	2,97E-01
Affamè	0,002	0,12051	0,289224			4,13E-01	1,03E+00			
Agonhoui	0,001	0,19268	0,462432			3,30E-01	8,26E-01			
Bembè	0,003	0,04073	0,097752			2,09E-01	5,24E-01			
Houinta	0,002	0,03785	0,09084			1,30E-01	3,24E-01			

L'analyse des tableaux ci-dessus révèle que pour le chlorpyrifos dans les escargots *Archachatina marginata* bouillis, le quotient de danger est supérieur à 1 dans les localités d'Affamè (QD=1,24), de Todé (QD=1,31) et d'Agonhoui (QD=2,97) chez les adultes, puis dans les localités de Houinta (QD=1,30), d'Akpadanou (QD=1,36), de Bembè (QD=1,57), de Hozin (QD=1,68), d'Affamè (QD=3,10), de Todé (QD=3,26) et d'Agonhoui (QD=7,43) chez les enfants. Dans les escargots *Archachatina marginata* frits, le quotient de danger est aussi supérieur à 1 seulement chez les enfants dans la localité d'Affamè (QD=1,03). Cependant pour les autres résidus de pesticides à savoir le lambda-cyhalothrine, l'acétamipride, le glyphosate, le cyperméthrine, le diméthoate, le pirimiphosméthyl et le haloxyfop R-méthyl, le quotient de danger est inférieur à 1 dans toutes les localités dans les escargots bouillis et dans les escargots frits. On peut en déduire que la survenue d'un effet toxique provenant de ces sept molécules de pesticides et lié à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis et frits de la vallée de l'Ouémé est très peu probable chez les adultes et les enfants. Il n'y a donc pas de risque d'effets toxiques liés à ces molécules de pesticides. Cependant l'on peut s'attendre à des effets toxiques provenant du chlorpyrifos et liés à la consommation d'escargots bouillis et frits chez les adultes et les enfants dans plusieurs localités de la vallée de l'Ouémé. Les localités d'Affamè et d'Agonhoui présentent les quotients de danger les plus élevés. Cela se justifie par le fait que ces deux localités, toutes deux de la commune de Bonou, sont de grandes localités de production rizicole où le chlorpyrifos est un insecticide abondamment utilisé et encouragé par sa disponibilité à moindre coût sur les marchés locaux. Précisons que le risque est plus élevé chez les enfants en raison de leur faible poids corporel. Ces résultats révèlent donc que la consommation des escargots provenant de la commune de Bonou présenterait un risque sanitaire pour les adultes et les enfants en raison de l'accumulation du chlorpyrifos dans la chair des escargots *Archachatina marginata* malgré la cuisson.

Par contre, le quotient de danger est inférieur à 1 dans toutes les localités dans les escargots *Limicolaria spp* bouillis et frits pour tous les résidus de pesticides analysés. On peut en déduire que la survenue d'un effet toxique provenant de ces molécules de pesticides et lié à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis et frits de la vallée de l'Ouémé est très peu probable chez les adultes et les enfants. Il n'y a donc pas de risque d'effets toxiques lié à ces molécules de pesticides.

L'analyse des résultats du test de Mann-Whitney sur le risque sanitaire lié à la consommation des escargots contaminés aux pesticides a révélé une différence très hautement significative entre le risque sanitaire liée aux formes de consommation des escargots, toutes

localités confondues, que ce soit chez les adultes et les enfants ($P \leq 0,001$) (Tableau XXX). L'escargot frit présente un très faible risque sanitaire pour les enfants (0,06) et les adultes (0,02) alors que pour l'escargot bouilli le risque est un peu plus élevé (variant entre 0,15 et 0,37 respectivement pour les adultes et les enfants). Les résultats du test de Kruskal-Wallis et du test de structuration des médianes de Nruskal Kramer Nemenyi montrent que le risque sanitaire chez les enfants varie très significativement entre les différents pesticides ($P < 0,001$) (Tableau XXXI) quelque soit la forme. Le chlorpyrifos présente le risque sanitaire le plus élevé (2,58 pour la forme bouillie et 0,48 pour la forme frite). Les autres sont similaires entre eux. Les mêmes tendances sont observées chez les adultes (Tableau XXXII).

Tableau XXX : Résultats du test de Mann-Whitney sur le risque sanitaire lié aux pesticides chez les adultes et les jeunes selon les formes de consommation

Formes	Adultes		Enfants	
	Moyenne	cv (%)	Moyenne	cv (%)
Bouillis	0.15	302.10	0.37	302.10
Frits	0.02	304.83	0.06	304.83
<i>Probabilité</i>	0.000	-	0.000	-

Tableau XXXI : Résultats du test de Mann-Whitney sur le risque sanitaire lié aux pesticides chez les enfants

Formes	Pesticides	Moyenne	cv (%)
Bouillis	Acétamipride	0.03 ^c	95.57
	Chlorpyrifos	2.58 ^a	82.50
	Cyperméthrine	0.00 ^c	74.34
	Diméthoate	0.20 ^b	73.62
	Glyphosate	0.00 ^c	95.57
	Haloxypofe R-méthyl	0.06 ^c	54.67
	Lambda-Cyhalothrine	0.03 ^c	85.59
	Pirimiphosméthyl	0.00 ^c	84.93
Probabilité		0.000	-
Frits	Acétamipride	0.01 ^b	72.63
	Chlorpyrifos	0.48 ^a	63.27
	Cyperméthrine	0.00 ^b	72.54
	Diméthoate	0.00 ^b	*
	Glyphosate	0.00 ^b	105.29
	Haloxypofe R-méthyl	0.00 ^b	*
	Lambda-Cyhalothrine	0.01 ^b	72.65
	Pirimiphosméthyl	0.00 ^b	*
Probabilité		0.000	-

Les moyennes avec les mêmes lettres ont des médianes qui ne sont pas significativement différentes

Tableau XXXII : Résultats du test de Mann-Whitney sur le risque sanitaire lié aux pesticides chez les adultes

Formes	Pesticides	Moyenne	cv (%)
Bouillis	Acétamipride	0.01 ^b	95.57
	Chlorpyrifos	1.03 ^a	82.50
	Cyperméthrine	0.00 ^b	74.34
	Diméthoate	0.08 ^b	73.62
	Glyphosate	0.00 ^b	95.57
	Haloxypofe R-méthyl	0.02 ^b	54.67
	Lambda-Cyhalothrine	0.01 ^b	85.59
	Pirimiphosméthyl	0.00 ^b	84.93
Probabilité		0.000	-
Frits	Acétamipride	0.00 ^b	72.63
	Chlorpyrifos	0.19 ^a	63.27
	Cyperméthrine	0.00 ^b	72.54
	Diméthoate	0.00 ^b	*
	Glyphosate	0.00 ^b	105.29
	Haloxypofe R-méthyl	0.00 ^b	*
	Lambda-Cyhalothrine	0.00 ^b	72.65
	Pirimiphosméthyl	0.00 ^b	*
Probabilité		0.000	

Les moyennes avec les mêmes lettres ont des médianes qui ne sont pas significativement différentes

Discussion générale

Les escargots sont des mollusques gastéropodes, phytophages et détritivores qui se déplacent sur le sol et ingèrent le sol (de Vaufleury et *al.*, 2011). Ils sont donc exposés à des contaminations par plusieurs voies à savoir : les voies digestive, respiratoire et cutanée. En effet, les escargots peuvent être contaminés par des agents biotiques (organismes) et abiotiques (substances et/ou éléments). Ces derniers, en l'occurrence les métaux lourds et les pesticides, sont ceux sur lesquels ont porté les analyses. Les résultats de l'étude ont montré le degré de concentration de ces substances chimiques dans la chair des escargots et les risques sanitaires liés à leur consommation. La présente discussion aborde ces deux grands résultats.

❖ Concentrations des métaux lourds dans les escargots et risques sanitaires liés à leur consommation

Les analyses toxicologiques effectuées au cours de cette étude ont révélé de fortes concentrations de plomb et de cadmium dans les deux espèces d'escargots prélevées dans la vallée de l'Ouémé, sous leurs formes crue, bouillie et frite. En effet, les concentrations de plomb et de cadmium obtenues dans les escargots crus s'élèvent jusqu'à 0,342 mg/kg et 0,032 mg/kg respectivement chez l'espèce *Archachatina marginata* puis jusqu'à 0,878 mg/kg et 0,187 mg/kg respectivement chez l'espèce *Limicolaria spp.* Ces résultats sont presque tous inférieurs à ceux enregistrés par Nica et *al.*, 2012, Onuoha et *al.*, 2015 et Shotuyo et *al.*, 2016 qui ont respectivement obtenus des concentrations allant à 0,3 mg/kg, 5 mg/kg et 7,93 mg/kg pour le plomb puis à 1,8 mg/kg, 0,65 mg/kg et 0,06 mg/kg pour le cadmium dans les escargots *Archachatina marginata* et *Helix pomotia*. Gimbert et *al.* (2008) et Nica et *al.* (2012) ont observé que les concentrations de métaux lourds dans les viscères des escargots sont généralement supérieures, voire 17 fois, à celles enregistrées dans les pieds. Ce qui justifie l'importance de ne pas consommer les viscères. Les différences observées dans les concentrations de métaux tissulaires entre les espèces d'escargots pourraient être dues à la variation des conditions de reproduction, au génotype de l'animal, au métabolisme, au poids corporel, à la position trophique, à la présence ou à l'absence du système enzymatique (Valavanidis et Vlachogianni, 2010). Cependant, si les escargots ne sont pas capturés, les concentrations des métaux lourds peuvent connaître une certaine réduction quelques mois après leur ingestion. Dans une approche toxicocinétique avec *Helix aspersa*, Gimbert et *al.* (2006) ont montré pour preuve que les teneurs du Cd connaissent une réduction de 0 à 52% après la phase de dépuration qui dure 3 mois, et se fait par excrétion ou redistribution dans le pied des escargots. Toutefois les processus d'excrétion n'ont pas permis aux escargots de recouvrir leur état initial. Ainsi, l'excrétion des métaux lourds ne serait donc pas totale chez

les escargots et cela pourrait avoir des conséquences sur leur propre fonctionnement physiologique. Les travaux de Gara *et al.* (2012) ont montré qu'un mélange de métaux lourds pouvait entraîner une réduction significative des glucides et des lipides au niveau de la glande digestive et du rein, une réduction de l'activité de l'acétylcholinestérase (AChE) au niveau de la tête et une peroxydation lipidique avec libération de malondialdéhyde (MDA) au niveau de ces parties du corps des escargots étudiés. L'AChE est une enzyme responsable de l'hydrolyse du neurotransmetteur acétylcholine en choline et en acide acétique. L'enzyme est située dans les membranes des vertébrés et des invertébrés. L'inhibition de l'AChE est directement liée au mécanisme d'action toxique des insecticides organophosphorés et carbamates, ainsi que des métaux tels que le cadmium, le plomb et le cuivre (Valavanidis et Vlachogianni, 2010). La santé des escargots serait donc aussi affectée par les métaux lourds qu'ils accumulent dans leurs organismes.

Dans les escargots bouillis et frits, les concentrations de plomb et de cadmium sont supérieures aux VTR fixés par l'OMS et l'ATDSR dans les différentes localités. Une augmentation du cadmium et une diminution du plomb sont constatées dans les formes bouillie et frite en comparaison à la forme crue. En accord avec les résultats de cette étude, Gheisari *et al.* (2016) ont également signalé une augmentation de la concentration de cadmium dans la crevette frite et le homard frit comparativement aux échantillons crus. Ersoy *et al.* (2006), contrairement à Bassey *et al.* (2014) n'ont indiqué aucun changement significatif dans la teneur en plomb du poisson frit. Ganjavi *et al.* (2010) ont étudié les effets de différentes étapes des processus de production de thon en conserve, notamment la décongélation, la cuisson et la stérilisation en autoclave sur des concentrations de métaux lourds. Leurs résultats indiquent une diminution significative de la concentration de métaux lourds tels que le plomb et le cadmium chez les thons au cours de différentes procédures de production. Les enquêtes d'Ersoy *et al.* (2006) sur les concentrations de plomb et de cadmium dans le bar sous quatre traitements ont également montré que les concentrations de plomb dans les poissons cuits au four et au micro-onde avaient significativement diminué. Bien que les raisons de ces différences ne soient pas très claires, cela indique que la nature de l'espèce des différents organismes est également un facteur efficace qui influence l'augmentation ou la diminution des concentrations de cadmium dans les tissus à la suite du processus de cuisson (Ganjavi *et al.*, 2010). Dans la présente étude, le principal facteur d'augmentation du cadmium dans les échantillons frits pourrait être dû aux pertes d'eau résultant de la friture à haute température. De nombreux facteurs tels que la concentration initiale de métaux lourds dans la

chair et la nature des espèces peuvent affecter la réduction ou l'augmentation de ces éléments dans la viande à la suite des processus de cuisson (Gheisari et *al.*, 2016).

L'évaluation du risque sanitaire lié à la consommation des escargots contaminés aux métaux lourds montre que les quotients de danger issus des escargots bouillis et frits pour les enfants sont tous supérieurs à ceux des adultes dans toutes les localités. Dans cette étude, les quotients de danger sont supérieurs à 1 seulement pour le cadmium, et ceci chez les adultes et les enfants dans plusieurs localités pour l'espèce *Archachatina marginata*. Quant à l'espèce *Limicolaria spp*, les quotients de danger sont supérieurs à 1 seulement chez les enfants. Ces derniers sont donc les plus exposés aux métaux lourds. Ce que confirme le Royal Commission on Aboriginal Peoples (1996) qui le justifie à leur faible poids corporel et à leur fragilité sur le plan physiologique étant donné que les contaminants sont facilement absorbés dans leur organisme. En effet, l'organisme des enfants absorbe potentiellement plus de contaminants et reste incapable de les éliminer aussi facilement que les adultes parce que leurs systèmes d'élimination sont moins développés (Hounkpatin et *al.*, 2012). Ces résultats révèlent donc que la consommation de 8 escargots *Archachatina marginata* ou de 16 escargots *Limicolaria spp* provenant de la vallée de l'Ouémé par repas présenterait un danger pour la santé des adultes et encore plus pour celle des enfants à cause de l'accumulation du Cd dans la chair des escargots malgré les méthodes de cuisson. Or, le cadmium n'a aucun rôle métabolique connu et ne semble pas biologiquement essentiel ou bénéfique au métabolisme des êtres vivants (Miquel, 2001). Il est un toxique cumulatif dont la demi-vie biologique est de l'ordre de 20 à 30 ans. L'exposition chronique au cadmium entraîne l'apparition d'une néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale (Bisson et *al.*, 2011). Chez l'homme, sa toxicité aigüe est connue depuis 1950 sous le nom du syndrome d'Itaï-Itaï défini par l'association d'une insuffisance rénale avec ostéoporose (déminéralisation et fragilisation des os) et ostéomalacie (déminéralisation et déformation des os) avec des douleurs osseuses intenses (Bliefert et Perraud, 2008). De plus, le cadmium est cancérigène et tératogène (Banerjee et Flores-Rozas, 2005).

Pour réduire le risque sanitaire dû au cadmium, il faut pour les escargots *Archachatina marginata* bouillis une consommation de 5 individus au plus par repas chez les adultes et de 2 chez les enfants. Et pour les frits, il faut 3 individus par repas chez les adultes et 1 chez les enfants. Par contre pour les escargots *Limicolaria spp* bouillis, il faut chez les enfants une consommation de 7 individus au plus par repas et pour les frits une consommation de 6 au plus. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par Etorh et *al.* (2009) qui ont observé que la consommation de seulement 100 g de viande de l'escargot *Archachatina marginata* par jour

empoisonnera le consommateur avec 856 µg de plomb et 124 µg de cadmium, qui dépassent déjà largement la dose journalière admise qui est respectivement de 234µg et 124 µg pour un adulte de 65kg. Seule une personne qui a mangé 27 mg d'escargot par jour est protégée contre toute exposition, au moins en ce qui concerne le plomb d'après leur étude. Toutefois, il est important de préciser que le dépassement de la DJA n'implique pas nécessairement une pathologie, car les nourritures contiennent aussi des substances capables de s'opposer à la distribution des métaux toxiques dans le corps et à ses effets. Ce sont des antioxydants, des polyphénols, du soufre et des métaux chélateurs naturels (Edorh et *al.*, 2009).

❖ **Concentrations des résidus de pesticides dans les escargots et risques sanitaires liés à leur consommation**

Les pesticides sont l'un des produits chimiques les plus nocifs qui soient introduits dans l'environnement et leurs effets néfastes sur les organismes non ciblés peuvent être importants (Deeba et *al.*, 2017). La présente étude a révélé la présence de douze molécules de résidus de pesticides dans les deux espèces d'escargots prélevés dans la vallée de l'Ouémé, soit sept organophosphorés, quatre pyréthriinoïdes et un néonicotinoïde. Les concentrations de ces résidus de pesticides sont pour la plupart supérieures aux VTR fixées par la FAO/OMS dans les formes crue, bouillie et frite de ces escargots. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par Liu et *al.* (2010) dans les eaux chinoises qui ont enregistré dans l'huître *Crassostrea gigas*, la moule *Mytilus edulis*, la palourde *Ruditapes philippinarum* et le pétoncle *Chlamys farreri* des concentrations de DDT, HCH, Endosulfan, Chlordane et HCB variant respectivement de 1,07 à 3,35 ng/g, de 0,08 à 0,26 ng/g, de 0,06 à 1,07 ng/g, de 0,04 à 0,62 ng/g et de 0,51 à 0,71 ng/g pour toutes ces espèces. Mamta et *al.* (2015) ont quant à eux enregistré en Inde la présence du HCB, de l'heptachlor, de l'aldrin, de l'endosulfan, du dieldrin, du p,p-DDT, du chlorpyrifos, du méthyl parathion, du dichlorvos, de l'ethion, du malathion et bien d'autres pesticides dans plusieurs mollusques (*L. acuminata*, *I. exustus*, *V. dissimilis*, *V. bengalensis*) à des concentrations variées aussi. Tous ces résultats justifient que les mollusques en général, et les escargots en particulier sont non seulement des espèces bioaccumulatrices de polluants chimiques dont les pesticides, mais sont aussi des espèces sentinelles capables d'indiquer l'état de pollution de l'environnement. Malheureusement, ces concentrations variées de résidus de pesticides dans leur organisme ne sont pas sans moindre conséquence. En effet, une exposition des escargots au glyphosate durant le développement embryonnaire semble perturber leur reproduction (diminution de la fertilité) du fait d'un effet différé de cet herbicide (Druart, 2011). Quant au diméthoate, même peu accumulé, il induit une inhibition dose-dépendante des AChE dès le premier jour de son ingestion. Il inhibe aussi les

carboxylestérases, la fécondité et la croissance chez les escargots (Cœurdaissier *et al.*, 2001). De plus, concernant la maturation génitale des escargots, l'exposition aux herbicides a une tendance à diminuer le développement de la glande de l'albumine (inhibition de $43,5 \pm 32,8\%$) (Druart *et al.*, 2011). D'après ces derniers auteurs, tous les pesticides inhibent l'éclosion des œufs de l'escargot à des concentrations inférieures à celles appliquées dans les champs. Les travaux de Salama *et al.* (2005) ont montré que dans les escargots, le methomyl et le carbofuran ont une influence négative sur le taux des biomarqueurs tels que la peroxydation lipidique, la déshydrogénase lactique et la glutathione, entraînant ainsi un stress oxydatif dans leur organisme, en plus de leur propriété anticholinestérase. Le chlorpyrifos et le paraquat ont quant à eux de faibles effets d'altération des biomarqueurs du stress oxydatif dans les escargots. Par contre, le chlorpyrifos, le diméthoate, la lambda-cyhalothrine, la deltaméthrine, le carbaryl et le mancozèbe ont des effets inhibiteurs sur l'activité de la cholinestérase (Basopo *et al.*, 2015). Ces différents impacts des pesticides sur les escargots eux-mêmes, en particulier sur leur reproduction, sont donc des facteurs qui contribueraient aussi à la raréfaction des achatines dans la nature comme l'ont constaté les ramasseurs enquêtés dans cette étude.

Les méthodes de cuisson des escargots pratiquées par les populations ont un effet positif sur la réduction des concentrations de tous les résidus de pesticides observés dans cette étude. Particulièrement dans les escargots frits, la réduction des concentrations des résidus de pesticides est encore plus grande. Mieux, la friture entraîne même l'élimination complète de certains résidus de pesticides tels que l'isopropylamine, le 2-4-D sel d'amine, le diméthoate, le cyhalon-cyhalothrine, le perméthrine, le pirimiphosméthyl et l'haloxyfope dans les deux espèces d'escargots dans la quasi-totalité des localités. Ces résultats sont en accord avec Usha et Kulwant (2011) qui ont montré que les méthodes de cuisson thermiques notamment l'ébullition, la friture, la pasteurisation et la cuisson à la vapeur entraînent la réduction des concentrations de plusieurs résidus de pesticides comme le diméthoate, le chlorpyrifos, le diazinon, le malathion, le fénitrothion, le thiabendazole, le tecnazène, le chlorprophame, le chlorothalonil, etc dans différents aliments. La perte de résidus de pesticides pendant le traitement thermique peut être due à l'évaporation, à la co-distillation, à la dégradation thermique qui varie avec la nature chimique du pesticide individuel (Sharma *et al.*, 2005).

Mais malgré ces réductions de concentrations des résidus de pesticides, l'évaluation du risque sanitaire lié à la consommation de ces escargots montre des quotients de danger supérieur à 1 dans les escargots bouillis et frits de plusieurs localités. En effet, c'est dans les escargots *Archachatina marginata* que le quotient de danger est supérieur à 1 pour le

chlorpyrifos chez les adultes et les enfants pour la forme bouillie, puis chez les enfants seulement pour la forme frite. Ces résultats révèlent donc que la consommation de 8 escargots *Archachatina marginata* provenant de la vallée de l'Ouémé par repas présenterait un danger pour la santé des adultes et encore plus des enfants à cause de l'accumulation du chlorpyrifos dans la chair des escargots malgré les méthodes de cuisson. Or, le chlorpyrifos comme tout organophosphoré bloque une enzyme (l'acétylcholinestérase) dont notre cerveau a besoin pour contrôler l'acétylcholine, l'un des nombreux neurotransmetteurs qui facilitent la communication entre les cellules nerveuses (PAN, 2017). Ces effets neurologiques entraînent des risques particulièrement élevés pour les enfants à mesure que leur cerveau et leur système nerveux se développent (FAO/WHO, 2007). Les symptômes à court terme de l'exposition à de faibles doses peuvent inclure des maux de tête, l'agitation, l'incapacité de se concentrer, la faiblesse, la fatigue, la nausée, la diarrhée et la vision floue. Des doses plus élevées peuvent entraîner une paralysie respiratoire et la mort. A long terme, l'exposition à de faibles concentrations de chlorpyrifos provoque une série d'effets neurodéveloppementaux, tels que l'impact sur les gènes qui contrôlent les processus essentiels dans le développement des cellules cérébrales (PAN, 2017). Une étude de l'université de Columbia a révélé des diminutions du quotient intellectuel (QI) à pleine échelle et de la mémoire de travail chez les enfants de 7 ans, associées à une légère augmentation de l'exposition prénatale au chlorpyrifos. Une autre étude du même groupe a révélé que les enfants de 3 ans ayant une exposition prénatale plus élevée au chlorpyrifos étaient plus susceptibles de présenter des retards de développement, des problèmes d'attention et des troubles envahissants du développement (Rauh et al., 2011). Une étude de Shelton et al. (2014) a révélé que les mères qui vivent à moins d'un kilomètre des champs où du chlorpyrifos et d'autres pesticides organophosphorés ont été appliqués, couraient à 60% le risque d'avoir des enfants atteints de troubles du spectre autistique. Une autre étude de Whyatt et al. (2005) sur les femmes enceintes exposées au chlorpyrifos par l'utilisation d'insecticides à domicile a démontré un lien entre l'exposition *in utero* au chlorpyrifos et la diminution de la durée de la naissance et la diminution du poids à la naissance. Le chlorpyrifos est également un composé perturbateur endocrinien soupçonné.

Pour réduire le risque sanitaire dû au chlorpyrifos, il faut pour les escargots *Archachatina marginata* bouillis une consommation de 4 individus au plus par repas chez les adultes et de 1 chez les enfants. Et pour les frits, il faut 7 individus par repas au plus chez les enfants. Les adultes peuvent augmenter leur consommation jusqu'à 16 individus par repas pour la forme frite sans risque pour leur santé.

Au-delà de tous ces résultats, l'escargot demeure utile pour la santé humaine à plus d'un titre. En effet, des études ont confirmé l'utilité des escargots dans le traitement de certaines maladies humaines dues à certaines substances présentes dans les escargots. La viande d'escargot est pauvre en sodium, en graisse et en cholestérol, mais contient une grande quantité de protéines, de fer et de calcium, ce qui la rend utile dans le traitement de l'hypertension, de l'artériosclérose, de l'hypertension artérielle et d'autres maladies liées à la graisse (Shotuyo et *al.*, 2016). Elle aide également à réduire les hémorroïdes et la constipation. Le liquide provenant des escargots comestibles et qui peut être extrait, a été testé scientifiquement et contient plus de 90% de substance anti-hypertensive naturelle. La poudre d'escargot carbonisé préparée à partir du liquide d'escargot lorsqu'il est mélangé avec du lait de coco sert de remède potentiel pour de nombreuses maladies cardiaques. L'anémie par carence en fer qui a été observée dans les pays tropicaux pourrait être aussi traitée en consommant des escargots car ils constituent une riche source de fer (Shotuyo et *al.*, 2016).

Conclusion

Somme toute, la présente étude a permis de caractériser la bioconcentration des métaux lourds et des pesticides dans les escargots comestibles de la vallée de l'Ouémé et d'évaluer les risques sanitaires liés à leur consommation. Les résultats issus des travaux indiquent qu'il existe quatre espèces d'escargots dans la vallée de l'Ouémé et que trois y sont consommées. Huit (08) individus de l'espèce *Archachatina marginata* sont consommés par repas 3 fois par semaine contre seize (16) individus de l'espèce *Limicolaria spp* par repas 2 fois par semaine. Ce qui confirme la première hypothèse de l'étude. Les concentrations de métaux lourds et des résidus de pesticides enregistrées dans les espèces d'escargot *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp* sont presque toutes supérieures aux différentes valeurs toxicologiques de référence fixées par l'OMS, l'ATSDR, la FAO/OMS, l'US EPA ou l'UE selon les molécules. Ce qui confirme la deuxième hypothèse aussi. L'évaluation des risques sanitaires a révélé que la consommation des escargots *Archachatina marginata* et *Limicolaria spp* présente un danger pour la santé des adultes et encore plus des enfants à cause de l'accumulation du cadmium dans la chair de ces deux espèces d'escargots malgré les méthodes de cuisson. Aussi existe-t-il un risque sanitaire dû au chlorpyrifos et lié à la consommation des escargots *Archachatina marginata* uniquement. Ce qui confirme également la troisième hypothèse de l'étude. Ainsi, toutes les hypothèses de départ sont vérifiées et tous les objectifs sont atteints.

Les escargots étant des espèces bioaccumulatrices et bioindicatrices, ces différents résultats révèlent donc aussi l'état de pollution des différents milieux, en particulier des milieux humides. L'utilisation abusive des pesticides justifie cette pollution chimique qui menace non seulement la survie des organismes non cibles mais aussi la santé humaine. La consommation de la viande d'achatine qui est très appréciée des populations de la vallée de l'Ouémé et environs, pose donc un véritable problème de santé publique auquel doivent s'intéresser les autorités à divers niveaux de notre pays pour le bien-être des populations de la vallée de l'Ouémé et d'ailleurs.

La présente étude est limitée par le nombre de métaux lourds quantifiés dans les escargots à savoir le plomb et le cadmium. Elle mérite donc d'être approfondie dans le sens la quantification d'autres métaux lourds comme le mercure, l'arsenic, le zinc, le cuivre, chrome, nickel, aluminium, fer, manganèse et autres dans les escargots, afin d'évaluer toute la variété de métaux lourds que peuvent accumuler ces espèces d'escargots très consommés. Aussi la recherche d'autres méthodes de cuisson impliquant des agents chélateurs pouvant réduire les polluants chimiques en général et le cadmium en particulier est-elle importante pour

davantage diminuer les risques sanitaires encourus par les populations. Tous ces axes de recherche feront l'objet de prochaines études toxicologiques.

Suggestions

Au terme de cette étude, nous suggérons à l'endroit :

- ✚ Du pouvoir central ou des autorités du ministère de l'agriculture :
 - Que les ramasseurs soient organisés en éleveurs d'escargots géants afin de réduire non seulement la pression anthropique sur les milieux naturels mais aussi de garantir la préservation de ces espèces d'escargots qui sont très prisées par nos populations ;
 - Qu'une filière de production et de commercialisation des escargots géants soit créée afin d'encadrer les acteurs depuis l'élevage ou le ramassage des escargots jusqu'à leur vente dans un strict respect de l'environnement et de la santé des populations ;
 - Qu'une action de surveillance plus rigoureuse soit menée pour réduire voire empêcher l'importation des pesticides non homologués sur le territoire national en général et dans la vallée de l'Ouémé en particulier ;
 - Que la disponibilité et le prix de vente des pesticides homologués soient revus afin d'encourager les agriculteurs à les acquérir plus facilement plutôt que les pesticides non homologués.
- ✚ Des communes :
 - Que des séances de sensibilisation des agriculteurs soient organisées fréquemment au sujet de l'impact des pesticides en général sur l'environnement et les organismes non cibles, puis de l'impact des pesticides non homologués sur la santé des producteurs et les sols ;
 - Que des fermes pilotes d'élevage des escargots géants soient créées dans les grandes localités de ramassage d'escargots afin non seulement de permettre aux ramasseurs d'apprendre et de maîtriser la technique d'élevage des escargots mais aussi d'amorcer la filière de production et de commercialisation des escargots géants.
- ✚ Des populations :
 - Que les escargots soient consommés de préférence après friture afin de garantir une plus grande réduction des métaux lourds et des pesticides ;
 - Que l'eau d'ébullition et l'huile de friture des escargots ne soient pas de préférence réutilisés afin d'éviter une consommation des polluants chimiques toxiques déjà éliminés pendant la cuisson ;

- Que la consommation d'aliments riches en antioxydants comme le citron, l'orange, la pastèque, etc soit plus fréquente afin de favoriser une détoxification de l'organisme des polluants chimiques toxiques accumulés à travers la nourriture ;
- Que l'épandage des pesticides dans les champs soit fait en suivant strictement les règles et les normes prescrites en la matière afin de réduire les quantités de pesticides non assimilées par les plantes et qui sont sources de pollution des biotopes et de contamination des organismes non cibles.

Perspectives

Les perspectives envisagées à la fin de ces travaux de thèse sont les suivantes :

- La quantification d'autres métaux lourds dans les mêmes espèces d'escargots et l'évaluation des risques sanitaires encourus par les populations;
- La recherche d'autres méthodes de cuisson impliquant l'introduction des agents chélateurs de métaux lourds pouvant ainsi favoriser la réduction des métaux lourds en général et du cadmium en particulier;
- Le screening complet d'autres ressources alimentaires non conventionnelles, animales ou végétales, qui sont aussi très consommées par les populations afin de quantifier les résidus de pesticides et les métaux lourds;
- L'évaluation des risques sanitaires liés à l'accumulation du mélange des métaux lourds et des pesticides dans les escargots et autres ressources alimentaires non conventionnelles;
- L'étude toxicodynamique et toxicocinétique des métaux toxiques et des pesticides sur ces espèces d'espèces;
- L'utilisation de l'espèce *Archachatina marginata* ou *Limicolaria spp* comme animal de laboratoire pour faire de la bioindication active ;
- L'étude expérimentale des effets neurotoxiques et/ou immunotoxiques à long terme des pesticides et des métaux lourds à faibles doses sur des espèces animales comme le rat Wistar.

Références bibliographiques

- Achour, S., Khattabi, A., Rhalem, N., Ouammi, L., Mokhtari, A., Soulaymani, A., Bencheikh, R., 2011. L'intoxication par les pesticides chez l'enfant au Maroc : profil épidémiologique et aspects pronostiques (1990-2008). *Santé Publique*, 23(3) : 195-205.
- ACTA, 2005. Index Phytosanitaire ACTA 2005, 41ème. *Association de Cordination Technique Agricole*. France. 820 p.
- Adam, S., Edoth, P. A., Totin, H., Koumolou, L., Amoussou, E., Aklikokou, K., Boko, M., 2010. Pesticides et métaux lourds dans l'eau de boisson, les sols et les sédiments de la ceinture cotonnière de Gogounou, Kandi et Banikoara (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(4) : 1170-1179.
- Adam, S., Edoth, P. A., Totin, H., Koumolou, L., Amoussou, E., Aklikokou, K., Boko, M., 2010. Pesticides et métaux lourds dans l'eau de boisson, les sols et les sédiments de la ceinture cotonnière de Gogounou, Kandi et Banikoara (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 4(4) : 1170-1179.
- Adamou, R., 2011. Evaluation de la bioconcentration des métaux lourds (Pb, Cd et Zn) dans les ressources halieutiques du complexe lagunaire lac Nokoué-lagune de Porto-Novo : Cas des huîtres et des crevettes. Mémoire de Master II (Msc) en Environnement, Santé et Développement Durable, CIFRED/FLASH/UAC, Bénin, 86p.
- Adjakpa, J. B., Coubéou Th., Hagemeyer J. M. W., 1996. Programme d'Aménagement des Zones Humides du Sud-Bénin : Inventaire de la faune aviaire des zones humides du Sud-Bénin. PAZH-Ambassade Royale des Pays-Bas. Cotonou, Bénin. 70p.
- Agbéssi, E., 2000. Contribution à l'étude de l'écologie et de l'exploitation de deux espèces de poissons chats (Mochokidae) : *Synodontis shall* et *Synodontis nigrita* du bassin de l'Ouémé. Thèse d'Ingénieur. Agronome, FSA/UNB, Bénin. 130p.
- Agonkpahoun, E., 2006. Evaluation de la pollution des eaux continentales par les métaux toxiques : Cas de la rivière Okpara et du lac Nokoué au Bénin. Mémoire de Doctorat en Pharmacie, FSS /UAC, 87 p.
- Akélé, D., 2002. Ecologie des pêches dans la basse vallée de l'Ouémé : cas de la commune d'Affamè, sous-préfecture de Bonou. Thèse d'Ingénieur. Agronome. FSA/UAC, Bénin. 95p.
- Akpalo, A. C., 1987. Tentative d'approche pour l'amélioration de la collecte de données statistiques sur les pêcheries en RPB : cas de la zone deltaïque de l'Ouémé. Mémoire de fin de cycle. CPA 2, Sékou, Bénin. 61p.
- Andree, J., 2017. La contamination du lait maternel par les polluants de l'environnement : vérité ou intox ? Santé environnementale, 1-22p. <https://santeenvironnementalebebe.wordpress.com/2017/02/27/la-contamination-du-lait-maternel-par-les-polluants-de-lenvironnement-verite-ou-intox/>. Consulté le 29 juin 2018.
- Anway, M. D., Cupp, A. S., Uzumcu, M., Skinner, M. K., 2005. Epigenetic transgenerational actions of endocrine disruptors and male fertility. *Science*. 308(5727): 1466-1469.
- Aranguren, M. M. S., 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. Discipline : Sciences de la Terre et Environnement, Université Toulouse III - Paul Sabatier, France, 489p.

- Arjdali, M., 2016. Lymphomes malins non hodgkiniens : rôle particulier du virus *Epstein barr*. Thèse pour l'obtention du Doctorat en Pharmacie, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Mohammed V, Rabat, Maroc, 155p.
- Aschan-Leygonie, C., Baudet-Michel, S., Harpet, C., Augendre, M., Lavie, E., Grésillon, E., Hechinger M., 2015. Comment évaluer l'exposition aux pesticides de l'air en population générale ? Enseignements d'une revue bibliographique. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 729, mis en ligne le 11 juin 2015, consulté le 21 juin 2018. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/27056> ; DOI : 10.4000/cybergeo.27056.
- ASTE (Association Scientifique et Technique de l'Eau et de l'Environnement), 2003, Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact d'une UIOM, 60p.
- Audebert, M., 2014. La génotoxicité des pesticides chez les agriculteurs : Évaluation de nouveaux biomarqueurs indicatifs de la génotoxicité des pesticides chez les agriculteurs. *Les cahiers de la Recherche. Santé, Environnement, Travail*, ANSES, La santé au travail, pp.8-9. <https://www.anses.fr/fr/content/les-cahiers-de-la-recherche/anses-01713528>. Consulté le 22 juin 2018
- Ba-Cheikhne, 1994. Aspects socio-économiques et valeurs nutritionnelles de la viande des escargots comestibles de Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Nationale de Côte d'Ivoire : Abidjan, 110p.
- Bajwa, U., et Sandhu, K. S., 2014. Effect of handling and processing on pesticide residues in food- a review. *J Food Sci Technol*, 51(2) : 201–220.
- Baldi, I., et Lebailly, P., 2013. Indicateurs d'exposition aux pesticides dans les études épidémiologiques : exemple de l'étude PHYTONER sur les troubles neurocomportementaux. *Innovations Agronomiques*, 28 : 15-23
- Baldi, I., Lebailly, P., Jean, S., Rougetet, L., Dulaurent, S., Marquet, P., 2006. Pesticide contamination of workers in vineyards in France. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 16(2): 115-124.
- Banerjee, S. et Flores-Rozas, H., 2005, Cadmium inhibits mismatch repair by blocking the ATPase activity of the MSH2-MSH6 complex, *Nucleic. Acids Res.*, 33 : 1410–1419.
- Barracough, D., Kearney, T., Croxford, A., 2005. Bound residues: environmental solution or future problem? *Environ Pollut*. 133(1): 85-90.
- Basopo, N., et Naik, Y. S., 2015. Toxicological effects of technical grade and formulated pesticides on esterase activity in freshwater snails *H. duryi* and *L. natalensis*. *Annals of Biological Research*, 6 (12) : 37-42.
- Bassey, F. I., Oguntunde, F.C., Iwegbue, C. M. A., Osabor, V. N., Edem, V. A., 2014. Effects of processing on the proximate and metal contents in three fish species from Nigerian coastal waters. *Food Sci Nutr*. 2 (3) : 272-281.
- Bassil, K. L., Vakil, C., Sanborn, M., Cole, D. C., Kaur, J. S., Kerr, K. J., 2007. Cancer health effects of pesticides: systematic review. *Can Fam Physician*. 53(10): 1704-1711.
- Becquaert, D., 1950. Achatinidae studies. *Bull Mus comp. Zool*, 10: 1-21.
- Bennacer, S. et Boubegitene, M., 2016. Utilisation du Merlu du golfe de Béjaïa dans l'évaluation de la pollution par quelques métaux lourds (Fe, Cu, Cd, Pb). Mémoire de fin de cycle de Master II, Filière: Santé et Environnement, Option: Environnement santé publique,

Université Abderrahmane Mira de Béjaïa, République Algérienne Démocratique et Populaire, 69 p.

- Bisson, M., Diderich, R., Houeix, N., Hulot, C., Lacroix, G., Lefèvre, J.P., Leveque, S., Magaud, H., Morin, A., Pepin, G., Pichard, A., 2011. Cadmium et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques 82p. <http://www.ineris.fr/hml>, consulté le 10/04/2017.
- Bisson, M., Vivier, S., Viard-La Rocca, B., Gourland, C., 2009, Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR), Rapport d'étude 17/03/2009, N° DRC-08-94380-11776C, INERIS, 60p.
- Blanc-Lapierre, A., Bouvier, G., Garrigou, A., Canal-Raffin, M., Raheison, C., Brochard, P., Baldi, I., 2012. Effets chroniques des pesticides sur le système nerveux central : état des connaissances. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 60(5) : 389-400.
- Blanc-Lapierre, A., et Baldi, I., 2011. Pesticides et cancers. *Anses, Bulletin de veille scientifique Santé-Environnement-Travail*, 13 : 24-27.
- Bliefert, C. et Perraud, R., 2008. Chimie de l'environnement. Air, eau, sols, déchet, 2e éd., de Boeck, Bruxelles, 389p.
- Boffetta, P., 2006. Human cancer from environmental pollutants: the epidemiological evidence. *Mutat Res.* 608(2): 157-162.
- Boháč, J. et Pospíšil, J., 1989. Accumulation of heavy metals in invertebrates and its ecological aspects. In *Heavy metals in environments Vol 1*, Eds Vernet J.P., CEP Consultants Ltd, Edinburgh, 354p.
- Boudour, N., 2014. Mécanismes osmorégulateurs et adaptation évolutive des crevettes Palaemonidae aux milieux estuariens. Thèse de doctorat en Zoologie des invertébrés. Université Montpellier II, France, 166p.
- Boulanger, M., Tual, S., Lemarchand, C., Guizard, A-V., Velten, M., Marcotullio, E., Baldi, I., Clin, B., Lebailly, P., 2016. Expositions professionnelles en agriculture et risque de cancer de la vessie : résultats de la cohorte Agrican. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 77(3) : 497-506.
- Boulkrah, H., 2008. Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants. Mémoire de fin de cycle de Master, Spécialité: chimie, Option: Pollution chimique et environnement, Université du 20 août 1955 SKIKDA, République Algérienne Démocratique et Populaire, 140 p.
- Bouvier, G., Blanchard, O., Momas, I., Seta, N., 2006. Environmental and biological monitoring of exposure to organophosphorus pesticides: application to occupationally and non-occupationally exposed adult populations. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 16(5): 417-426.
- Brunet, J., 2008. Adaptation aux métaux lourds d'une Fabacée (légumineuse) : réponses phénologique et moléculaire au plomb du *Lathyrus sativus* L. Spécialité : Sciences de l'Univers et de l'Environnement, Université Paris-Est, France, 247p.
- Cabinet Afrique Conseil, 2006. Monographie de la commune d'Adjohoun, Programme d'Appui au Démarrage des Communes, Mission de Décentralisation, République du Bénin, 61p.
- Caklovica, F., 1991. Composition and characteristics of snail meat and its contamination with potentially substances from the environment. *Veterinaria (Sarajevo)*, 40 (1,2): 151-163.

- Calvet, R., Barriuso, E., Bedos, C., Benoit, P., Charnay, M. P., Coquet, Y., 2005. Les pesticides dans le sol. Conséquences agronomiques et environnementales. Ed. France Agricole, ISBN 2-85557-119-7, 637 p.
- 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, Université du Sud Toulon Var, France, 301 p + annexe.
- CBDD, 1999. Bulletin d'informations n° 002, 15 p.
- CECODI/SNV/VECO, 1998. Rapport malacologie. Programme de promotion de la Filière des Ressources Alimentaires Non Conventionnelles (pp-FRANC), Abomey-Calavi, 28 p.
- Celeste, M. L., et Da-Silva, I. M. N., 2006. Evaluation of Organochlorine pesticides in serum from students in Coimbra, Portugal: 1997-2001. *Environ. Res.*, 102(3): 339-351.
- Clavel, J., et Doz, F., 2016. Incidence des cancers de l'enfant : Met-on en évidence des facteurs environnementaux préoccupants ? *Réalités Pédiatriques*, 201 : 40-43.
- Codjia, J. T. et Noumonvi, R.C.G., 2002. Les escargots géants. Bureau pour l'échange et la distribution de l'information sur le mini-élevage. Guide technique d'élevage N°2, Gembloux, 8p. www.bib.fsagx.ac.be/bedim/production/guide/pdf/2.pdf.
- Cœurdassier, M., Saint-Denis, M., de Vaufleury, A., Ribera, D., Badot, P-M., 2001. The garden snail (*Helix aspersa*) as a bioindicator of organophosphorus exposure : Effects of dimethoate on survival, growth, and acetylcholinesterase activity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20 (9) : 1951-1957.
- Commission of the European Communities, 2007. Monitoring of pesticides residues in products of plant origin in the European Union, Norway, Iceland and Liechtenstein, 200 p.
- Corsini, E., Liesivuori, J. Vergieva, T., Van Loveren, H., Colosio, C., 2008. Effects of pesticide exposure on the human immune system. *Human & Experimental Toxicology*, 27(9) : 671-680
- Costa, C., Teixeira, J. P., Silva, S., Roma-Torres, J., Coelho, P., Gaspar, J., Alves, M., Laffon, B., Rueff, J., Mayan, O., 2006. Cytogenetic and molecular biomonitoring of a Portuguese population exposed to pesticides. *Mutagenesis*, 21(5) : 343-350.
- CPP, 2002. Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires. *Comité de la Prévention et de la Protection*. <http://www.ecologie.gouv.fr/PPP-Rapport-2002-02-Risques.html>, consulté le 25/10/16.
- Czech, A. et Stachyra, K., 2012. Effect of processing treatments (frozen, frying) on contents of minerals in tissues of 'frutti di mare'. *International Journal of Food Science and Technology*, 48 : 238-245.
- Das, P. P., Shaik, A. P., Jamil, K., 2007. Genotoxicity induced by pesticide mixtures: in vitro studies on human peripheral blood lymphocytes. *Toxicol Ind Health*. 23(8): 449-458.
- De valko., 2006. Escargots *Achatina achatina*. <http://www.lemonde-des-reptiles.com/forum/vieutopic.php> ? Consulté le 17/04/15.
- de Vaufleury, A., Gimbert, F., Pauget, B., Fritsch, C., Scheifler, R., Coeurdassier, M., 2011. Les escargots bio-indicateurs de la qualité des sols : analyse en laboratoire ou in situ de la biodisponibilité des contaminants. Fiche outil, CNRS-UFC/UMR 6249 Chrono-environnement, Besançon, 4p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00670360>

- Deeba, F., Raza, I., Muhammad, N., Rahman, H., Ur Rehman, Z., Azizullah, A., Khattak, B., Ullah, F., Daud, M. K., 2017. Chlorpyrifos and lambda cyhalothrin-induced oxidative stress in human erythrocytes. *Toxicol Ind Health*. 33(4):297-307.
- Desaunay, A., 2011. Etude et modélisation de la biosorption des métaux par les bactéries. Application au transfert du cadmium et du zinc, seuls ou en mélange par *Escherichia coli* et *Cupriavidus metallidurans* en colonnes de sable d'Hostun. Thèse de doctorat. Laboratoire d'étude des Transferts en Hydrologie et Environnement. Université de Grenoble, France, 249 p.
- Deschamps, T., Benzaazoua, M., Bussière, B., Belem, T., Mbonimpa, M., 2006. Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide : cas de la stabilisation des sols contaminés et des déchets industriels. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], 7(2), consulté le 23 juin 2018. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/2171>.
- Devallois, V., 2009. Transferts et mobilité des éléments traces métalliques dans la colonne sédimentaire des hydrosystèmes continentaux. Thèse de doctorat. Académie d'Aix-Marseille, Université de Provence, France, 304 p.
- Dimon, F., Dovonou, F., Adjahossou, N., Chouti, W., Mama, D., Alassane, A., Boukari, M., 2014. Caractérisation physico-chimique du lac Ahémé (Sud Bénin) et mise en relief de la pollution des sédiments par le plomb, le zinc et l'arsenic. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.*, 37: 36- 42.
- Djouaka, R., Zeukeng, F., Soglo, M. F. E., Adeoti, R., Ahoukpo, O. M. Z., Tamou-Tab , T. S., Para so, A., Djegbe, I., Tamo, M., Manyong, V., Ndindeng, S. A., 2016. Heavy metal contamination and faecal coliforms in peri-urban market gardening sites in Benin and Cameroon. *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, 2(5): 1013-1044.
- Druart, C., 2011. Effets des pesticides de la vigne sur le cycle biologique de l'escargot dans divers contextes d'exposition. Thèse de doctorat.  cole doctorale : Homme, Environnement, Santé, Spécialité : Sciences de la Vie et de l'Environnement, Université de Franche-Comté, France, 327 p.
- Druart, C., Millet, M., Scheifler, R., Delhomme, O., de Vaufleury, A., 2011. Glyphosate and glufosinate-based herbicides : fate in soil, transfer to, and effects on land snails. *Journal of Soils and Sediments*, 11(8) : 1373–1384.
- Edorh, P. A., Agonkpahoun, E., Gnandi, K., Guedenon, P., Koumolou, L., Amoussou, C., Ayedoun, A. M., Boko, M., Gbeassor, M., Rihn, B. H., Creppy, E. E., 2009. An assessment of the contamination of *Achatina achatina* by toxic metals in Okpara village (Benin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3(6) : 1428-1436.
- Edwards, T. M., et Myers, J. P., 2007. Environmental exposures and gene regulation in disease etiology. *Environ Health Perspect.*, 115(9): 1264-1270.
- Ekou , S. et Kuevi-Akue, K., 2002. Enquête sur la consommation, la répartition et l' levage des escargots géants au Togo. *Tropicultura*, 20(1) : 17-22
- Ersoy, B., Yanar, Y., K c kg lmez, A.,  elik, M., 2006. Effects of four cooking methods on the heavy metal concentrations of sea bass fillets (*Dicentrarchus labrax* Linne, 1785). *Food Chemistry*, 99 : 748–751.
- Etcheverry, C., 2013. L'exposition des femmes enceintes aux pesticides et croissance fœtale : Etude quantitative rétrospective. Mémoire de fin d'études, Ecole de Sages-Femmes, Université Bordeaux-Victor Segalen, France, 94p.

- FAO, 1994. Formation d'héliciculteurs-Bénin. Programme de Coopération Technique. Compte rendu final du projet TCP BEN/2252 (T), FAO, 10p.
- FAO/WHO, 2007. Analyse des risques relatifs à la sécurité sanitaire des aliments : guide à l'usage des autorités nationales responsables de la sécurité sanitaire des aliments. Etude FAO, Alimentation et nutrition, ISBN : 9789252056041 9252056041, Rome, 129 p.
- Fent, K., 2003. Ecotoxicological problems associated with contaminated sites. *Toxicology Letters*. 140(141): 353-365.
- Fernandez, M. F., Olmos, B., Granada, A., Lopez-Espinosa, M. J., Molina-Molina, J. M., Fernandez, J. M., Cruz, M., Olea-Serrano, F., Olea, N., 2007. Human exposure to endocrine-disrupting chemicals and prenatal risk factors for cryptorchidism and hypospadias: a nested case-control study. *Environ Health Perspect*. 115 (1): 8-14.
- Gagnaire, B., 2005. Étude des effets de polluants sur les paramètres hématologiques de l'huître creuse, *Crassostrea gigas* - Interactions entre environnement, mécanismes de défense et maladies infectieuses. Thèse de doctorat en Océanologie Biologique et Environnement Marin, Université de la Rochelle, France, 412 p.
- Ganjavi, M., Ezzatpanah, H., Givianrad, M. H., Shams, A., 2010. Effect of canned tuna fish processing steps on lead and cadmium contents of Iranian tuna fish. *Food Chemistry*, 118 : 525-528.
- Garey, A. F., Rafael M. C., George, J. S., 2010. Influence of flow concentration on parameter and prediction uncertainty of pesticide trapping by vegetative filter strips. *Journal of Hydrology*, 384: 164-173.
- Gay G., Denys, S., Doornaert, B., Coftier, A., Hazebrouck, B., Lever, N., Kimmel, M., Quiot, F., 2007. Méthodologie d'évaluation quantitative des risques sanitaires relatifs aux substances chimiques, Convention 03 75 C 0093 et 06 75 C 0071, ADEME /SYPREA /FP2E/INERIS, 45 p.
- Gbaguidi, M. A. N., Soclo, H. H., Issa, Y. M., Fayomi, B., Dognon, R., Agagbe, A., Bonou, C., Youssao, A., Dovonou, L. F., Sanni, A., 2011. Evaluation quantitative des résidus de pyrèthroïdes, d'aminophosphate et de triazines en zones de production de coton au Bénin par la méthode ELISA en phase liquide : cas des eaux de la rivière Agbado. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(4) : 1476-1490.
- Gbesso, F. G. H., Akognongbe, A. J. S., Vissin, E. W., 2015. Contamination de *Tilapia guineensis* par le cadmium dans le chenal de Cotonou. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 1(4): 23-42.
- Gheisari E., Raissy M., Rahimi E., 2016. The effect of different cooking methods on lead and cadmium contents of shrimp and lobster. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 6(2):53-58.
- Gimbert, F., 2006. Cinétiques de transfert de polluants métalliques du sol à l'escargot. Thèse de doctorat, Ecole Doctorale : Homme, Environnement, Santé, Spécialité : Sciences de la vie, Université de Franche-Comté, France, 192 p.
- Gimbert, F., de Vaufleury, A., Douay, F., Scheifler, R., Coeurdassier, M., Badot, P.-M., 2006. Modelling chronic exposure to contaminated soil : a toxicokinetic approach with the terrestrial snails *Helix aspersa*. *Environment International*, 32 : 866-875.
- Gimbert, F., Vijver, M. G., Coeurdassier, M., Scheifler, R., Peijnenburg, W. J.G.M., Badot, P.-M., de Vaufleury, A., 2008. How subcellular partitioning can help to understand heavy metal

- accumulation and elimination kinetics in snails. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(6) :1284–1292.
- Gourlay-Francé, C., Delmas, F., Mazzella, N., Tusseau-Vuillemin, M-H., 2010. Que sait-on de la biodisponibilité des contaminants dissous dans le milieu aquatique ? *Sciences Eaux & Territoires*, 1 : 1-6.
- Goyer, R. A., 1991: Toxic Effects of Metals, 4th Edition ed., Casarett Doull's Toxicology the Basic Science of Poisons, Pergamon Press, New-York.
- Grara, N., Atailia A., Boucenna M., Khaldi, F., Berrebbah H., Djebbar M. R., 2012. Effects of Heavy Metals on the Snails *Helix aspersa* Bioindicators of the Environment Pollution for Human Health. *International Conference on Applied Life Sciences (ICALS) Turkey*, 6 p.
- Grara, N., Boucenna, M., Atailia, A., Berrebbah, H., Djebbar, M. R., 2012. Etude expérimentale de la bioaccumulation des éléments traces métalliques Cd, Cu, Zn et Pb chez l'escargot *Helix aspersa*. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 34 (2) : 183-187.
- Guèdègbé B., 1996. Grands échassiers, gallinacés, râles d'europeres. Paris. Delachaux et niestlé. 380 p.
- Hajeb, P., Sloth, J. J., Shakibazadeh, Sh., Mahyudin, N. A., Afsah-Hejri, L., 2014. Toxic Elements in Food : Occurrence, Binding, and Reduction Approaches. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4) : 457-472.
- Hardouin, J. et Stievenart, J. T. C., 1990. Manuel d'élevage des escargots géants africains sous les tropiques. Centre technique de la coopération agricole et rurale(CTA), Belgique, 38 p.
- Hardouin, J., Stiévenart, C., Codjia, J.T.C., 1994. L'achatiniculture. *Revue mondiale de zootechnie*, FAO, 16 p.
- Hénault-Ethier, L. 2015. Health and environmental impacts of pyrethroid insecticides : What we know, what we don't know and what we should do about it. Executive summary and literature review. Équiterre. Montréal, Canada. 68p. <http://www.equiterre.org/publication/revue-de-litterature-sur-les-impacts-des-insecticidespyrethrinoides-sur-la-sante-et-len>. Consulté le 21 juin 2018.
- Heymans, J. C. et Codjia, J. T. C., 1989. Elevage du gibier et la protection de l'environnement. *Nature et Faune*, 5(3) : 17-25
- Heymans, J.C. et Evrard, A., 1989. Les Achatines africaines (mollusques gastéropodes) : une nouvelle insoupçonnée de protéinés. *Bulletins CEPSE « programme sociaux et économiques, Lubumbashi*, 175 p.
- Hodasi, J. K. L., 1984. Les escargots géants comestibles d'Afrique Occidentale. *In revue mondiale de Zootechnie*, 52 : 24-28.
- Houlbrèque, F., Hervé-Fernandez, P., Teyssié, J. L., Oberhaënsli, F., Boisson, F., Jeffree, R., 2011. Cooking makes cadmium contained in Chilean mussels less bioaccessible to humans. *Food Chem*, 126 : 917–21.
- Houkpatin, A. S. Y., Etorh, A. P., Salifou, S., Gnandi, K., Koumolou, L., Agbandji, L., Aissi, K. A., Gouissi, M., Boko, M., 2012. Assessment of exposure risk to lead and cadmium via fish consumption in the lacustrine village of Ganvié in Benin republic. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 4 (1) : 1-10.
- Huynh, T. M. D., 2009. Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de doctorat en Ecologie microbienne, Ecole Doctorale Science de la Vie et de la Santé, Université Paris Est, France, 169 p.

- INERIS, 2005. Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation. *Institut national de l'environnement industriel et des risques*. http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getDoc&id_doc_object=2548, consulté le 13/02/18.
- INRA-Cemagref, 2005. Pesticides, agricultures, environnement, Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. *INRA-Cemagref*.
- INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique), 2016. Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin (RGPH-4, 2013), Primature, République du Bénin, 85 p.
- International Workshop on Crop Protection Chemistry, 2005.
- Ioannis, K.K., Dimitra, G.H., Triantafyllos, A.A., 2006. The status of pesticide pollution in surface waters (rivers and lakes) of Greece. Part I. Review on occurrence and levels. *Environ. Pollu.*, 141: 555-570.
- Jakubowski, M., et Trzcinka-Ochocka, M., 2005. Biological monitoring of exposure: trends and key developments. *J Occup Health*, 47(1): 22-48.
- Jurewicz, J., Hanke, W., Johansson, C., Lundqvist, C., Ceccatelli, S., van den Hazel, P., Saunders, M., Zetterstrom, R., 2006. Adverse health effects of children's exposure to pesticides: what do we really know and what can be done about it. *Acta Paediatr Suppl.* 95(453) : 71-80.
- Kalogeropoulos, N., Karavoltos, S., Sakellari, A., Avramidou, S., Dassenakis, N., Scoulla, M., 2012. Heavy metals in raw, fried and grilled Mediterranean finfish and shellfish. *Food Chem. Toxicol.* 50 :3702–3708.
- Katrijn, M. A. H., Piet, S., Peter, A. V., 2007. Monitoring and modelling pesticide fate in surface water at the catchment scale. *Ecological Modelling*, 209: 53-64.
- Khera, P., Pandey, M. K., Varshney, R. K., 2013. Pest and diseases : Old and new threats- Modern breeding tools to tailor new crop cultivars. *Secheresse*, 24 : 261-73.
- Kobia, J., Emikpe, B., Asare, D., Asenso, T., Yeboah, R., Jarikre, T. Jagun-Jubril, A., 2016. Effects of Different Cooking Methods on Heavy Metals Level in Fresh and Smoked Game Meat. *J Food Process Technol.* 7: 617. doi: 10.4172/2157-7110.1000617.
- Koudande, O. D., et Ehouinson, M., 2010. Influence de l'alimentation sur la production chez *Archachatina* sp. <http://www.fao.org/AG/aGA/agap/frg/feedback/war/v6200b/v6200b0k.htm>. Consulté le 23/11/17.
- La Jeunesse, I., Amiot, A., Landry, D., Jadas-Hécart, A., Communal, P-Y., Ballouche, A., Vitrai, B., Mounereau, L., 2015. Transferts de pesticides dans un petit bassin versant viticole des coteaux du Layon : importance des pics lors du ruissellement. *Norois*, 235 : 67-86.
- Lackmann, G. M., Schaller, K. H., Angerer, J., 2004. Organochlorine compounds in breast-fed vs. bottle-fed infants: preliminary results at six weeks of age. *Sci Total Environ.* 329(1-3): 289-293.
- Lalèyè P. A., 1995. Ecologie comparée de deux espèces de chrysichthys, poissons siluriformes (Claroteidae) du complexe lagunaire lac Nokoué-lagune de Porto- novo. Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, 210 p.
- Le Goff, J., Andre, V., Lebailly, P., Pottier, D., Perin, F., Perin, O., Gauduchon, P., 2005. Seasonal variations of DNA-adduct patterns in open field farmers handling pesticides. *Mutat Res.* 587(1-2): 90-102.

- Ledirac, N., Antherieu, S., d'Uby, A. D., Caron, J. C., Rahmani, R., 2005. Effects of organochlorine insecticides on MAP kinase pathways in human HaCaT keratinocytes: key role of reactive oxygen species. *Toxicological Sciences*. 86(2): 444-452.
- Lee, W. J., Son, M., Chun, B. C., Park, E. S., Lee, H. K., Coble, J., Dosemeci, M., 2008b. Cancer mortality and farming in South Korea: an ecologic study. *Cancer Causes Control*. 19(5): 505-513.
- Legba F., 2006. Pertinence de l'aménagement de la basse vallée de l'Ouémé au Bénin. Mémoire de fin de formation pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées en Eau pour l'agriculture et l'Approvisionnement des Communautés, Option : Aménagement Hydro-Agricole, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne, Belgique, 56 p.
- Legrand, E., 2016. Couplage d'approches écotoxicogénomiques chez le copépode estuarien *Eurytemora affinis* et d'outils bio-analytiques pour l'évaluation du caractère perturbateur endocrinien des contaminants aquatiques : exemple de deux pesticides modèles : le pyriproxifène et la chlordécone, seuls et en mélange. Thèse de doctorat, École doctorale Normande de biologie intégrative, santé, environnement, Université du Havre, France, 292 p.
- Liu, Z., Zhang, H., Tao, M., Yang, S., Wang, L., Liu, Y., Ma, D., He, Z., 2010. Organochlorine Pesticides in Consumer Fish and Mollusks of Liaoning Province, China : Distribution and Human Exposure Implications. *Arch Environ Contam Toxicol*. 59 :444–453.
- Louat, F., 2013. Etude des effets liés à l'exposition aux insecticides chez un insecte modèle, *Drosophila melanogaster*. Thèse de doctorat en Génétique cellulaire et moléculaire. École Doctorale Santé, Sciences Biologiques et Chimie du Vivant, Université d'Orléans, France, 224 p.
- Lu, C., Barr, D. B., Pearson, M. A., Waller, L. A., 2008. Dietary intake and its contribution to longitudinal organophosphorus pesticide exposure in urban/suburban children. *Environ Health Perspect*, 116(4): 537-542.
- Lu, C., Toepel, K., Irish, R., Fenske, R. A., Barr, D. B., Bravo, R., 2006. Organic diets significantly lower children's dietary exposure to organophosphorus pesticides. *Environ Health Perspect*, 114(2): 260-263.
- Mamta., Rao, R.J., Wani, K.A., 2015. Concentration of Organochlorine and Organophosphorus Pesticides in Different Molluscs from Tighra Reservoir, Gwalior, India. *Bull Environ Contam Toxicol*. 95(3): 332-339.
- Mandangi, G. M., 2010. Contribution à l'étude de la consommation et valorisation d'escargots géants africains a Kinshasa. Master complémentaire en Gestion des ressources animales et végétales en milieux tropicaux, Université de Liège-Gembloux AgroBioTec, https://www.memoireonline.com/12/10/4191/m_Contribution-a-letude-de-la-consommation-et-valorisation-descargots-geants-africains-a-Kinsh5.html. Consulté le 08/04/16.
- Marina, L., Inmaculada, L-F., Miguel, R. B., Clemente, A.G., Julia, B.M., Oscar, P. M., Ricardo, G., Susana, B., Mariano, E. C., 2010. Association between organophosphate pesticides exposure and thyroid hormones floriculture workers. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 243: 19-26.
- Martínez-González, E., González, F. J., Ascenso, J. R., Marcos, P. M., Frontana, C., 2016. Competition between Hydrogen Bonding and Proton Transfer during Specific Anion Recognition by Dihomooxalix[4]arene Bidentate Ureas. *J. Org. Chem.*, 81(15): 6329–6335.

- Masri, I., Belwaer, I., Brahmi, N., Ghorbal, H., Hedhili, A., Mouldi, A., 2011. Incidence et caractéristiques des intoxications aux inhibiteurs de cholinestérases. *Revue Francophone des Laboratoires*, 429 : 41-46.
- Masters, G. B., 1997. Introduction to environmental engineering and science. Prentice hall. New Jersey, 65p.
- Mead, A. R., 1950. Comparative genital anatomy of some African Achatinae (pulmonata). In: *Bulletin of museum of comparative zoology*, Harvard college, 105-219.
- Mead, A. R., 1979. Anatomical studies in the African Achatinidae A preliminary report. *Malacologia*, 18 : 133-138.
- Medhioub, W., 2011. Etude des mécanismes de contamination des mollusques bivalves par des neurotoxines à action rapide (FAT) & développement de procédés de détoxification. Thèse de doctorat en co-tutelle. Université de Tunis El-Manar et Université de Bretagne Occidentale, 212 p.
- Medjdoub, A., 2013. Evaluation des effets métaboliques d'un gavage par les pesticides (Mancozèbe, Métribuzine) chez le rat Wistar. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie, 195 p.
- Megnon, G. T., Soumanou, M. M., Tossou, S. Mensah, G. A., 2012. Evaluation de la qualité sanitaire des crevettes (*Penaeus sp*) du Lac Nokoué au Sud-Bénin: Aspects chimique et microbiologique. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, Numéro spécial Elevages de gibier & non gibier, 24-30.
- Merhi, M., 2008. Etude de l'impact de l'exposition à des mélanges de pesticides à faibles doses : caractérisation des effets sur des lignées cellulaires humaines et sur le système hématopoïétique murin. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Discipline ou spécialité : Pathologie, Toxicologie, Génétique et Nutrition, France, 140 p.
- Merhi, M., Raynal, H., Cahuzac, E., Vinson, F., Cravedi J. P., Gamet-Payrastre, L., 2007. Occupational exposure to pesticides and risk of hematopoietic cancers: meta-analysis of case control studies. *Cancer Causes Control*, 18 :1209-1226.
- Merzouki, M., Talib, N. Sif, J., 2009. Indice de condition et teneurs de quelques métaux (Cu, Cd, Zn et Hg) dans les organes de la moule *Mytilus galloprovincialis* de la côte d'El Jadida (Maroc) en mai et juin 2004. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie*, 31(1) : 21-26.
- Mink, P. J., Adami, H. O., Trichopoulos, D., Britton, N. L., Mandel, J. S., 2008. Pesticides and prostate cancer: a review of epidemiologic studies with specific agricultural exposure information. *Eur J Cancer Prev*, 17(2): 97-110.
- Miquel, M. G., 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Rapport 261, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, France, 365p.
- Mnif, W., Hadj Hassine, A. I., Bouaziz, A., Bartegi, A., Thomas, O., Roig, B., 2011. Effect of Endocrine Disruptor Pesticides : A Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8 : 2265-2303.
- Moisan, F., Kab, S., Elbaz, A., 2017. Maladie de parkinson et exposition aux pesticides en France : Exemples d'études menées auprès d'agriculteurs et en population générale. *Santé Publique France*, Communication, 28 p.

- Moreno, S. N. J., et Docampo, R., 2009. The role of acidocalcisomes in parasitic protists. *J Eukaryot Microbiol.*, 56(3) : 208–213.
- Moser, V. C., 2007. Animal models of chronic pesticide neurotoxicity. *Hum Exp Toxicol.* 26(4): 321-331.
- Multigner, L., 2005. Effets retardés des pesticides sur la santé humaine. Environnement, *Risques & Santé.* 4 (3) : 187-194.
- Muniz, J. F., McCauley, L., Scherer, J., Lasarev, M., Koshy, M., Kow, Y. W., Nazar-Stewart, V., Kisby, G. E., 2008. Biomarkers of oxidative stress and DNA damage in agricultural workers: a pilot study. *Toxicol Appl Pharmacol.* 227(1): 97-107.
- Musaiger, A. O., et D'Souza, R., 2008. The effects of different methods of cooking on proximate, mineral and heavy metal composition of fish and shrimps consumed in the Arabian Gulf. *Arch Latinoam Nutr.* 58(1) :103-9.
- Naravaneni, R., et Jamil, K., 2007. Determination of AChE levels and genotoxic effects in farmers occupationally exposed to pesticides. *Human and Experimental Toxicology.* 26(9): 723-731.
- Nasterlack, M., 2007. Pesticides and childhood cancer: an update. *Int J Hyg Environ Health.* 210(5): 645-657.
- N'guessan, Y. M., Wognin, V. A., Kouadio, K. G., Probst, A., Probst, J-L., 2017. Paramètres influençant la distribution des éléments traces métalliques dans les affluents du fleuve Garonne (France). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(3) : 1361-1372.
- Nica, D. V., Bura, M., Gergen, L., Harmanescu, M., Bordean, D-M., 2012. Bioaccumulative and conchological assessment of heavy metals transfer in a soil-plant-snail food chain. *Chemistry Central Journal*, 6 (55) : 1-15.
- Nicolopoulou-Stamati, P., Maipas, S., Kotampasi, C., Stamatis, P., Hens, L., 2016. Chemical Pesticides and Human Health: The Urgent Need for a New Concept in Agriculture. *Frontiers in Public Health*, 4(148) : 1-8.
- Nisbet, R H., 1974. The life of the Achatinidae in london. In: *Preceeding of the malacological, society of London*, 41: 171-183.
- O'Dji, 1998. La “gastéropoudre” d'escargot enrichit les sauces. SYFIA: *Bulletin de presse.*
- Odaibo, A. B., Dehinbo, A. J., Olofintoye, L. K., Falode, O. A., 2000. Occurrence and distribution of *Rhabditis axei* (Rhabditida; Rhabditidae) in African giant Snails in southwestern Nigeria. *Helminthologia*, 37(4): 233-235.
- Onuoha, S. C., Anelo, P. C. and Nkpaa, K. W., 2015. Human health risk assessment of heavy metals in snail (*Archachatina marginata*) from four contaminated regions in rivers state, Nigeria. *American Chemical Science Journal*, 11(2) : 1-8.
- Otchoumou, A., 2005. Effet de la teneur en calcium d'aliments composés et la photopériode sur les performances biologiques et la composition biochimique de la chair chez *Achatina achatina* (Linné, 1758), *achatina fulica* (Bowdich, 1720) et *Archachatina ventricosa* (gould, 1885) élevés en bâtiment en Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat. Université d'Abobo Adjamé : Côte-d'Ivoire, 196 p.
- Otchoumou, A., Zongo, D., Dosso, H., 1990. Contribution à l'étude de l'escargot géant Africain *Achatina achatina* (L). *Annales d'écologie*, Tome XXI, pp 31-58.

- Ouédraogo, M., Tankoano, A., Ouédraogo, T. Z., Guissou, I. P., 2009. Étude des facteurs de risques d'intoxications chez les utilisateurs de pesticides dans la région cotonnière de Fada N'Gourma au Burkina Faso. *Environnement, Risques & Santé*, 8(4) : 343-347.
- Ouédraogo, O., and Amyot, M., 2011. Effects of various cooking methods and food components on bioaccessibility of mercury from fish. *Environ Res.* 111(8) :1064-1069.
- Ouro-Sama, K., Solitoke, H. D., Gnandi, K., Afiademanyo, K. M., Bowessidjaou, E. J., 2014. Évaluation et risques sanitaires de la bioaccumulation de métaux lourds chez des espèces halieutiques du système lagunaire togolais. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], 14(2), URL : <http://vertigo.revues.org/15093> ; DOI : 10.4000/vertigo.15093. Mis en ligne le 16 septembre 2014, consulté le 16 mars 2017.
- Oves, M., Saghir, K. M., Huda, Q. A., Nadeen, F. M., Almeelbi, T., 2016. Heavy Metals : Biological importance and detoxification strategies, *J Bioremed Biodeg*, 7(2) : 1-16.
- PAN (Pesticide Action Network), 2017. Chlorpyrifos. <http://www.panna.org/resources/chlorpyrifos-facts> (Page consultée le 19/02/2018)
- PDC Adjohoun, 2004. Plan de Développement de la commune d'Adjohoun, version finale, Ministère de l'Intérieur, de la Sécurité et de la Décentralisation, République du Bénin, 72p.
- Pedrini-Martha, V., Schnegg, R., Baurand, P. E., deVaufleury, A., Dallinger, R., 2017. The physiological role and toxicological significance of the non-metal-selective cadmium/copper-metallothionein isoform differ between embryonic and adult helicid snails. *Comp Biochem Physiol C Toxicol Pharmacol.*, 199 :38-47.
- Pelissier P., 1963. Les pays du bas-Ouémé : une région témoin du Dahomey méridional. FLASH, Dakar, Sénégal. Travaux du département de Géographie, 10 : 1-39.
- Pilsbry, H. A., 1919. A review of the land mollusks of the Belgian Congo chiefly based on the collections of the American Museum Congo expedition, 1909-1915. *Bulletin of the American Museum of Natural History*. XL : 1-369.
- Piperakis, S. M., Kontogianni, K., Piperakis, M. M., Tsilimigaki, S., 2006a. Effects of pesticides on occupationally exposed humans. *ScientificWorldJournal*, 6:1211-1220.
- Piperakis, S. M., Kontogianni, K., Siffel, C., Piperakis, M. M., 2006b. Measuring the effects of pesticides on occupationally exposed humans with the comet assay. *Environ Toxicol.* 21(4) : 355-359.
- PNE (Partenariat National de l'eau), 2011. Défis et orientations stratégiques pour la lutte contre la pollution chimique des cours et plans d'eau au Bénin. PNE BENIN, Cotonou, 26p.
- Provost, D., Cantagrel, A., Lebailly, P., Jaffre, A., Loyant, V., Loiseau, H., Vital, A., Brochard, P., Baldi, I., 2007. Brain tumours and exposure to pesticides: a casecontrol study in southwestern France. *Occup Environ Med.* 64(8): 509-514.
- Ragaa M., 2011. Impact profenophos (pesticide) sur l'infectivité de *Biomphalaria alexandrina* escargots avec *Schistosoma mansoni* miracidia et sur leur physiologie. *Journal ouvert d'écologie*, 1(2) : 41-47.
- Ramade F., 2007. Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications. Ed. Lavoisier, Paris, 618 p.
- Rauh, V., Arunajadai, S., Horton, M., Perera, F., Hoepner, L., Barr, D. B., Whyatt, R., 2011. Seven-Year Neurodevelopmental Scores and Prenatal Exposure to Chlorpyrifos, a Common Agricultural Pesticide. *Environ Health Perspect*, 119 :1196-1201.

- Reynolds, P., Von Behren, J., Gunier, R. B., Goldberg, D. E., Harnly, M., Hertz, A., 2005. Agricultural pesticide use and childhood cancer in California. *Epidemiology*, 16(1): 93-100.
- Rifai, A., 2013. Etude de la dégradation par photolyse directe de pesticides - Caractérisation structurale et toxicité potentielle des photoproduits. Thèse de doctorat en Chimie analytique. Ecole doctorale de l'Ecole Polytechnique, Ecole Polytechnique ParisTech, France, 242p.
- Rousselet, M., 1982. L'élevage des escargots. Édition du point vétérinaire. Maison Alfort Ed, 132 p.
- Rowe, A. M., Brundage, K. M., Barnett, J. B., 2007. In vitro atrazine-exposure inhibits human natural killer cell lytic granule release. *Toxicol Appl Pharmacol*. 221(2): 179-188.
- Royal Commission on Aboriginal Peoples (RCAP), 1996, Gathering Strength. Ottawa, *Canada Communications Group*, 3 : 185.
- Ruau, N., 2013. Risques sanitaires liés à la pollution des milieux aériens et hydriques. *Les Cahiers de la Recherche, Santé-Environnement-Travail*. Ed Scientifique, 51p. <https://hal-anses.archives-ouvertes.fr/anses-01568644>. Consulté le 23 juin 2018.
- Rudant, J., Menegaux, F., Leverger, G., Baruchel, A., Nelken, B., Bertrand, Y., Hartmann, O., Pacquement, H., Verite, C., Robert, A., Michel, G., Margueritte, G., Gandemer, V., Hemon, D., Clavel, J., 2007. Family history of cancer in children with acute leukemia, Hodgkin's lymphoma or non-Hodgkin's lymphoma: the ESCALE study (SFCE). *Int J Cancer*. 121(1): 119-126.
- Salako, O. O. O., 1999. Contribution à l'étude de l'écologie et de la biologie des espèces de poisson du genre *Schilbe* dans la basse vallée de l'Ouémé au Bénin : Habitats, alimentation, croissance et reproduction. Mémoire de fin d'étude pour le DIT, DAPE/CPU/UNB, Bénin. 94 p.
- Salama, A. K., Osman, K. A., Saber, N. A., Soliman, S. A., 2005. Oxydative stress induced by differents pesticides the land snails *Helix aspersa*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 8(1) : 92-96.
- Salehi, F., Turner, M. C., Phillips, K. P., Wigle, D. T., Krewski, D., Aronson, K. J., 2008. Review of the etiology of breast cancer with special attention to organochlorines as potential endocrine disruptors. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 11(3-4): 276-300.
- Saulsbury, M. D., Heyliger, S. O., Wang, K., Round, D., 2008. Characterization of chlorpyrifos-induced apoptosis in placental cells. *Toxicology*. 244(2-3): 98-110.
- Scheifler, R., Gomot- de Vaufleury, A., Toussaint, M.L. Badot, P.M., 2002a. Transfer and effects of cadmium in an experimental food chain involving the snail *Helix aspersa* and the predatory carabid beetle *Chrysocarabus splendens*. *Chemosphere*, 48(6): 571-579.
- Scheifler, R., Gomot-de Vaufleury, A., Badot, P.M., 2002. Transfer of cadmium from plant leaves and vegetable flour to the snail *Helix aspersa*: Bioaccumulation and effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 53(1) : 148-153.
- Sharma, J., Satya, S., Kumar, V., Tewary, D. K., 2005. Dissipation of pesticides during breadmaking. *J Chem Health Safety*, 12 :17-22.
- Shelton, J. F., Geraghty, E. M., Tancredi, D. J., Delwiche, L. D., Schmidt, R. J., Ritz, B., Hansen, R. L., Hertz-Picciotto, I., 2014. Neurodevelopmental Disorders and Prenatal Residential Proximity to Agricultural Pesticides : The CHARGE Study. *Environ Health Perspect*, 122(10) : 1103-1109.

- Shoeibi, S., Amirahmadia, M., Yazdanpanahc, H., Pirali-Hamedanid, M., Pakzada, S. R., Kobarfarde, F., 2011. Effect of cooking process on the residues of three carbamate pesticides in rice. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 10(1) : 119-126.
- Shotuyo, A.L.A., Bambgose, O., Oduntan, O.O., Akintunde, A.O., Ogunsola, O.S., 2016. Levels of Some Heavy Metals in African Giant Land Snail (*Archachatina marginata*) in Major Markets in Abeokuta, South West Nigeria. *International Journal of Molecular Ecology and Conservation*, 6(1) :1-6.
- Simoniello, M. F., Kleinsorge, E. C., Scagnetti, J. A., Grigolato, R. A., Poletta, G. L., Carballo, M. A., 2008. DNA damage in workers occupationally exposed to pesticide mixtures. *J Appl Toxicol.*, 28(8):957-965.
- Sinfort, C., Cotteux, E., Bonicelli, B., Ruelle, B., Douchin, M., Berenger, M., Lagrevol, J., Liet, O., De Rudnicki, V., 2009. Influence des conditions et matériels de pulvérisation sur les pertes de pesticides au sol et dans l'air en viticulture Languedocienne. XXXIXème Colloque National du Groupe Français d'études et d'applications des pesticides, Toulouse, France, 4 p.
- Sirven, J-B., 2006. Détection de métaux lourds dans les sols par spectroscopie d'émission sur plasma induit par laser (LIBS). Thèse de doctorat. École Doctorale de Sciences Physiques et de l'Ingénieur, Université Bordeaux 1, France, 253 p.
- Sodjinou, E., Biaou, G., Codjia, J-C., 2002. Caractérisation du marché des escargots géants africains (achatines) dans les départements de l'Atlantique et du Littoral au Sud-Bénin. *Tropicultura*, 20(2): 83-88 <http://www.bib.fsagx.ac.be/tropicultura/pdf/v20n2.pdf>
- Sossou-Agbo, A. L., 2013. La mobilité des populations dans le complexe fluvio-lagunaire de la basse vallée de l'Ouémé au Bénin, en Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat de l'université de Grenoble et de l'université d'Abomey-Calavi, Ecole Doctorale : Sciences de l'Homme, du Politique et du Territoire, Spécialité : Géographie, 357 p.
- Srinivasa, J., Maxim, P., Urban, J., D'Souza, A., 2005. Effects of Pesticides on Male Reproductive Functions. *Iran J Med Sci*, 30(4) : 153-159.
- Swaileh, K.M., Rabay'a, N., Salim, R., Ezzughayyar, A., Rabbo, A.A., 2001a. Concentrations of heavy metals in roadside soils, plants, and landsnails from the West Bank, Palestine. *Journal of Environmental Science and Health Part a- Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 36(5): 765-778.
- Testiati, E., 2012. Contamination de sols par des éléments traces métalliques en zone méditerranéenne côtière : études de leur mobilité et du transfert à la phytocénose. Thèse de doctorat. Spécialité Sciences de l'Environnement Terrestre, Laboratoire de Chimie de l'Environnement, Université Aix-Marseille, France, 293p.
- Traore, S. K., Dembele, A., Mamadou, K., Mambo, V., Lafrance, P., Bekro, Y. A., Houenou, P., 2008. Contrôle des pesticides organochlorés dans le lait et produits laitiers : Bioaccumulation et risques d'exposition. *Afrique Sci.*, 4(1) : 87-98.
- Usha, B., et Kulwant, S. S., 2011. Effect of handling and processing on pesticide residues in food- a review. *J Food Sci Technol*, 51(2) :201-220.
- Valavanidis, A., et Vlachogianni, T., 2010. Integrated biomarkers in aquatic organisms as a tool for biomonitoring environmental pollution and improved ecological risk assessment. *Science advances on environment, toxicology & ecotoxicology*. 2 :1-14.
- Van Maele-Fabry, G., Duhayon, S., Lison, D., 2007. A systematic review of myeloid leukemias and occupational pesticide exposure. *Cancer Causes Control*, 18(5): 457-478.

- Van Maele-Fabry, G., Duhayon, S., Mertens, C., Lison, D., 2008. Risk of leukaemia among pesticide manufacturing workers: a review and meta-analysis of cohort studies. *Environmental Research*, 106(1): 121-137.
- Van Maele-Fabry, G., Libotte, V., Willems, J., Lison, D., 2006. Review and metaanalysis of risk estimates for prostate cancer in pesticide manufacturing workers. *Cancer Causes Control*. 17(4): 353-373.
- Viard B., 2004. Mise au point et validation, sur sites contaminés, (ETM-HAP) d'un test de biosurveillance en microcosme : croissance et bioaccumulation par le gastéropode terrestre *hélix aspersa aspersa*. Thèse de doctorat, Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie des Ressources Procédés Produits Environnement, Discipline : sciences de la vie, Mention : toxicologie de l'environnement, Université de Metz, France, 267p.
- Viard, B., Pihan, F., Promeyrat, S., Pihan, J.C., 2004. Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution : bioaccumulation in soil, Gramineae and landsnails. *Chemosphere*, 55 : 1349-1359.
- Vignet, C., 2014. Altération de la physiologie des poissons exposés à des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : comportement et reproduction. Thèse de doctorat, Sciences agricoles, Université de La Rochelle, France, 375p.
- Vissin, E. W., Sintondji, L., O., Houssou, S. C., 2010. Etude de la pollution des eaux et de la contamination du *Tilapia guineensis* du canal de Cotonou par le plomb. *RGLL*, 8: 215-229.
- Waykar, B. et Petare, R., 2013. Bioaccumulation of heavy metals in freshwater snails *Bellamya bengalensis*, and *Lymnea accuminata* from malangaon wetland of dhule district (maharashtra) india. *The Bioscan (Supplement on Toxicology)*, 8(3) : 1043-1047.
- Whyatt, R.M., Camann, D., Perera, F.P., Rauh, V.A., Tang, D., Kinney, P.L., Garfinkel, R., Andrews, H., Hoepner, L., Barr, D.B., 2005. Biomarkers in assessing residential insecticide exposures during pregnancy and effects on fetal growth. *Journal Toxicology and Applied Pharmacology*, 37(14) : 246-254.
- Yates, S. R., 2009. Analytical solution describing pesticide volatilization from soil affected by a change in surface condition. *Journal of environmental quality*, 38(1) : 259–267.
- Yehouenou, E. A. P., Boko, M., Cornelis, A. M. V. G., Hyacinthe, A., Laleye, P., Simon, A., Bert, V. H., Kees, S., Nico, M. V. S., 2006b. Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Bénin. *Environnement Int*, 32 : 616-623.
- Yehouenou, E. A. P., Laleye, P., Michel, B., Cornelis, A. M. V. G., Hyacinthe, A., Simon, A., Bert, V. H., Kees, S., Nico, M. V. S., 2006a. Contamination of fish organochlorine pesticide residues in the Ouémé River catchment in the Republic of Benin. *Environnement Int*, 32 : 594-5999.
- Youssao, A., Soclo, H. H., Bonou, C., Vianou, K., Gbaguidi, M., Dovonon, L., 2011. Evaluation de la contamination de la faune ichthyenne dans le complexe lagunaire Nokoué – chenal de Cotonou par le plomb : cas des espèces *Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis* et *Hemichromis fasciatus* (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(2) : 595-602.
- Zeljezic, D., Garaj-Vrhovac, V., Perkovic, P., 2006. Evaluation of DNA damage induced by atrazine and atrazine-based herbicide in human lymphocytes in vitro using a comet and DNA diffusion assay. *Toxicology In Vitro*. 20(6): 923-935.

Zongo D., 1995. Les escargots géants africains. Conférence prononcée à l'institut de géographie tropicale d'Abidjan dans le cadre du module de formation "Valorisation des produits du cuit et développement auto centré". ENSA-Côte-d'Ivoire, Abidjan, 15p.

Zongo, D., 1990. Note sur l'élevage de l'escargot géant africain *Achatina achatina*. In : *Nature et faune*, 2 : 32-44.

Table des matières

Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Hommages.....	v
Sigles, acronymes et abréviations.....	vi
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	xi
Liste des photos.....	xiv
Résumé.....	xv
Abstract.....	xvi
Sommaire.....	xvii
Introduction.....	1
1. Problématique.....	3
2. Objectifs de l'étude.....	5
2.1 Objectif principal.....	5
2.2 Objectifs spécifiques.....	5
3. Hypothèses.....	5
PARTIE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
Chapitre 1 : Etude bibliographique sur les pesticides.....	7
1.1. Définitions.....	7
1.2. Classification des pesticides.....	7
1.3. Pollution diffuse et contaminations.....	8
1.3.1. Pollution diffuse.....	8
1.3.2. Contamination des eaux.....	9
1.3.3. Contamination de l'air.....	10
1.3.4. Contamination des sols.....	10
1.4. Les possibles modes d'exposition de l'homme aux pesticides.....	11
1.4.1. Mesure de l'exposition.....	12
1.4.2. Exposition professionnelle.....	12
1.4.3. Exposition non professionnelle.....	13
1.4.4. Exposition de l'enfant.....	13
1.5. Effets des pesticides sur la santé.....	14
1.5.1. Effets cancérigènes.....	14

1.5.1.1. Cancers de l'adulte - Exposition professionnelle.....	14
1.5.1.2. Cancers de l'enfant.....	16
1.5.2. Effets sur le système endocrinien et la reproduction.....	17
1.5.3. Effets neurologiques et neurocomportementaux.....	18
1.5.4. Effets sur l'immunité.....	18
1.5.5. Les principaux mécanismes de toxicité des pesticides.....	19
Chapitre 2 : Etude bibliographique sur les métaux lourds.....	20
2.1 Définition.....	20
2.2 Sources des métaux lourds dans l'environnement.....	20
2.2.1 Sources naturelles.....	20
2.2.2 Sources anthropiques.....	21
2.3 Comportement des métaux lourds dans le sol.....	21
2.3.1 Mobilité et biodisponibilité des éléments métalliques.....	21
2.3.2 Paramètres influençant la mobilité des éléments métalliques.....	23
2.3.3 Transfert des polluants vers les invertébrés terrestres.....	24
2.4 Devenir des métaux lourds dans les organismes et toxicité.....	25
2.4.1 Devenir des métaux lourds dans les invertébrés.....	26
2.4.1.1 Principales voies d'entrée dans l'organisme des invertébrés.....	26
2.4.1.2 Différentes formes de stockage des EM.....	26
2.4.1.2.1 Les granules intracellulaires.....	26
2.4.1.2.2 Les protéines liant les métaux.....	27
2.4.1.2.3 Accumulation des EM.....	27
2.4.2 Devenir des polluants organiques.....	28
2.4.3 Toxicité aiguë et chronique des polluants.....	29
2.4.3.1 Le cadmium.....	29
2.4.3.2 Le plomb.....	30
2.5 Evaluation des risques environnementaux et pour la santé humaine.....	31
Chapitre 3 : Généralités sur les achatines.....	33
3.1 Systématique.....	33
3.1.1 Famille des Achatinidae.....	33
3.1.2 Caractéristiques.....	34
3.1.3 Description de quelques espèces.....	34

3.1.3.1 <i>Achatina fulica</i>	34
3.1.3.2 <i>Achatina achatina</i>	34
3.1.3.3 <i>Archachatina degneri</i>	35
3.1.3.4 <i>Archachatina marginata</i>	35
3.1.3.5 <i>Archachatina ventricosa</i>	35
3.2 Origine et répartition géographique.....	35
3.3 Eléments d'écologie.....	36
3.3.1 <i>Les espèces dans leurs milieux naturels</i>	36
3.3.2 <i>Rythmes d'activité</i>	37
3.3.3 <i>Estivation et hibernation</i>	37
3.3.4 <i>L'alimentation</i>	37
3.3.5 <i>La reproduction</i>	38
3.4 Modes d'élevage des escargots géants africains.....	38
3.4.1 <i>Systèmes d'élevage avec enclos au sol</i>	38
3.4.2 <i>Système d'élevage hors sol</i>	39
3.4.3 <i>Système d'élevage en semi-liberté</i>	39
3.5 <i>Ennemis des escargots géants</i>	39
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES.....	40
Chapitre 4 : Cadre d'étude.....	41
4.1. Localisation de la basse vallée de l'Ouémé.....	41
4.2. Relief, sols et réseau hydrographique.....	43
4.3. Climat.....	44
4.4. Habitats et diversité faunique.....	44
4.4.1. Végétation.....	44
4.4.2. Faune.....	45
4.5. Population et activités économiques.....	45
4.5.1. Population.....	45
4.5.2. Activités économiques.....	46
Chapitre 5 : Matériel et méthodes d'étude.....	48
5.1 Matériel.....	48
5.1.1 Nature de l'étude.....	48
5.1.2 Eléments de l'étude.....	48
5.1.3 Critères de choix des stations.....	48

5.1.4 Matériel de transport.....	48
5.1.5 Matériel de prélèvements.....	48
5.1.6 Matériels de laboratoire.....	49
5.2 Méthodes d'étude.....	49
5.2.1 La recherche documentaire.....	50
5.2.2 La collecte des données.....	50
5.2.2.1 Pré-enquête et choix de la zone d'étude.....	50
5.2.2.2 Echantillonnage.....	51
5.2.2.3 Enquête proprement dit.....	51
5.3 Méthodes de prélèvement.....	52
5.4 Méthodes d'analyse.....	52
5.4.1 Préparation des échantillons d'escargots.....	52
5.4.2 Cuisson des escargots bouillis et frits.....	53
5.4.3 Méthode d'analyse des métaux lourds.....	53
5.4.3.1 Réactifs.....	53
5.4.3.2 Contrôle de la qualité.....	53
5.4.3.3 Minéralisation.....	54
5.4.3.4 Dosage des métaux lourds.....	54
5.4.4 Méthode d'analyse des pesticides.....	55
5.4.4.1 Réactifs.....	55
5.4.4.2 Préparation des échantillons.....	55
5.4.4.3 Dosage des pesticides.....	55
5.5 Méthode d'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés par les métaux lourds et les pesticides.....	57
5.6 Traitements statistiques des données.....	58
PARTIE 3 : RESULTATS ET DISCUSSION.....	59
Chapitre 6 : Description des escargots de la vallée de l'Ouémé et de l'activité de ramassage.....	60
6.4 Les différentes espèces rencontrées dans la vallée de l'Ouémé.....	60
6.5 Les différentes espèces consommées dans la vallée de l'Ouémé.....	62
6.2.1 Espèces consommées.....	62
6.2.2 Mode de consommation des escargots dans la vallée.....	63
6.2.3 Quantité consommée par repas et fréquence de consommation.....	64

6.6 L'activité de ramassage des escargots.....	66
6.3.1 Quantité d'escargots ramassés par collecte et la part vendue.....	66
6.3.2 Mode de collecte des escargots.....	67
6.3.3 Circuits de commercialisation des escargots.....	68
Chapitre 7 : Métaux lourds et résidus de pesticides accumulés dans les	
escargots avant et après cuisson, et risques sanitaires liés à leur	
consommation.....	69
7.1 La mensuration des escargots.....	69
7.2 Les concentrations de métaux lourds dans les escargots.....	74
7.2.1 Les concentrations de métaux lourds dans les escargots crus.....	74
7.2.2 Les concentrations de métaux lourds dans les escargots bouillis.....	78
7.2.3 Les concentrations de métaux lourds dans les escargots frits.....	81
7.2.4 Comparaison des concentrations de métaux lourds entre <i>Archachatina</i>	
<i>marginata</i> et <i>Limicolaria spp</i>	84
7.2.5 Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des	
métaux lourds dans les escargots.....	85
7.3 Les concentrations de résidus de pesticides dans les escargots.....	88
7.3.1 Les concentrations de résidus de pesticides dans les escargots crus.....	88
7.3.2 Les concentrations de résidus de pesticides dans les escargots bouillis...	94
7.3.3 Les concentrations de résidus de pesticides dans les escargots frits.....	97
7.3.4 Comparaison des concentrations de pesticides entre <i>Archachatina</i>	
<i>marginata</i> et <i>Limicolaria spp</i>	100
7.3.5 Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des	
pesticides dans les escargots.....	103
7.4 Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots	
contaminés aux métaux lourds et aux pesticides.....	105
7.4.1 Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots	
contaminés aux métaux lourds.....	106
7.4.2 Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots	
contaminés aux pesticides.....	112
Discussion générale.....	118
Conclusion.....	125
Suggestions.....	127

Perspectives.....	128
Références bibliographiques.....	129

ANNEXES

Annexe 1 : Classification des métaux selon Nieboer et Richardson (1980)

Classification des métaux abordés lors de nos travaux, selon Nieboer et Richardson, en classe A, B et intermédiaire, selon un degré croissant d'ionisation.

Classe A	K^+ , Na^+ , Li^+ Ca^{2+} , Mg^{2+} Al^{3+}
Classe intermédiaire	Cd^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} Cr^{3+} , Fe^{3+}
Classe B	Cu^+ Pb^{2+}

Classe A :

K^+ , Na^+ , Li^+
 Ca^{2+} , Mg^{2+}
 Al^{3+}

Classe intermédiaire :

Cd^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+}
 Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}
 Cr^{3+} , Fe^{3+}

Classe B :

Cu^+
 Pb^{2+}

Métaux de classe A : liaison préférentielle avec les atomes $O > N > S$

Métaux de classe B : liaison avec les atomes de préférence $S > N > O$

Métaux intermédiaires : métaux essentiels à la vie tels que Ni^{2+} , Fe^{2+} ou Zn^{2+}

Annexe 2 : Fiche d'enquête à l'endroit des ramasseurs d'escargots

Date de l'enquête :

Nom de la localité : Commune :

Nom et prénom de l'enquêté :

Profession : Age :

1. Quelle autre activité menez-vous en dehors du ramassage ou de la vente des escargots ?

- Commerce
- Agriculture
- Autres à préciser :

2. Quelle quantité d'escargots ramassez-vous à chaque collecte ?

3. Toute la quantité d'escargots ramassés est-elle consommée ou vendue ?

- Consommée totalement
- Vendue totalement
- Consommée et vendue
- Autres à préciser :

4. Quelle part est réellement vendue ?

- 1/2
- 1/3
- 2/3
- Tout

5. A qui vendez-vous les escargots que vous ramassez ?

- Commerçants
- Consommateurs

6. Cette activité constitue-t-elle pour vous une Activité Génératrice de Revenus ?

- Oui
- Non

7. Quelles sont les différentes espèces d'escargots consommées dans la localité ?

.....
.....
.....

8. Laquelle ou lesquelles espèces sont les plus consommées ?

.....
.....
.....

9. Sous quelle forme les escargots sont-ils consommés ?

- Frite
- Bouillie
- Autre à préciser :

10. Comment les escargots sont-ils traités avant la consommation ?

.....
.....
.....

11. Quelle quantité consommez-vous par repas ?

.....

12. A quelle fréquence consommez-vous les escargots ?

- Une fois la semaine
- Deux fois la semaine
- Trois fois la semaine
- Tous les jours
- Autre à préciser :

13. Quels sont les lieux de collecte des escargots dans votre localité ?

- Brousse
- Dépotoirs sauvages
- Champs
- Près des rivières
- Autre à préciser :

14. Quels sont les modes de collecte des escargots dans votre localité ?

- Ramassage
- Piégeage et ramassage
- Autres à préciser :

15. A quelle période observez-vous l'abondance des escargots ?

- Saison sèche
- Saison pluvieuse
- Période de crue

16. Quelles difficultés rencontrez-vous dans l'exercice de cette activité ?

.....
.....
.....

17. Quels autres usages fait-on des escargots dans votre localité en dehors de la consommation ?

.....
.....
.....

18. Quels sont les pesticides utilisés dans les champs de cette localité ?

.....
.....
.....

Merci pour votre disponibilité !

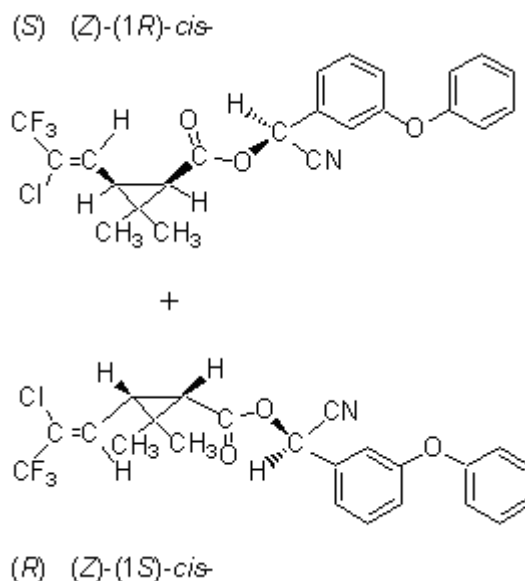
Annexe 3 : Description des molécules de pesticides retrouvées dans les escargots de la vallée de l'Ouémé

❖ Lambda-cyhalothrine

Nom : (R)-cyano (3-phenoxyphenyl) methyl (1S,3S)-rel-3-[(1Z)-2-chloro-3,3,3-trifluoro-1-propenyl]-2,2-dimeth

Formule brute : C₂₃H₁₉ClF₃NO₃

Formule structurale :



Type de pesticide : Insecticide

Famille chimique : Pyréthriinoïdes

Mode d'action : Insecticide non systémique avec une action stomacale, et propriétés repoussantes. Son action est très rapide et son activité résiduelle est de longue durée.

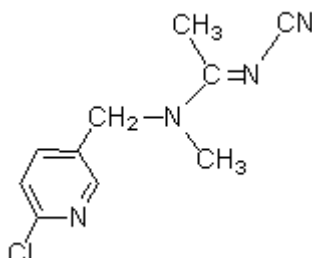
Toxicité chez les mammifères incluant l'homme : Sa toxicité aiguë par voie orale est très élevée chez le rat et la souris, et elle est modérée par voie cutanée ou par inhalation chez ces espèces. Elle est faiblement irritante pour les yeux du lapin et n'irrite pas sa peau. Les études sur la toxicité tant aiguë (rats et souris) que subchronique (chiens) montrent que le principal effet de seuil toxicologique préoccupant pour la lambda-cyhalothrine est représenté par les signes cliniques de neurotoxicité, caractéristiques des effets neurotoxiques attribuables aux pyréthriinoïdes. La lambda-cyhalothrine est cancérigène peu probable et non génotoxique chez l'humain, puis a des effets endocriniens peu probables et aucun effet ou des effets mineurs non préoccupants sur la reproduction et sur le développement humain (Sagepesticides, 2018 - www.sagepesticides.qc.ca consulté le 12/10/18).

❖ Acétamipride

Nom : (E)-N-[(6-chloro-3-pyridinyl) methyl]-N'-cyano-N-methylethanimidamide

Formule brute : C₁₀H₁₁ClN₄

Formule structurelle :



Type de pesticide : Insecticide

Famille chimique : Néonicotinoïdes

Mode d'action : Il joue le rôle d'agonisme/antagonisme des récepteurs de l'acétylcholine en se fixant sur le récepteur nicotinique de l'acétylcholine, avec interruption de la transmission de l'influx nerveux.

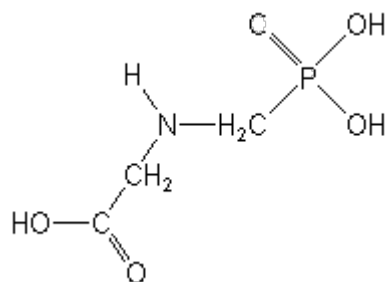
Toxicité chez les mammifères incluant l'homme : Les tests de toxicité aiguë ont montré que l'acétamipride est très toxique pour les rats Sprague-Dawley lors d'une exposition par voie orale, faiblement toxique lors de l'exposition cutanée et légèrement toxique lors de l'exposition par inhalation. Il s'est avéré peu irritant pour les yeux et non irritant pour la peau des lapins. Dans les études à long terme chez les rats et les souris, aucune évidence de cancérogénicité n'a été observée. Les études de toxicité chronique et subchronique de l'acétamipride n'ont donné lieu à aucune toxicité particulière à un organe. Une toxicité généralisée chez les rats, les souris et les chiens se caractérise par une perte de poids corporel, une réduction du gain de masse corporelle et de la consommation alimentaire. On constate une dilatation centrolobulaire des cellules hépatiques, de légère à minime, dans les études chez les rongeurs et une vacuolisation des cellules hépatiques dans l'étude de toxicité chronique chez les rats. L'acétamipride n'est ni génotoxique ni cancérigène ni un perturbateur endocrinien chez l'humain mais des signes cliniques apparentés avec une neurotoxicité ont été notés dans des études chez les animaux (Sagepesticides, 2018 - www.sagepesticides.qc.ca consulté le 12/10/18).

❖ Glyphosate

Nom : N-(phosphonomethyl)glycine

Formule brute : C₃H₈NO₅P

Formule structurelle :



Type de pesticide : Herbicide

Famille chimique : Organophosphorés

Mode d'action : Herbicide systémique à spectre large avec une action de contact et non résiduelle. Absorbé par les feuilles, il parcourt rapidement toute la plante et inhibe la 5-énolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase.

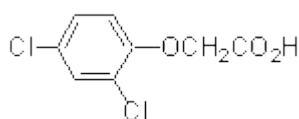
Toxicité chez les mammifères incluant l'homme : Le glyphosate possède une faible toxicité aiguë par les différentes voies d'exposition. Il est peu irritant pour la peau et les yeux et ce n'est pas un sensibilisant cutané. Les formulations de glyphosate semblent être plus toxiques que la matière active. Le glyphosate a causé des effets chez les rats et les souris à des doses très élevées seulement. Les observations consistaient principalement en une baisse de poids corporel et en effets rénaux, hépatiques et oculaires. Il n'y avait aucune évidence de cancérogénicité. Dans des études sur la reproduction et le développement des animaux de laboratoire, les petits n'ont pas démontré de sensibilité accrue comparativement aux adultes après une exposition in utero et/ou postnatale au glyphosate. Il n'est ni génotoxique ni neurotoxique et il ne perturbe pas la fonction endocrinienne chez l'humain (Sagepesticides, 2018 - www.sagepesticides.qc.ca consulté le 12/10/18).

❖ 2-4-D sel d'amine

Nom : Acide acétique (2,4-dichlorophenoxy)

Formule brute : C₈H₆Cl₂O₃

Formule structurelle :



Type de pesticide : Herbicide

Famille chimique : Organophosphorés

Mode d'action : Il est un herbicide systémique sélectif. Les sels sont instantanément absorbés par les racines, pendant que les esters sont instantanément absorbés par les feuilles. Le transport se produit avec une accumulation principalement dans les régions méristématiques des pousses et des racines où il agit comme un inhibiteur de croissance.

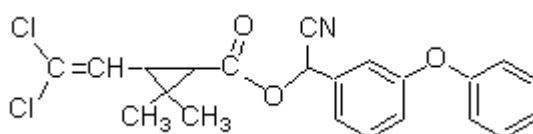
Toxicité chez les mammifères incluant l'homme : Les données de toxicité aiguë indiquent que le 2,4-D n'est pas très toxique par les différentes voies d'exposition. Il n'est pas irritant pour la peau mais la forme diméthylamine est un irritant oculaire sévère. Le 2,4-D n'est pas un sensibilisant cutané. Chez les rats, les reins, la thyroïde, les testicules, les ovaires, l'utérus, les glandes surrénales, le thymus, la moelle osseuse, les poumons et les yeux subissent des changements pathologiques suite à une exposition à long terme au 2,4-D. Chez les chiens, les effets observés étaient une diminution du poids du cerveau, des lésions histopathologiques aux reins et au foie et une altération de certains paramètres chimiques cliniques. Chez toutes les espèces, le principal organe cible des effets toxiques était le rein. Pris dans leur ensemble, les données animales n'indiquent pas un potentiel cancérigène significatif du 2,4-D. Le 2,4-D n'est pas génotoxique mais il pourrait causer une certaine neurotoxicité en particulier à des doses élevées. Le 2,4-D pourrait causer des effets sur le développement, sur la reproduction, sur le système immunitaire et sur la fonction endocrinienne chez les animaux de laboratoire. Chez l'humain, les données existantes sont inadéquates pour une évaluation du potentiel cancérigène. Le 2,4-D est par contre connu pour être non génotoxique chez l'humain et un perturbateur endocrinien potentiel (Sagepesticides, 2018 - www.sagepesticides.qc.ca consulté le 12/10/18).

❖ Cyperméthrine

Nom : Cyano (3-phenoxyphenyl) methyl 3-(2,2-dichloroethenyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate

Formule moléculaire: $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$

Formule structurelle :



Type de pesticide : Insecticide

Famille chimique : Pyréthriinoïdes

Mode d'action : C'est un insecticide non systémique avec contact et action stomacale. Il présente une modulation au niveau du canal ionique sodium. Son action est toxique au niveau

des axones par interférence avec le fonctionnement du canal sodium, par stimulation de décharges nerveuses à répétition causant la paralysie.

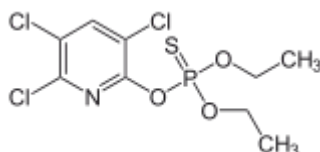
Toxicité chez les mammifères incluant l'homme : La cyperméthrine est modérément toxique par voie orale et légèrement par les autres voies d'exposition (toxicité aiguë). Elle est peu irritante mais elle est considérée comme un sensibilisant cutané modéré selon le test de maximisation de Magnusson Kligman. Une paresthésie peut apparaître chez des travailleurs exposés mais les symptômes sont temporaires et disparaissent après l'exposition. Des adénomes pulmonaires bénins ont été observés chez les souris femelles (toxicité chronique). Chez les rats, après 2 ans au dosage le plus élevé, il a été noté une perte de poids corporel, une augmentation du poids du foie, une augmentation du réticulum endoplasmique des hépatocytes ainsi que quelques changements cliniques légers et hématologiques. La cible principale de la cyperméthrine est le système neuromusculaire. Le chien, en particulier le mâle, est l'espèce la plus sensible aux effets neuromusculaires. Les effets sur le foie chez les souris et les lapins sont considérés de faible importance. La cyperméthrine est un composé neurotoxique. Chez les rats, des doses élevées de cyperméthrine peuvent causer une démarche anormale. Elle n'est ni génotoxique, ni perturbatrice endocrinienne et n'a aucun effet ou a des effets mineurs non préoccupants sur la reproduction et le développement chez l'humain. Par contre, la cyperméthrine serait cancérigène chez l'humain (Sagepesticides, 2018 - www.sagepesticides.qc.ca consulté le 12/10/18).

❖ Chlorpyrifos

Nom : O, O-diethyl O-(3, 5, 6-trichloro-2-pyridinyl) phosphorothioate

Formule moléculaire: C₉H₁₁Cl₃NO₃PS

Formule structurelle :



Type de pesticide : Insecticide

Famille chimique : Organophosphorés

Mode d'action : Il est utilisé contre les bio-agresseurs chez qui il inhibe l'enzyme acétylcholinestérase, avec interruption de la transmission de l'influx nerveux.

Toxicité chez les mammifères incluant l'homme : D'après les tests de toxicité aiguë, le chlorpyrifos est modérément toxique par les voies orale et respiratoire. Il est sévèrement toxique par la voie cutanée chez le rat et modérément chez le lapin. L'inhibition des

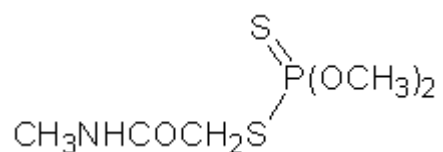
cholinestérases est l'effet le plus sensible chez toutes les espèces animales et l'humain peu importe la durée d'exposition. L'exposition chronique au chlorpyrifos peut conduire à une diminution cumulative de l'activité des cholinestérases à un niveau critique. Parmi les animaux, le chien serait une espèce plus sensible pour l'inhibition des cholinestérases et les effets systémiques (augmentation du poids du foie). Le chlorpyrifos pourrait affecter le développement du système nerveux des fœtus de rats par des mécanismes indépendants de l'inhibition des cholinestérases mais il n'est pas toxique pour la reproduction à des doses non toxiques pour les parents. Par ailleurs, des chercheurs ont démontré que l'association entre l'exposition prénatale au chlorpyrifos et des effets neurodéveloppementaux chez les enfants exposés in utero restait significativement et positivement liée. Ce constat est admis par l'EPA. Le chlorpyrifos n'est ni génotoxique ni cancérigène chez l'humain et a des effets endocriniens peu probables (Sagepesticides, 2018- www.sagepesticides.qc.ca consulté le 12/10/18).

❖ Diméthoate

Nom : O, O-diméthyl S-[2-(méthylamino)-2-oxoethyl] phosphorodithioate

Formule brute : C₅H₁₂NO₃PS₂

Formule structurelle :



Type de pesticide : Insecticide

Famille chimique : Organophosphorés

Mode d'action : Insecticide systémique et acaricide avec contact et action stomacale. Il inhibe l'enzyme acétylcholinestérase, avec interruption de la transmission de l'influx nerveux.

Toxicité chez les mammifères incluant l'homme : Le diméthoate est légèrement à modérément toxique par la voie orale mais plus faiblement par la voie cutanée et par inhalation. Chez les animaux de laboratoire, les symptômes d'intoxication aiguë sont typiques de ceux des composés organophosphorés : fibrillation musculaire, salivation, larmes, incontinence urinaire, diarrhée, détresse respiratoire, prostration, suffocation et halètement, coma et mort. Le diméthoate est moyennement irritant pour les yeux et très peu irritant pour la peau du lapin. En plus d'inhiber l'activité des cholinestérases, l'exposition chronique au diméthoate chez les rats peut causer entre autres, une augmentation de l'incidence d'une vacuolation hépatique chez les femelles, une diminution du poids relatif du cerveau, du cœur, des reins et de la rate, une diminution du poids relatif et absolu des ovaires chez les animaux

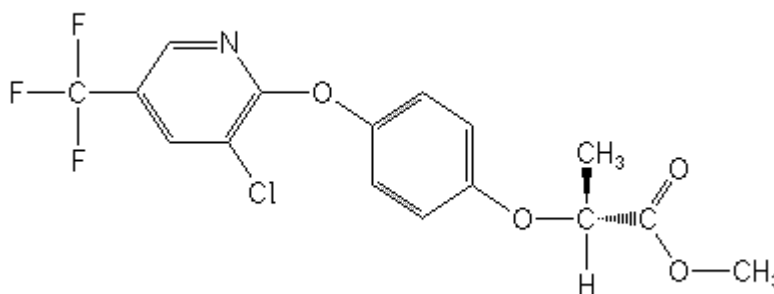
traités. Le diméthoate a été classé cancérigène possible chez l'humain en raison de tumeurs hémolympforéticulaires chez la souris, d'un faible effet combiné de tumeurs de la rate (hémangiome and hémangiosarcome), de la peau (hémangiosarcome) et du système lymphatique (angiome and angiosarcome) chez les rats mâles et d'une activité mutagène positive associée au produit. Il est aussi classé potentiellement génotoxique chez l'humain. Il a des effets endocriniens peu probables et aucun effet ou effets mineurs non préoccupants sur la reproduction et le développement (Sagepesticides, 2018 - www.sagepesticides.qc.ca consulté le 12/10/18).

❖ Haloxyfope R-méthyl

Nom : (2R)-2-[4-[[3-chloro-5-(trifluorométhyl)-2-pyridinyl]oxy]phénoxy]propanoate

Formule brute : C₁₆H₁₃ClF₃NO₄

Formule structurelle :



Type de pesticide : Herbicide

Famille chimique : Organophosphorés

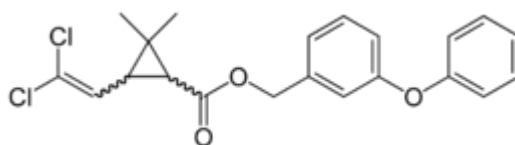
Mode d'action : Herbicide sélectif, il est absorbé par les racines et les feuillages et hydrolysé en haloxyfope-P, avant d'être transporté dans les tissus méristématiques de la plante. Il est un inhibiteur de la croissance des plantes.

❖ Perméthrine

Nom : (1R)-cis,trans-3-(2,2-dichlorovinyl)-2,2-diméthylcyclopropanecarboxylate de 3-phénoxybenzyle

Formule brute : C₂₁H₂₀Cl₂O₃

Formule structurelle :



Type de pesticide : Insecticide

Famille chimique : Pyréthriinoïdes

Mode d'action : C'est un insecticide utilisé pour tuer ou éloigner les insectes (fourmis, moustiques, mouches, poux, puces, cafards, etc.) et les arachnides (araignées, scorpions, sarcoptes, tiques, etc.). Sa cible est le système nerveux des insectes avec une modulation au niveau du canal ionique sodium. Il a en effet une action toxique au niveau des axones par interférence avec le fonctionnement du canal sodium, par stimulation de décharges nerveuses à répétition causant la paralysie.

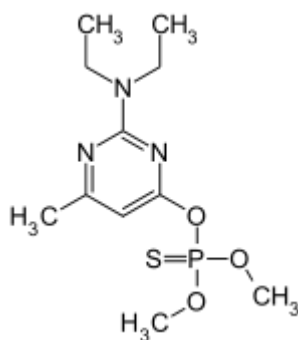
Toxicité chez les mammifères incluant l'homme : La perméthrine possède une faible toxicité aiguë quelle que soit la voie d'exposition. Elle possède peu de propriétés irritantes et n'est pas considérée comme un sensibilisant cutané. Les animaux de laboratoire qui ont reçu des doses relativement élevées de perméthrine par les différentes voies d'exposition ont démontré des signes cliniques tels que la surexcitabilité, des tremblements, des effets sur le poids corporel et celui du foie. Les différentes études sur la cancérogénicité ont démontré l'évidence de 2 types de tumeurs bénignes reproductibles (poumons et foie) chez la souris ainsi qu'une évidence équivoque de cancérogénicité chez les rats Long-Evans. Les études chez les rats et les lapins n'ont démontré aucune sensibilité accrue des petits comparativement aux adultes à la suite d'une exposition in utero ou postnatale. Chez l'humain, aucun test n'a montré ses dommages à l'ADN, sa mutagénicité et sa clastogénicité. Elle est toutefois classée cancérogène probable chez l'humain (Sagespesticides, 2018 - www.sagepesticides.qc.ca consulté le 12/10/18).

❖ Pirimiphosméthyl

Nom : O-[2-(Diéthylamino)-6-méthylpyrimidin-4-yl] O,O-diméthyl phosphorothioate

Formule brute : C₁₁H₂₀N₃O₃PS

Formule structurelle :



Type de pesticide : Insecticide

Famille chimique : Organophosphorés

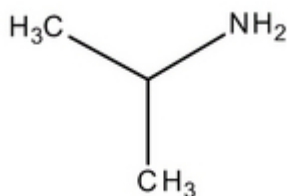
Mode d'action : Insecticide utilisé contre les pucerons, les coléoptères et les acariens. Il est aussi utilisable pour le traitement des denrées entreposées. Il inhibe l'acétylcholinestérase.

❖ **Isopropylamine**

Nom : Propan-2-amine

Formule brute : C₃H₉N

Formule structurelle :



Type de pesticide : Herbicide

Famille chimique : Organophosphorés

Mode d'action : Herbicide systémique à spectre large, avec action de contact et non résiduelle. Il inhibe l'acétylcholinestérase.

Annexe 4 : Photos des étapes de préparation et d'analyses des échantillons d'escargots



Photo 1 : Bocaux de prélèvements avec escargots à Affamè



Photo 2 : Four programmable



Photo 3 : Dessiccateur avec creusets contenant des échantillons d'escargots

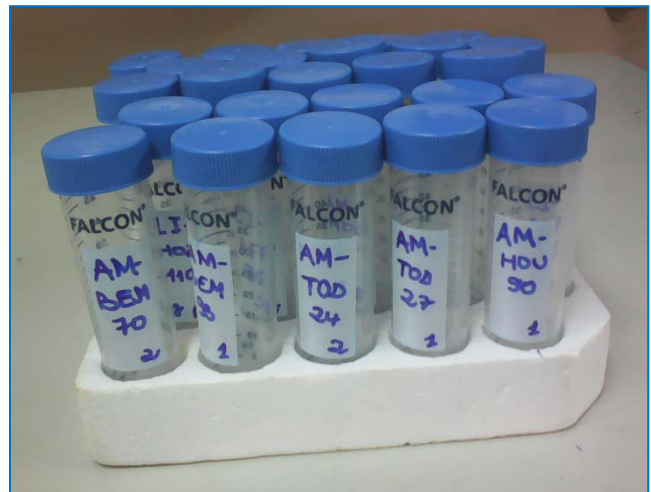


Photo 4 : Tubes Falcon à bouchon à vis



Photo 5 : Escargots prêts à être lavés avec du alun



Photo 6 : Lavage des escargots



Photo 7 : Séchage des échantillons à l'étuve



Photo 8 : Obtention de cendre après calcination



Photo 9 : Ajout d' HNO_3 à la cendre

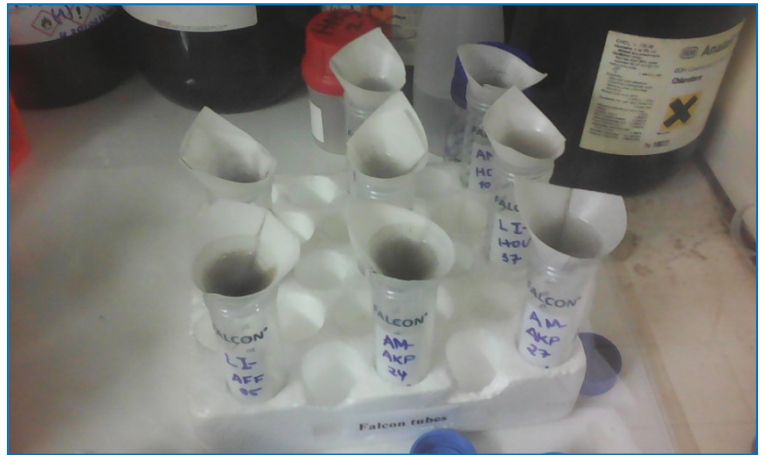


Photo 10 : Filtration des échantillons



Photo 11 : Broyage des échantillons d'escargots



Photo 12 : Filtration du mélange avec du papier filtre



Photo 13 : Filtration du mélange avec du sulfate de sodium anhydre

Annexe 5 : Résultats bruts d'analyse des métaux lourds dans les escargots

IITA - AgroEcoHealth Plateform

LABORATOIRE DE CONTROLE QUALITE

----- 0 -----

RESULTATS D'ANALYSE DE METAUX LOURDS

Client: Roméo ADAMOU Echantillon analysé: Escargot Date d'analyse : 10/10/2017

Localités	Formes	Répétition	Archachatina marginata		Limicolaria spp	
			Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Bembè	Cru	1	0,046	0,171	0,000	0,098
		2	0,019	0,228	0,004	0,166
		<i>Min ± std</i>	0,032±0,020	0,199±0,041	0,002±0,002	0,132±0,048
	Bouilli	1	0,000	0,154	0,066	0,000
		2	0,000	0,038	0,076	0,032
		<i>Min ± std</i>	0±0	0,096±0,082	0,071±0,007	0,016±0,022
	Frit	1	0,000	0,000	0,213	0,000
		2	0,034	0,046	0,106	0,246
		<i>Min ± std</i>	0,017±0,024	0,023±0,032	0,160±0,076	0,123±0,174
Houinta	Cru	1	0,010	0,018	0,009	0,142
		2	0,034	0,076	0,000	0,293
		<i>Min ± std</i>	0,022±0,017	0,047±0,041	0,004±0,006	0,218±0,106
	Bouilli	1	0,018	0,043	0,700	0,708
		2	0,027	0,027	0,123	0,000
		<i>Min ± std</i>	0,022±0,006	0,035±0,011	0,412±0,408	0,354±0,501
	Frit	1	0,020	0,049	0,000	0,150
		2	0,014	0,000	0,000	0,000
		<i>Min ± std</i>	0,017±0,005	0,025±0,035	0±0	0,075±0,106

Résultats (Suite)

Localités	Formes	Répétition	Archachatina marginata		Limicolaria spp	
			Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Todé	Cru	1	0,013	0,071	0,056	0,070
		2	0,000	0,222	0,219	0,049
		<i>Min ± std</i>	0,006±0,009	0,147±0,107	0,138±0,115	0,059±0,015
	Bouilli	1	0,010	0,053	0,523	0,000
		2	0,016	0,054	0,321	0,099
		<i>Min ± std</i>	0,013±0,004	0,054±0,001	0,422±0,143	0,050±0,070
	Frit	1	0,016	0,049	0,385	0,109
		2	0,014	0,009	0,531	0,079
		<i>Min ± std</i>	0,015±0,001	0,029±0,028	0,458±0,103	0,094±0,021
Akpadanou	Cru	1	0,000	0,534	0,000	0,267
		2	0,000	0,150	0,000	1,489
		<i>Min ± std</i>	0±0	0,342±0,271	0±0	0,878±0,864
	Bouilli	1	0,003	0,044	0,000	0,180
		2	0,010	0,107	0,000	0,126
		<i>Min ± std</i>	0,006±0,005	0,075±0,044	0±0	0,153±0,038
	Frit	1	0,017	0,062	0,000	0,258
		2	0,000	0,028	0,029	0,154
		<i>Min ± std</i>	0,008±0,012	0,045±0,024	0,015±0,021	0,206±0,07
Kessounou	Cru	1	0,000	0,057	0,020	0,205
		2	0,000	0,058	0,060	0,120
		<i>Min ± std</i>	0±0	0,058±0,001	0,040±0,028	0,163±0,060
	Bouilli	1	0,002	0,050	0,170	1,401
		2	0,003	0,048	0,131	0,646
		<i>Min ± std</i>	0,002±0,001	0,049±0,002	0,151±0,028	1,024±0,533
	Frit	1	0,002	0,054	1,527	0,285
		2	0,003	0,071	0,011	0,266
		<i>Min ± std</i>	0,003±0,001	0,062±0,013	0,769±1,072	0,275±0,013

Résultats (Suite)

Localités	Formes	Répétition	Archachatina marginata		Limicolaria spp	
			Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Hozin	Cru	1	0,024	0,044	0,297	0,025
		2	0,012	0,051	0,078	0,000
		<i>Min ± std</i>	0,018±0,008	0,047±0,005	0,187±0,155	0,012±0,018
	Bouilli	1	0,052	0,039	0,000	0,000
		2	0,018	0,053	0,000	0,175
		<i>Min ± std</i>	0,035±0,024	0,046±0,010	0±0	0,088±0,124
	Frit	1	0,048	0,032	0,000	0,000
		2	0,040	0,024	0,000	0,000
		<i>Min ± std</i>	0,044±0,005	0,028±0,006	0±0	0±0
Affamè	Cru	1	0,000	0,110	0,021	0,332
		2	0,000	0,079	0,028	0,309
		<i>Min ± std</i>	0±0	0,094±0,022	0,024±0,005	0,321±0,016
	Bouilli	1	0,066	0,092	0,054	0,140
		2	0,019	0,060	0,066	0,152
		<i>Min ± std</i>	0,043±0,033	0,076±0,023	0,060±0,008	0,146±0,008
	Frit	1	0,036	0,081	0,086	0,145
		2	0,033	0,041	0,091	0,092
		<i>Min ± std</i>	0,034±0,002	0,061±0,028	0,088±0,003	0,118±0,037
Agonhoui	Cru	1	0,030	0,082	0,000	0,316
		2	0,011	0,114	0,091	0,100
		<i>Min ± std</i>	0,021±0,014	0,098±0,023	0,045±0,064	0,208±0,153
	Bouilli	1	0,050	0,085	0,118	0,145
		2	0,042	0,038	0,000	0,231
		<i>Min ± std</i>	0,046±0,006	0,062±0,034	0,059±0,083	0,188±0,061
	Frit	1	0,019	0,060	0,032	0,222
		2	0,115	0,051	0,093	0,072
		<i>Min ± std</i>	0,067±0,068	0,056±0,007	0,062±0,043	0,147±0,106

Observation : Présence de traces de plomb et cadmium dans certains échantillons analysés.



Le spécialiste : Murielle SOGLO

IITA-AgroEcoHealth platform; Abomey-calavi; **Contact:** +229-96804924 / 229-61948282

Page 3 sur 3

Annexe 6 : Résultats bruts d'analyse des résidus de pesticides dans les escargots



UNIVERSITE IRGIB-AFRICA : INSTITUT REGIONAL
DU GENIE INDUSTRIEL DES BIOTECHNOLOGIES
ET SCIENCES APPLIQUEES

LABORATOIRE REGIONAL DE SURETE SANITAIRE
D'EXPERTISES ET ANALYSES

Agrément N°003 / MESRS / CAB / DC / SGM / DPP / SP / du 1^{er} Février 2006
Agrément N°2016 / MMEE / DC / SGM / GREM / DGE / SA du 27 Juin 2007
Agrément MAEP 2007-2008 / DAGRI / DPP / H
Enregistré sous le N° 2006/0256/DEP-ATL-AT/SG/SAG-ASSOC du 21/06/2006
N° IFU : 6200900484303

Adhérent COFRAC depuis 2007
Certification FIHM N° 200202300 du 11 Février 2006

Membre d'un réseau d'essais circulaires et d'intercomparaison avec des laboratoires accrédités ISO 17025

CHROMATOGRAPHIE/SAA		CERTIFICAT DE QUALITE														
Demandeur		Référence de la demande						Identification de l'échantillon								
Roméo ADOMOU		Date d'analyse : 1 ^{er} Juin 2017 N° de certificat : 0142/IRGIB/LAB/2017/Cot						Nature : Escargots crus, bouillis et frits Nombre d'échantillons : Quarante-huit (48)								
Espèces	Molécules Actives	Kessounou			Hozin			Kpadanou			Todé			Affamé		
Archachatina Marginata (Cru) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.011	0.012	0.012	0.013	0.014	0.014	0.010	0.011	0.011	0.015	0.016	0.016	0.017	0.018	0.018
	Acétamipride	0.013	0.014	0.014	0.012	0.013	0.013	0.010	0.010	0.010	0.011	0.012	0.012	0.015	0.016	0.016
	Glyphosate	0.015	0.016	0.016	0.011	0.012	0.012	0.013	0.014	0.013	0.010	0.011	0.011	0.015	0.016	0.015
	Isopropylamide	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.013	0.013	0.016	0.017	0.017	0.013	0.014	0.014
	2-4-D sel d'amine	0.010	0.011	0.010	0.012	0.013	0.013	0.014	0.015	0.015	0.010	0.011	0.011	0.012	0.013	0.013
	Cyperméthrine	0.018	0.019	0.019	0.016	0.017	0.017	0.015	0.015	0.015	0.017	0.018	0.018	0.017	0.018	0.019
	Chlorpyrifos	0.011	0.012	0.012	0.012	0.013	0.013	0.011	0.012	0.012	0.015	0.015	0.015	0.013	0.012	0.013
	Diméthoate	0.010	0.011	0.011	0.014	0.015	0.015	0.013	0.014	0.014	0.010	0.011	0.010	0.011	0.012	0.011
	Cyhalon-Cyhalotrine	0.016	0.017	0.017	0.015	0.015	0.015	0.015	0.016	0.016	0.010	0.011	0.010	0.011	0.012	0.011
	Perméthrine	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.010	0.011	0.012	0.016	0.017	0.017	0.010	0.011	0.011
	Primiphosméthyl	0.010	0.011	0.012	0.011	0.010	0.011	0.010	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013
	Haloxypofe R-méthyl	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.018	0.019	0.019	0.013	0.014	0.014	0.014	0.015	0.015
	Limicolaria spp (Cru) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.014	0.015	0.016	0.017	0.017	0.018	0.017	0.018	0.019	0.012	0.013	0.013	0.018	0.019
Acétamipride		0.014	0.015	0.015	0.010	0.011	0.011	0.013	0.012	0.013	0.017	0.018	0.019	0.015	0.016	0.016
Glyphosate		0.015	0.015	0.015	0.017	0.018	0.018	0.013	0.014	0.014	0.016	0.017	0.017	0.014	0.015	0.015
Isopropylamide		0.011	0.012	0.012	0.015	0.015	0.015	0.009	0.010	0.009	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010
2-4-D sel d'amine		0.010	0.010	0.010	0.011	0.012	0.012	0.010	0.011	0.010	0.011	0.012	0.011	0.012	0.012	0.013
Cyperméthrine		0.018	0.019	0.019	0.016	0.017	0.017	0.015	0.016	0.016	0.019	0.019	0.019	0.015	0.016	0.016
Chlorpyrifos		0.012	0.013	0.013	0.016	0.017	0.017	0.016	0.017	0.017	0.010	0.011	0.011	0.015	0.015	0.015
Diméthoate		0.014	0.015	0.015	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011	0.011	0.012	0.012	0.013	0.008	0.009	0.009
Cyhalon-Cyhalotrine		0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.011	0.013	0.014	0.014	0.014	0.015	0.015	0.011	0.012	0.012
Perméthrine		0.010	0.011	0.010	0.012	0.013	0.013	0.011	0.012	0.012	0.013	0.014	0.014	0.010	0.011	0.011
Primiphosméthyl		0.010	0.011	0.011	0.014	0.015	0.015	0.013	0.014	0.014	0.012	0.013	0.013	0.010	0.010	0.010
Haloxypofe R-méthyl		0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.013	0.014	0.013	0.010	0.011	0.011	0.012	0.013	0.013

Espèces	Molécules Actives	Agonhoui			Bembè			Houinta			
Archachatina Marginata (Cru) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.012	0.013	0.014	0.014	0.015	0.015	0.017	0.018	0.018	
	Acétamipride	0.010	0.010	0.010	0.013	0.014	0.014	0.015	0.016	0.016	
	Glyphosate	0.013	0.014	0.013	0.015	0.016	0.016	0.015	0.015	0.015	
	Isopropylamide	0.012	0.013	0.013	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.014	
	2-4-D sel d'amine	0.014	0.015	0.015	0.010	0.011	0.010	0.012	0.013	0.013	
	Cyperméthrine	0.015	0.015	0.015	0.018	0.019	0.019	0.017	0.018	0.019	
	Chlorpyrifos	0.011	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.013	0.012	0.013	
	Diméthoate	0.013	0.014	0.014	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012	0.011	
	Cyhalon-Cyhalotrine	0.015	0.016	0.016	0.016	0.017	0.017	0.009	0.010	0.009	
	Perméthrine	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011	0.011	
	Primiphosméthyl	0.010	0.011	0.010	0.010	0.011	0.012	0.012	0.012	0.013	
	Haloxypofe R-méthyl	0.018	0.019	0.019	0.010	0.010	0.010	0.014	0.015	0.015	
	Limicolaria spp (Cru) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.017	0.018	0.019	0.014	0.015	0.016	0.018	0.019	0.019
		Acétamipride	0.013	0.012	0.013	0.014	0.015	0.015	0.015	0.016	0.016
Glyphosate		0.013	0.014	0.014	0.015	0.015	0.015	0.014	0.015	0.015	
Isopropylamide		0.009	0.010	0.009	0.011	0.012	0.012	0.011	0.011	0.010	
2-4-D sel d'amine		0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.012	0.012	0.013	
Cyperméthrine		0.015	0.016	0.016	0.018	0.019	0.019	0.015	0.016	0.016	
Chlorpyrifos		0.016	0.017	0.017	0.012	0.013	0.013	0.015	0.015	0.015	
Diméthoate		0.010	0.011	0.011	0.014	0.015	0.015	0.008	0.009	0.009	
Cyhalon-Cyhalotrine		0.013	0.014	0.014	0.010	0.011	0.012	0.011	0.012	0.012	
Perméthrine		0.011	0.012	0.012	0.010	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	
Primiphosméthyl		0.013	0.014	0.014	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	
Haloxypofe R-méthyl		0.013	0.014	0.013	0.010	0.010	0.010	0.012	0.013	0.013	

Espèces	Molécules Actives	Kessounou			Hozin			Kpadanou			Todé			Affamè		
Archachatina Marginata (Bouilli) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.009	0.011	0.011	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.011	0.009	0.010	0.011	0.009	0.011	0.011
	Acétamipride	0.009	0.010	0.011	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.011	0.009	0.010	0.011	0.004	0.005	0.005
	Glyphosate	0.004	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006	0.010	0.010	0.011	0.008	0.009	0.010	0.010	0.011	0.011
	Isopropylamide	0.010	0.011	0.011	0.009	0.010	0.010	0.005	0.006	0.007	0.011	0.010	0.011	0.004	0.005	0.006
	2-4-D sel d'amine	0.006	0.008	0.008	0.004	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.007	0.008	0.007	0.007	0.008	0.007
	Cyperméthrine	0.010	0.010	0.011	0.008	0.009	0.009	0.009	0.011	0.011	0.009	0.010	0.011	0.010	0.011	0.012
	Chlorpyrifos	0.005	0.006	0.007	0.011	0.012	0.011	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.005	0.006	0.007
	Diméthoate	0.006	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.004	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.006	0.007	0.008
	Cyhalon-Cyhalotrine	0.007	0.008	0.009	0.005	0.007	0.007	0.006	0.008	0.008	0.004	0.004	0.004	0.007	0.008	0.009
	Perméthrine	0.007	0.008	0.009	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008	0.004	0.004	0.004	0.011	0.012	0.012
	Primiphosméthyl	0.008	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.011	0.009	0.010	0.010	0.007	0.008	0.009
Haloxypofe R-méthyl	0.011	0.010	0.011	0.008	0.009	0.010	0.005	0.006	0.007	0.011	0.010	0.011	0.006	0.005	0.006	
Limicolaria spp (Bouilli) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.011	0.011	0.010	0.011	0.012	0.010	0.011	0.011	0.012	0.010	0.011	0.011	0.009	0.010	0.011
	Acétamipride	0.008	0.009	0.010	0.009	0.010	0.011	0.008	0.008	0.009	0.006	0.007	0.008	0.007	0.008	0.007
	Glyphosate	0.009	0.010	0.010	0.006	0.007	0.008	0.010	0.011	0.010	0.009	0.010	0.010	0.004	0.006	0.006
	Isopropylamide	0.011	0.011	0.012	0.010	0.010	0.011	0.009	0.010	0.011	0.010	0.011	0.011	0.010	0.011	0.012
	2-4-D sel d'amine	0.008	0.009	0.009	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.007	0.008	0.007	0.008	0.006	0.008	0.007
	Cyperméthrine	0.010	0.011	0.010	0.009	0.009	0.009	0.011	0.011	0.012	0.008	0.009	0.010	0.010	0.011	0.012
	Chlorpyrifos	0.011	0.010	0.011	0.012	0.011	0.011	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.005	0.006	0.007
	Diméthoate	0.007	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.007	0.006	0.007	0.008
	Cyhalon-Cyhalotrine	0.010	0.011	0.012	0.008	0.009	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.011	0.010	0.009	0.010	0.011
	Perméthrine	0.009	0.010	0.011	0.006	0.006	0.006	0.008	0.008	0.009	0.008	0.009	0.009	0.007	0.008	0.007
	Primiphosméthyl	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.012
Haloxypofe R-méthyl	0.010	0.011	0.012	0.011	0.010	0.011	0.008	0.007	0.008	0.010	0.011	0.010	0.011	0.012	0.011	

Espèces	Molécules Actives	Agonhoui			Bembè			Houinta		
Archachatina Marginata (Bouilli) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.011	0.010	0.011	0.009	0.010	0.011	0.005	0.006	0.007
	Acétamipride	0.010	0.011	0.011	0.008	0.009	0.010	0.006	0.007	0.008
	Glyphosate	0.006	0.007	0.008	0.006	0.006	0.006	0.009	0.010	0.011
	Isopropylamide	0.009	0.010	0.010	0.011	0.010	0.010	0.007	0.008	0.007
	2-4-D sel d'amine	0.010	0.011	0.011	0.011	0.010	0.011	0.011	0.011	0.012
	Cyperméthrine	0.008	0.007	0.008	0.010	0.011	0.011	0.005	0.006	0.006
	Chlorpyrifos	0.008	0.009	0.010	0.008	0.009	0.009	0.007	0.008	0.009
	Diméthoate	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.008	0.005	0.005	0.006
	Cyhalon-Cyhalotrine	0.007	0.008	0.007	0.004	0.005	0.005	0.009	0.010	0.011
	Perméthrine	0.005	0.006	0.006	0.007	0.008	0.009	0.007	0.008	0.007
	Primiphosméthyl	0.008	0.009	0.009	0.005	0.005	0.006	0.004	0.006	0.006
	Haloxyfope R-méthyl	0.004	0.005	0.005	0.006	0.007	0.008	0.007	0.008	0.008
2 Limicolaria spp (Bouilli) (mg/Kg)	Lambda Cyhalotrine	0.010	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010	0.006	0.008	0.007
	Acétamipride	0.009	0.010	0.010	0.010	0.011	0.011	0.008	0.009	0.010
	Glyphosate	0.007	0.008	0.007	0.004	0.005	0.006	0.011	0.012	0.012
	Isopropylamide	0.010	0.010	0.010	0.009	0.010	0.011	0.011	0.011	0.011
	2-4-D sel d'amine	0.010	0.011	0.011	0.007	0.008	0.008	0.010	0.011	0.011
	Cyperméthrine	0.011	0.010	0.010	0.010	0.011	0.010	0.009	0.010	0.010
	Chlorpyrifos	0.011	0.011	0.012	0.005	0.006	0.007	0.010	0.010	0.010
	Diméthoate	0.008	0.009	0.009	0.011	0.011	0.012	0.010	0.011	0.010
	Cyhalon-Cyhalotrine	0.010	0.011	0.010	0.008	0.008	0.009	0.009	0.010	0.011
	Perméthrine	0.006	0.008	0.007	0.010	0.010	0.011	0.008	0.009	0.009
	Primiphosméthyl	0.007	0.008	0.008	0.006	0.007	0.007	0.010	0.011	0.011
	Haloxyfope R-méthyl	0.011	0.012	0.012	0.004	0.006	0.006	0.008	0.008	0.009

Espèces	Molécules Actives	Kessounou			Hozin			Kpadanou			Todé			Affamè		
Archachatina Marginata (Frit) <i>(mg/kg)</i>	Lambda Cyhalotrine	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
	Acétamipride	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
	Glyphosate	0.003	0.003	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002
	Isopropylamide	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2-4-D sel d'amine	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Cyperméthrine	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
	Chlorpyrifos	--	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	--	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002
	Diméthoate	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Cyhalon-Cyhalotrine	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Perméthrine	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Primiphosméthyl	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Haloxyfope R-méthyl	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Limicolaria spp (Frit) <i>mg/kg</i>	Lambda Cyhalotrine	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003
	Acétamipride	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.001	0.002	0.002
	Glyphosate	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.003
	Isopropylamide	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2-4-D sel d'amine	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Cyperméthrine	0.001	0.002	0.002	--	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
	Chlorpyrifos	0.002	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	--	0.001	0.001
	Diméthoate	0.003	0.003	0.003	--	--	--	--	--	--	0.001	0.001	0.001	--	--	--
	Cyhalon-Cyhalotrine	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Perméthrine	--	--	--	--	--	--	--	0.001	0.001	--	--	--	--	--	--
	Primiphosméthyl	--	0.001	0.001	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Haloxyfope R-méthyl	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.002	0.003	0.003

Espèces	Molécules Actives	Agonhoui			Bembè			Houinta		
Archachatina Marginata (Frit) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.002	0.002	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
	Acétamipride	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003
	Glyphosate	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002
	Isopropylamide	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2-4-D sel d'amine	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Cyperméthrine	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002
	Chlorpyrifos	--	0.001	0.001	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002
	Diméthoate	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Cyhalon-Cyhalotrine	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Perméthrine	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Primiphosméthyl	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Haloxypofe R-méthyl	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Limicolaria spp (Frit) (mg/kg)	Lambda Cyhalotrine	0.001	0.002	0.002	0.003	0.004	0.004	0.002	0.003	0.003
	Acétamipride	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002
	Glyphosate	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003
	Isopropylamide	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	2-4-D sel d'amine	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Cyperméthrine	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002
	Chlorpyrifos	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	--	0.001	0.001
	Diméthoate	--	0.001	0.001	--	--	--	--	--	--
	Cyhalon-Cyhalotrine	--	--	--	0.002	0.003	0.003	--	--	--
	Perméthrine	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Primiphosméthyl	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Haloxypofe R-méthyl	--	--	--	--	--	--	0.001	0.002	0.002

L'analyste



Yannick SODJI
Engineer of chemical process

Signatures autorisées et cachets



Prof. Dr. Virgile AHYI
Pharmacie - Chimie et Procédés

Délais : IRGIB-Africa garantit un délai minimal pour la réalisation des travaux, de même que le respect intégral des normes précitées.
07 BP 231 Tél/ Fax (+229) 21 30 55 98 / 97 68 16 89 / 21 04 60 51 / 96 08 09 40
Site web: www.irgibafrika.com Email: contacts@irgibafrika.com

Annexe 7 : Effets des différentes méthodes de cuisson sur la concentration des métaux lourds dans les escargots

Communes	Localités	Formes	<i>Archachatina marginata</i>		<i>Limicolaria spp</i>	
			Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Dangbo	Kessounou	Cru	<0,000001	0,058±0,001	0,040±0,028	0,163±0,060
		Bouilli	0,002±0,001	0,049±0,002	0,151±0,028	1,024±0,533
		Frit	0,003±0,001	0,062±0,013	0,769±1,072	0,275±0,013
	Hozin	Cru	0,018±0,008	0,047±0,005	0,187±0,155	0,012±0,018
		Bouilli	0,035±0,024	0,046±0,010	<0,000001	0,088±0,124
		Frit	0,044±0,005	0,028±0,006	<0,000001	<0,000001
Adjohoun	Akpadanou	Cru	<0,000001	0,342±0,271	<0,000001	0,878±0,864
		Bouilli	0,006±0,005	0,075±0,044	<0,000001	0,153±0,038
		Frit	0,008±0,012	0,045±0,024	0,015±0,021	0,206±0,07
	Todé	Cru	0,006±0,009	0,147±0,107	0,138±0,115	0,059±0,015
		Bouilli	0,013±0,004	0,054±0,001	0,422±0,143	0,050±0,070
		Frit	0,015±0,001	0,029±0,028	0,458±0,103	0,094±0,021
Bonou	Affamè	Cru	<0,000001	0,094±0,022	0,024±0,005	0,321±0,016
		Bouilli	0,043±0,033	0,076±0,023	0,060±0,008	0,146±0,008
		Frit	0,034±0,002	0,061±0,028	0,088±0,003	0,118±0,037
	Agonhoui	Cru	0,021±0,014	0,098±0,023	0,045±0,064	0,208±0,153
		Bouilli	0,046±0,006	0,062±0,034	0,059±0,083	0,188±0,061
		Frit	0,067±0,068	0,056±0,007	0,062±0,043	0,147±0,106
Aguégués	Bembè	Cru	0,032±0,020	0,199±0,041	0,002±0,002	0,132±0,048
		Bouilli	<0,000001	0,096±0,082	0,071±0,007	0,016±0,022
		Frit	0,017±0,024	0,023±0,032	0,160±0,076	0,123±0,174
	Houinta	Cru	0,022±0,017	0,047±0,041	0,004±0,006	0,218±0,106
		Bouilli	0,022±0,006	0,035±0,011	0,412±0,408	0,354±0,501
		Frit	0,017±0,005	0,025±0,035	<0,000001	0,075±0,106

Source : Travaux de terrain et de laboratoire, 2017.

Annexe 8 : Effets des différentes méthodes de cuisson sur les concentrations des pesticides des deux espèces d'escargots

❖ Effets des différentes méthodes de cuisson sur les concentrations des pesticides dans *Archachatina marginata*

Molécules de pesticides	Formes	Kessounou	Hozin	Akpadanou	Todé	Affamè	Agonhoui	Bembè	Houinta
Lambda-Cyhalothrine	Cru	0,012±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,016±0,0006	0,018±0,0006	0,013±0,0010	0,015±0,0006	0,018±0,0006
	Bouilli	0,010±0,0012	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,010±0,0010	0,010±0,0012	0,011±0,0006	0,010±0,0010	0,006±0,0010
	Frit	0,003±0,0006	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,002±0,0000	0,003±0,0000	0,002±0,0000	0,002±0,0006	0,003±0,0000
Acétamipride	Cru	0,014±0,0006	0,013±0,0006	0,010±0,0000	0,012±0,0006	0,016±0,0006	0,010±0,0000	0,014±0,0006	0,016±0,0006
	Bouilli	0,010±0,0015	0,008±0,0010	0,011±0,0006	0,010±0,0010	0,005±0,0006	0,011±0,0006	0,009±0,0010	0,007±0,0010
	Frit	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,003±0,0000	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,002±0,0006
Glyphosate	Cru	0,016±0,0006	0,012±0,0006	0,013±0,0006	0,011±0,0006	0,015±0,0000	0,013±0,0006	0,016±0,0006	0,015±0,0000
	Bouilli	0,005±0,0010	0,006±0,0000	0,010±0,0006	0,009±0,0010	0,011±0,0006	0,007±0,0010	0,006±0,0000	0,010±0,0010
	Frit	0,003±0,0000	0,001±0,0006	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,001±0,0006	0,002±0,0006
Isopropylamine	Cru	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,013±0,0006	0,017±0,0006	0,014±0,0006	0,013±0,0006	0,011±0,0010	0,014±0,0006
	Bouilli	0,011±0,0006	0,010±0,0006	0,006±0,0010	0,011±0,0006	0,005±0,0010	0,010±0,0006	0,010±0,0006	0,007±0,0006
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
2-4-D sel d'amine	Cru	0,010±0,0006	0,013±0,0006	0,015±0,0006	0,011±0,0006	0,013±0,0006	0,015±0,0006	0,010±0,0006	0,013±0,0006
	Bouilli	0,007±0,0012	0,004±0,0006	0,007±0,0010	0,007±0,0006	0,007±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0006
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Cyperméthrine	Cru	0,019±0,0006	0,017±0,0006	0,015±0,0000	0,018±0,0006	0,018±0,0010	0,015±0,0000	0,019±0,0006	0,018±0,0010
	Bouilli	0,010±0,0006	0,009±0,0006	0,010±0,0012	0,010±0,0010	0,011±0,0010	0,008±0,0006	0,011±0,0006	0,006±0,0006
	Frit	0,002±0,0000	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,002±0,0006	0,003±0,0000	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,003±0,0006
Chlorpyrifos	Cru	0,012±0,0006	0,013±0,0006	0,012±0,0006	0,015±0,0000	0,013±0,0006	0,012±0,0006	0,012±0,0000	0,013±0,0006
	Bouilli	0,006±0,0010	0,011±0,0006	0,008±0,0010	0,011±0,0010	0,006±0,0010	0,009±0,0010	0,009±0,0006	0,008±0,0010

	Frit	0,001±0,0006	0,002±0,0000	0,002±0,0006	0,001±0,0006	0,002±0,0006	0,001±0,0006	0,003±0,0000	0,002±0,0006
Diméthoate	Cru	0,011±0,0006	0,015±0,0006	0,014±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0006
	Bouilli	0,007±0,0010	0,009±0,0006	0,005±0,0010	0,007±0,0010	0,007±0,0010	0,006±0,0006	0,008±0,0006	0,005±0,0006
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Cyhalon-Cyhalotrine	Cru	0,017±0,0006	0,015±0,0000	0,016±0,0006	0,011±0,0006	0,009±0,0006	0,016±0,0006	0,017±0,0006	0,009±0,0006
	Bouilli	0,008±0,0010	0,006±0,0012	0,007±0,0012	0,004±0,0000	0,008±0,0010	0,007±0,0006	0,005±0,0006	0,010±0,0010
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Perméthrine	Cru	0,011±0,0006	0,012±0,0006	0,011±0,0010	0,017±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,011±0,0006
	Bouilli	0,008±0,0010	0,006±0,0006	0,008±0,0006	0,004±0,0000	0,012±0,0006	0,006±0,0006	0,008±0,0010	0,007±0,0006
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Pirimiphosméthyl	Cru	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0006	0,012±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0010	0,012±0,0006
	Bouilli	0,009±0,0012	0,011±0,0006	0,010±0,0006	0,010±0,0006	0,008±0,0010	0,009±0,0006	0,005±0,0006	0,005±0,0012
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Haloxfopé R-méthyl	Cru	0,010±0,0000	0,011±0,0006	0,019±0,0006	0,014±0,0006	0,015±0,0006	0,019±0,0006	0,010±0,0000	0,015±0,0006
	Bouilli	0,011±0,0006	0,009±0,0010	0,006±0,0010	0,011±0,0006	0,006±0,0006	0,005±0,0006	0,007±0,0010	0,008±0,0006
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000

❖ Effets des différentes méthodes de cuisson sur les concentrations des pesticides dans *Limicolaria spp*

Molécules de pesticides	Formes	Kessounou	Hozin	Akpadanou	Todé	Affamè	Agonhoui	Bembè	Houinta
Lambda-Cyhalothrine	Cru	0,015±0,0010	0,017±0,0006	0,018±0,0010	0,013±0,0006	0,019±0,0006	0,018±0,0010	0,015±0,0010	0,019±0,0006
	Bouilli	0,011±0,0006	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,010±0,0010	0,010±0,0006	0,010±0,0000	0,007±0,0010
	Frit	0,002±0,0000	0,004±0,0006	0,003±0,0000	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,002±0,0006	0,004±0,0006	0,003±0,0006
Acétamipride	Cru	0,015±0,0006	0,011±0,0006	0,013±0,0006	0,018±0,0010	0,016±0,0006	0,013±0,0006	0,015±0,0006	0,016±0,0006
	Bouilli	0,009±0,0010	0,010±0,0010	0,008±0,0006	0,007±0,0010	0,007±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0006	0,009±0,0010
	Frit	0,002±0,0006	0,003±0,0000	0,003±0,0006	0,004±0,0006	0,002±0,0006	0,004±0,0006	0,003±0,0000	0,002±0,0006
Glyphosate	Cru	0,015±0,0000	0,018±0,0006	0,014±0,0006	0,017±0,0006	0,015±0,0006	0,014±0,0006	0,015±0,0000	0,015±0,0006
	Bouilli	0,010±0,0006	0,007±0,0010	0,010±0,0006	0,010±0,0006	0,005±0,0012	0,007±0,0006	0,005±0,0010	0,012±0,0006
	Frit	0,003±0,0006	0,002±0,0006	0,004±0,0006	0,001±0,0006	0,003±0,0000	0,001±0,0006	0,002±0,0006	0,003±0,0000
Isopropylamine	Cru	0,012±0,0006	0,015±0,0000	0,009±0,0006	0,010±0,0000	0,011±0,0006	0,009±0,0006	0,012±0,0006	0,011±0,0006
	Bouilli	0,011±0,0006	0,010±0,0006	0,010±0,0010	0,011±0,0006	0,011±0,0010	0,010±0,0000	0,043±0,0580	0,011±0,0000
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
2-4-D sel d'amine	Cru	0,010±0,0000	0,012±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0006	0,012±0,0006	0,010±0,0006	0,010±0,0000	0,012±0,0006
	Bouilli	0,009±0,0006	0,005±0,0010	0,007±0,0006	0,008±0,0006	0,007±0,0010	0,011±0,0006	0,008±0,0006	0,011±0,0006
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Cyperméthrine	Cru	0,019±0,0006	0,017±0,0006	0,016±0,0006	0,019±0,0000	0,016±0,0006	0,016±0,0006	0,019±0,0006	0,016±0,0006
	Bouilli	0,010±0,0006	0,009±0,0000	0,011±0,0006	0,009±0,0010	0,011±0,0010	0,010±0,0006	0,010±0,0006	0,010±0,0006
	Frit	0,002±0,0006	0,001±0,0006	0,003±0,0006	0,002±0,0006	0,002±0,0000	0,002±0,0006	0,001±0,0000	0,002±0,0000
Chlorpyrifos	Cru	0,013±0,0006	0,017±0,0006	0,017±0,0006	0,011±0,0006	0,015±0,0000	0,017±0,0006	0,013±0,0006	0,015±0,0000
	Bouilli	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,009±0,0010	0,012±0,0010	0,006±0,0010	0,011±0,0006	0,006±0,0010	0,010±0,0000
	Frit	0,002±0,0000	0,004±0,0006	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,000±0,0000	0,003±0,0006	0,004±0,0006	0,001±0,0006
Diméthoate	Cru	0,015±0,0006	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,012±0,0006	0,009±0,0006	0,011±0,0006	0,015±0,0006	0,009±0,0006
	Bouilli	0,008±0,0010	0,010±0,0010	0,006±0,0006	0,007±0,0006	0,007±0,0010	0,009±0,0006	0,011±0,0006	0,010±0,0006

	Frit	0,003±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,001±0,0000	0,000±0,0000	0,001±0,0006	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Cyhalon-Cyhalotrine	Cru	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,014±0,0006	0,015±0,0006	0,012±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0010	0,012±0,0006
	Bouilli	0,011±0,0010	0,009±0,0010	0,011±0,0006	0,010±0,0006	0,010±0,0010	0,010±0,0006	0,008±0,0006	0,010±0,0010
	Frit	0,002±0,0006	0,003±0,0006	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,003±0,0006	0,000±0,0000
Perméthrine	Cru	0,010±0,0006	0,013±0,0006	0,012±0,0006	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,012±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0006
	Bouilli	0,010±0,0010	0,006±0,0000	0,008±0,0006	0,009±0,0006	0,007±0,0006	0,007±0,0010	0,010±0,0006	0,009±0,0006
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,001±0,0006	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Pirimiphosméthyl	Cru	0,011±0,0006	0,015±0,0006	0,014±0,0006	0,013±0,0006	0,010±0,0000	0,014±0,0006	0,011±0,0006	0,010±0,0000
	Bouilli	0,010±0,0000	0,011±0,0006	0,011±0,0006	0,010±0,0000	0,011±0,0006	0,008±0,0006	0,007±0,0006	0,011±0,0006
	Frit	0,001±0,0006	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000
Haloxfope R-méthyl	Cru	0,010±0,0000	0,011±0,0006	0,013±0,0006	0,011±0,0006	0,013±0,0006	0,013±0,0006	0,010±0,0000	0,013±0,0006
	Bouilli	0,011±0,0010	0,011±0,0006	0,008±0,0006	0,010±0,0006	0,011±0,0006	0,012±0,0006	0,005±0,0012	0,008±0,0006
	Frit	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,003±0,0006	0,000±0,0000	0,000±0,0000	0,002±0,0006

Annexe 9 : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation des escargots contaminés aux pesticides

Tableau I : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le lambda-cyhalothrine dans la vallée de l'Ouémé

Lambda-Cyhalothrine	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,01	0,03766	0,090384			1,29E-05	3,23E-05		6,46E-03	1,61E-02
Hozin	0,011	0,03569	0,085656			1,35E-05	3,37E-05		6,73E-03	1,68E-02
Akpadanou	0,011	0,03974	0,095376			1,50E-05	3,75E-05		7,49E-03	1,87E-02
Todé	0,01	0,06923	0,166152	70	28	2,37E-05	5,93E-05	0,002	1,19E-02	2,97E-02
Affamè	0,01	0,12051	0,289224			4,13E-05	1,03E-04		2,07E-02	5,16E-02
Agonhoui	0,011	0,19268	0,462432			7,27E-05	1,82E-04		3,63E-02	9,08E-02
Bembè	0,01	0,04073	0,097752			1,40E-05	3,49E-05		6,98E-03	1,75E-02
Houinta	0,006	0,03785	0,09084			7,79E-06	1,95E-05		3,89E-03	9,73E-03

Tableau II : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par l'acétamipride dans la vallée de l'Ouémé

Acétamipride	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,01	0,03766	0,090384			1,29E-05	3,23E-05		6,15E-03	1,54E-02
Hozin	0,008	0,03569	0,085656			9,79E-06	2,45E-05		4,66E-03	1,17E-02
Akpadanou	0,011	0,03974	0,095376			1,50E-05	3,75E-05		7,14E-03	1,78E-02
Todé	0,01	0,06923	0,166152	70	28	2,37E-05	5,93E-05	0,0021	1,13E-02	2,83E-02
Affamè	0,005	0,12051	0,289224			2,07E-05	5,16E-05		9,84E-03	2,46E-02
Agonhoui	0,011	0,19268	0,462432			7,27E-05	1,82E-04		3,46E-02	8,65E-02
Bembè	0,009	0,04073	0,097752			1,26E-05	3,14E-05		5,98E-03	1,50E-02
Houinta	0,007	0,03785	0,09084			9,08E-06	2,27E-05		4,33E-03	1,08E-02

Tableau III : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le glyphosate dans la vallée de l'Ouémé

Glyphosate	Concentration		Quantité		Dose Journalière		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)		
	moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Adulte	Enfant	
Kessounou	0,01	0,03766	0,090384			1,29E-05	3,23E-05	4,30E-05	1,08E-04	
Hozin	0,008	0,03569	0,085656			9,79E-06	2,45E-05	3,26E-05	8,16E-05	
Akpadanou	0,011	0,03974	0,095376			1,50E-05	3,75E-05	5,00E-05	1,25E-04	
Todé	0,01	0,06923	0,166152	70	28	2,37E-05	5,93E-05	0,3	7,91E-05	1,98E-04
Affamè	0,005	0,12051	0,289224			2,07E-05	5,16E-05		6,89E-05	1,72E-04
Agonhoui	0,011	0,19268	0,462432			7,27E-05	1,82E-04		2,42E-04	6,06E-04
Bembè	0,009	0,04073	0,097752			1,26E-05	3,14E-05		4,19E-05	1,05E-04
Houinta	0,007	0,03785	0,09084			9,08E-06	2,27E-05		3,03E-05	7,57E-05

Tableau IV : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le cyperméthrine dans la vallée de l'Ouémé

Cyperméthrine	Concentration		Quantité		Dose Journalière		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)		
	moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Adulte	Enfant	
Kessounou	0,01	0,03766	0,090384			1,29E-05	3,23E-05	6,46E-04	1,61E-03	
Hozin	0,009	0,03569	0,085656			1,10E-05	2,75E-05	5,51E-04	1,38E-03	
Akpadanou	0,01	0,03974	0,095376			1,36E-05	3,41E-05	6,81E-04	1,70E-03	
Todé	0,01	0,06923	0,166152	70	28	2,37E-05	5,93E-05	0,02	1,19E-03	2,97E-03
Affamè	0,011	0,12051	0,289224			4,54E-05	1,14E-04		2,27E-03	5,68E-03
Agonhoui	0,008	0,19268	0,462432			5,28E-05	1,32E-04		2,64E-03	6,61E-03
Bembè	0,011	0,04073	0,097752			1,54E-05	3,84E-05		7,68E-04	1,92E-03
Houinta	0,006	0,03785	0,09084			7,79E-06	1,95E-05		3,89E-04	9,73E-04

Tableau V : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le diméthoate dans la vallée de l'Ouémé

Diméthoate	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,007	0,03766	0,090384			9,04E-06	2,26E-05		4,52E-02	1,13E-01
Hozin	0,009	0,03569	0,085656			1,10E-05	2,75E-05		5,51E-02	1,38E-01
Akpadanou	0,005	0,03974	0,095376			6,81E-06	1,70E-05		3,41E-02	8,52E-02
Todé	0,007	0,06923	0,166152	70	28	1,66E-05	4,15E-05	0,0002	8,31E-02	2,08E-01
Affamè	0,007	0,12051	0,289224			2,89E-05	7,23E-05		1,45E-01	3,62E-01
Agonhoui	0,006	0,19268	0,462432			3,96E-05	9,91E-05		1,98E-01	4,95E-01
Bembè	0,008	0,04073	0,097752			1,12E-05	2,79E-05		5,59E-02	1,40E-01
Houinta	0,005	0,03785	0,09084			6,49E-06	1,62E-05		3,24E-02	8,11E-02

Tableau VI : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le pirimiphosméthyl dans la vallée de l'Ouémé

Pirimiphosméthyl	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,009	0,03766	0,090384			1,16E-05	2,91E-05		3,87E-04	9,68E-04
Hozin	0,011	0,03569	0,085656			1,35E-05	3,37E-05		4,49E-04	1,12E-03
Akpadanou	0,01	0,03974	0,095376			1,36E-05	3,41E-05		4,54E-04	1,14E-03
Todé	0,01	0,06923	0,166152	70	28	2,37E-05	5,93E-05	0,03	7,91E-04	1,98E-03
Affamè	0,008	0,12051	0,289224			3,31E-05	8,26E-05		1,10E-03	2,75E-03
Agonhoui	0,009	0,19268	0,462432			5,95E-05	1,49E-04		1,98E-03	4,95E-03
Bembè	0,005	0,04073	0,097752			6,98E-06	1,75E-05		2,33E-04	5,82E-04
Houinta	0,005	0,03785	0,09084			6,49E-06	1,62E-05		2,16E-04	5,41E-04

Tableau VII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* bouillis contaminés par le haloxyfop R-méthyl dans la vallée de l'Ouémé

Haloxyfop R-méthyl	Concentration		Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
	moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,011	0,03766	0,090384			1,42E-05	3,55E-05		2,03E-02	5,07E-02
Hozin	0,009	0,03569	0,085656			1,10E-05	2,75E-05		1,57E-02	3,93E-02
Akpadanou	0,006	0,03974	0,095376			8,18E-06	2,04E-05		1,17E-02	2,92E-02
Todé	0,011	0,06923	0,166152	70	28	2,61E-05	6,53E-05	0,0007	3,73E-02	9,32E-02
Affamè	0,006	0,12051	0,289224			2,48E-05	6,20E-05		3,54E-02	8,85E-02
Agonhoui	0,005	0,19268	0,462432			3,30E-05	8,26E-05		4,72E-02	1,18E-01
Bembè	0,007	0,04073	0,097752			9,78E-06	2,44E-05		1,40E-02	3,49E-02
Houinta	0,008	0,03785	0,09084			1,04E-05	2,60E-05		1,48E-02	3,71E-02

Tableau VIII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* frits contaminés par le lambda-cyhalothrine dans la vallée de l'Ouémé

Lambda- Cyhalothrine	Concentration		Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
	moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,003	0,03766	0,090384			3,87E-06	9,68E-06		1,94E-03	4,84E-03
Hozin	0,002	0,03569	0,085656			2,45E-06	6,12E-06		1,22E-03	3,06E-03
Akpadanou	0,003	0,03974	0,095376			4,09E-06	1,02E-05		2,04E-03	5,11E-03
Todé	0,002	0,06923	0,166152	70	28	4,75E-06	1,19E-05	0,002	2,37E-03	5,93E-03
Affamè	0,003	0,12051	0,289224			1,24E-05	3,10E-05		6,20E-03	1,55E-02
Agonhoui	0,002	0,19268	0,462432			1,32E-05	3,30E-05		6,61E-03	1,65E-02
Bembè	0,002	0,04073	0,097752			2,79E-06	6,98E-06		1,40E-03	3,49E-03
Houinta	0,003	0,03785	0,09084			3,89E-06	9,73E-06		1,95E-03	4,87E-03

Tableau IX : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* frits contaminés par l'acétamipride dans la vallée de l'Ouémé

Acétamipride	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,002	0,03766	0,090384			2,58E-06	6,46E-06		1,23E-03	3,07E-03
Hozin	0,003	0,03569	0,085656			3,67E-06	9,18E-06		1,75E-03	4,37E-03
Akpadanou	0,003	0,03974	0,095376			4,09E-06	1,02E-05		1,95E-03	4,87E-03
Todé	0,002	0,06923	0,166152	70	28	4,75E-06	1,19E-05	0,0021	2,26E-03	5,65E-03
Affamè	0,003	0,12051	0,289224			1,24E-05	3,10E-05		5,90E-03	1,48E-02
Agonhoui	0,002	0,19268	0,462432			1,32E-05	3,30E-05		6,29E-03	1,57E-02
Bembè	0,003	0,04073	0,097752			4,19E-06	1,05E-05		1,99E-03	4,99E-03
Houinta	0,002	0,03785	0,09084			2,60E-06	6,49E-06		1,24E-03	3,09E-03

Tableau X : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* frits contaminés par le glyphosate dans la vallée de l'Ouémé

Glyphosate	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,003	0,03766	0,090384			3,87E-06	9,68E-06		1,29E-05	3,23E-05
Hozin	0,001	0,03569	0,085656			1,22E-06	3,06E-06		4,08E-06	1,02E-05
Akpadanou	0,002	0,03974	0,095376			2,73E-06	6,81E-06		9,08E-06	2,27E-05
Todé	0,003	0,06923	0,166152	70	28	7,12E-06	1,78E-05	0,3	2,37E-05	5,93E-05
Affamè	0,002	0,12051	0,289224			8,26E-06	2,07E-05		2,75E-05	6,89E-05
Agonhoui	0,003	0,19268	0,462432			1,98E-05	4,95E-05		6,61E-05	1,65E-04
Bembè	0,001	0,04073	0,097752			1,40E-06	3,49E-06		4,65E-06	1,16E-05
Houinta	0,002	0,03785	0,09084			2,60E-06	6,49E-06		8,65E-06	2,16E-05

Tableau XI : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Archachatina marginata* frits contaminés par le cyperméthrine dans la vallée de l'Ouémé

Cyperméthrine	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,002	0,03766	0,090384			2,58E-06	6,46E-06		1,29E-04	3,23E-04
Hozin	0,002	0,03569	0,085656			2,45E-06	6,12E-06		1,22E-04	3,06E-04
Akpadanou	0,003	0,03974	0,095376			4,09E-06	1,02E-05		2,04E-04	5,11E-04
Todé	0,002	0,06923	0,166152	70	28	4,75E-06	1,19E-05	0,02	2,37E-04	5,93E-04
Affamè	0,003	0,12051	0,289224			6,20E-04	1,55E-03			
Agonhoui	0,002	0,19268	0,462432			1,32E-05	3,30E-05		6,61E-04	1,65E-03
Bembè	0,003	0,04073	0,097752			4,19E-06	1,05E-05		2,09E-04	5,24E-04
Houinta	0,003	0,03785	0,09084			3,89E-06	9,73E-06		1,95E-04	4,87E-04

Tableau XII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par le lambda-cyhalothrine dans la vallée de l'Ouémé

Lambda-Cyhalothrine	Concentration		Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
	moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,011	0,00376	0,018048			2,84E-06	7,09E-06		1,42E-03	3,55E-03
Hozin	0,011	0,00623	0,029904			4,70E-06	1,17E-05		2,35E-03	5,87E-03
Akpadanou	0,011	0,01002	0,048096			7,56E-06	1,89E-05		3,78E-03	9,45E-03
Todé	0,011	0,00339	0,016272	70	28	2,56E-06	6,39E-06	0,002	1,28E-03	3,20E-03
Affamè	0,01	0,00852	0,040896			2,92E-03	7,30E-03			
Agonhoui	0,01	0,00464	0,022272			1,59E-03	3,98E-03			
Bembè	0,01	0,00616	0,029568			2,11E-03	5,28E-03			
Houinta	0,007	0,00588	0,028224			1,41E-03	3,53E-03			

Tableau XIII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par l'acétamipride dans la vallée de l'Ouémé

Acétamipride	Concentration		Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
	moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,009	0,00376	0,018048			2,32E-06	5,80E-06		1,10E-03	2,76E-03
Hozin	0,01	0,00623	0,029904			4,27E-06	1,07E-05		2,03E-03	5,09E-03
Akpadanou	0,008	0,01002	0,048096			5,50E-06	1,37E-05		2,62E-03	6,54E-03
Todé	0,007	0,00339	0,016272	70	28	1,63E-06	4,07E-06	0,0021	7,75E-04	1,94E-03
Affamè	0,007	0,00852	0,040896			1,95E-03	4,87E-03			
Agonhoui	0,01	0,00464	0,022272			1,52E-03	3,79E-03			
Bembè	0,011	0,00616	0,029568			2,21E-03	5,53E-03			
Houinta	0,009	0,00588	0,028224			1,73E-03	4,32E-03			

Tableau XIV : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par le glyphosate dans la vallée de l'Ouémé

Glyphosate	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,01	0,00376	0,018048			2,58E-06	6,45E-06		8,59E-06	2,15E-05
Hozin	0,007	0,00623	0,029904			2,99E-06	7,48E-06		9,97E-06	2,49E-05
Akpadanou	0,01	0,01002	0,048096			6,87E-06	1,72E-05		2,29E-05	5,73E-05
Todé	0,01	0,00339	0,016272	70	28	2,32E-06	5,81E-06	0,3	7,75E-06	1,94E-05
Affamè	0,005	0,00852	0,040896			2,92E-06	7,30E-06		9,74E-06	2,43E-05
Agonhoui	0,007	0,00464	0,022272			2,23E-06	5,57E-06		7,42E-06	1,86E-05
Bembè	0,005	0,00616	0,029568			2,11E-06	5,28E-06		7,04E-06	1,76E-05
Houinta	0,012	0,00588	0,028224			4,84E-06	1,21E-05		1,61E-05	4,03E-05

Tableau XV : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par le cyperméthrine dans la vallée de l'Ouémé

Cyperméthrine	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,01	0,00376	0,018048			2,58E-06	6,45E-06		1,29E-04	3,22E-04
Hozin	0,009	0,00623	0,029904			3,84E-06	9,61E-06		1,92E-04	4,81E-04
Akpadanou	0,011	0,01002	0,048096			7,56E-06	1,89E-05		3,78E-04	9,45E-04
Todé	0,009	0,00339	0,016272	70	28	2,09E-06	5,23E-06	0,02	1,05E-04	2,62E-04
Affamè	0,011	0,00852	0,040896			6,43E-06	1,61E-05		3,21E-04	8,03E-04
Agonhoui	0,01	0,00464	0,022272			3,18E-06	7,95E-06		1,59E-04	3,98E-04
Bembè	0,01	0,00616	0,029568			4,22E-06	1,06E-05		2,11E-04	5,28E-04
Houinta	0,01	0,00588	0,028224			4,03E-06	1,01E-05		2,02E-04	5,04E-04

Tableau XVI : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par le chlorpyrifos dans la vallée de l'Ouémé

Chlorpyrifos	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,011	0,00376	0,018048			2,84E-06	7,09E-06		1,42E-01	3,55E-01
Hozin	0,011	0,00623	0,029904			4,70E-06	1,17E-05		2,35E-01	5,87E-01
Akpadanou	0,009	0,01002	0,048096			6,18E-06	1,55E-05		3,09E-01	7,73E-01
Todé	0,012	0,00339	0,016272	70	28	2,79E-06	6,97E-06	0,00002	1,39E-01	3,49E-01
Affamè	0,006	0,00852	0,040896			3,51E-06	8,76E-06		1,75E-01	4,38E-01
Agonhoui	0,011	0,00464	0,022272			3,50E-06	8,75E-06		1,75E-01	4,37E-01
Bembè	0,006	0,00616	0,029568			2,53E-06	6,34E-06		1,27E-01	3,17E-01
Houinta	0,01	0,00588	0,028224			4,03E-06	1,01E-05		2,02E-01	5,04E-01

Tableau XVII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par le diméthoate dans la vallée de l'Ouémé

Diméthoate	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,008	0,00376	0,018048			2,06E-06	5,16E-06		1,03E-02	2,58E-02
Hozin	0,01	0,00623	0,029904			4,27E-06	1,07E-05		2,14E-02	5,34E-02
Akpadanou	0,006	0,01002	0,048096			4,12E-06	1,03E-05		2,06E-02	5,15E-02
Todé	0,007	0,00339	0,016272	70	28	1,63E-06	4,07E-06	0,0002	8,14E-03	2,03E-02
Affamè	0,007	0,00852	0,040896			4,09E-06	1,02E-05		2,04E-02	5,11E-02
Agonhoui	0,009	0,00464	0,022272			2,86E-06	7,16E-06		1,43E-02	3,58E-02
Bembè	0,011	0,00616	0,029568			4,65E-06	1,16E-05		2,32E-02	5,81E-02
Houinta	0,01	0,00588	0,028224			4,03E-06	1,01E-05		2,02E-02	5,04E-02

Tableau XVIII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par le pirimiphosméthyl dans la vallée de l'Ouémé

Pirimiphosméthyl	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,01	0,00376	0,018048			2,58E-06	6,45E-06		8,59E-05	2,15E-04
Hozin	0,011	0,00623	0,029904			4,70E-06	1,17E-05		1,57E-04	3,92E-04
Akpadanou	0,011	0,01002	0,048096			7,56E-06	1,89E-05		2,52E-04	6,30E-04
Todé	0,01	0,00339	0,016272	70	28	2,32E-06	5,81E-06	0,03	7,75E-05	1,94E-04
Affamè	0,011	0,00852	0,040896			6,43E-06	1,61E-05		2,14E-04	5,36E-04
Agonhoui	0,008	0,00464	0,022272			2,55E-06	6,36E-06		8,48E-05	2,12E-04
Bembè	0,007	0,00616	0,029568			2,96E-06	7,39E-06		9,86E-05	2,46E-04
Houinta	0,011	0,00588	0,028224			4,44E-06	1,11E-05		1,48E-04	3,70E-04

Tableau XIX : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* bouillis contaminés par le haloxyfope R-méthyl dans la vallée de l'Ouémé

Haloxyfope R-méthyl	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,011	0,00376	0,018048			2,84E-06	7,09E-06		4,05E-03	1,01E-02
Hozin	0,011	0,00623	0,029904			4,70E-06	1,17E-05		6,71E-03	1,68E-02
Akpadanou	0,008	0,01002	0,048096			5,50E-06	1,37E-05		7,85E-03	1,96E-02
Todé	0,01	0,00339	0,016272	70	28	2,32E-06	5,81E-06	0,0007	3,32E-03	8,30E-03
Affamè	0,011	0,00852	0,040896			6,43E-06	1,61E-05		9,18E-03	2,30E-02
Agonhoui	0,012	0,00464	0,022272			3,82E-06	9,55E-06		5,45E-03	1,36E-02
Bembè	0,005	0,00616	0,029568			2,11E-06	5,28E-06		3,02E-03	7,54E-03
Houinta	0,008	0,00588	0,028224			3,23E-06	8,06E-06		4,61E-03	1,15E-02

Tableau XX : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le lambda-cyhalothrine dans la vallée de l'Ouémé

Lambda-Cyhalothrine	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,002	0,00376	0,018048			5,16E-07	1,29E-06		2,58E-04	6,45E-04
Hozin	0,004	0,00623	0,029904			1,71E-06	4,27E-06		8,54E-04	2,14E-03
Akpadanou	0,003	0,01002	0,048096			2,06E-06	5,15E-06		1,03E-03	2,58E-03
Todé	0,002	0,00339	0,016272	70	28	4,65E-07	1,16E-06	0,002	2,32E-04	5,81E-04
Affamè	0,003	0,00852	0,040896			1,75E-06	4,38E-06		8,76E-04	2,19E-03
Agonhoui	0,002	0,00464	0,022272			6,36E-07	1,59E-06		3,18E-04	7,95E-04
Bembè	0,004	0,00616	0,029568			1,69E-06	4,22E-06		8,45E-04	2,11E-03
Houinta	0,003	0,00588	0,028224			1,21E-06	3,02E-06		6,05E-04	1,51E-03

Tableau XXI : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par l'acétamipride dans la vallée de l'Ouémé

Acétamipride	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,002	0,00376	0,018048			5,16E-07	1,29E-06		2,46E-04	6,14E-04
Hozin	0,003	0,00623	0,029904			1,28E-06	3,20E-06		6,10E-04	1,53E-03
Akpadanou	0,003	0,01002	0,048096			2,06E-06	5,15E-06		9,82E-04	2,45E-03
Todé	0,004	0,00339	0,016272	70	28	9,30E-07	2,32E-06	0,0021	4,43E-04	1,11E-03
Affamè	0,002	0,00852	0,040896			1,17E-06	2,92E-06		5,56E-04	1,39E-03
Agonhoui	0,004	0,00464	0,022272			1,27E-06	3,18E-06		6,06E-04	1,52E-03
Bembè	0,003	0,00616	0,029568			1,27E-06	3,17E-06		6,03E-04	1,51E-03
Houinta	0,002	0,00588	0,028224			8,06E-07	2,02E-06		3,84E-04	9,60E-04

Tableau XXII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le glyphosate dans la vallée de l'Ouémé

Glyphosate	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,003	0,00376	0,018048			7,73E-07	1,93E-06		2,58E-06	6,45E-06
Hozin	0,002	0,00623	0,029904			8,54E-07	2,14E-06		2,85E-06	7,12E-06
Akpadanou	0,004	0,01002	0,048096			2,75E-06	6,87E-06		9,16E-06	2,29E-05
Todé	0,001	0,00339	0,016272	70	28	2,32E-07	5,81E-07	0,3	7,75E-07	1,94E-06
Affamè	0,003	0,00852	0,040896			1,75E-06	4,38E-06		5,84E-06	1,46E-05
Agonhoui	0,001	0,00464	0,022272			3,18E-07	7,95E-07		1,06E-06	2,65E-06
Bembè	0,002	0,00616	0,029568			8,45E-07	2,11E-06		2,82E-06	7,04E-06
Houinta	0,003	0,00588	0,028224			1,21E-06	3,02E-06		4,03E-06	1,01E-05

Tableau XXIII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le cyperméthrine dans la vallée de l'Ouémé

Cyperméthrine	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,002	0,00376	0,018048			5,16E-07	1,29E-06		2,58E-05	6,45E-05
Hozin	0,001	0,00623	0,029904			4,27E-07	1,07E-06		2,14E-05	5,34E-05
Akpadanou	0,003	0,01002	0,048096			2,06E-06	5,15E-06		1,03E-04	2,58E-04
Todé	0,002	0,00339	0,016272	70	28	4,65E-07	1,16E-06	0,02	2,32E-05	5,81E-05
Affamè	0,002	0,00852	0,040896			1,17E-06	2,92E-06		5,84E-05	1,46E-04
Agonhoui	0,002	0,00464	0,022272			6,36E-07	1,59E-06		3,18E-05	7,95E-05
Bembè	0,001	0,00616	0,029568			4,22E-07	1,06E-06		2,11E-05	5,28E-05
Houinta	0,002	0,00588	0,028224			8,06E-07	2,02E-06		4,03E-05	1,01E-04

Tableau XXIV : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le chlorpyrifos dans la vallée de l'Ouémé

Chlorpyrifos	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,002	0,00376	0,018048			5,16E-07	1,29E-06		2,58E-02	6,45E-02
Hozin	0,004	0,00623	0,029904			1,71E-06	4,27E-06		8,54E-02	2,14E-01
Akpadanou	0,002	0,01002	0,048096			1,37E-06	3,44E-06		6,87E-02	1,72E-01
Todé	0,003	0,00339	0,016272	70	28	6,97E-07	1,74E-06	0,00002	3,49E-02	8,72E-02
Affamè	0	0,00852	0,040896			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Agonhoui	0,003	0,00464	0,022272			9,55E-07	2,39E-06		4,77E-02	1,19E-01
Bembè	0,004	0,00616	0,029568			1,69E-06	4,22E-06		8,45E-02	2,11E-01
Houinta	0,001	0,00588	0,028224			4,03E-07	1,01E-06		2,02E-02	5,04E-02

Tableau XXV : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le diméthoate dans la vallée de l'Ouémé

Diméthoate	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,003	0,00376	0,018048			7,73E-07	1,93E-06		3,87E-03	9,67E-03
Hozin	0	0,00623	0,029904			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Akpadanou	0	0,01002	0,048096			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Todé	0,001	0,00339	0,016272	70	28	2,32E-07	5,81E-07	0,0002	1,16E-03	2,91E-03
Affamè	0	0,00852	0,040896			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Agonhoui	0,001	0,00464	0,022272			3,18E-07	7,95E-07		1,59E-03	3,98E-03
Bembè	0	0,00616	0,029568			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Houinta	0	0,00588	0,028224			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00

Tableau XXVI : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le pirimiphosmethyl dans la vallée de l'Ouémé

Pirimiphosméthyl	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0,001	0,00376	0,018048			2,58E-07	6,45E-07		8,59E-06	2,15E-05
Hozin	0	0,00623	0,029904			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Akpadanou	0	0,01002	0,048096			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Todé	0	0,00339	0,016272	70	28	0,00E+00	0,00E+00	0,03	0,00E+00	0,00E+00
Affamè	0	0,00852	0,040896			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Agonhoui	0	0,00464	0,022272			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Bembè	0	0,00616	0,029568			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Houinta	0	0,00588	0,028224			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00

Tableau XXVII : Evaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'escargots *Limicolaria spp* frits contaminés par le Haloxyfope R-méthyl dans la vallée de l'Ouémé

Haloxyfope R-méthyl	Concentration moyenne du pesticide C (mg/Kg)	Poids moyen des escargots (kg)	Quantité d'escargots ingérés par jour Q (Kg/j)	Poids de la cible P (kg)		Dose Journalière d'Exposition DJE (mg/kg/j)		Dose Journalière Admise DJA (mg/kg/j)	Risque sanitaire (Quotient de danger)	
				Adulte	Enfant	Adulte	Enfant		Adulte	Enfant
Kessounou	0	0,00376	0,018048			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Hozin	0	0,00623	0,029904			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Akpadanou	0	0,01002	0,048096			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Todé	0	0,00339	0,016272	70	28	0,00E+00	0,00E+00	0,0007	0,00E+00	0,00E+00
Affamè	0,003	0,00852	0,040896			1,75E-06	4,38E-06		2,50E-03	6,26E-03
Agonhoui	0	0,00464	0,022272			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Bembè	0	0,00616	0,029568			0,00E+00	0,00E+00		0,00E+00	0,00E+00
Houinta	0,002	0,00588	0,028224			8,06E-07	2,02E-06		1,15E-03	2,88E-03

Annexe 10 : Liste des articles publiés et en cours de publication

❖ Liste des articles publiés

Adamou, R., Yehouenou Pazou, E., Elegbede Manou, B., 2018. Bioconcentration of heavy metals in the snails *Archachatina marginata* and *Limicolaria spp* of the Ouémé valley in Benin. *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences*, 7(8) : 1474-1488. <https://doi.org/10.31032/IJBPAS/2018/7.8.4497>

Adamou, M. R., Yehouenou Azehoun Pazou, E., Edoth, P., 2018. Effets de deux méthodes de cuisson sur la concentration des métaux lourds dans la chair des escargots géants Africains comestibles de la vallée de l’Ouémé au sud-est du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 83: 33-40.

Yehouenou, E.A.P., **Adamou, R.**, Azehoun, P.J., Edoth, P.A., Ahoyo, T., 2013. Monitoring of Heavy Metals in the complex "Nokoué lake - Cotonou and Porto-Novo lagoon" ecosystem during three years in the Republic of Benin. *Research Journal of Chemical Sciences*, 3(5): 12-18.

❖ Liste des articles en cours de publication

Contamination des escargots prélevés dans la vallée de l’Ouémé par des métaux lourds et évaluation des risques sanitaires (Soumis le 21 avril 2018 dans la revue *International Journal of Biological and Chemical Sciences*)

❖ Communications orales

➤ 6^{ème} Colloque scientifique de l’UAC du 25 au 30 septembre 2017

Enquête sur le ramassage, la vente et la consommation des escargots de la vallée de l’Ouémé

➤ Colloque scientifique de l’EPAC du 05 au 07 février 2018

Valorisation des déchets de panse issus des abattoirs en biogaz par la méthanisation et la co-méthanisation, et application à des planches de laitue

➤ Journées Scientifiques Internationales de Lomé du 08 au 13 octobre 2018

Effets des méthodes culinaires sur les concentrations des pesticides dans les escargots comestibles de la vallée de l’Ouémé au Sud-Est du Bénin

ARTICLES DÉJÀ PUBLIÉS