

**REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE**

*Union - Discipline – Travail*

**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**



**Institut National Polytechnique  
Félix HOUPHOUËT-BOIGNY de Yamoussoukro**

**Ecole Doctorale Polytechnique**

**THÈSE**

Pour l'obtention du grade de

**DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FELIX HOUPHOUËT-  
BOIGNY**

**Mention : .....**

**Spécialité : Biochimie et Sécurité Alimentaire**

**Thème :**

**ÉVALUATION DE L'IMPACT DE L'UTILISATION DES PRODUITS  
AGROCHIMIQUES: CAS DES PESTICIDES ORGANOCHLORES DANS LES  
RACINES- TUBERCULES PRODUITS SUR DES ANCIENNES PARCELLES DE  
COTON DANS LA REGION DU "HAMBOL"**

Présentée et soutenue publiquement le 24 Juin 2020 par

**CAMARA MONTY ABIBATA**

**JURY**

<b>M. ASSIDJO Nogbou Emmanuel</b>	Professeur Titulaire,	INP-HB	Président
<b>M. KOFFI Kouadio Ernest</b>	Professeur Titulaire,	UFHB	Rapporteur
<b>M. DABONNE Soumaïla</b>	Professeur Titulaire,	UNA	Rapporteur
<b>M. CHATIGRE Kouamé Olivier</b>	Maître de conférences,	UFHB	Examineur
<b>M. ELLEINGAND Fattoh Eric</b>	Maître de conférences,	INP-HB	Directeur de thèse

## DEDICACE

*Je dédie cette thèse à mon père et à ma mère,  
à mes frères et sœurs, à mon conjoint et à mon  
fils.*

## REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été réalisé au Laboratoire de nutrition et technologie alimentaire (LNTA) au sein du département de recherche Groupe Chimique Agro-Alimentaire (GCAA) de l'Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro (INP-HB).

Lors de cette thèse nous avons eu le privilège de bénéficier de nombreux soutiens. Ainsi aujourd'hui arrivée au terme de cette aventure, nous nous devons de remercier toutes ces personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réussite et au bon déroulement de ces travaux.

Pour commencer, nous remercions le Docteur ELLEINGAND FATTOH ERIC, pour avoir accepté de diriger cette thèse, pour sa contribution scientifique à la réalisation de ce travail.

Nous remercions également le Professeur ASSIDJO NOGBOU EMMANUEL, directeur du laboratoire de nutrition et de technologie alimentaire (LNTA), dans lequel nous avons eu à travailler. Merci aussi d'avoir présidé le jury de cette thèse.

Nous souhaitons également adresser toute notre reconnaissance aux autres membres du jury, Professeur CHATIGRE KOUAME OLIVIER, Professeur DABONNE SOUMAÏLA, Professeur KOFFI KOUADIO ERNEST, qui ont accepté d'apporter leurs contributions à l'amélioration de la qualité scientifique de ce travail.

Nos remerciements vont à l'endroit du Professeur YAO KOUASSI BENJAMIN, directeur de l'Ecole Doctorale Polytechnique et directeur du laboratoire de procédés industriels de synthèse et environnementaux (LAPISEN).

Nous souhaitons remercier le Docteur SORO DOUDJO, notre "père adoré", pour sa disponibilité, ses conseils dont il ne cessait de nous gratifier.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit du Docteur N'GORAN ESSAN BLA ZITA épouse AW, notre "mère", pour son soutien et ses conseils.

Nous associons à ces remerciements KOUADIO E. FLORESSE, YOBOUET B. ANTOINETTE, TRAORE K. FATOU, YAO N. JEAN CLAUDE, ainsi que tous nos amis de l'école doctorale polytechnique pour les années partagées ensemble et leur collaboration.

Nous remercions Messieurs OUATTARA, KOUASSI et TOURE de l'ANADER de Dabakala, M. TRAORE de l'ANADER de Niakara et Messieurs OUATTARA et YOHOUE de la CIDT de Niakara pour leur collaboration.

A tous ceux qui de près ou de loin ont participé à la réalisation de ce travail, nous leur disons merci pour tout.

## TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
TABLE DES MATIERES.....	iii
LISTE DES FIGURES .....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES .....	x
RESUME.....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCTION.....	1
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE .....	4
I- GENERALITES SUR LES PESTICIDES .....	5
1-Classification des pesticides .....	5
2-Caractéristiques physico-chimiques des pesticides .....	6
2-1- Solubilité dans l'eau .....	6
2-2- Lipophilie et coefficient de partage octanol/eau ( $K_{ow}$ ).....	7
2-3- Pression de vapeur et Constante de Henry ( $K_H$ ).....	8
2-4- Coefficient de partage sol/eau .....	8
2-5- Temps de demi- vie (DT50) et Rémanence .....	9
2-6- Bioaccumulation et bioamplification.....	9
3-Pesticides organochlorés .....	9
3-1- Historique des pesticides organochlorés.....	10
3-2- Classification des pesticides organochlorés .....	10
3-2-1- Le groupe des dichlorodiphénylétanes .....	11
3-2-2- Le groupe des cyclodiènes.....	11
3-2-3- Le groupe des autres composés .....	12
3-3- Caractéristiques des organochlorés .....	13
3-4-Caractéristiques des pesticides retenus .....	13
3-4-1- Le DDT (Dichlorodiphényltrichloroéthane).....	13
3-4-2- Le Lindane ou le $\gamma$ -Hexachlorocyclohexane .....	14
3-4-3- L'Endrine.....	14
3-4-4- L'Endosulfan .....	15

4-Pesticides et santé .....	15
4-1- Effets des pesticides sur la santé.....	15
4-2-Mécanismes d'action des pesticides organochlorés dans l'organisme .....	17
5- Devenir des pesticides après application .....	18
5-1- Devenir des pesticides dans le sol .....	18
5-2-Contamination des sols par les pesticides.....	19
5-3- Contamination des produits agricoles par les pesticides .....	20
5-4- Devenir des résidus de pesticides dans les aliments après leur transformation.....	20
6- Règlementation.....	22
7- Techniques d'analyse des pesticides .....	23
7-1- Chromatographie en phase gazeuse.....	24
7-2- Chromatographie en phase liquide haute performance .....	25
II- FILIERE PESTICIDE EN COTE D'IVOIRE.....	27
III- LE COTONNIER EN COTE D'IVOIRE .....	28
1- Généralités sur la filière coton .....	28
2- Les traitements phytosanitaires dans la filière coton .....	29
IV- GENERALITES SUR L' ANALYSE DES RISQUES .....	30
1-Définitions .....	30
1-1-Notion de danger et de risque .....	30
1-2-Analyse des risques .....	30
2-Evaluation des risques .....	31
2-1-Identification des dangers .....	32
2-2-Caractérisation des dangers .....	32
2-3-Evaluation de l'exposition.....	32
2-4-Caractérisation des risques .....	33
3-Exposition non alimentaire aux contaminants du sol .....	33
MATERIEL ET METHODES .....	35
I- MATERIEL .....	36
1- Zone d'étude .....	36
2- Matériel végétal.....	39
3-Echantillons de sols .....	39

II- METHODES .....	39
1- Méthodologie d'enquête .....	39
1-1- Enquête sur les pesticides organochlorés utilisés dans la zone d'étude .....	39
1-2- Enquête sur la consommation de l'igname, du manioc et de l'arachide .....	39
2- Méthodologie d'échantillonnage .....	40
2-1- Collecte des échantillons de sols .....	40
2-2- Collecte des échantillons de racines-tubercules et légumineuses souterraines .....	41
3-Analyses physico-chimiques et minéralogiques des échantillons de sols .....	41
4-Méthodes d'analyse des résidus de pesticides dans les différents échantillons .....	42
4-1-Echantillons de sols .....	42
4-2-Echantillons de produits agricoles .....	44
5- Analyses statistiques.....	44
6- Quantification des risques sanitaires potentiels liés à la contamination des sols .....	44
6-1- Méthodologie d'évaluation des expositions .....	45
6-1-1-Exposition par ingestion.....	45
6-1-2-Exposition par inhalation.....	45
6-1-3-Exposition cutanée.....	46
6-2- Méthodologie de quantification des risques sanitaires .....	46
6-2-1-Estimation du risque pour les effets toxiques cancérigènes .....	46
6-2-2-Estimation du risque pour effets toxiques non cancérigènes.....	47
6-3-Scénario d'exposition .....	47
RESULTATS ET DISCUSSION .....	50
I-ENQUETES AUPRES DES AGRICULTEURS ET DES CONSOMMATEURS .....	51
1-Enquête sur les pesticides organochlorés utilisés dans la zone d'étude .....	51
1-1-Résultats.....	51
1-1-1-Différents pesticides organochlorés utilisés dans la culture du coton.....	51
1-1-2-Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés .....	51
1-1-3-Usage actuel des sols sous culture du coton.....	53
1-2-Discussion.....	54
2-Enquête sur la consommation de l'igname, du manioc et de l'arachide .....	55
2-1-Résultats.....	55
2-1-1- Caractéristiques de la population enquêtée .....	55
2-1-2- Consommation de l'igname.....	57
2-1-3-Consommation du manioc .....	59
2-1-4- Consommation de l'arachide .....	61

2-1-5-Facteurs de différenciation de la consommation .....	63
2-1-5-1- Le sexe.....	63
2-1-5-2- L'âge.....	63
2-2-Discussion.....	66
II- CONTAMINATION DES ECHANTILLONS DE SOL ET DE CULTURE PAR LES RESIDUS DE PESTICIDES .....	67
1-Résultats .....	67
1-1- Caractéristiques physico-chimiques et granulométrique des échantillons de sol.....	67
1-2- Analyse en HPLC de certains échantillons.....	71
1-2-1-Le DDT (Dichlorodiphényltrichloroéthane).....	71
1-2-2-Le Lindane .....	72
1-2-3-L'endosulfan et ses métabolites.....	73
1-3- Concentration des résidus de pesticides dans les échantillons de sols et de produits végétaux .....	74
1-4- Relation entre les caractéristiques physicochimiques des sols et des concentrations de pesticides retrouvées.....	76
2-Discussion .....	78
III- EVALUATION DES RISQUES .....	81
1-Résultats .....	81
1-1-Evaluation des risques liés à la consommation des aliments.....	81
1-2-Evaluation des risques liés à l'exposition aux contaminants du sol.....	81
2-Discussion .....	82
CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	83
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	86
ANNEXES .....	105
ANNEXE 1 : FICHE D'ENQUÊTE AGRICULTEURS .....	106
ANNEXE 2 : FICHE D'ENQUÊTE CONSOMMATEURS .....	107
ANNEXE 3 : PHOTOGRAPHIES POUR ENQUÊTE DE CONSOMMATION .....	109
ANNEXE 4 : RESULTATS D'ANALYSE PAR HPLC DES DIFFERENTS ECHANTILLONS.....	110
ARTICLES PUBLIES.....	119

LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Schéma descriptif de la chromatographie en phase gazeuse .....	25
<b>Figure 2</b> : Schéma descriptif de la chromatographie en phase liquide haute performance .....	27
<b>Figure 3</b> : Structure de l'analyse des risques selon le codex alimentarius .....	31
<b>Figure 4</b> : Représentation de la zone d'étude .....	36
<b>Figure 5</b> : Critères de choix de la zone d'étude.....	38
<b>Figure 6</b> : Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés.....	52
<b>Figure 7</b> : Répartition des enquêtés en fonction de l'usage actuel des sols à antécédents cotons .....	53
<b>Figure 8</b> : Répartition des enquêtés en fonction du type de cultures vivrières produites sur les sols à antécédents cotons .....	54
<b>Figure 9</b> : Répartition des enquêtés en fonction des cultures vivrières à organes souterrains produites sur les anciennes parcelles .....	54
<b>Figure 10</b> : Répartition des consommateurs d'igname en fonction des fréquences de consommation et des formes culinaires .....	59
<b>Figure 11</b> : Répartition des consommateurs de manioc en fonction des fréquences de consommation et des différentes formes culinaires .....	61
<b>Figure 12</b> : Répartition des consommateurs d'arachide en fonction des fréquences de consommation et des différentes formes culinaires .....	63
<b>Figure 13</b> : Chromatogramme représentant le profil de l'étalon du DDT.....	71
<b>Figure 14</b> : Chromatogramme représentant le profil de l'échantillon de sol N6 .....	71
<b>Figure 15</b> : Chromatogramme représentant le profil de l'étalon du lindane .....	72
<b>Figure 16</b> : Chromatogramme représentant le profil de l'échantillon de sol D6 .....	72
<b>Figure 17</b> : Chromatogramme représentant le profil de l'étalon de l'endosulfan et de ses métabolites .....	73
<b>Figure 18</b> : Chromatogramme représentant le profil de l'échantillon de sol D6 .....	74
<b>Figure 19</b> : Distribution des pesticides dans les différents échantillons .....	75



## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I</b> : Catégories de pesticides regroupés approximativement selon leur solubilité dans l'eau.....	7
<b>Tableau II</b> : Structures chimiques de quelques pesticides organochlorés du groupe des dichlorodiphényléthanes.....	11
<b>Tableau III</b> : Structures chimiques de quelques pesticides organochlorés du groupe des cyclodiènes.....	12
<b>Tableau IV</b> : Structures chimiques de quelques pesticides organochlorés du groupe des autres composés.....	12
<b>Tableau V</b> : Quelques exemples d'études sur l'analyse des pesticides organochlorés réalisée par chromatographie en phase gazeuse.....	24
<b>Tableau VI</b> : Quelques exemples d'études sur l'analyse des pesticides organochlorés réalisée par chromatographie en phase liquide haute performance.....	26
<b>Tableau VII</b> : Conditions analytiques pour le DDT et le lindane.....	43
<b>Tableau VIII</b> : Conditions analytiques pour l'endosulfan et ses métabolites.....	43
<b>Tableau IX</b> : Paramètres d'exposition utilisés pour l'évaluation des risques cancérigènes pour la santé.....	48
<b>Tableau X</b> : Paramètres spécifiques aux différents pesticides.....	49
<b>Tableau XI</b> : Caractéristiques sociodémographiques de la population enquêtée.....	56
<b>Tableau XII</b> : Répartition des enquêtés en fonction des aliments consommés et des villes...	57
<b>Tableau XIII</b> : Répartition des consommateurs selon la forme culinaire d'igname.....	58
<b>Tableau XIV</b> : Quantité moyenne par jour et par personne d'igname consommée selon les différentes formes culinaires.....	58
<b>Tableau XV</b> : Répartition des consommateurs selon la forme culinaire du manioc.....	60
<b>Tableau XVI</b> : Quantité moyenne par jour et par personne de manioc consommée selon les formes culinaires.....	60
<b>Tableau XVII</b> : Répartition des consommateurs selon la forme culinaire de l'arachide.....	62
<b>Tableau XVIII</b> : Quantité moyenne par jour et par personne d'arachide consommée selon les formes culinaires.....	62
<b>Tableau XIX</b> : Quantité (g) de produits consommés selon le sexe et la forme culinaire.....	64
<b>Tableau XX</b> : Quantité (g) de produits consommés selon l'âge et la forme culinaire.....	65
<b>Tableau XXI</b> : Caractéristiques physicochimiques et granulométriques des échantillons de sol prélevés à Dabakala et à Niakara.....	70

<b>Tableau XXII</b> : Surfaces des pics et concentrations en HPLC de l'étalon du DDT et de l'échantillon de sol N6 .....	71
<b>Tableau XXIII</b> : Surfaces des pics et concentrations en HPLC de l'étalon du lindane et de l'échantillon de sol D6 .....	72
<b>Tableau XXIV</b> : Surfaces des pics et concentrations en HPLC de l'étalon de l'endosulfan et de ses métabolites et de l'échantillon de sol D6.....	73
<b>Tableau XXV</b> : Fréquence de détection des résidus de pesticides dans les échantillons de sol.....	75
<b>Tableau XXVI</b> : Concentrations de pesticides dans les échantillons de sol ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de matière sèche).....	75
<b>Tableau XXVII</b> : Concentrations de pesticides dans les échantillons de produits agricoles ( $\mu\text{g}/\text{Kg}$ de matière sèche).....	76
<b>Tableau XXVIII</b> : Matrice de corrélation entre les caractéristiques physicochimiques des échantillons de sol et les concentrations des pesticides détectés .....	77
<b>Tableau XXIX</b> : Risques potentiels d'effets néfastes dus à l'exposition de l'agriculteur au DDT et au lindane contenus dans le sol.....	81
<b>Tableau XXX</b> : Risques totaux potentiels liés à l'exposition au DDT et au lindane contenu dans le sol.....	82

## **LISTE DES ABREVIATIONS ET SIGLES**

AFNOR : Association française de normalisation

AFSCA : Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne alimentaire

ANADER : Agence Nationale d'Appui au Développement Rural

ARfD : Dose référence aiguë

ATP : Adénosine-Triphosphate

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

BHC : Hexachlorobenzène

CCI.CI : Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire

CCME : Canadian Council of Ministers of the Environment (Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement)

CNRA : Centre National de Recherche Agronomique

CNRS/PRC : Centre national de la recherche scientifique / unité de Prévention du risque chimique

DDT : Dichloro-Diphényl-Trichloroéthane

DJA : Dose journalière admissible

DPVCQ : Direction de la Protection des Végétaux, du Contrôle et de la Qualité

DT50 : Temps de demi-vie

FAO : Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture)

FIRCA : Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles

HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

HCH : Hexachlorocyclohexane

HRMS : Spectrométrie de masse à haute résolution

IFEN : Institut français de l'environnement

INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques

INS : Institut National de la Statistique

INSERM : Institut national de la santé et de la recherche médicale

MINAGRI : Ministère de l'agriculture et du développement rural

mmHg : millimètre de mercure

OECD : Organisation de coopération et de développement économiques

OMS (WHO) : Organisation mondiale de la Santé (World Health Organization)

PAN/IPEN : Pesticide Action Network/ International POPs Elimination Network

PCB : Polychlorobiphényle

PIB : Produit Intérieur Brut

PME : Petites et Moyennes Entreprises

PNM : Plan National de Mise en œuvre de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants

POC : Pesticide Organochloré

POP : Polluant Organique Persistant

PSAC : Projet d'appui au Secteur Agricole en Côte d'Ivoire

QuEACHERS : Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe (rapide, facile, moins cher, efficace, robuste et sûre)

UNIPHYTO : Union de la Profession Phytosanitaire en Côte d'Ivoire

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

**RESUME**

Ce travail de recherche porte sur l'utilisation dans le passé des pesticides organochlorés dans les champs de coton. Du fait de leur toxicité, les pesticides organochlorés sont interdits d'utilisation mais étant résistants à la dégradation, ils persistent encore dans l'environnement.

Les organochlorés peuvent être transférés aux plantes par le biais des sols contaminés.

L'objectif de cette thèse était d'évaluer le risque sanitaire lié à l'utilisation dans le passé des pesticides organochlorés dans la culture du coton. A partir d'informations reçues des structures d'encadrement des agriculteurs et d'une enquête réalisée auprès des populations, les pesticides organochlorés utilisés dans les champs de coton ainsi que les cultures racines-tubercules et légumineuses souterraines ont été identifiés. Une enquête de consommation des différentes cultures identifiées a été aussi réalisée auprès des populations. Les échantillons de sols prélevés ont été soumis à une caractérisation physicochimique et granulométrique. Les résidus de pesticides ont été extraits des échantillons de sols et de cultures puis identifiés et quantifiés par HPLC-UV.

Les résultats obtenus montrent que le DDT, le lindane, l'endosulfan et l'endrine font partie des pesticides organochlorés utilisés dans la culture du coton. Comme cultures vivrières, le manioc, l'igname et l'arachide furent retenus. Les caractéristiques physicochimiques des sols ont révélé que la plupart des sols sont acides (5,54 - 6,51), avec de faibles teneurs en matières organiques (0,83% - 2,74%) et un faible pourcentage en argile (3,25% - 15,5%). Ces sols sont pour la plupart à texture limon-sableux et sable-limoneux. L'analyse chromatographique a permis la détection du DDT, du lindane, de l'endosulfan- $\alpha$ , de l'endosulfan- $\beta$  et de l'endosulfan sulfate, dans les échantillons de sols. Aucun de ces pesticides n'a été détecté dans les échantillons de cultures. Les risques de cancer du à l'exposition de l'agriculteur au DDT et au lindane contenus dans le sol sont inférieurs à  $10^{-6}$  et les quotients de danger liés aux effets néfastes non cancérogènes sont tous inférieurs à 1. Ces résultats indiquent que le risque de survenue des effets cancérogènes ou non cancérogènes surviennent est négligeable.

**Mots clés :** pesticides organochlorés, contamination, sols, racines-tubercules, risques sanitaires,

**ABSTRACT**

This research work focuses on the past use of organochlorine pesticides in cotton fields. Due to their toxicity, organochlorine pesticides are banned from use, but, being resistant to degradation, they still persist in the environment. Organochlorines can be transferred to plants through contaminated soils.

The objective of this thesis was to assess the health risk associated with the past use of organochlorine pesticides in cotton cultivation. Based on informations received from the management structures of farmers and a survey carried out among the populations, organochlorine pesticides used in cotton fields as well as root-tubers and underground legume crops have been identified. A consumption survey of the various crops identified was also carried out among the populations. The soil samples collected were subjected to a physicochemical and granulometric characterization. Pesticides residues were extracted from soil and crops samples and identified and quantified by HPLC-UV.

The results obtained show that DDT, lindane, endosulfan and endrin are among the organochlorine pesticides used in cotton cultivation. Cassava, yam and groundnut were selected as food crops. The physicochemical characteristics of the soils revealed soils that are mostly acids (5,54 – 6,51), with low organic matter contents (0,83% - 2,74%), a low percentage of clay (3,25% - 15,5%). Most of these soils are silt-sand and sand-silt. Chromatographic analysis detected DDT, lindane, endosulfan- $\alpha$ , endosulfan- $\beta$  and endosulfan sulfate in soils samples. None of these pesticides were detected in crop samples. The cancer risk due to the farmer's exposure to DDT and lindane in soil, is less than  $10^{-6}$  and the hazard quotients for non-carcinogenic adverse effects are all less than 1, indicating that the risk of carcinogenic or non-carcinogenic effects occurring is negligible.

**Keywords** : organochlorine pesticides, contamination, soils, root-tubers, health risk

# **INTRODUCTION**

La Côte d'Ivoire est un pays situé en Afrique de l'ouest avec une superficie de 322.462 km<sup>2</sup>. Son économie repose sur l'agriculture qui, contribue pour 27% au PIB, emploie 2/3 de la population active et fournit avec le secteur agroindustriel 40% des recettes d'exportation (**PSAC, 2012**). Au lendemain de son indépendance, la Côte d'Ivoire a mis l'accent sur la modernisation de son agriculture, surtout celle d'exportation (cacao, café, coton...). Ce qui a conduit à l'utilisation croissante d'intrants agricoles (engrais, produits phytosanitaires) pour améliorer les rendements et limiter la multiplication des parasites (insectes ravageurs, mauvaises herbes, champignons...). Elle se retrouva ainsi premier consommateur de pesticides en Afrique de l'ouest (**Fleischer et al. 1998**).

Issus des progrès de l'industrie chimique, les pesticides sont, pour la plupart, des produits de synthèse utilisés pour lutter contre les organismes qui limitent les rendements agricoles et forestiers, ou qui affectent la santé humaine et animale. L'utilisation des pesticides a conduit à une amélioration significative des récoltes et de la santé publique (**Grange et al., 2008; Zacharia, 2011**). En Côte d'Ivoire, l'emploi des produits phytosanitaires a commencé à l'époque coloniale, en particulier pour les cultures de rente telles que le coton en 1955 (**Bassett, 2002**); avec l'utilisation des pesticides organochlorés.

Bien que bénéfiques, ces pesticides présentent cependant des effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine. Du fait de leur toxicité et de leur caractère persistant, les organochlorés s'accumulent chez l'homme à travers la chaîne alimentaire, entraînant ainsi divers troubles de santé notamment des troubles neurologiques, du développement et de la reproduction et des cancers (**INSERM, 2013; Guo et al., 2014**).

Les pesticides organochlorés sont ainsi interdits d'utilisation en Côte d'Ivoire pour la plupart depuis 1998 (**PNM, 2006**). Suite à la signature et à la ratification de la convention de Stockholm, l'interdiction des pesticides organochlorés a été prise en compte par l'arrêté n° 159 /MINAGRI du 21 juin 2004 portant interdiction d'emploi en agriculture de substances actives entrant dans la fabrication des produits phytopharmaceutiques (**DPVCQ, 2011**). Par la suite, l'endosulfan s'est vu ajouté à cette liste.

Malgré leur interdiction, on les retrouve non seulement dans tous les compartiments environnementaux à savoir, l'air (**Hogarh et al., 2014**), l'eau (**Fosu-Mensah et al., 2016**), le sol (**Ssebugere et al., 2010; Mahugija et al., 2014; Maiga et al., 2014**), les sédiments (**Wasswa et al., 2011**); mais aussi dans les aliments destinés à la consommation humaine (**Biego et al., 2005; Kouadio et al., 2014; Bempah et al., 2016**). Ces différentes contaminations sont pour la plupart dues à des utilisations passées de ces pesticides. En effet, résistants à la dégradation, ils persistent dans l'environnement. Ainsi, l'homme pourrait se



retrouver directement contaminé par l'air, le sol ou l'eau ou indirectement par les aliments qu'il consomme. Ces derniers pouvant être contaminés à leur tour par transfert des pesticides des différents compartiments environnementaux vers eux. Plusieurs études ont mis en évidence la contamination des aliments par le biais de l'environnement. Ainsi des espèces aquatiques sont contaminées par l'eau dans laquelle ils vivent (**Monti et Coat, 2007; Agbohessi et al., 2012**), des plantes sont contaminées par les sols sur lesquels elles poussent (**Barriada-Pereira et al., 2005; Clostre et al., 2015**). Dans le sol, les pesticides organochlorés sont adsorbés sur les racines et peuvent migrer à l'intérieur de la plante en empruntant différentes voies. Le taux de contamination des plantes varie d'une partie à une autre. Ainsi ont-ils tendance à plus s'accumuler dans les parties souterraines (racines, rhizomes), que dans les parties aériennes (feuilles, tiges) (**Lesueur et al., 2007; San Miguel et al., 2013**). En Côte d'Ivoire, certains sols sur lesquels furent utilisés les pesticides organochlorés en grande quantité tels les sols sous cultures cotonnières servent aujourd'hui à la production de plantes vivrières destinées à la consommation humaine, notamment des plantes racines-tubercules dont les parties comestibles sont souterraines. L'utilisation de ces terres ne constituerait-il pas un risque de contamination des plantes et des populations?

Cette préoccupation nous a amené à entreprendre la présente étude intitulée «évaluation de l'impact de l'utilisation des produits agrochimiques: cas des pesticides organochlorés dans les racines- tubercules produits sur d'anciennes parcelles de coton dans la région du "Hambol"». L'objectif général de notre travail était d'évaluer le risque sanitaire lié à l'utilisation passée des pesticides organochlorés dans la culture du coton. Pour ce faire différents objectifs spécifiques ont été envisagés :

- réaliser des enquêtes : d'une part une enquête auprès des structures d'encadrement des agriculteurs et des agriculteurs eux-mêmes et, d'autre part, une enquête de consommation auprès de la population
- rechercher dans des échantillons de sols et de produits agricoles des résidus de pesticides organochlorés d'utilisation connue
- évaluer le risque pour la santé humaine lié à la consommation d'aliments contaminés par les organochlorés
- évaluer le risque sanitaire lié à l'exposition directe aux sols contaminés

# **REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

## I- GENERALITES SUR LES PESTICIDES

Les pesticides sont des substances ou préparations utilisées pour prévenir, contrôler ou éliminer des organismes jugés nuisibles pour l'Homme, les plantes ou les animaux (mauvaises herbes, insectes, champignons, végétaux, micro-organismes...). Ils regroupent plus de 900 matières actives qui rentrent dans la composition de 8800 spécialités commerciales (IFEN, 1998). Une substance active est une substance ou un micro-organisme, y compris un virus ou un champignon, exerçant une action générale ou spécifique sur ou contre les organismes nuisibles.

Un pesticide commercialisé se compose d'une ou de plusieurs substances ou matières actives (que sont les molécules disposant des propriétés phytosanitaires requises), d'adjuvants destinés à accompagner les effets des substances actives, d'une charge inerte qui peut être de l'argile ou de la cellulose (De Jaeger *et al*, 2012). Le terme « pesticide » sert souvent à désigner le produit commercial ou bien seulement la ou les substances actives.

### 1-Classification des pesticides

Selon l'usage auquel ils sont destinés, on distingue : les produits phytosanitaires à usage agricole pour protéger les végétaux contre tous les organismes nuisibles et les produits biocides à usage non agricole, utilisés pour la protection des matériaux, des animaux et des hommes (Grange *et al.*, 2008).

Il existe diverses formes de classification des pesticides. Ainsi, on peut les classer selon leur mode d'action, leurs cibles principales ou leurs différentes familles chimiques auxquelles ils appartiennent.

La classification des pesticides selon le mode d'action est basée sur la voie par laquelle ils provoquent l'effet désiré. On distingue les pesticides de contact (non systémiques) et les pesticides systémiques.

Les pesticides de contact restent à la surface des feuilles traitées, ils ne pénètrent pas dans les tissus des plantes. Ils ne provoquent l'effet désiré que lorsqu'ils entrent en contact avec les organismes cibles. Les pesticides systémiques sont ceux qui pénètrent dans les tissus de la plante et circulent à travers le système vasculaire afin de provoquer l'effet désiré. Sous cette classification, on a aussi les pesticides qui provoquent l'effet désiré après avoir été ingérés. Les fumigènes sont des pesticides qui produisent des gaz qui tuent les parasites (Zacharia, 2011).

Le système de classification reposant sur les cibles vers lesquelles ils sont destinés, permet de distinguer plusieurs familles dont les trois principales sont les herbicides, les fongicides et

les insecticides (**Grange et al., 2008; Kouzayha, 2011**). Ils permettent de lutter respectivement contre les mauvaises herbes, les champignons et les insectes. Il existe également d'autres catégories telles que les rodenticides (pour lutter contre les rongeurs) ou les molluscicides (pour lutter contre les escargots et limaces), les corvicides contre les oiseaux, les acaricides (contre les acariens), les algicides (pour lutter contre les algues).

Selon la nature chimique de la substance active qui les compose, les pesticides se différencient aussi en différentes familles chimiques. Il en existe un grand nombre dont les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les triazines, les urées substituées... Cette classification ne permet pas de définir de manière systématique un composé. Certains pesticides peuvent, en effet, être composés de plusieurs fonctionnalités chimiques. Ils peuvent alors être classés dans une ou plusieurs familles chimiques.

Les pesticides peuvent se présenter sous forme de poudres, de granulés, de liquides ou de microcapsules. De ces différentes formes, plusieurs formulations sont obtenues en autres les poudres mouillables pour traitement humide (WS), les liquides pour application à très bas volume (UL), les concentrés émulsionnables (EC), les granulés solubles dans l'eau (SG).

## **2- Caractéristiques physico-chimiques des pesticides**

Les propriétés physico-chimiques permettent de connaître l'affinité de chaque substance pour un compartiment environnemental donné (eau, air et sol) et de prévoir la distribution de la substance entre ces différents compartiments, après utilisation dans un milieu biophysique donné. Ainsi, elles vont conditionner non seulement le devenir de chaque substance, ses concentrations finales ou temporaires dans chaque compartiment, mais également ses propriétés toxicologiques et de danger. En effet, le potentiel de transfert des produits phytosanitaires peut être évalué à partir de quelques propriétés physico-chimiques dont les plus importantes sont la solubilité, le coefficient de partage octanol/eau ( $K_{ow}$ ), la pression de vapeur, la constante de Henry ( $K_H$ ), le coefficient de partage sol/eau ( $K_d$ ) (**Diop, 2013**).

### **2-1- Solubilité dans l'eau**

La solubilité dans l'eau d'une molécule traduit sa facilité de dissolution après application. Elle est généralement donnée à 20°C ou 25°C. Les facteurs influençant la solubilité sont la composition et la structure moléculaire, la composition de la solution aqueuse dans laquelle a lieu la dissolution et la température (**Calvet et al., 2005**). Le tableau I nous montre les catégories de pesticides selon leur solubilité dans l'eau. Sauf indication contraire, l'unité pour l'hydrosolubilité est donnée en ppm (parties par million) qui correspond aux milligrammes par

litre (mg/L). Quand la solubilité est trop basse, les unités sont données dans le ppb (parties par billion) qui est identique aux microgrammes par litre ( $\mu\text{g/L}$ ) (Zacharia, 2011).

**Tableau I** : Catégories de pesticides regroupés approximativement selon leur solubilité dans l'eau

Domaine de solubilité dans l'eau mg/L	Familles chimiques	Caractère hydrophile	polarité	Caractère hydrophobe
$10^{-3}$ à $10^{-11}$	HAP, PCB	-	-	+
$10^{-4}$ à $10$	Organochlorés, Pyréthroïdes	↓	↓	↑
$10^{-1}$ à $10^2$	2,6-dinitroanilines, dérivés pyrimidiques	↓	↓	↑
$10$ à $10^3$	Azoles, Benzamides, Urées	↓	↓	↑
$10$ à $10^7$	Anilides, Carbamates, Organophosphorés	+	+	-

Source : (Calvet *et al.*, 2005)

## 2-2- Lipophilie et coefficient de partage octanol/eau ( $K_{ow}$ )

La propriété la plus importante contrôlant la pénétration et le transport des produits chimiques dans les plantes est la lipophilie, c'est-à-dire l'équilibre entre l'affinité des produits chimiques pour la phase aqueuse et pour la phase lipidique. La lipophilie détermine la facilité de transport à travers les membranes, formées de bicouches lipidiques, des plantes. Elle est généralement évaluée en utilisant le coefficient de partage octanol/eau,  $\log K_{ow}$  et peut être estimée à partir de la solubilité dans l'eau par les équations suivantes (Briggs *et al.*, 1982) :

- pour des liquides  $\log WS = 0,84 - 1,18 \log K_{ow}$

- pour des solides  $\log WS = 0,01 - \log K_{ow} - (0,01 T_m - 0,25)$

où WS représente la solubilité dans l'eau (mol/L) et  $T_m$  est le point de fusion en °C.

Le coefficient de partage octanol/eau ( $K_{ow}$ ), est défini comme le rapport des concentrations d'équilibre d'une substance dissoute dans un système biphasique constitué de deux solvants quasiment non miscibles : l'octanol et l'eau (Tissier *et al.*, 2005). Il donne une mesure de la distribution à l'équilibre d'une molécule organique entre une phase apolaire (octanol) et l'eau.

$$K_{ow} = \frac{C_{octanol}}{C_{eau}}$$

$C_{octanol}$  : concentration du composé dans l'octanol,  $C_{eau}$  : concentration du composé dans l'eau

Les pesticides avec de faibles valeurs  $K_{ow}$  (généralement  $\leq 2$ ) indiquent la translocation systémique probable de ces pesticides ou de leurs métabolites dans le système transvasculaire des plantes. Le  $K_{ow}$  est généralement influencé par la polarité du pesticide et les facteurs physiques généraux. Les pesticides polaires ont tendance à avoir de faibles valeurs de  $K_{ow}$  (Amiard, 2011).

Le coefficient de partage permet d'évaluer le caractère polaire des molécules :

- $\log K_{ow} < 1,5$  substances polaires, non bioaccumulables.
- $\log K_{ow} > 3$  substances apolaires, bioaccumulables.

L'octanol est un solvant qui possède une polarité très similaire à celle des membranes lipidiques, c'est pourquoi il est utilisé pour évaluer le caractère lipophile d'une molécule, donc sa capacité à se bioaccumuler dans les organismes vivants (Amiard, 2011).

### 2-3- Pression de vapeur et Constante de Henry ( $K_H$ )

La pression de vapeur et la constante de Henry permettent de caractériser l'aptitude d'un produit à se volatiliser : plus leurs valeurs sont élevées, plus le produit aura tendance à se volatiliser.

La pression de vapeur est la pression à laquelle un liquide et sa vapeur sont en équilibre à une température donnée. Elle s'exprime en Pascal (Pa) ou en mm Hg.

La constante de Henry caractérise la capacité d'une substance à se partager entre les deux phases d'un système binaire air/eau. Elle décrit la solubilité d'un gaz dans l'eau. Elle correspond au rapport de la pression de vapeur des pesticides purs et de leur solubilité dans l'eau (Calvet *et al.*, 2005).

$$K_H = \frac{\text{concentration de la phase gazeuse à l'équilibre avec la solution saturée}}{\text{solubilité dans l'eau}}$$

### 2-4- Coefficient de partage sol/eau

Le coefficient de partage  $K_d$  est défini comme le rapport des concentrations de pesticides dans un état de sorption (collées aux particules de sol) et dans la phase en solution (particules dissoutes dans l'eau du sol). Par conséquent, pour une quantité donnée de pesticides, plus  $K_d$  est faible et plus la concentration du pesticide en solution est élevée. Les pesticides caractérisés par une faible valeur de  $K_d$  sont plus susceptibles de donner lieu à une lixiviation dans les eaux souterraines par rapport à ceux dont le coefficient  $K_d$  est élevé (FAO, 2000). La sorption d'un pesticide est plus importante dans les sols à plus forte teneur en matières organiques.

## 2-5- Temps de demi-vie (DT50) et Rémanence

Le temps de demi-vie (DT50) est la période de temps nécessaire pour dégrader la moitié de la quantité de pesticide présente dans un milieu. Plusieurs facteurs abiotiques influencent la demi-vie des pesticides dans le sol (populations microbiennes, humidité du sol, température).

La rémanence est la persistance des pesticides dans le milieu. Elle est influencée par les conditions (température, humidité, pH du milieu), par l'activité de la biomasse microbienne et la présence d'autres pesticides ou substances chimiques dans le sol. Trois types de persistance peuvent être définies à savoir : la persistance chimique (durée pendant laquelle un pesticide peut être extrait et dosé), la persistance agronomique (durée pendant laquelle la molécule produit l'effet souhaité) et la persistance environnementale (durée pendant laquelle un pesticide produit un effet non souhaité sur les organismes vivants) (Calvet *et al.*, 2005).

Selon Regnault-Roger (2014), la persistance d'un produit dépend de la DT50. Ainsi, sont considérés comme :

- non persistants, les pesticides dont la  $DT50 < 30$  jours
- moyennement persistants, les pesticides dont  $30 < DT50 < 100$  jours
- persistants, les pesticides dont  $DT50 > 100$  jours

## 2-6- Bioaccumulation et bioamplification

La bioaccumulation et la bioamplification (ou biomagnification) retracent le mouvement des contaminants à travers les différents niveaux trophiques d'un écosystème.

La bioaccumulation est un processus par lequel certains contaminants ou substances toxiques en faible quantité voient leur concentration augmentée dans un organe, un organisme.

La bioamplification ou biomagnification est le processus par lequel certaines substances voient leur concentration augmenter à mesure qu'ils passent d'un niveau trophique à l'autre. Elle a lieu au niveau de la chaîne alimentaire et les consommateurs en fin de chaîne sont les plus sensibles.

## 3-Pesticides organochlorés

Groupe relativement large de produits chimiques, ce sont les pesticides de synthèse de première génération. Les pesticides organochlorés (POCs) sont des composés organiques obtenus par la chloration des hydrocarbures insaturés. Ils sont dérivés de la chloration d'hydrocarbures cycliques et/ou aromatiques, et sont parmi les plus anciens (De Jaeger *et al.*, 2012). Les POCs appartiennent à une classe, structurellement hétérogène, de pesticides formés principalement d'atomes de carbone, d'hydrogène et de chlore.

### 3-1- Historique des pesticides organochlorés

L'emploi des pesticides contre les ravageurs de culture remonte à l'antiquité. Le soufre et l'arsenic étaient utilisés respectivement en Grèce antique et chez les Romains comme insecticides. Des plantes, aux propriétés toxiques avérées, ont été aussi utilisées comme pesticides notamment l'Aconit qui luttait contre les rongeurs.

Le XIX<sup>ème</sup> siècle a vu le développement de la chimie minérale donnant naissance à différents produits phytosanitaires à base de sels de cuivre en outre la bouillie bordelaise. Cette dernière fut utilisée pour lutter contre les invasions fongiques dont le mildiou de la vigne et de la pomme de terre. Après la première guerre mondiale, l'ère des produits phytosanitaires organiques de synthèse débute avec le développement de la chimie organique. Les pesticides de première génération sont mis en place et le Dichloro-diphényl-trichloroéthane (DDT) en est le premier représentant. Le DDT fut synthétisé par Othmar Zeidler en 1873 à Strasbourg, cependant c'est en 1939 que Paul Muller, de la société J.R. Geigy à Bâle, a découvert ses propriétés insecticides. Il fut commercialisé en 1945 sous la forme de son isomère p,p'(Mouchet, 1994; Ensley, 2012). Après la synthèse du DDT, plusieurs autres pesticides organochlorés ont été produits, notamment le lindane ( $\gamma$ -HCH), l'endrine, l'endosulfan...

C'est en 1825 que l'Hexachlorocyclohexane (HCH) a été synthétisé par Faraday en versant du chlore sur du benzène en présence de lumière. Ses propriétés insecticides ne sont mises en évidence que dans les années 1930 et son utilisation comme insecticide se fit à partir des années 40 en même temps que le DDT (Fabre *et al.*, 2005).

Dans les années 1950, l'endrine et l'endosulfan sont mis sur le marché. L'endrine est d'abord développé par J. Hyman & Company, puis Shell International était autorisée à produire aux États-Unis et aux Pays-Bas, et Velsicol était l'autre producteur aux Pays-Bas. L'endosulfan quant à lui, a été mis sur le marché par Farbwerke Hoechst A.G. à Francfort, en Allemagne (maintenant Bayer) et FMC Corporation aux États-Unis.

### 3-2- Classification des pesticides organochlorés

Les organochlorés sont généralement des insecticides et ils peuvent être repartis principalement en trois groupes à savoir le groupe des dichlorophényléthanes, le groupe des cyclodiènes et le groupe des autres composés qui ont des structures différentes ( Scippo et Maghuin-Rogister, 2007; Kouzayha, 2011).



### 3-2-1- Le groupe des dichlorodiphénylétanes

Ce groupe comporte des composés formés par deux cycles benzéniques reliés par une chaîne latérale. Le DDT (1,1,1-trichloro-2,2-bis (p-chlorophényl) éthane) de qualité technique est un mélange de trois isomères : p,p'-DDT (85%), o,p'-DDT (15%), and o,o'-DDT (traces). Ils sont tous sous forme de cristaux de couleur blanche et presque inodores. Le DDT technique peut contenir aussi du DDE (1,1-dichloro-2,2-bis (p-chlorophényl) éthylène) et du DDD (1,1-dichloro-2,2-bis (p-chlorophényl) éthane) comme contaminants (ATSDR, 2002). Le DDD (C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>Cl<sub>4</sub>) et le DDE (C<sub>14</sub>H<sub>8</sub>Cl<sub>4</sub>) sont tous deux des métabolites du DDT (C<sub>14</sub>H<sub>9</sub>Cl<sub>5</sub>), issus respectivement de la dégradation anaérobie et de la biodégradation aérobie du DDT. Leurs différentes structures chimiques sont présentées dans le tableau II.

Dans ce groupe, on retrouve aussi les pesticides tels que le dicofol et le méthoxychlore.

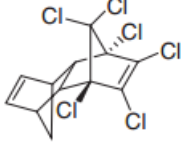
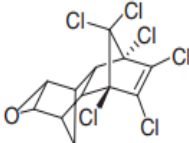
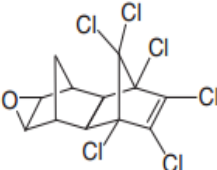
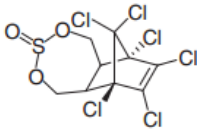
**Tableau II:** Structures chimiques de quelques pesticides organochlorés du groupe des dichlorodiphénylétanes

Structures chimiques			
Noms	DDT	DDD	DDE

### 3-2-2- Le groupe des cyclodiènes

Les cyclodiènes sont des dérivés de l'hexacyclopentadiène. Par une réaction de Diels-Alder, l'hexachlorobenzène réagit avec différentes molécules diénophiles dont la nature varie selon le produit à obtenir (tableau III).

**Tableau III:** Structures chimiques de quelques pesticides organochlorés du groupe des cyclodiènes

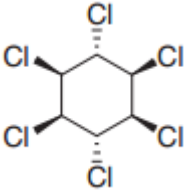
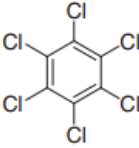
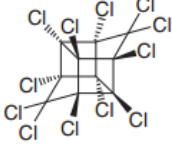
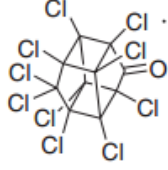
<b>Structures chimiques</b>				
<b>Noms</b>	Aldrine	Dieldrine	Endrine	Endosulfan

### 3-2-3- Le groupe des autres composés

Dans ce groupe se retrouvent tous les autres organochlorés de structures différentes à celles des composés précédents.

Ainsi on a, les hexachlorocyclohexanes ne comprenant qu'un seul cycle benzénique, mais avec plusieurs isomères, dont les principaux sont: HCH  $\alpha$ , HCH  $\beta$ , HCH  $\gamma$ . En effet, l'hexachlorocyclohexane (HCH) est une substance de synthèse, dont la fabrication produit un mélange d'isomères, constitué entre autres de 67-70 % d' $\alpha$ -HCH, de 13 % de  $\gamma$ -HCH et de 5-6 % de  $\beta$ -HCH. Les propriétés insecticides du HCH étant dues à l'isomère  $\gamma$ , le mélange technique est enrichi avec cet isomère et prend alors le nom de lindane ( $\geq 99$  %  $\gamma$ -HCH) (Lachambre et Fisson, 2007). Le HCH est issu de la chloration du benzène. Appartient aussi à ce groupe, l'hexachlorobenzène, le mirex, le chlordecone (tableau IV).

**Tableau IV:** Structures chimiques de quelques pesticides organochlorés du groupe des autres composés

<b>Structures chimiques</b>				
<b>Noms</b>	$\gamma$ -HCH ou Lindane	Hexachlorobenzène	Mirex	Chlordécone

### 3-3- Caractéristiques des organochlorés

Les pesticides organochlorés sont des insecticides à spectre large qui agissent par contact ou par ingestion et ont pour la plupart, un effet néfaste sur le système nerveux (**Ensley, 2012; Mrema et al., 2014**). Les pesticides organochlorés sont semi-volatils donc peuvent se retrouver dans l'atmosphère. La stabilité de leur liaison carbone-chlore, leur confère une résistance à la dégradation qui a pour effet d'augmenter leur temps de demi-vie. Ils persistent donc dans l'environnement (**Bempah et al., 2012**). Par ailleurs, la dégradation de certains organochlorés conduit à des métabolites plus persistants et toxiques que les composés d'origine. Les pesticides organochlorés sont liposolubles, peuvent s'accumuler dans les tissus adipeux des organismes vivants et leur concentration augmente dans la chaîne alimentaire. Les pesticides organochlorés sont pour la plupart considérés comme polluants organiques persistants (POPs) et font preuve d'interdiction ou de restriction sévère par la convention de Stockholm relative aux POPs (**Sah et Joshi, 2011**).

### 3-4- Caractéristiques des pesticides retenus

#### 3-4-1- Le DDT (Dichlorodiphényltrichloroéthane)

Synthétisé pour la première fois en 1874, les propriétés insecticides du DDT furent découvertes en 1939 par Paul Muller (**Ensley, 2012**). Dans les années 1960, Rachel Carson, une biologiste américaine publia un livre intitulé « Silent Spring » (Printemps silencieux), dans lequel le DDT était présenté comme ayant des effets cancérigènes et reprotoxiques. Ainsi dans les années 1970, l'utilisation du DDT s'est vue interdite peu à peu dans certains pays. Le DDT se présente sous la forme d'un solide blanc cristallin sans odeur ni goût. Ses principaux métabolites sont le DDE (Dichlorodiphényldichloroéthylène) et le DDD (Dichlorodiphényldichloroéthane). Selon le rapport de l'OMS écrit en 1989 et rapporté par le conseil canadien des ministres de l'environnement, le DDT commercial est composé essentiellement de p, p' DDT et de o, p' DDT avec de petites quantités de DDE et de DDD (**CCME, 1999**). Le DDE et le DDD sont tous deux des métabolites de la dégradation du DDT. La dose létale entraînant la mort de 50% de la population (DL50), par voie orale, est de 113 -800 mg/kg chez le rat (**Burr, 2014**). Les effets aigus chez les humains exposés à des niveaux de DDT faibles à modérés peuvent inclure des nausées, des diarrhées, une augmentation de l'activité enzymatique du foie et une irritation des yeux, du nez et / ou de la gorge. Des tremblements et des convulsions peuvent survenir à des doses plus élevées (**Sah et Joshi, 2011**). Les expositions les plus faibles entraînant la mort sont de 50 mg / kg pour le DDT et de 500 mg / kg pour le DDD (**Burr, 2014**). Le DDT peut interagir avec le système

endocrinien et causer des troubles sur la santé. En effet selon De Coster et Van Larebeke, (2012), il possède des activités oestrogénique et antiandrogénique. Le DDT est inclus à l'annexe B de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistant (Mrema *et al.*, 2014). Il est classé à la catégorie 2A (probablement cancérigène pour l'homme) par le centre international pour la recherche sur le cancer (CIRC) (CIRC, 2015) avec une Dose Journalière Admissible (DJA) de 0,01mg/kg de poids corporel. Selon les conditions, le DDT peut persister dans l'environnement avec un DT50 pouvant atteindre 30 ans (Sah et Joshi, 2011; Burr, 2014).

### 3-4-2- Le Lindane ou le $\gamma$ -Hexachlorocyclohexane

Le Lindane est l'un des principaux isomères de l'hexachlorocyclohexane obtenu par réaction de synthèse entre le benzène et le chlore et le seul à être utilisé pour ses propriétés insecticides. Les autres étant des isomères inactifs (INERIS, 2007b). L'Hexachlorocyclohexane technique est composé de 60–70%  $\alpha$ -HCH, 5–12%  $\beta$ -HCH, 10–15%  $\gamma$ -HCH, 6–10%  $\delta$ -HCH, et de 3–4%  $\epsilon$ -HCH (ATSDR, 2005). La DL50 par voie orale chez le rat est de 76–190 mg/kg (Ensley, 2012). Chez l'homme, les effets d'une exposition aiguë à de fortes concentrations de lindane peuvent aller d'une légère irritation cutanée à des vertiges, des maux de tête, de la diarrhée, des nausées, des vomissements et même des convulsions et la mort (Sah et Joshi, 2011). Des doses létales de 180 mg/kg à 300 mg/kg sont rapportées (INERIS, 2007b) et une activité anti-androgénique est signalée (De Coster et Van Larebeke, 2012). Des études menées aux Etats Unis et au Canada ont mis en évidence une augmentation du risque de 60% de lymphome non hodgkinien (LNH) chez des personnes exposées au Lindane. Ce qui a permis sa classification dans le groupe 1 (cancérigène pour l'Homme) par le CIRC (CIRC, 2015). Le Lindane est aussi indexé dans l'annexe A de la convention de Stockholm ainsi que l' $\alpha$  HCH et le  $\beta$  HCH (Mrema *et al.*, 2014). La DJA recommandée par le codex alimentarius est de 0,005 mg/kg de poids corporel. Le Lindane peut avoir une persistance d'environ 2 à 3 ans dans le sol (UNEP, 2006).

### 3-4-3- L'Endrine

L'Endrine est un insecticide foliaire obtenu par condensation du chlorure de vinyl et de l'hexachlorocyclopentadiène. L'adduit ainsi formé est déhydrochloré et mis en réaction avec le cyclopentadiène pour former de l'isodrine époxydée par l'acide peracétique ou perbenzoïque synthétisant ainsi l'endrine. C'est un isomère du dieldrine et le produit commercial est pur à 92% avec des impuretés telles que l'isodrine, le dieldrine, l'aldrine (INERIS, 2007a). La DL50 par voie orale chez le rat est 3 mg/kg de poids corporel (Ensley,

2012). Chez l'Homme, les effets dus à une exposition à de forte concentration de l'endrine affectent principalement le système nerveux (Sah et Joshi, 2011). L'Endrine peut perturber le système endocrinien en provoquant des troubles liés à ses activités oestrogénique, anti-oestrogénique et anti-androgénique. Il est considéré comme un polluant organique persistant et est classé dans l'annexe A de la convention de Stockholm (Mrema *et al.*, 2014). Il est persistant dans le sol avec un DT50 de plus de 10 ans (ATSDR, 1996; Sah et Joshi, 2011). Sa Dose Journalière Admissible (DJA) recommandée par le codex alimentarius est de 0,0002 mg/kg de poids corporel. Les études étant insuffisantes pour conclure à l'existence ou non d'une relation de cause à effet entre l'exposition à l'Endrine et le cancer, les experts du CIRC ont classé l'endrine dans le groupe 3 (Agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme) (CNRS/PRC, 2017).

### 3-4-4- L'Endosulfan

Synthétisé pour la première fois dans les années 1950, l'Endosulfan est un insecticide fabriqué à partir d'hexachlorocyclopentadiène par réaction diénique avec le butane-diol, suivie d'une cyclisation avec le chlorure de thionyl et du cis-butène-1,4-diol. L'Endosulfan commercial est un mélange de deux stéréoisomères  $\alpha$  et  $\beta$  dans les proportions de 7 : 3 (Traore *et al.*, 2007; Kumar *et al.*, 2008; ATSDR, 2015). L'endosulfan a à la fois des effets néfastes sur le système nerveux des insectes et de l'Homme (PAN / IPEN, 2008). L'intoxication aiguë à l'endosulfan peut provoquer des convulsions, des troubles psychiatriques, l'épilepsie, une paralysie, un œdème cérébral, des troubles de la mémoire et la mort (Sah et Joshi, 2011). L'endosulfan développe des effets perturbateurs endocriniens en ayant des activités oestrogénique, anti-oestrogénique, et anti-androgénique (De Coster et Van Larebeke, 2012). L'endosulfan fut inscrit au nombre des substances chimiques prises en compte par la convention de Stockholm en 2007 (Janssen, 2011) et se trouve dans l'annexe A de cette dernière (Sah et Joshi, 2011, Mrema *et al.*, 2014). La DL50 est de 18–76 mg/kg chez le rat par voie orale (Ensley, 2012) tandis que la DJA est de 0,006 mg/kg de poids corporel. L'Endosulfan peut persister dans le sol avec un DT50 de 9 mois à 6 ans (Jayashree *et al.*, 2006; Sah et Joshi, 2011).

## 4-Pesticides et santé

### 4-1- Effets des pesticides sur la santé

La toxicité des pesticides est conditionnée par plusieurs facteurs, dont le mode de pénétration et le devenir du produit dans l'organisme. L'exposition aux pesticides peut se produire directement dans le cadre de leur fabrication ou de leurs utilisations professionnelles

ou domestiques, mais aussi indirectement par l'air, le contact de surfaces contaminées ou la consommation des eaux et denrées alimentaires contaminées (INSERM, 2013). Qu'il s'agisse d'expositions professionnelles ou environnementales, ces substances pénètrent dans l'organisme selon trois voies : la voie cutanée, la voie digestive (ou orale) et la voie respiratoire ou à travers le placenta (Gilden *et al.*, 2010) en ce qui concerne la contamination du fœtus.

Une fois dans l'organisme, les résidus de pesticides sont soit éliminés ou stockés dans certains organes ou tissus. Plusieurs études ont mis en évidence la présence de résidus de pesticides dans différentes matrices biologiques humaines : l'urine, le sang, les tissus adipeux, le cordon ombilical, le lait maternel, les cheveux, le cerveau, le foie, les reins et le myocarde (Anger et Kintz, 2009; Mrema *et al.*, 2014).

Des résidus de pesticides ont été retrouvés dans le lait maternel au Kenya (Kinyamu *et al.*, 1998), en Chine, au Japon et en Corée (Fuji *et al.*, 2011).

En Côte d'Ivoire, certaines études ont montré la présence de résidus de pesticides organochlorés dans des échantillons de tissus adipeux et de lait maternel appartenant à des femmes habitant certaines zones agricoles (Traoré *et al.*, 2002; Allé *et al.*, 2009).

Les effets des pesticides sur la santé humaine peuvent être aigus ou chroniques en fonction de la dose interne absorbée et accumulée. Ainsi, les effets aigus, qui surviennent à court terme, sont dus à l'absorption d'une dose massive de produit. Les effets chroniques quant à eux, apparaissent suite à l'absorption de faibles doses de substances durant plusieurs jours, plusieurs mois, voire plusieurs années.

En dehors des intoxications aiguës accidentelles ou volontaires, l'exposition répétée à ces produits ou la consommation d'aliments contaminés par leurs résidus de pesticides peuvent être à l'origine de divers troubles pour la santé humaine : perturbations endocriniennes, dérèglement du système immunitaire, apparition de certains types de cancers, troubles de la reproduction (Anger et Kintz, 2009). Les pesticides pourraient être aussi associés à certaines maladies métaboliques. En effet, une étude menée sur la population d'une région du Bénin, a mis en évidence la relation entre le niveau sérique de pesticides organochlorés et le niveau du diabète ou de l'obésité (Azandjeme, 2014).

Certains pesticides sont aussi considérés comme étant des perturbateurs endocriniens car ils interagissent avec le système endocrinien. Les effets perturbateurs endocriniens sont une source importante d'inquiétudes. Selon l'*Endocrine Disrupter Resource Center* (EDRC) des États-Unis, il ne suffirait que de concentrations infimes (ppb ou µg/l) dans l'organisme

humain pour que certains pesticides aient des effets sur le système endocrinien (**Tellier, 2006**).

Les perturbateurs endocriniens interagissent avec le système endocrinien par plusieurs voies (**Scippo et Maghuin-Rogister, 2007; Ait El Cadi et al., 2011**) : soit en mimant ou en bloquant les effets des hormones naturelles, soit en interférant avec les activités enzymatiques concourant à la synthèse hormonale...

Suite à ses recherches, **Charlier (2009)** a conclu que les différentes études épidémiologiques étaient en faveur d'une influence des pesticides organochlorés sur l'incidence de pathologies hormono-dépendantes chez l'Homme notamment, le cancer du sein et l'endométriase chez la femme, l'hypofertilité chez l'homme et la puberté précoce chez la fillette.

Par le biais de son alimentation, le consommateur peut être exposé à un mélange de pesticides à faibles doses et à long terme. Selon la fonction étudiée ou le paramètre de la fonction physiologique étudiée, les effets des mélanges peuvent être cumulatifs, antagonistes, additifs ou synergiques (**Gamet-payrastre, 2011; INSERM, 2013**).

#### **4-2-Mécanismes d'action des pesticides organochlorés dans l'organisme**

Une fois ingéré à travers les aliments contaminés, les pesticides organochlorés sont rapidement absorbés par l'intestin grêle et distribués dans tout l'organisme. Ils s'accumulent dans les tissus corporels riches en lipides, tels que le tissu adipeux. Il se produit alors un échange continu entre le sang et les tissus (**Mrema et al., 2014**). Chez les femmes enceintes et celles qui allaitent, les phytosanitaires passent respectivement à travers le placenta et le lait maternel contaminant ainsi l'enfant.

Les mécanismes par lesquels les pesticides organochlorés exercent leur toxicité sont divers. Les pesticides organochlorés sont pour la plupart neurotoxiques. Ils agissent en inhibant la  $Mg^{2+}$ ATPase du Système Nerveux Centrale et la pompe  $Na^+/K^+$  ATP-dépendante, enzymes respectivement associées aux phosphorylations oxydatives et au maintien des potentiels de membrane (**Aligon et al., 2010**). Les insecticides organochlorés de type DDT affectent les nerfs périphériques et le cerveau en ralentissant l'afflux de sodium et en inhibant le flux de potassium. Les cyclodiènes agissent en bloquant le canal chlorure des récepteurs de l'acide gamma-aminobutyrique (GABA) et en inhibant la neurotransmission GABA-ergiques (**Mrema et al., 2014**).

Différentes études ont mis en évidence les effets cancérigènes des organochlorés. Les mécanismes d'action varient d'un pesticide à un autre ou d'un tissu à un autre. Certains

pesticides pourraient avoir des effets génotoxiques responsables de la cancérogénèse, engendrant ainsi des dommages au niveau de l'ADN ou des chromosomes dus aux pesticides eux-mêmes ou à leurs métabolites. Par ailleurs les effets cancérogènes pourraient apparaître suite au stress oxydant généré par d'autres pesticides.

Certains pesticides ou leurs métabolites sont capables de se fixer sur des récepteurs tels que le récepteur aux œstrogènes (ER), le récepteur aux androgènes (AR), le récepteur aux rétinoïdes (RAR), les récepteurs activés par les proliférateurs de peroxyosomes (PPAR) et le récepteur T3R aux hormones thyroïdiennes (**Du et al., 2010; INSERM, 2013**), conduisant par conséquent à des perturbations endocriennes. Ainsi le DDT est capable de se lier aux récepteurs des œstrogènes tandis que son métabolite le DDE possède plutôt une activité anti-androgénique (**Ait El Cadi et al., 2011; Burr, 2014**). L'endosulfan, l'alachlore et la chlordécone sont capables de se lier au récepteur de la progestérone (**INSERM, 2013**).

### **5- Devenir des pesticides après application**

Après leur épandage sur les cultures, les pesticides peuvent se volatiliser vers l'atmosphère, se fixer dans le sol, être entraînés par l'eau en profondeur, ou encore se retrouver dans les eaux de ruissellement superficielles. Divers phénomènes influencent le devenir des pesticides dans l'environnement notamment les phénomènes de transfert et les phénomènes de dégradation. Les phénomènes de transfert entraînent la dispersion des pesticides dans l'environnement et sont entre autres l'adsorption, la volatilisation, le ruissellement, l'infiltration, l'absorption... Les phénomènes de dégradation peuvent être dus soit à des microorganismes (dégradation biologique), soit à des réactions chimiques (dégradation chimique), soit aux rayonnements solaires (photodégradation).

Les pesticides organochlorés peuvent se propager dans l'environnement, contaminant différentes matrices. La pollution peut être liée à l'ancienne production, au stockage, à l'application et au processus de transport naturel de ces polluants (**Lambelet et Juc, 2009**).

#### **5-1- Devenir des pesticides dans le sol**

Après leur application, la plupart des pesticides atteignent le sol, soit parce qu'ils y sont directement apportés, soit à la suite du lessivage du feuillage des plantes (cultures et/ou adventices). Le sol est donc un compartiment clé dans le devenir des pesticides. Dans les sols, hormis la volatilisation, les principaux processus conditionnant le devenir des pesticides sont la dégradation (biotique et abiotique) et la rétention (**Chaplain et al., 2011**). Le sol joue un rôle d'interface, de telle sorte que le comportement des pesticides dans les sols va



conditionner leur persistance et leur dispersion vers d'autres compartiments de l'environnement.

La dégradation est la transformation du polluant provoquant des modifications de la structure moléculaire avec apparition des produits de dégradation. La minéralisation du polluant avec la transformation du carbone organique en CO<sub>2</sub>, est le dernier processus de dégradation et le seul engendrant la complète élimination du polluant (**Wenk et al., 1998**). Lorsque la molécule résiste à ces processus, on parle de persistance.

Le terme de "rétention" englobe l'ensemble des phénomènes qui font passer les molécules pesticides dans la phase solide. C'est un processus qui immobilise à plus ou moins long terme les molécules de pesticides et leurs produits de transformation.

Les produits phytosanitaires se répartissent dans le sol à travers les trois (3) phases: aqueuse, gazeuse, ou particulaire (solide). Sous forme liquide ou gazeuse, les produits phytosanitaires sont mobiles et sont soumis à des processus de dégradation par les micro-organismes et de transport en profondeur ou par ruissellement. Sous forme particulaire, ils peuvent séjourner très longtemps dans le sol, étant adsorbés à ses constituants.

Les pesticides peuvent être transférés du sol à la plante via les racines. En effet, lorsqu'ils sont solubles dans la solution du sol, ils sont absorbés par les racines puis transloqués dans toute la plante par la sève brute. Les pesticides peu solubles dans la solution du sol peuvent rester adsorbés sur les racines et pénétrer dans la plante par voie cellulaire. En effet, ils sont capables de traverser l'épiderme racinaire ou le périoderme du tubercule, puis le cortex et pénétrer jusque dans la stèle (**Letondor, 2014**). Pour qu'une molécule puisse être transférée du sol à la plante, il faudrait qu'elle soit disponible. Cependant, bien qu'ils soient fortement adsorbés à la matière organique, les pesticides organochlorés sont disponibles pour la plante qui peut les accumuler (**Calvelo Pereira et al., 2008**).

## 5-2-Contamination des sols par les pesticides

Au Ghana, une étude menée par **Fosu-Mensah et al (2016)** a mis en évidence la présence de résidus de quatre pesticides organochlorés dans les sols sous cultures cacaoyères, notamment le lindane (0,005–0,05 mg/kg), le beta-HCH (<0,01–0,05 mg/kg), le dieldrine (0,005–0,02 mg/kg), et le p, p'-DDT (0,005–0,04 mg/kg). Aussi, l'analyse des sols de différents anciens sites de stockage des pesticides organochlorés en Tanzanie, a montré que les sols présentaient encore des résidus de pesticides 5 à 14 ans après le nettoyage (**Mahugija et al., 2014**). Les concentrations de DDT total et de HCH total atteignaient respectivement 250 000 et 164 000 mg/kg, tandis que les concentrations les plus élevées pour les autres

composés allaient de 29 à 3 300 mg/kg. Selon les études menées au Mali par **Maiga et al (2014)** dans une zone de production de coton et de céréales, les sols des cultures présentent des niveaux de résidus moyens de 0,1 à 3,5 µg/kg de DDT et de ses métabolites, limite de détection à 4,2 µg/kg de endosulfan sulfate et 2,5 à 6,2 µg/kg de cyperméthrine. Par ailleurs, les recherches effectuées en 1997 par le laboratoire d'écotoxicologie (LABECO) en Côte d'Ivoire, font état de ce que les échantillons de sols prélevés dans des zones cacaoyères, maraichères et bananières présentaient tous des résidus du lindane, de l'aldrine et du dieldrine. L' $\alpha$ -endosulfan, l'heptachlore et le OP'-DDD ne furent trouvés que dans les échantillons de sols de zones cacaoyères et l'endrine seulement en zones bananières (**PNM, 2006**).

### 5-3- Contamination des produits agricoles par les pesticides

La contamination des produits agricoles est essentiellement liée à l'usage agricole des pesticides pour protéger les cultures.

Le transfert sol-plante des pesticides dépend non seulement des propriétés physico-chimiques des molécules considérées mais aussi des processus physiologiques impliquées dans le développement de la plante.

Plusieurs travaux de recherches font cas de la contamination des denrées agricoles par les pesticides. **Ngom et al, (2012)** ont détecté des teneurs de résidus de pesticides (diméthoate, métamidophos, dicofol, endosulfan et déltaméthrine) supérieures aux limites admises, dans 97% de légumes échantillonnés au Sénégal.

Des études réalisées en Côte d'Ivoire (**Biego et al., 2009**) en Tanzanie (**Mtashobya et Nyambo, 2014**), au Nigéria (**Benson et Olufunke, 2011**) et au Togo (**Mawussi, 2008**), ont révélé des contaminations de fruits et légumes, par divers pesticides organochlorés, bien qu'ils soient interdits d'utilisation.

La contamination des sols par les pesticides entraîne celle des organes souterrains (racines, tubercules) des végétaux directement en contact avec la source de pollution. Les recherches menées par différents auteurs à ce sujet, font état de la présence de résidus de pesticides dans des tubercules (igname, patate douce, manioc...) (**Adeyeye et Osibanjo, 1999; Bellec et Godard, 2002; Aikpo et al., 2016**).

### 5-4- Devenir des résidus de pesticides dans les aliments après leur transformation

La plupart des aliments sont préparés ou transformés avant consommation. Cela permet de modifier leur qualité gustative. Les traitements peuvent être effectués à température ambiante, par application de chaleur et par refroidissement. Il existe diverses méthodes de

préparation telles que la cuisson au four, la cuisson à l'eau, la friture, la mise en conserve, le blanchiment, l'extraction de jus, l'extraction d'huile... Ces méthodes font appel aussi à des opérations unitaires notamment l'épluchage, le lavage, le trempage...

Les techniques de préparations utilisées pour la transformation des cultures vivrières influencent le taux de résidus de pesticides qui y sont présents. En effet, certaines techniques et méthodes réduisent ou éliminent le taux de résidus de pesticides dans les aliments (**Štěpán et al., 2005; Kaushik et al., 2009; Bajwa et Sandhu, 2011; González-Rodríguez et al., 2011**). **Azizi (2011)** a montré que le processus de fermentation permettait de réduire la concentration du malathion et du diazinon dans les végétaux. Quant à **Zohair (2001)**, il a mis en évidence la réduction de certains pesticides organochlorés et organophosphorés dans les pommes de terre par le trempage dans différentes solutions. Cet auteur a trouvé que les solutions acides avaient plus d'effet réducteur que les solutions alcalines et neutres. Une étude sur les tomates et certains de ses produits dérivés a révélé que l'épluchage, le lavage à l'eau et ou au détergent, la congélation, l'extraction de jus, la cuisson sous forme de pâte, aidaient à réduire la concentration en résidus de pesticides dans ces dernières (**Abou-Arab, 1999**).

Bien que certaines techniques et méthodes de préparation et de transformation réduisent le taux de résidus dans les aliments, dans d'autres cas l'on constate une augmentation de leur concentration (**Keikotlaile et al., 2010**). De telles observations ont été faites avec l'élimination de l'eau par exemple dans les tomates utilisées pour le ketchup de tomate, dans la production de fruits secs tels que les raisins secs et les pruneaux, ou lors de la friture de pommes de terre (**González-Rodríguez et al., 2011**). Lors de l'extraction des huiles végétales ou de la fabrication du beurre, on observe une accumulation des composés lipophiles dans les produits dérivés. Cette accumulation entraîne donc une augmentation de la concentration des pesticides lipophiles dans les huiles ou beurres plus que dans les matières premières (**Hamilton et al., 2004; Štěpán et al., 2005; Kaushik et al., 2009; Jiang et al., 2013**). La transformation des aliments peut aussi dans certains cas, conduire à la formation de sous-produits ou de métabolites plus toxiques que les pesticides d'origine, dans les aliments (**González-Rodríguez et al., 2011; Han et al., 2013**). Au cours du processus d'extraction d'huile d'olive par exemple, le sulfoxyde de fenthion et l'endosulfan sulfate, les principaux métabolites du fenthion et de l'endosulfan, respectivement, ont été détectés dans l'huile (**Amvrazi et Albanis, 2008**).

D'un point de vue efficace, les programmes de surveillance de la salubrité des aliments doivent tenir compte de toutes ces éventualités pour mieux appréhender les risques potentiels auxquels la population est exposée. Connaître le comportement des pesticides au cours des

traitements appliqués aux aliments est important car cela permettra de définir un facteur de traitement. Le facteur de traitement est le ratio des niveaux de résidus dans les produits transformés et les produits agricoles bruts ou les produits à transformer (**OECD, 2008**). Le facteur de traitement est utilisé pour mener des évaluations de l'exposition alimentaire raffinées avec des produits de première transformation afin d'évaluer la sécurité des consommateurs.

## 6- Règlementation

Les différentes études précitées montrent clairement que les pesticides représentent un réel danger et peuvent avoir des effets nocifs sur la santé humaine et l'environnement. La protection contre les pesticides constitue donc un enjeu majeur pour préserver la santé des populations. Pour cela, des réglementations portant sur les pesticides ont été mises en place par différentes structures internationales et nationales.

Les pesticides utilisés pour la protection des cultures laissent inévitablement des résidus dont la présence dans les aliments destinés à la consommation humaine constitue un facteur de risques sanitaires pour les consommateurs. Ainsi pour protéger la santé publique et garantir une bonne utilisation des pesticides, les gouvernements ont établi des limites légales pour les résidus de pesticides dans les commodités alimentaires.

L'intérêt public concernant les résidus de pesticides dans les produits de consommation n'a cessé d'augmenter ces vingt-cinq dernières années. Cette situation a conduit à une réglementation fixant des limites maximales de résidus (LMR) des résidus de pesticides dans les différents produits agricoles (**Haib et al., 2003**). Selon le Codex, la LMR est la concentration maximale de résidus de pesticide (exprimée en mg/kg) recommandée par la Commission du Codex Alimentarius (CCA) comme légalement permise sur ou dans les denrées alimentaires et les produits destinés aux animaux. Elle correspond toujours à un couple de matière active/aliment. Quand les pesticides sont appliqués suivant les bonnes pratiques agricoles, les LMR ne sont en général pas dépassées (**El Mrabet, 2008**). Elles sont établies à partir de différentes études toxicologiques, écotoxicologiques, biologiques, agronomiques et varient d'une substance à une autre. Les limites maximales de résidus peuvent être définies sur le plan national ou international. Ainsi peut-on rencontrer les LMR de l'Union Européenne, celles du Codex Alimentarius, celles du Canada. En cas d'absence de LMR réglementaire, une valeur de 0,01 mg/kg est utilisée par défaut. A côté des LMR, la CCA a défini des LMRE (limites maximales de résidus d'origine étrangère) qui s'appliquent aux résidus de pesticides issus de l'environnement (usages agricoles antérieurs) ou de sources

autres que l'utilisation directe ou indirecte sur le produit destiné à l'alimentation humaine ou animale. C'est la concentration maximale du résidu d'un pesticide recommandée par la CCA afin qu'elle soit légalement reconnue ou autorisée comme acceptable dans ou sur une denrée alimentaire destinée aux Hommes ou aux animaux (FAO/OMS, 2018).

Pour assurer la sécurité de l'opérateur et du consommateur, différents seuils toxicologiques sont définis.

La DJA (Dose Journalière Admissible ou Admissible Daily Intake ; ADI) est définie comme la quantité de substance qui peut être ingérée quotidiennement par le consommateur tout au long de sa vie sans effets néfastes pour sa santé. Elle s'exprime en mg de substance active par kg de poids corporel et par jour, et est calculée à partir d'une DSE (Dose sans effet observé ou No-Observed Effect Level, NOEL) ou d'une DSENO (Dose sans effet nocif observé ou No-Observed Adverse Effect Level, NOAEL) et d'un facteur de sécurité ou d'incertitude (FS ou FI) variant de 100 à 1000.

La ARfD (dose de référence aiguë ou Acute Reference Dose) désigne la quantité maximale de substance active qui peut être ingérée sur une courte durée (une journée, un repas), sans effet adverse pour la santé du consommateur. Exprimée en mg de substance active par kg de poids corporel, elle est aussi calculée à partir d'une DSE et d'un facteur de sécurité, et est en général supérieure à la DJA.

La NEAO (Niveau d'Exposition Acceptable pour l'Opérateur ou Acceptable Operator Exposure Level ; AOEL) est par définition la quantité maximale de substance active à laquelle l'opérateur peut être exposé quotidiennement sans effet nocif pour sa santé. Elle est exprimée en mg de substance active par kg de poids corporel par jour.

## **7- Techniques d'analyse des pesticides**

Les résidus de pesticides présents dans les matrices environnementales et les denrées alimentaires sont identifiés et quantifiés au moyen d'une technique chromatographique soit la chromatographie en phase gazeuse (CPG) ou la chromatographie en phase liquide haute performance (HPLC) couplée à des détecteurs universels (MS, spectromètre de masse ; MS/MS, spectromètre de masse en tandem) ou sélectifs (ECD, détecteur à capture d'électrons ; NPD, détecteur de phosphore azoté ; FPD, détecteur photométrique à flamme ; UV, détecteur ultraviolet ; FLD, détecteur fluorimétrique...), après une étape adéquate de préparation des échantillons (Cunha *et al.*, 2011).

### 7-1- Chromatographie en phase gazeuse

Le principe de la chromatographie en phase gazeuse est basé sur l'équilibre de partage des analytes entre une phase stationnaire et une phase mobile. Ces deux phases sont représentées respectivement par une colonne qui peut être remplie ou capillaire et par un gaz vecteur inerte tel que l'azote, l'hélium, l'hydrogène ou l'argon.

La CPG est utilisée pour l'analyse des composés thermostables, non polaires et semi-polaires, volatils et semi-volatils (**Lehotay et Hajs, 2002**). Elle peut servir à l'analyse des pesticides organochlorés dans différentes matrices (tableau V).

**Tableau V** : Quelques exemples d'études sur l'analyse des pesticides organochlorés réalisée par chromatographie en phase gazeuse

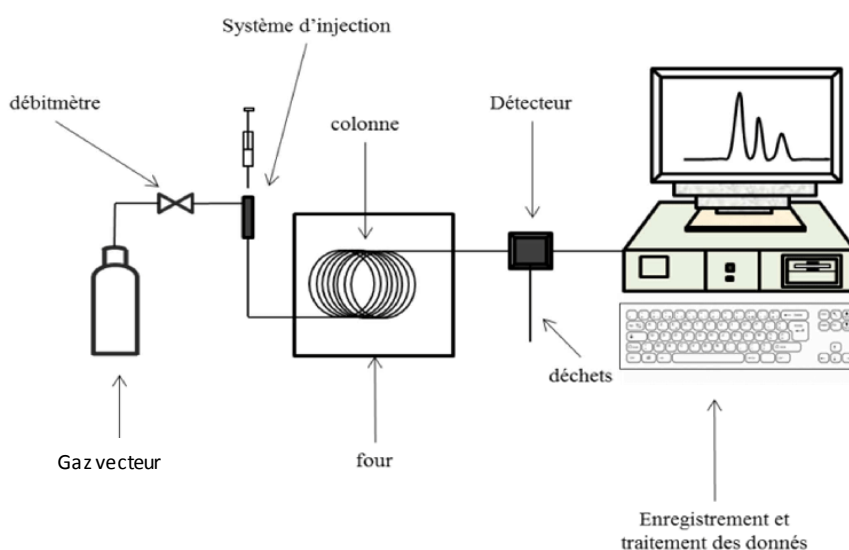
<b>Auteurs</b>	<b>Composés recherchés</b>	<b>Matrices</b>	<b>Détecteurs</b>
<b>Wasswa <i>et al.</i>, 2011</b>	Endosulfans, DDTs, HCHs, aldrine, dieldrine, heptachlores, chlordane	sédiments	ECD
<b>Bempah <i>et al.</i>, 2012</b>	DDTs, lindane, endrine, dieldrine, heptachlores	légumes	ECD
<b>Kouadio <i>et al.</i>, 2014</b>	DDTs, HCHs, Endosulfan et Dieldrine.	Oeuf et lait caillé	ECD
<b>Juc <i>et al.</i>, 2006</b>	DDT et HCH	Sols (agricoles et de dépôts de stockage)	MS
<b>Guo <i>et al.</i>, 2014</b>	DDTs, BHCs, HCB, heptachlores, chlordanes, endosulfan, mirex	serum	HRMS

L'appareil utilisé est un chromatographe comprenant :

- une bombonne contenant le gaz vecteur dont le flux est contrôlé par un contrôleur de flux
- un injecteur qui peut être muni d'une fonction Split/Splitless. Si le mode Split permet de ne pas injecter la totalité de l'échantillon ; il est plus adapté aux échantillons

concentrés, le mode Splitless quant à lui permet l'injection totale de l'échantillon et est plus adapté aux échantillons très dilués

- un four dont la température peut être ajustable et programmable. Lorsque la température est gardée constante tout au long de l'analyse, la méthode est dite « isotherme ». A l'inverse, lorsque cette température augmente au cours de l'analyse : cette méthode est appelée « gradient ».
- une colonne contenue dans le four
- un détecteur
- un moniteur



**Figure 1** : Schéma descriptif de la chromatographie en phase gazeuse (Hoi, 2013)

## 7-2- Chromatographie en phase liquide haute performance

Le principe de cette technique repose sur le partage des composés d'un mélange entre une phase mobile liquide dans laquelle ils sont solubles et une phase stationnaire contenue dans la colonne.

La chromatographie en phase liquide haute performance est utilisée pour l'analyse des composés thermolabiles, polaires, et/ou non volatils qui ne sont pas faciles à faire par chromatographie en phase gazeuse (GC) (Lehotay *et* Hajs, 2002). Plusieurs études font cas aussi de l'utilisation de l'HPLC pour l'analyse des pesticides organochlorés (tableau VI).

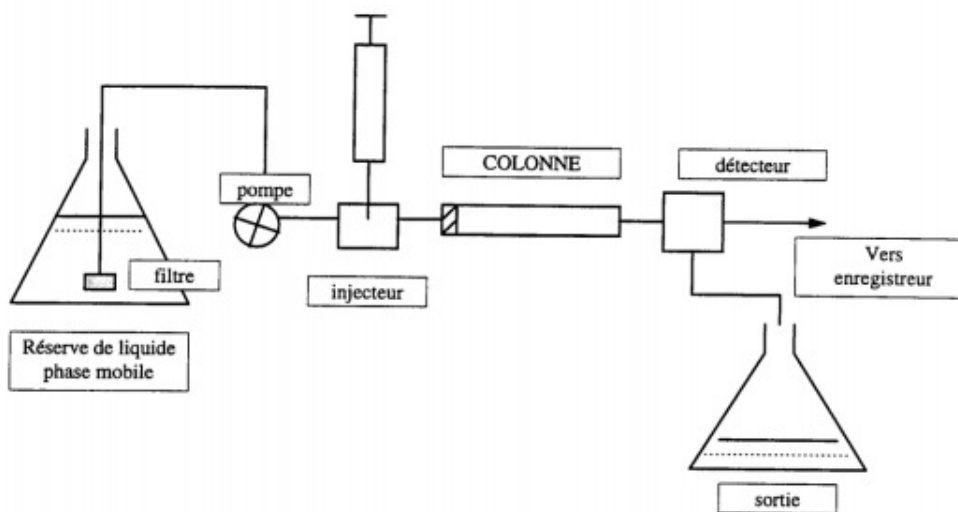
**Tableau VI** : Quelques exemples d'études sur l'analyse des pesticides organochlorés réalisée par chromatographie en phase liquide haute performance

<b>Auteurs</b>	<b>Composés recherchés</b>	<b>Matrices</b>	<b>Détecteurs</b>
<b>Asi <i>et al.</i>, 2008</b>	DDT et ses métabolites	eau	UV-Visible
<b>Akan <i>et al.</i>, 2014</b>	dieldrin, aldrin, DDT, DDE, DDDs	Eau, sédiments	UV-visible
<b>Siddique <i>et al.</i>, 2003</b>	Endosulfan et ses métabolites	eau	UV-visible
<b>Nather et Abiodun, 2017</b>	Lindane, endosulfan	Sols agricoles	
<b>Challa et Naidu, 2016</b>	Lindane et ses métabolites	Echantillons biologiques du rat	UV-Visible

L'appareil de l'HPLC se compose de :

- un ou des réservoirs contenant la phase mobile
- un système de pompage qui comporte une pompe qui peut être en mode isocratique (la composition de la phase mobile reste la même tout au long de l'analyse) ou mode gradient (la composition de la phase mobile est modifiée au cours de l'analyse). Cette pompe permet de pousser, sous haute pression, la phase mobile à travers le système chromatographique.
- un injecteur
- une colonne contenant la phase stationnaire. Selon la nature de la phase stationnaire, on distingue différents types de chromatographie en phase liquide : la chromatographie d'absorption, de partage, d'exclusion, d'affinité...
- un détecteur
- un système d'acquisition de données





**Figure 2** : Schéma descriptif de la chromatographie en phase liquide haute performance  
(Boudehenn et Gambier, 2011)

## II- FILIERE PESTICIDE EN COTE D'IVOIRE

Les pesticides jouent un rôle primordial dans le développement de l'agriculture ivoirienne. En 2011, la filière phytosanitaire a enregistré un chiffre d'affaires de 12,3 milliards FCFA. Ce secteur est dominé par les insecticides dont la part de marché est estimée à plus de 50% (CCIC, 2011). Le marché est dominé principalement par deux types d'entreprises, à savoir les multinationales membres de CROPLIFE-CI (ex UNIPHYTO) et les PME dont certaines sont membres de l'AMEPH-CI (association des petites et moyennes entreprises de phytosanitaires de Côte d'Ivoire). Les produits phytosanitaires déjà formulés en vrac ou conditionnés et les matières actives entrant dans leur formulation sont importés par les firmes industrielles. Ces dernières se chargent soit du conditionnement et/ou de la formulation et/ou des exportations. La distribution des produits se fait par le biais des revendeurs agréés ou par appel d'offre entre société phytosanitaires industrielles et structures agricoles (CCIC, 2011).

La commercialisation des pesticides concerne plus de 800 produits homologués par le Comité Pesticides. Ce dernier est composé de représentants de plusieurs Ministères que sont l'Agriculture, la Production animale, les Eaux et Forêts, la Recherche scientifique, la Santé, le Commerce, l'Industrie, l'Intérieur, les Travaux publics et les transports, l'Economie et les Finances et la Défense. La présidence et le secrétariat permanent sont assurés respectivement par le ministre de l'agriculture et la Direction de la Protection des Végétaux, du Contrôle et de la Qualité (DPVCQ) du Ministère de l'Agriculture. L'homologation d'un produit désignant sa

certification conforme à une norme ou une réglementation, porte sur la spécialité commerciale et non sur la matière active qu'il contient. Par contre si cette dernière est interdite alors le produit ne doit pas être enregistré (**Agneroh, 2012**). Tout pesticide doit être homologué ou agréé ou autorisé provisoirement de vente.

En Côte d'Ivoire, l'utilisation des produits phytosanitaires est régie par une législation en autres :

- le décret 74-388 du 7 Août 1974 relatif à l'agrément des pesticides qui fut abrogé par le décret 89-02 du 4 Janvier 1989 relatif à l'agrément, la fabrication, la vente et l'utilisation des pesticides en Côte d'Ivoire.
- l'arrêté N° 159/MINAGRA du 21 juin 2004 interdisant 67 matières actives qui interviennent dans la fabrication des produits phytopharmaceutiques employés dans l'agriculture.

### III- LE COTONNIER EN COTE D'IVOIRE

#### 1- Généralités sur la filière coton

Le cotonnier *Gossypium hirsutum*, dicotylédone de la famille des malvacées, est une plante arbustive de 1 à 2 m de hauteur cultivée comme plante annuelle dont le fruit donne à maturité du coton graine. Son cycle de développement varie de 150 à 175 jours selon les variétés, les conditions du milieu et les dates des semis. Il se déroule en cinq (5) phases à savoir la phase de la levée, la phase plantule, la phase de la préfloraison, la phase de la floraison et la phase de la maturation et de la déhiscence des capsules. La fibre est séparée de la graine par l'égrenage. Elles sont utilisées respectivement en industries textiles et pharmaceutiques, et en huilerie.

Appelé aussi or blanc, le coton est devenu à partir de 1959 le moteur du développement socio-économique de la zone des savanes de Côte d'Ivoire (**CNRA, 2006**). Il occupe le 4<sup>ème</sup> rang des cultures d'exportation.

Dès 1963, la Côte d'Ivoire a confié à la Compagnie Française pour le Développement des Fibres Textiles (CFDT) le développement de la production cotonnière. Cette société, héritage de la colonisation française, a été chargée de l'encadrement des producteurs, de la collecte et de l'égrenage du coton-graine. En outre, elle a assuré la vente de la fibre du coton. Dans le souci de rendre la filière coton autonome et de manifester la souveraineté de l'Etat ivoirien, nouvellement indépendant, la Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles (CIDT), a été créée en 1974 par le décret N°71282 du 20 Juin. Cependant depuis quelques

années, le pays a entrepris des réformes dans la filière coton. C'est ainsi que la privatisation de la CIDT a donné naissance à deux autres sociétés cotonnières que sont La Compagnie Cotonnière Ivoirienne (LCCI) et Ivoire Coton (IC). La LCCI n'existant plus, d'autres structures ont vu le jour. Ce sont la Société d'Exploitation Cotonnière (SECO), la Compagnie Ivoirienne de Coton (CoIC) et la faitière de l'Union Régionale des Entreprises Coopératives des Savanes de Côte d'Ivoire (URECOS-CI). A ce jour, ces trois structures partagent avec Ivoire Coton et la CIDT l'ensemble des unités industrielles afférentes aux activités d'encadrement et d'égrenage du coton. Le 28 décembre 2016, la Côte d'Ivoire a institué le zonage qui consiste à attribuer une zone d'intervention exclusive à chaque société cotonnière sur la base d'une convention de concession.

## 2- Les traitements phytosanitaires dans la filière coton

Le cotonnier est l'une des plantes les plus parasitées au monde (attaqué par plus de 500 espèces d'insectes ravageurs en Afrique) (FIRCA, 2015). Les attaques du cotonnier par les parasites se fait à toutes les phases de développement de la plante. Ainsi, on distingue selon **Badiane et al (2015)** :

- les ravageurs des semis et plantules : les diploptides (*Peridontopyge*, *Tibiomus*)
- les ravageurs de la phase végétative : les espèces défoliatrices ou phyllophages (*Spodoptera littoralis*, *Haritalodes derogata*, *Anomis flava*), les piqueurs-suceurs (*Aphis gossypii*, *Bemisia tabaci*, *Jacobiella fascialis*), et les acariens (*Polyphagotarsonemus latus*, *Tetranychus urticae*)
- les ravageurs de la phase reproductrice : les espèces capophages (*Helicoverpa armigera*, *Diparopsis watersi*, *Earias spp*) qui détruisent les boutons floraux, les fleurs et les capsules.

Pour avoir une production de coton en quantité et en qualité, il est donc très important de la protéger contre ces nuisibles. En absence de protection les pertes de production peuvent atteindre 70% (Sarr et al., 2016). Cette protection se fait de manière chimique avec l'utilisation de pesticides (Badiane et al., 2015; Kone et al., 2017). Pour une occupation de 2,3% des terres cultivées sur le plan mondial, la culture du coton utilise 25% des insecticides vendus (FAO, 2015). Différents traitements phytosanitaires ont été mis en place pour protéger le cotonnier, à savoir le traitement sur calendrier et le traitement sur seuil. Le traitement sur calendrier consiste à appliquer 5 à 6 traitements phytosanitaires à 14 jours d'intervalle à partir des 42<sup>ème</sup> - 45<sup>ème</sup> jours du cycle végétatif (Cauquil et Vaissayre, 1995), sans tenir compte de la présence ou non des insectes ravageurs. La protection sur calendrier peut s'avérer

insuffisante ou excessive. Le traitement sur seuil consiste quant à lui, à déterminer les dates d'application, les matières actives et leurs doses d'application en fonction des observations sur les ravageurs faites au champ (**Ferron et al., 2006**). Pour juger de l'infestation, le producteur doit pouvoir reconnaître et compter les insectes nuisibles. Dans ce cas, l'usage des pesticides est plus contrôlé.

En Côte d'Ivoire, la stratégie recommandée depuis longtemps dans la filière coton est la protection sur calendrier. Six traitements insecticides à 14 jours d'intervalle, du 45<sup>ème</sup> au 115<sup>ème</sup> jour de culture sont appliqués de façon systématique (**CNRA, 2010**).

La protection phytosanitaire du cotonnier a connu une succession de pesticides de synthèse notamment les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoides (**Ferron et al., 2006**).

#### **IV- GENERALITES SUR L'ANALYSE DES RISQUES**

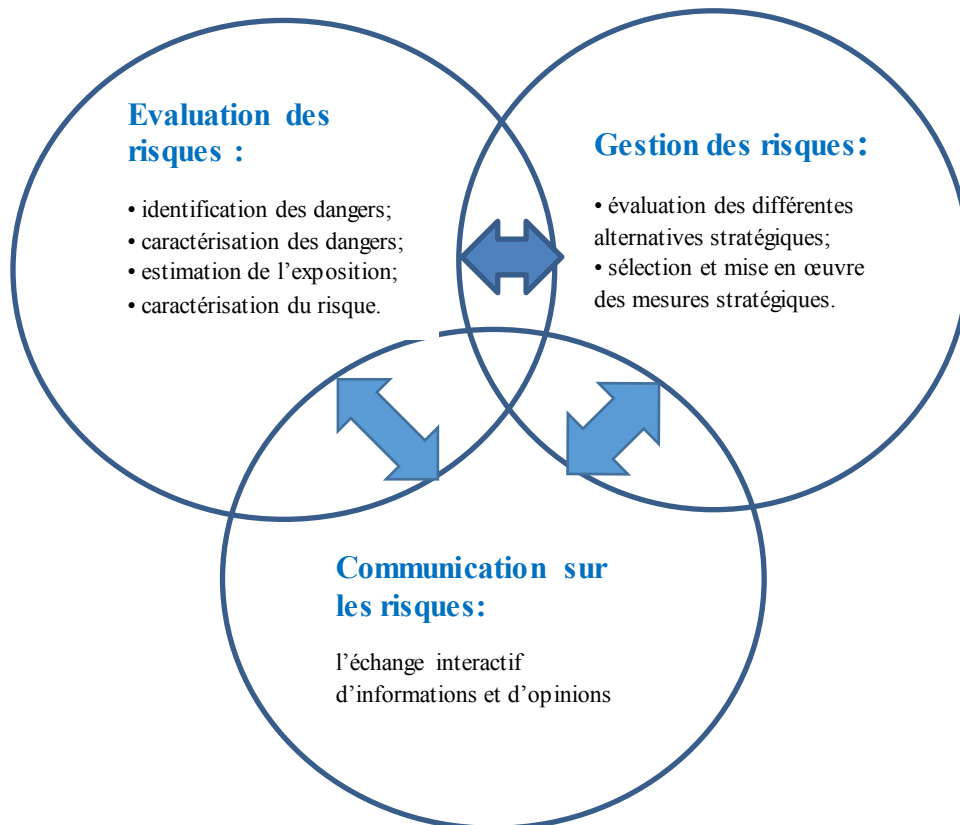
##### **1-Définitions**

###### **1-1-Notion de danger et de risque**

Selon le Codex alimentarius, un danger est un agent biologique, chimique ou physique présent dans un aliment ou état de cet aliment pouvant avoir un effet adverse sur la santé. Les dangers physiques sont plus faciles à appréhender que les dangers chimiques et biologiques du fait de leurs interactions complexes avec la physiologie humaine et de l'absence de données scientifiques pouvant confirmer certaines théories (**FAO, 2001**). Le risque se définit quant à lui comme étant une fonction de la probabilité d'un effet néfaste pour la santé et de sa gravité, du fait de la présence d'un ou de plusieurs dangers dans un aliment (**EDES, 2012**).

###### **1-2-Analyse des risques**

L'analyse des risques est un moyen systématique pour mieux évaluer les différents aspects liés à un risque et de prévoir toutes les conséquences liées à sa gestion. C'est une démarche scientifique dont le but est d'identifier les dangers connus ou potentiels, d'en estimer les risques, de les gérer et de communiquer à leur propos. Selon l'OMS et la FAO, l'analyse des risques est un processus comportant trois volets à savoir, l'évaluation des risques, la gestion des risques et la communication sur les risques (**FAO/WHO, 2014**). En d'autres termes, il s'agit de déterminer si une substance donnée peut poser un problème de santé publique, de caractériser les individus les plus à risques et les moyens de réduction du risque les plus efficaces afin de mettre éventuellement en œuvre certaines mesures de sécurité sanitaire (**FAO/WHO, 1995**).



**Figure 3:** Structure de l'analyse des risques selon le codex alimentarius (AFSCA, 2005)

## 2-Evaluation des risques

L'évaluation des risques est un processus scientifique comprenant quatre (4) étapes : l'identification des dangers, la caractérisation des dangers, l'évaluation de l'exposition et la caractérisation des risques (FAO/WHO, 2014). C'est la composante de l'analyse des risques qui permet d'apprécier sur une base scientifique les risques pour la santé. Selon la nature du danger, elle peut être soit microbiologique, soit chimique. L'évaluation des risques chimiques a pour but de comparer les apports alimentaires du danger par le consommateur à des valeurs toxicologiques de références (VTR) (Hamilton *et al.*, 2004 ; De Reynal et Multon, 2009; Graillet, 2012). Ces valeurs correspondent à la DJA pour les expositions chroniques et à l'ARfD pour les expositions aiguës. L'évaluation des risques associée aux substances chimiques comme les pesticides, se fait a priori et a posteriori (Nougadère, 2011). En effet, avant leur mise sur le marché, les pesticides sont soumis à différentes analyses qui permettent d'évaluer leur efficacité et les risques environnementaux et sanitaires définissant ainsi des limites maximales de résidus. Par ailleurs, après utilisation, le calcul de l'exposition aux résidus de pesticides et la caractérisation du risque alimentaire lié aux utilisations actuelles ou passées permettent de déterminer le risque éventuel pour le consommateur.

## 2-1-Identification des dangers

L'identification des dangers est la première étape de l'évaluation des risques. Elle permet de décrire les effets néfastes sur la santé liés à l'exposition à une substance donnée (**IPCS, 2004; Gillespie *et al.*, 2011; Nougadère, 2011**). Cette étape est purement qualitative et s'appuie sur les informations relatives au danger disponibles dans la littérature. Elle a pour objectif d'évaluer la valeur probante concernant les effets néfastes sur la santé, sur la base de l'évaluation de toutes les données disponibles sur la toxicité et le mode d'action. À partir des différentes études et observations disponibles, la nature de toute toxicité ou de tout effet néfaste pour la santé et les organes cibles ou tissus cibles touchés est identifiée (**EDES, 2012**).

## 2-2-Caractérisation des dangers

La caractérisation des dangers est l'évaluation quantitative et/ou qualitative des effets adverses du danger sur la santé humaine liés aux différents contaminants qui peuvent être présents dans un aliment (**FAO, 2001; Graillet, 2012**).

La caractérisation des dangers visent à répondre aux questions telles que (**Yobouet, 2016**) :

- Quelle est la probabilité que la maladie se produit et pour quelle proportion de la population ?
- Est-ce que l'évolution de la maladie est bénigne ou grave ?
- Quelle est la prévalence du danger dans l'aliment ?
- Quelle en est sa concentration ?

Il s'agira de déterminer le mécanisme d'action et la cinétique de la substance considérée. Cette étape est centrée sur la quantification des effets négatifs et permet de décrire et évaluer la relation dose-effet, c'est-à-dire la relation entre l'exposition à un danger (dose) et l'intensité des effets adverses qui en résultent pour la santé ou bien la probabilité de réagir (effet). Pour les produits chimiques, cette relation permet de déterminer des Valeurs Toxicologiques de Références (VTR) à savoir la DJA pour les expositions chroniques et l'ARDf pour les expositions aiguës (**Nougadère, 2011; Assidjo *et al.*, 2013**).

## 2-3-Evaluation de l'exposition

Selon le Codex Alimentarius, l'évaluation de l'exposition est l'évaluation qualitative et/ou quantitative de l'ingestion probable d'agents biologiques, chimiques et physiques (**FAO/WHO, 2014**). Elle sert à décrire la voie ou les voies d'exposition à un danger et à estimer la dose totale absorbée (**FAO, 2006**). C'est la détermination de la quantité d'exposition humaine à une substance. Cette détermination utilise les données collectées sur les niveaux de contaminants dans les aliments ainsi que les informations spécifiques sur la

consommation alimentaire pour calculer une exposition humaine probable (**Gillespie et al., 2011**). Elle tient compte de la présence et des concentrations de la substance chimique dans le régime, des habitudes de consommation d'aliments contenant la substance chimique, et de la probabilité que des consommateurs ingèrent de grandes quantités de l'aliment en question et que la substance chimique soit présente dans cet aliment à des doses élevées (**EDES, 2012**). Le schéma de consommation est déterminé par la quantité consommée et la fréquence de consommation ainsi que le mode de préparation de l'aliment. Ces données permettront d'évaluer l'exposition, pendant un intervalle de temps donné, au danger présent dans les aliments tels qu'ils sont réellement consommés.

L'évaluation quantitative de l'exposition peut se faire suivant deux méthodes : l'une déterministe et l'autre probabiliste. Si la méthode déterministe utilise des valeurs ponctuelles telles que la moyenne, les centiles (95<sup>ème</sup>, 97,5<sup>ème</sup>)..., la méthode probabiliste quant à elle se sert des distributions, donc des variabilités des valeurs et de concentration. Une combinaison de ces deux méthodes est aussi envisageable. Elle permet d'évaluer l'exposition de toute la population, faibles et forts consommateurs en prenant en compte toutes les données analytiques disponibles (**Pascal, 2012**).

#### **2-4-Caractérisation des risques**

Quatrième étape de l'évaluation des risques, la caractérisation des risques est la synthèse des informations issues des étapes précédentes. Elle consiste à intégrer ces dernières en une estimation quantitative (probabilité) des effets néfastes susceptibles de se produire dans une population donnée et pouvant inclure la quantification de cette probabilité (**Assidjo et al., 2013**).

La caractérisation des risques est utilisée pour informer les gestionnaires des risques du niveau de risque qui peut être acceptable ou tolérable (**Gillespie et al., 2011**). Les valeurs de l'exposition sont comparées aux valeurs de toxiques de référence (VTR) pour conclure du risque éventuel. Selon **Nougadère (2011)**, si les apports alimentaires sont inférieurs aux VTR, il n'existe pas de risque pour le consommateur. Par contre pour des apports alimentaires supérieurs aux VTR, il existe un risque potentiel pour le consommateur qu'il convient d'affiner en le précisant et en le quantifiant.

#### **3-Exposition non alimentaire aux contaminants du sol**

Le chapitre concernant l'évaluation des risques abordé, fait allusion uniquement aux risques liés à la consommation d'aliments contaminés. Cependant, il peut exister aussi des

risques pour les personnes qui travaillent sur les sols contaminés du fait qu'ils soient en contact permanent. Tout comme pour les risques liés à l'alimentation, l'évaluation de ces derniers se fait en 4 étapes, les mêmes que celles définies plus haut avec comme matrice le sol à la place des aliments.

En effet la contamination du sol peut constituer un danger direct pour les personnes, travailleurs ou résidents, adultes ou enfants; et engendrer des problèmes à long terme.

L'exposition aux contaminants du sol peut se faire via trois voies notamment l'ingestion directe de particules de substrat, l'absorption cutanée des particules adhérant à la peau exposée, et l'inhalation des particules remises en suspension par la bouche et le nez.

L'ingestion de sol est la plus importante voie d'exposition humaine aux substances toxiques du sol ou de la poussière. Le risque d'exposition aux contaminants par cette source est plus élevé chez les enfants parce qu'ils sont plus susceptibles d'ingérer plus de sol que les adultes en raison de leurs habitudes pendant l'enfance (mise en bouche d'objets ou des mains souillés). Les adultes peuvent aussi ingérer des particules de terre ou de poussière qui adhèrent aux aliments, aux cigarettes ou à leurs mains **(USEPA, 1997)**.

L'exposition par inhalation dépend de facteurs différents tels que la concentration du contaminant, le genre de sol, la teneur en humidité et la porosité, les propriétés physiques spécifiques des contaminants. Cependant cette voie met en cause des quantités généralement faibles. L'anatomie et la physiologie du système respiratoire diminue la concentration de polluants dans l'air inspiré (dose potentielle) de telle sorte que la quantité de polluants qui pénètre effectivement dans le corps par les poumons (dose interne) est inférieure à celle mesurée à la limite du corps. Le système respiratoire comprend trois régions : nasopharyngée, trachéobronchique et pulmonaire. Chaque région du système respiratoire peut être impliquée dans l'élimination des polluants de l'air inspiré **(USEPA, 1997)**.

L'absorption cutanée des particules du sol ou de la poussière dépend aussi de plusieurs facteurs tels que : l'étendue de la surface de la peau exposée, la durée de l'exposition, la capacité d'absorption du produit chimique par la peau... Les polluants du sol ne sont souvent pas entièrement absorbés par la peau du fait qu'ils soient liés fortement à la matière organique.

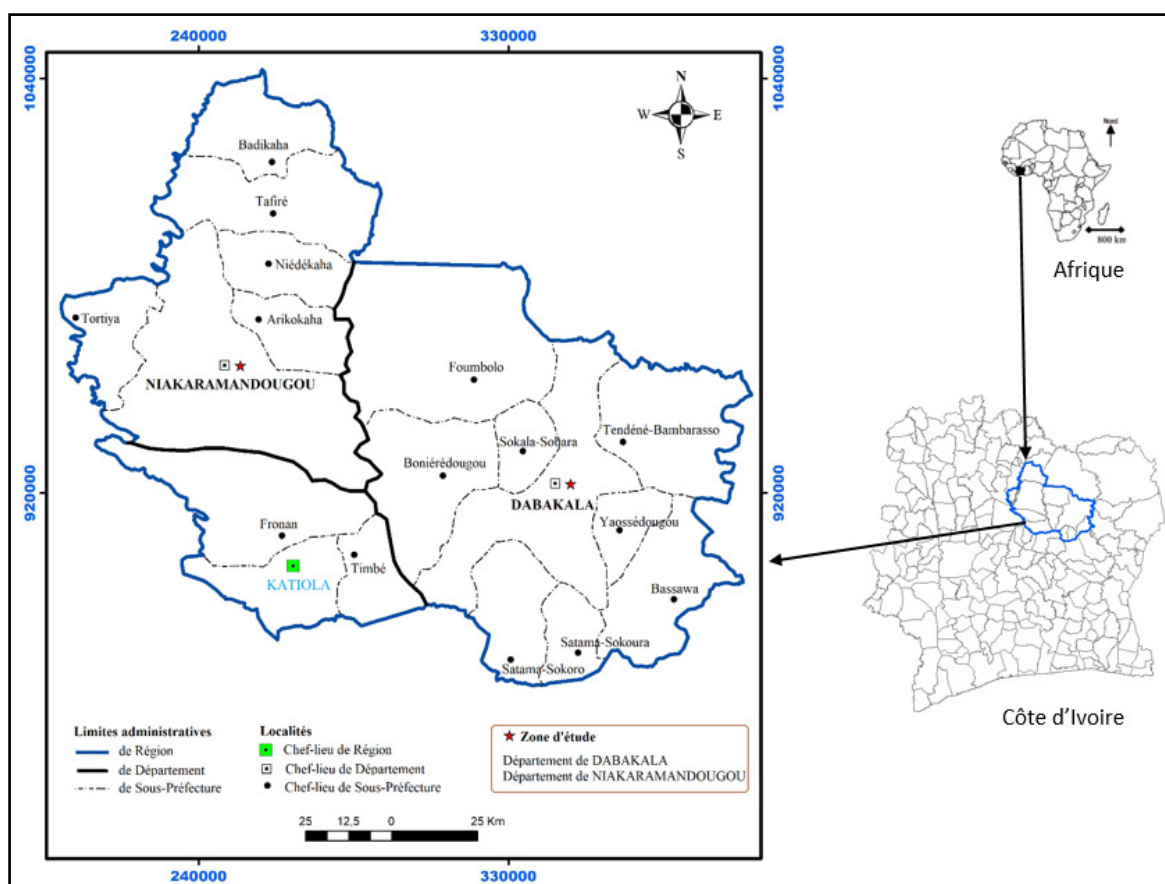


# **MATERIEL ET METHODES**

## I- MATERIEL

### 1- Zone d'étude

La présente étude a été réalisée dans la région administrative du Hambol située au centre-nord de la Côte d'Ivoire, plus précisément dans les départements de Dabakala et de Niakara. Avec une superficie de 19,222 km<sup>2</sup>, la région du Hambol est limitée au nord par les régions du Poro et du Tchologo, au sud par les régions du Gbêké et de l'Iffou, à l'est par les régions du Boukani et du Zanzan et à l'ouest par la région du Béré. Elle comprend les départements de Dabakala, de Katiola (chef-lieu) et de Niakara (figure 4).



**Figure 4 :** Représentation de la zone d'étude

La région du Hambol est habitée par les Tagbana, les Djimini, les Djamala, les Mangoro et les Malinké. En plus, une forte communauté d'allochènes et d'allochtones venue de divers horizons vivent en parfaite harmonie avec les autochtones. D'après le recensement général de la population et de l'habitat de 2014, la région du hambol compte 429,977 habitants, 189,254 habitants à Dabakala et 133,818 habitants à Niakara (INS, 2014).

Le département de Dabakala (04°26'O ; 08°23'N) (**Gnanzou, 2015**), est situé à environ 85,8 km de Katiola et à 479 km d'Abidjan. Celui de Niakara (5°18'O ; 8° 43'N) est à 71,1 km de Katiola et à 466 km d'Abidjan.

Le relief est assez monotone dans ces deux départements. On rencontre à Dabakala des altitudes variant de 100 à 650 m (**Kouakou et al., 2014**), pendant qu'à Niakara, le mont Niangbo, remarquable butte témoin, culmine à 700 m (**CI-ENERGIE, 2019**).

On y rencontre aussi différents types de sols. Les sols ferrugineux tropicaux représentent le type de sol rencontré à Dabakala. A Niakara, les sols sont des sols de transition ferrisols – sols ferrugineux tropicaux avec une dominance de sols ferrugineux tropicaux (**ORSTOM, 1960**).

Du nord au sud, le département de Dabakala présente une végétation qui passe de la savane arborée à la savane boisée (**Kouakou et al., 2014**). Niakara se trouve dans le domaine soudanien avec aussi des savanes boisées humides et de nombreuses galeries forestières et rivières (**Doannio et al., 2002**).

La pluviométrie moyenne annuelle varie de 1000 à 1600 mm à Niakara (**Sylla et al., 2003**) et de 900 à 1200 mm de pluie à Dabakala (**Nandjui et al., 2013**).

L'agriculture dans la région du Hambol concerne les cultures de rentes (coton et anacarde) ainsi que les cultures vivrières telles que le riz, l'igname, le maïs, le manioc, l'arachide, le mil, le sorgho...

Le choix de la zone d'étude s'est porté sur la région du Hambol parce que non seulement cette dernière appartient au bassin cotonnier de Côte d'Ivoire mais aussi on y retrouve des plantes cultivées pour leurs parties souterraines telles que le manioc, l'igname, l'arachide (Figure 5).

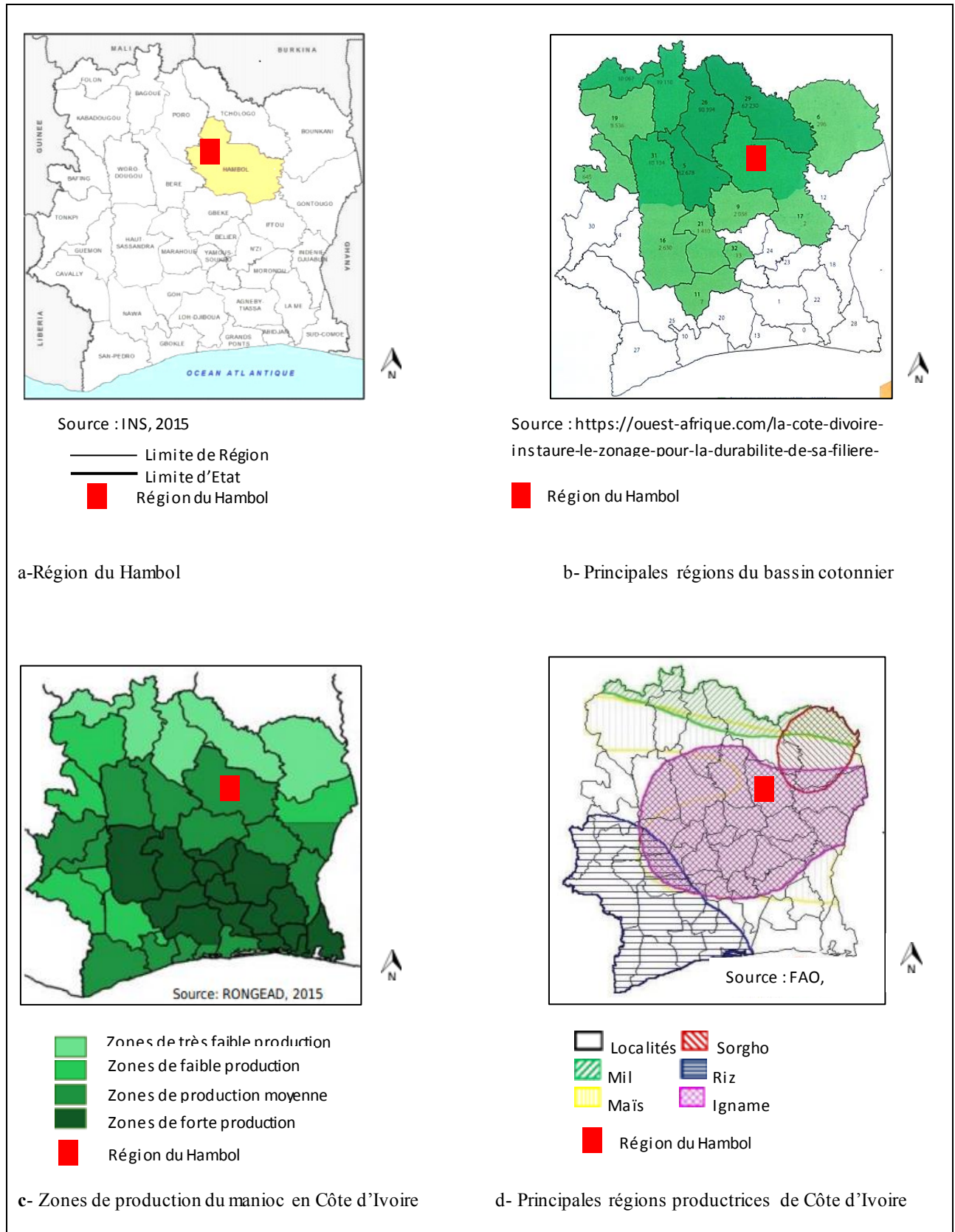


Figure 5 : Critères de choix de la zone d'étude

## **2- Matériel végétal**

Le matériel végétal est représenté par 23 échantillons composés de tubercules d'igname, de racines de manioc et de gousse d'arachide récoltés dans les différents champs selon leur disponibilité.

## **3-Echantillons de sols**

Le matériel étudié est constitué de 15 échantillons de sol provenant des différents champs sur lesquels ont été récoltées les cultures.

# **II- METHODES**

## **1- Méthodologie d'enquête**

### **1-1- Enquête sur les pesticides organochlorés utilisés dans la zone d'étude**

Avant l'enquête, des renseignements ont été pris auprès des structures d'encadrement technique des paysans et des populations. Cela nous a permis d'avoir les noms de certaines localités où le coton a été cultivé et de certains pesticides organochlorés utilisés, et d'identifier les producteurs de coton des années avant l'interdiction du dernier pesticide organochloré en date sur le coton.

En ce qui concerne l'enquête, il s'agit d'une étude transversale préliminaire à un travail expérimental d'identification et de quantification de résidus de pesticides dans différentes matrices. Elle avait pour but d'identifier les différents pesticides organochlorés utilisés dans la culture du coton et de connaître l'usage actuel des sols sur lesquels les organochlorés ont été utilisés. Dans ce cadre, un questionnaire (Annexe 1) a été élaboré et soumis à une pré-enquête sur un échantillon de 10 paysans pour évaluer la compréhension et l'acceptabilité. Les questions étaient ouvertes ou fermées et étaient posées de sorte à ne pas influencer les réponses du répondant. Les entretiens ont été faits en français ou en langues locales (djimini, tagbana ou dioula). L'étude a concerné 179 paysans en tout, à savoir 94 à Dabakala et 85 à Niakara. Les enquêtés ont été choisis sur la base des premières informations recueillies auprès des structures d'encadrement et des populations.

### **1-2- Enquête sur la consommation de l'igname, du manioc et de l'arachide**

Cette étude est préliminaire à une évaluation des risques sanitaires liés à la consommation d'igname, de manioc ou d'arachides contaminés par les pesticides organochlorés.

L'enquête visait à qualifier et à quantifier les aliments à base de manioc, d'igname et d'arachide consommés par la population.

De façon pratique, il s'agissait d'interroger tous les individus rencontrés, sans distinction de sexe et d'âge, sur leur consommation d'igname, de manioc et d'arachide. Pour ce faire, une fiche d'enquête comportant deux parties, à savoir les caractéristiques du répondant et les caractéristiques de la consommation, a été élaborée (Annexe 2).

Les entretiens ont été faits en français ou en malinké. Les enquêtes se sont déroulées pendant les mois de Mai et de Juillet 2017, période de récolte des différents produits vivriers d'intérêt.

En se servant de la formule ci-dessous décrite par Giezendanner (**Giezendanner, 2012**) le nombre de personnes à interviewer a été déterminé,

$$n = \frac{t^2 p(1-p)}{e^2}$$

n : taille de l'échantillon pour une population infinie

t : coefficient de marge, pour un taux de confiance de 95%, t=1,96

p : proportion des éléments de la population mère, p=0,5

e : marge d'erreur, e=0,05

Au total, 400 personnes ont été interrogées sur leur tranche d'âge, les aliments consommés (l'igname, le manioc et l'arachide), leur fréquence de consommation, les formes culinaires appréciées et la quantité consommée.

Pour chacun des aliments, chaque personne a été interrogée sur sa fréquence de consommation par jour, par semaine ou par mois et sur les quantités consommées à chaque fois. La consommation des différents produits étant sujette à des variations saisonnières, les niveaux de consommation correspondent à ceux des enquêtés lors de la période de forte disponibilité. Pour faciliter l'indication des quantités par les répondants, des photos d'aliments réels présentant des tailles de portions d'aliments prêts à manger, leur ont été présentées (Annexe 3).

## **2- Méthodologie d'échantillonnage**

### **2-1- Collecte des échantillons de sols**

Des échantillons ont été prélevés sur des parcelles ayant reçu des traitements phytosanitaires passés ou actuels. Ils ont été ensuite analysés au laboratoire pour la détermination de leurs caractéristiques physico-chimiques et des concentrations en résidus de pesticides organochlorés. Les champs échantillonnés l'ont été sur la base des informations recueillies auprès des structures d'encadrement des paysans et des paysans eux même. Les prélèvements ont été effectués dans 15 champs.

Les sols ont été prélevés par randomisation en cinq (05) points aléatoires sur 0,5 ha et mélangés pour constituer un échantillon composite d'au moins 500 kg par site (**Mawussi, 2008**). Pour les surfaces de 1 ha, neuf (9) échantillons ont été prélevés. Les prélèvements ont été effectués dans les trente (30) premiers centimètres supérieurs au moyen d'une bêche. Au laboratoire, les échantillons ont été séchés à température ambiante ensuite tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm, emballés dans du papier aluminium puis dans des sacs hermétiques de 1 litre de type congélation. Ces derniers ont été conservés au congélateur avant analyse.

### **2-2- Collecte des échantillons de racines-tubercules et légumineuses souterraines**

Trois spéculations ont été choisies suite aux informations recueillies. Ainsi, comme racines-tubercules et légumineuses souterraines, le manioc, l'igname et l'arachide ont été étudiés. Ces spéculations ont été collectées à proximité des échantillons de sol selon leur disponibilité. La collecte s'est faite simultanément avec celle des échantillons de sol. Au total nous avons collecté 23 échantillons d'arachide, de manioc et d'igname. Arrivés à maturité, les tubercules ont été arrachés du pied, séparés de leur partie supérieure puis nettoyés (pour enlever les racines et la terre adsorbée) et séparés du pédicule (de façon à conserver un pseudo cône correspondant à la portion centrale du tubercule). Pour les échantillons d'arachide, les gousses ont été juste arrachées aux plants puis nettoyées. Une portion minimum de 200 g a été emballée dans du papier aluminium puis ensachés dans des sacs hermétiques de 1 litre de type congélation (**Aikpo et al., 2016**). Les échantillons ont été mis in situ dans une glacière puis immédiatement congelés au laboratoire en attendant les analyses.

### **3-Analyses physico-chimiques et minéralogiques des échantillons de sols**

Le pH eau et le pH KCl ont été déterminés par la méthode AFNOR à l'aide d'un pHmètre dans une suspension de sol diluée à 1 : 5 (fraction volumique) dans de l'eau (pHH<sub>2</sub>O) et dans une solution de chlorure de potassium à 1 mol/L (pHKCl) (**AFNOR, 2005**). Après traitement des échantillons avec de l'acétate d'ammonium, les cations Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et K<sup>+</sup> ont été dosés au spectromètre d'absorption atomique. Les taux d'azote total et de carbone organique ont été dosés respectivement dans les sols par la méthode de Kjeldahl (**Bremner, 1965**) et la méthode de Walkley-Black (**Walkley, 1947**). Le taux de matière organique a été déterminé en multipliant la teneur en carbone organique par 1,72. L'analyse physique en cinq fractions granulométriques (argile, limons fin et grossiers, sables fins et grossiers) a été réalisée par la méthode Bouyoucos (**Bouyoucos, 1951**). Le triangle de texture de l'USDA (United State Department of Agriculture) a été utilisé pour la classification de la texture des sols.

#### 4-Méthodes d'analyse des résidus de pesticides dans les différents échantillons

Une fois prélevés, les échantillons sont soumis à une analyse suivant un schéma général dont les principales étapes sont :

- Le prétraitement des échantillons, permettant d'obtenir une petite fraction de l'échantillon contenant la plus grande quantité de pesticides recherchés et le moins possible d'autres composés non ciblés de la matrice. Il peut faire appel à différents procédés unitaires tels que le découpage, le broyage, le tamisage, le séchage
- L'extraction des résidus de pesticides, consistant à libérer de la matrice les composés d'intérêt à l'aide de solvants organiques appropriés par un mécanisme chimique et / ou mécanique puis à les transférer dans le milieu d'extraction. Le solvant d'extraction peut être un simple solvant polaire ou apolaire ou un mélange de solvants (polaire et apolaire). Il existe plusieurs méthodes d'extraction dont l'extraction au soxhlet, l'extraction aux ultrasons, l'extraction par les fluides supercritiques (SFE), l'extraction assistée aux microondes (MAE), l'extraction accélérée en solvant chaud pressurisé (ASE), l'extraction liquide/liquide, l'extraction solide/liquide, la méthode QuEChERS
- La purification de l'extrait, permettant d'éliminer tous les composés secondaires qui pourraient interférer lors de l'identification des composés d'intérêt. Elle se fait généralement par l'extraction solide /liquide dont le principe est basé sur le partage des composés entre la phase liquide et la phase solide (adsorbants tels que la silice, le florisil, l'alumine)
- L'identification et la quantification des résidus de pesticides,  
Cette étape peut se faire au moyen de chromatographie en phase gazeuse ou de chromatographie en phase liquide, couplée à des détecteurs spécifiques ou universels, selon la nature du pesticide.

##### 4-1-Echantillons de sols

L'extraction des résidus de pesticides dans les échantillons de sol a été menée selon une méthode développée en interne au Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE) du LANADA (Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole). Pour ce faire, 50 g de sol finement broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine et tamisés à l'aide d'un tamis de maille 0,5 mm, ont été prélevés et introduits dans un erlenmeyer. Ensuite, 100 ml de dichlorométhane y ont été ajoutés puis le mélange a été homogénéisé au vortex pendant 1 heure. Le mélange a été filtré sur un papier Whatman de diamètre 90 mm et le filtrat évaporé à sec au rotavapor de marque BUTCHI à une température de 40 °C. Le résidu sec a été



récupéré avec 5 ml d'hexane et transvasé dans un vial pour injection au HPLC. Les conditions d'analyse des différents pesticides sont représentées dans les tableaux VII et VIII.

**Tableau VII:** Conditions analytiques pour le DDT et le lindane

	<b>DDT</b>	<b>Lindane</b>
<b>Phase mobile</b>	Eau /Acetonitrile (10:90)	Eau /Acetonitrile (50:50)
<b>Colonne</b>	Spherisorb S50DS2 250 x 4,6 mm ID	C18, 300 mm x 3,9 mm x 5 µm
<b>Détecteur</b>	UV	UV
<b>Longueur d'onde</b>	254 nm	254 nm
<b>Température four</b>	30 °C	30 °C
<b>Débit</b>	1 ml / mn	1 ml / mn
<b>Volume d'injection</b>	20 µl	10 µl
<b>Mode</b>	gradient	gradient
<b>Limite de Détection (µg /kg)</b>	0,012	0,041
<b>Limite de Quantification (µg /kg)</b>	0,036	0,123
<b>Durée de l'analyse</b>	15 min	15 min

**Tableau VIII :** Conditions analytiques pour l'endosulfan et ses métabolites

	<b>Endosulfan-α</b>	<b>Endosulfan-β</b>	<b>Endosulfan-sulfate</b>
<b>Phase mobile</b>	Eau /Acetonitrile (10:90)		
<b>Colonne</b>	Spherisorb S50DS2 250 x 4,6 mm ID		
<b>Détecteur</b>	UV		
<b>Longueur d'onde</b>	273 nm		
<b>Température four</b>	30 °C		
<b>Débit</b>	1 ml / mn		
<b>Volume d'injection</b>	20 µl		
<b>Mode</b>	gradient		
<b>Limite de Détection (µg /kg)</b>	0,0025	0,005	0,0015
<b>Limite de Quantification (µg /kg)</b>	0,0075	0,015	0,0045
<b>Durée de l'analyse</b>	15 min		

Les concentrations des résidus de pesticides ont été calculées selon la formule ci-dessous :

$$C_p = \frac{S_c \times C_e \times V_f \times F}{S_e \times M_e}$$

$C_p$ : concentration du résidu de pesticide  $p$  dans l'échantillon (µg/kg)

*Sc*: surface du pic de l'échantillon

*Se*: surface du pic du standard

*Ce*: concentration de l'étalon ( $\mu\text{g} / \text{L}$ )

*Vf*: volume final (L)

*Me*: masse d'échantillon (kg)

*F*: facteur de dilution ( $F=1$ )

#### **4-2-Echantillons de produits agricoles**

Pour les échantillons de produits agricoles, la même démarche que celle décrite pour l'extraction au niveau des échantillons de sols a été utilisée. Cependant avant le broyage, les échantillons ont été pelés et lavés à l'eau de robinet comme cela se fait dans les ménages avant consommation. Après extraction, une analyse à l'HPLC a été effectuée suivant les mêmes conditions analytiques que celles des échantillons de sol.

#### **5- Analyses statistiques**

Pour le dépouillement et l'analyse des données des enquêtes, le logiciel Sphinx V 4.5 a été utilisé. Il a servi à la réalisation de la statistique descriptive et à faire un test de Khi 2 pour montrer les différences significatives. Les figures et tableaux ont été réalisés à l'aide d'Excel version 2013.

Les logiciels Excel et STATISTICA version 7.1 ont été utilisés pour générer les moyennes. Une analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été utilisée pour tester les différences et les similitudes significatives entre les caractéristiques physico-chimiques. Les moyennes significatives obtenues ont été séparées par le test de Newman-Keuls à un niveau de signification de 5%.

Un test de corrélation a été fait pour montrer la relation ou non entre les caractéristiques physicochimiques des sols et les concentrations de pesticides retrouvés dans ces sols.

#### **6- Quantification des risques sanitaires potentiels liés à la contamination des sols**

Les effets de l'exposition non alimentaire aux pesticides organochlorés sur les humains ont été évalués en déterminant LADD (lifetime average daily dose : dose moyenne journalière sur toute la durée de vie), le ILCR (incremental lifetime cancer risk : excès de risque individuel)

et le HQ (hazard quotient : quotient de danger) suivant les équations décrites par l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis.

La LADD est la dose quotidienne moyenne sur toute la durée de vie. C'est la quantité de produits chimiques consommés par une personne (par kg de poids corporel par jour), ayant des effets nocifs sur la santé lorsqu'ils sont absorbés par l'organisme par n'importe quelle voie sur une période donnée (USEPA, 1989).

Le ILCR exprime la probabilité supplémentaire qu'une personne développe un cancer au cours de sa vie à la suite d'une exposition à un carcinogène chimique potentiel (Chiang *et al.*, 2009). Il est calculé pour les risques cancérigènes.

Le HQ, le quotient de danger, représente le rapport entre l'exposition potentielle à une substance et la dose à laquelle aucun effet nocif n'est prévu. Il est déterminé pour l'appréciation des risques non cancérigènes.

## 6-1- Méthodologie d'évaluation des expositions

### 6-1-1-Exposition par ingestion

Les quantités de pesticides absorbées par voie orale, exprimées en dose quotidienne moyenne, sont définies selon l'équation ci-dessous :

$$LADD_{ing} = (C \times IngR \times EF \times ED \times ET \times CF) / (BW \times AT) \quad (\text{USEPA, 1997, 2009; Ge et al., 2013})$$

*LADD<sub>ing</sub>* : la dose quotidienne moyenne par ingestion pour la durée de vie en mg/kg/j

*C* : la concentration du contaminant dans le sol en mg/kg

*IngR* : le taux d'ingestion du sol en mg/jour

*EF* : la fréquence d'exposition en Jour/an

*ED* : la durée d'exposition en années

*ET* : temps d'exposition en heures/jour

*CF* : le facteur de conversion en kg/mg

*BW* : le poids corporel moyen en kg

*AT* : le temps moyen en heures

### 6-1-2-Exposition par inhalation

Les concentrations de pesticides inhalés, exprimées en dose quotidienne moyenne, sont calculées selon l'équation ci-après :

$$LADD_{inh} = (C \times InhR \times EF \times ED \times ET \times AFinh) / (PEF \times AT) \quad (\text{USEPA, 1997, 2009; Ge et al., 2013})$$

*LADD<sub>inh</sub>* : la dose quotidienne moyenne par ingestion pour la durée de vie en mg/kg/j

*C*: la concentration du contaminant dans le sol en mg/kg

*InhR* : le taux d'inhalation du sol en m<sup>3</sup>/jour

*EF* : la fréquence d'exposition en Jour/an

*ED* : la durée d'exposition en années

*ET* : temps d'exposition en heures/jour

*AF<sub>inh</sub>* : le facteur d'absorption pour les poumons

*PEF* : le facteur d'émission de particules en m<sup>3</sup>/kg

*AT* : le temps moyen en heures

### 6-1-3-Exposition cutanée

Les quantités de pesticides absorbées par voie dermique, exprimées en dose quotidienne moyenne, sont exprimées selon l'équation suivante :

$$LADD_{derm} = (C \times SA \times AF \times ABS \times EF \times ED \times ET \times CF \times GIABS) / (BW \times AT)$$

(USEPA, 1997, 2009; Ge *et al.*, 2013;)

*LADD<sub>derm</sub>* : la dose quotidienne moyenne par ingestion pour la durée de vie en mg/kg/j

*C*: la concentration du contaminant dans le sol en mg/kg

*SA*: la surface de la peau exposée en cm<sup>2</sup>

*AF* : le facteur d'adhérence cutanée du sol en mg/cm<sup>2</sup>

*EF* : la fréquence d'exposition en Jour/an

*ED* : la durée d'exposition en années

*ET* : temps d'exposition en heures/jour

*CF* : le facteur de conversion en kg/mg

*GIABS* : la fraction du contaminant absorbé par le tractus gastro intestinal (spécifique à chaque contaminant)

*BW* : le poids corporel moyen en kg

*AT* : le temps moyen en heures

## 6-2- Méthodologie de quantification des risques sanitaires

Les quotients de danger HQ et les risques liés aux différentes expositions ont été calculés.

### 6-2-1-Estimation du risque pour les effets toxiques cancérogènes

Pour les effets cancérogènes, les ILCR pour les différentes voies sont exprimés selon les équations suivantes (USEPA, 1997, 2009; Ge *et al.*, 2013;):

$$ILCRing = LADDing \times CSF$$

$$ILCRinh = LADDinh \times IUR$$

$$ILCRderm = LADDderm \times CSF$$

*ILCRing*, *ILCRinh*, *ILCRderm* : risque lié à l'exposition par ingestion, exposition par inhalation, exposition cutanée

*CSF* : le facteur de pente cancérigène en  $(\text{mg/kg/jour})^{-1}$  (spécifique à chaque contaminant).

*IUR* : le risque unitaire d'inhalation (spécifique à chaque contaminant)

Un risque global,  $\Sigma ILCR$ , est ensuite calculé en faisant la somme des risques liés à chacune des substances cancérigènes

### 6-2-2-Estimation du risque pour effets toxiques non cancérigènes

Pour les effets toxiques non cancérigènes, le quotient de danger pour chaque voie est défini de la façon suivante (USEPA, 1997, 2009; Yang *et al.*, 2016):

$$HQing = LADDing/RfD$$

$$HQinh = LADDinh/RfD$$

$$HQderm = LADDderm/RfD$$

*HQing*, *HQinh*, *HQderm* : quotient de danger pour l'exposition par ingestion, exposition par inhalation, exposition cutanée

*RfD* : la dose de référence en  $\text{mg/kg/jour}$  (spécifique à chaque contaminant)

### 6-3-Scénario d'exposition

Le risque toxicologique étant fonction de l'exposition aux contaminants du sol, il est important de calculer l'exposition en élaborant des scénarios.

Pour notre étude, le scénario défini a pour population cible les agriculteurs (adultes). La durée de l'exposition est considérée égale à la durée de vie entière c'est-à-dire 57 ans. La fréquence d'exposition est supposée être le nombre de jours par année pendant lesquels le travailleur exerce son activité (USEPA, 2002). En supposant que l'agriculteur se rend au champ six jours par semaine, la fréquence d'exposition est de 313 jours par année (Man *et al.*, 2013). Le temps de travail est de 10 heures (USEPA, 2002). Pour travailler, l'agriculteur est supposé n'avoir que les bras, les mains et le visage exposés. Ainsi, la surface de la peau est réduite à  $3300 \text{ cm}^2$  avec un facteur d'adhérence de  $0,2 \text{ mg}$  de sol par  $\text{cm}^2$  (USEPA, 2002).

Les tableaux IX et X donnent respectivement les valeurs des paramètres d'exposition utilisés pour l'évaluation des risques cancérigènes pour la santé et celles des paramètres spécifiques aux différents pesticides.

**Tableau IX** : Paramètres d'exposition utilisés pour l'évaluation des risques cancérigènes pour la santé

Paramètres	Unités	Adulte	Références
<b>IngR</b>	mg/jour	100	(USEPA, 2002)
<b>EF</b>	Jour/an	313	(Man et al., 2013)
<b>ED</b>	an	57	(UNESCO, 2020)
<b>ET</b>	heure/jour	10	(USEPA, 2002)
<b>CF</b>	kg/mg	10 <sup>-6</sup>	(USEPA, 2002)
<b>BW</b>	kg	70	(USEPA, 2002)
<b>AT</b>	heure	57 x 365x10= 208050	(USEPA, 2009)
<b>AF</b>	mg/cm <sup>2</sup>	0,2	(USEPA, 2002)
<b>SA</b>	cm <sup>2</sup>	3300	(USEPA, 2002)
<b>InhR</b>	m <sup>3</sup> /jour	20	(USEPA, 2009)
<b>AFinh</b>	-	1	(Ge et al., 2013; Gereslassie et al., 2019)
<b>PEF</b>	m <sup>3</sup> /kg	1,36.10 <sup>9</sup>	(USEPA, 2002)

IngR : le taux d'ingestion du sol, EF : la fréquence d'exposition, ED : la durée d'exposition, ET: temps d'exposition, CF : le facteur de conversion, BW : le poids corporel moyen, AT : le temps moyen, SA: la surface de la peau exposée, AF : le facteur d'adhérence cutanée au sol, InhR : le taux d'inhalation du sol, AFinh : le facteur d'absorption pour les poumons, PEF : le facteur d'émission de particules.

**Tableau X** : Paramètres spécifiques aux différents pesticides

Paramètres	Pesticides			Références
	DDT	lindane	endosulfan	
<b>ABS</b>	0,03	0,04	-	(USEPA, 2002)
<b>GIABS</b>	1	1	1	(USEPA, 2002)
<b>IUR</b>	$9,7.10^{-5}$	$3,1.10^{-4}$	-	(USEPA, 2002)
<b>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)<sup>-1</sup></b>				<a href="http://www.nj.gov/dep/standards/58-89-9_TF.pdf">www.nj.gov/dep/standards/58-89-9_TF.pdf</a>
<b>CSF</b>	$3,4.10^{-1}$	1,3	-	(USEPA, 2002)
<b>(mg/kg/jour)<sup>-1</sup></b>				<a href="http://www.nj.gov/dep/standards/58-89-9_TF.pdf">www.nj.gov/dep/standards/58-89-9_TF.pdf</a>
<b>RfD</b>	$5.10^{-4}$	$3.10^{-4}$	$6.10^{-3}$	(USEPA, 2002)
<b>(mg/kg/jour)</b>				

ABS : le facteur d'absorption dermique, GIABS : la fraction du contaminant absorbé par le tractus gastro intestinal, CSF : le facteur de pente cancérigène, IUR : le risque unitaire d'inhalation, RfD : la dose de référence.

# **RESULTATS ET DISCUSSION**



## **I-ENQUETES AUPRES DES AGRICULTEURS ET DES CONSOMMATEURS**

### **1-Enquête sur les pesticides organochlorés utilisés dans la zone d'étude**

#### **1-1-Résultats**

##### **1-1-1-Différents pesticides organochlorés utilisés dans la culture du coton**

L'enquête menée auprès des agriculteurs et les informations recueillies auprès de la CIDT et de l'ANADER ont révélé que le dichloro-diphényl-trichloro-éthane (DDT), le lindane, l'Endrine et l'endosulfan ont été parmi les pesticides organochlorés utilisés sur le coton dans notre zone d'étude.

Concernant les périodes d'utilisation, les résultats d'enquête ont montré que l'Endosulfan, sous les noms commerciaux Caïman, Rocky et Phaser, a été utilisé de 1999 à 2008. Les périodes d'utilisation du DDT, du Lindane et de l'Endrine n'ont pu être définies par les structures d'encadrement faute de documents. Ces différents pesticides ont été fournis aux agriculteurs par la CIDT.

##### **1-1-2-Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés**

La figure 6 nous montre les caractéristiques sociodémographiques des enquêtés. Les agriculteurs enquêtés étaient tous des hommes. Les classes d'âge majoritairement rencontrées sont 25 à 55 ans (51,2% et 38,3% respectivement à Niakara et à Dabakala) et 55 ans et plus (47,6% et 61,7% respectivement à Niakara et à Dabakala). Avec un faible niveau d'instruction, 80% et 75,5% d'illettrés respectivement à Niakara et à Dabakala, la majorité des enquêtés vivent en couple (89,4% et 98,9% respectivement à Niakara et à Dabakala). Trois ethnies ont été identifiées à savoir le djimini (100%) à Dabakala puis le tagbana (42,4%) et le senoufô (57,6%) à Niakara. Parmi les enquêtés, seuls les senoufos continuent la culture du coton.



Figure 6: Caractéristiques sociodémographiques des enquêtés

### 1-1-3-Usage actuel des sols sous culture du coton

Après la culture du coton qui a vu l'utilisation des pesticides organochlorés, les parcelles de terres sont destinées à divers usages. En effet, l'enquête a révélé qu'à Dabakala comme à Niakara, les agriculteurs enquêtés utilisent ces parcelles actuellement pour la production soit d'anacarde, soit de cultures vivrières ou de l'anacarde couplée à des cultures vivrières. Les parcelles étant dans ce cas divisées en deux, une partie pour les vivriers et l'autre pour l'anacarde. Aussi, 5,3 % et 11,8 % des enquêtés ont mis leur parcelles en jachère respectivement à Dabakala et à Niakara. Par ailleurs, 50,5 % des enquêtés à Niakara cultivent encore le coton par contre à Dabakala les enquêtés étaient tous des anciens cotonculteurs. Au total, 65,9% et 34,1% des agriculteurs enquêtés respectivement à Dabakala et à Niakara font des cultures vivrières sur les anciennes parcelles de champ de coton.

Différentes cultures vivrières sont produites par les agriculteurs à savoir des plantes à parties comestibles aériennes et des plantes à parties comestibles souterraines. A Niakara (80,4%) comme à Dabakala (96,9%) ces plantes sont majoritairement produites en association.

En ce qui concerne les plantes à parties comestibles souterraines, l'enquête a révélé que l'igname, le manioc et l'arachide étaient les plantes cultivées. L'arachide est cultivée par 16,4% et 37,2% des enquêtés respectivement à Dabakala et à Niakara. 20,7% et 19,5% des agriculteurs cultivent l'igname respectivement à Dabakala et à Niakara. La culture du manioc est quant à elle réalisée par 17,9% et 7,1% des enquêtés respectivement à Dabakala et à Niakara.

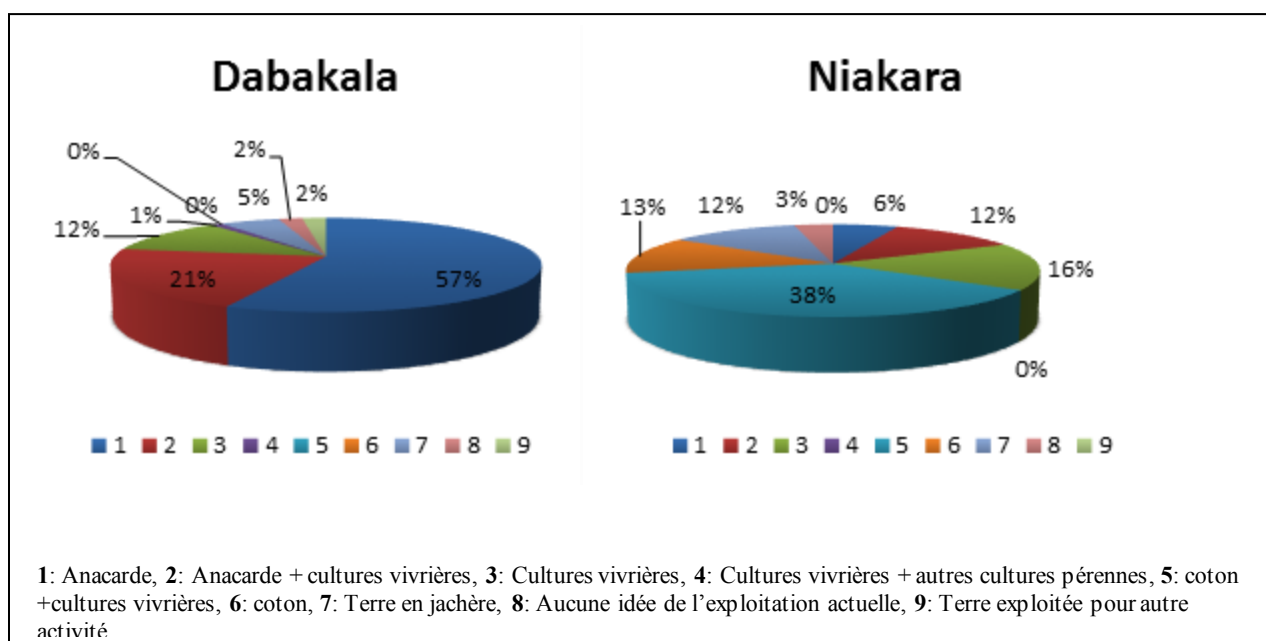
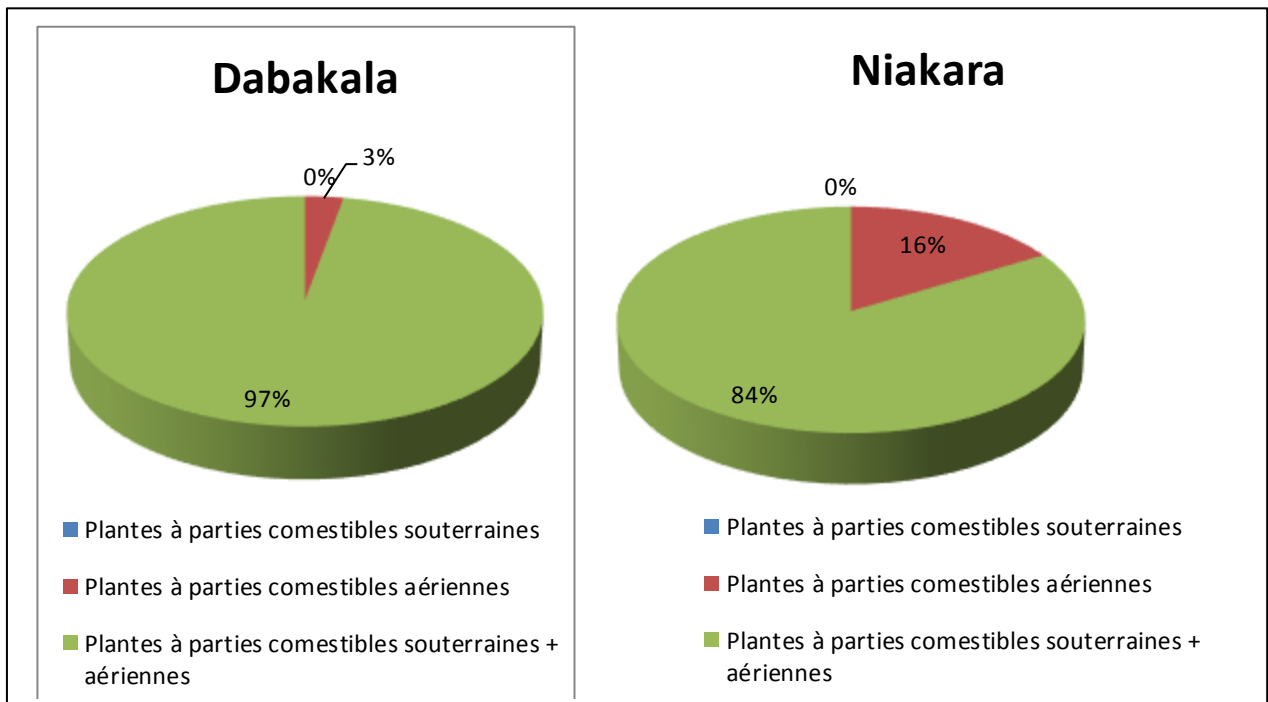
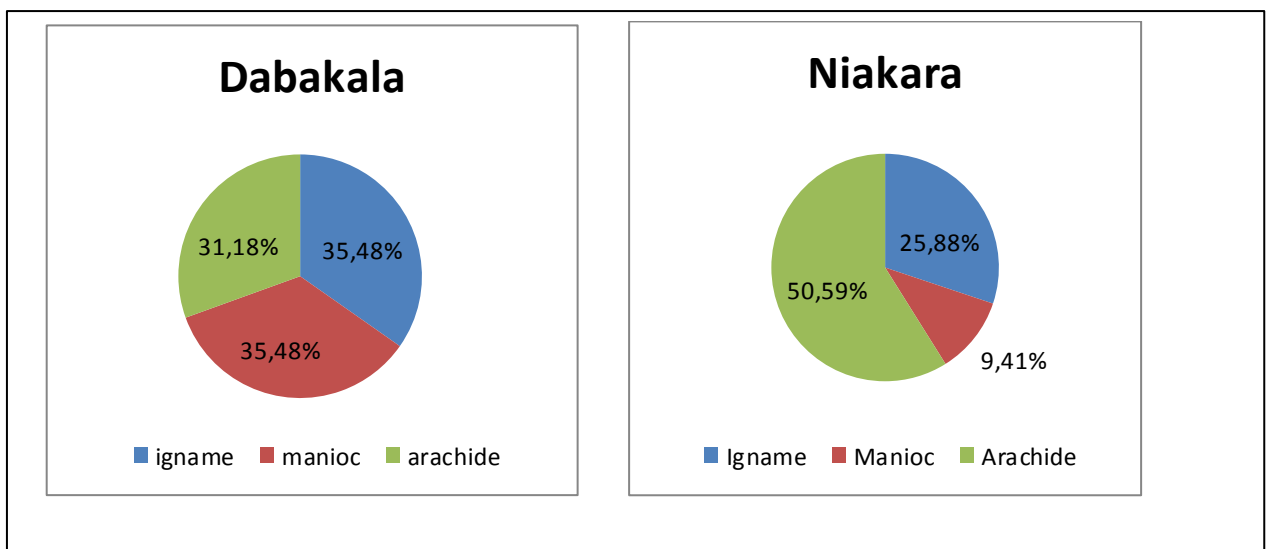


Figure 7 : Répartition des enquêtés en fonction de l'usage actuel des sols à antécédents cotons



**Figure 8:** Répartition des enquêtés en fonction du type de cultures vivrières produites sur les sols à antécédents cotons



**Figure 9:** Répartition des enquêtés en fonction des cultures vivrières à organes souterrains produites sur les anciennes parcelles

### 1-2-Discussion

Les résultats obtenus montrent que les pesticides organochlorés ont été utilisés sur la culture du coton dans notre zone d'étude. En effet, ils ont été pulvérisés pour la première fois sur le coton ivoirien dans les champs d'essais de la culture du coton "Mono" (Bassett, 2002). La culture du coton étant très sensible aux ravageurs, les pesticides organochlorés ont été

recommandés pour l'intensification de la culture dans les années 1960. Cependant, Malgré leur spectre d'action large et leur effet persistant sur les ravageurs, les pesticides organochlorés ont été interdits. Cette interdiction est due à la découverte de leur persistance environnementale et de la non-spécificité de leurs effets toxiques (**Kouzayha, 2011**). Après l'interdiction des organochlorés, l'endosulfan a été réintroduit en 1999 suite à la résistance des ravageurs aux pyréthrinoides (**PAN / IPEN, 2008**).

Selon les résultats obtenus, les agriculteurs enquêtés avaient en majorité l'âge supérieur ou égal à 55 ans. Cela pourrait se justifier par le fait que l'utilisation des pesticides organochlorés a débuté à l'époque coloniale. Ils sont pour la plupart non instruits. Le rapport d'état du système éducatif national a montré que, dans la population âgée de 15 à 45 ans, le taux d'analphabètes dans le centre-nord du pays était de 75% (**RESEN, 2009**). En milieu rural ivoirien, ce taux est de 69,7% (**MICS, 2006**). Cette situation pourrait être due à l'insuffisance d'une offre ou d'une demande d'éducation primaire (**Yéo, 2014**).

Les producteurs de coton étaient tous des hommes, cela pourrait s'expliquer par le fait qu'il est impossible pour les femmes d'avoir accès à la terre à cause des traditions locales.

Après le coton, les terres sont utilisées à différentes fins comme la culture des produits vivriers. L'igname, le manioc et l'arachide sont les principales cultures à organes souterrains comestibles cultivées dans la région. L'arachide est cultivée en majorité à Niakara où des producteurs actuels de coton ont été rencontrés. En effet, la culture de l'arachide est réalisée en rotation avec la culture du coton afin d'améliorer la fertilité des sols (**N'Goran et al., 2017**).

## **2-Enquête sur la consommation de l'igname, du manioc et de l'arachide**

### **2-1-Résultats**

#### **2-1-1- Caractéristiques de la population enquêtée**

Sur les 400 personnes enquêtées, 177 étaient des hommes et 223 des femmes soit respectivement 44% et 56% de la population (Tableau XI). La majorité de cette population (58%) avait l'âge compris entre 18 et 39 ans. Les personnes enquêtées appartenaient à neuf différents groupes ethniques dominés par les djimins (34%), suivis des tagbanas (25%), des senoufos (10%) et des allogènes (15%). Les malinkés, lobis, baoulés, koulangos et bétés étaient les moins représentés.

L'igname, l'arachide et le manioc sont consommés par la plupart des personnes enquêtées à des taux respectifs de 97%, 96% et 93% (Tableau XII). Cette consommation ne varie pas en fonction des villes car il n'existe pas de différence significative ( $p > 0,05$ ).

**Tableau XI** : Caractéristiques sociodémographiques de la population enquêtée

		Dabakala	Niakara	Total	
Pourcentage des	enquêtés	59 %	42 %		
Sexe	Féminin	53 %	60 %	56 %	
	Masculin	47 %	40 %	44 %	
	Non réponse	10 %	0 %	6 %	
Tranches d'âge	Moins de 18 ans	9 %	11 %	10 %	
	18 à 29 ans	26 %	25 %	26 %	
	30 à 39 ans	29 %	34 %	32 %	
	40 à 49 ans	13 %	14 %	14 %	
	50 à 59 ans	6 %	8 %	7 %	
	60 ans et plus	6 %	7 %	7 %	
	Ethnies	djimini	59 %	1 %	34 %
		tagbana	6 %	51%	25 %
senoufo		2 %	19 %	10 %	
baoulé		5 %	4 %	5%	
allogènes		15%	14 %	15%	
malinké		5 %	9 %	7%	
lobi		4 %	2 %	3%	
koulango		3 %	0 %	2%	
bété		1 %	0 %	0%	

**Tableau XII** : Répartition des enquêtés en fonction des aliments consommés et des villes

Villes	Niakara	Dabakala
Aliments consommés		
igname	98 %	95 %
manioc	90 %	95 %
arachide	98 %	94%

### 2-1-2- Consommation de l'igname

L'analyse des données recueillies nous montre que l'igname est consommée sous plusieurs formes à savoir les formes bouillie, foutou, frite, braisée et autres (ragout et boulettes). La forme foutou est la plus consommée suivie de la forme bouillie avec respectivement une proportion de 79 % et 57% des enquêtés (Tableau XIII). Le test de Khi deux met en évidence l'existence de différences significatives en termes de formes culinaires d'igname consommées ( $\chi^2 = 729,1$ , ddl = 6,1, 1-p= > 99,9%). Les consommateurs qui affirment apprécier le foutou d'igname sont plus nombreux que ceux qui aiment l'igname bouillie.

De manière générale, la consommation de l'igname sous toutes les formes, se fait fréquemment au sein des consommateurs enquêtés. En effet, quelle que soit la forme culinaire, les résultats d'enquête montrent que l'igname est plus consommée à des fréquences d'au moins 1 fois/jour et de 2 à 4 fois/semaine (Figure 10).

La consommation moyenne de ces formes culinaires est de  $297,0 \pm 249,3$  g/jour/ pers et  $266,2 \pm 224,2$  g/jour/pers respectivement pour l'igname sous forme foutou et l'igname bouillie. Dans l'ensemble, la population enquêtée à une consommation moyenne d'igname de 265,3 g/jour/pers (Tableau XIV).

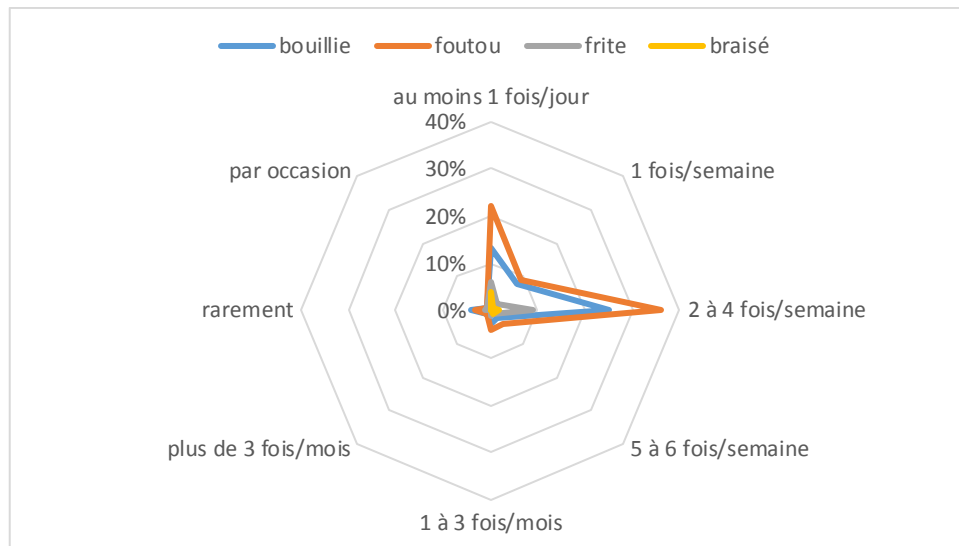
**Tableau XIII** : Répartition des consommateurs selon la forme culinaire d'igname

formes culinaires de l'igname	Effectif	Intervalles de confiance (%)
<b>bouillie</b>	227	52 < 57 < 62
<b>foutou</b>	317	75 < 79 < 83
<b>frite</b>	82	17 < 21 < 24
<b>braisée</b>	32	5 < 8 < 11
<b>autres</b>	9	1 < 2 < 4
<b>Non réponse</b>	14	2 < 4 < 5
<b>TOTAL</b>	400	

**Tableau XIV** : Quantité moyenne par jour et par personne d'igname consommée selon les différentes formes culinaires

Formes culinaires d'igname	Quantité(g)/jour/personne				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type
<b>Bouillie</b>	15,0	1350	266,2	192,9	224,2
<b>Foutou</b>	7,5	1125	297,0	214,3	249,3
<b>Frite</b>	3,3	1125,0	147,8	100,0	166,0
<b>Braisée</b>	5,0	700,0	240,1	257,1	170,7





**Figure 10:** Répartition des consommateurs d'igname en fonction des fréquences de consommation et des formes culinaires

### 2-1-3-Consommation du manioc

A l'instar de l'igname, le manioc peut être consommé sous différentes formes notamment bouillie, foutou, attiéké, placali et autres (« kokondé », braisé et mélangé à de la banane pour le foutou) (Tableau XV). L'attiéké est la forme la plus consommée avec 86% des enquêtés suivi du placali (46%) des enquêtés. Toutefois, l'analyse statistique montre l'existence d'une différence significative en termes de formes culinaires de manioc consommées ( $\chi^2 = 898,6$ , ddl = 6,  $1-p = > 99,9\%$ ).

De manière générale, la consommation du manioc est régulière sous la forme attiéké au sein des consommateurs enquêtés. En effet, les résultats d'enquête montrent que cette forme culinaire est plus consommée à des fréquences d'au moins 1 fois/jour et de 2 à 4 fois/semaine par plus de 50% des enquêtés (Figure 11).

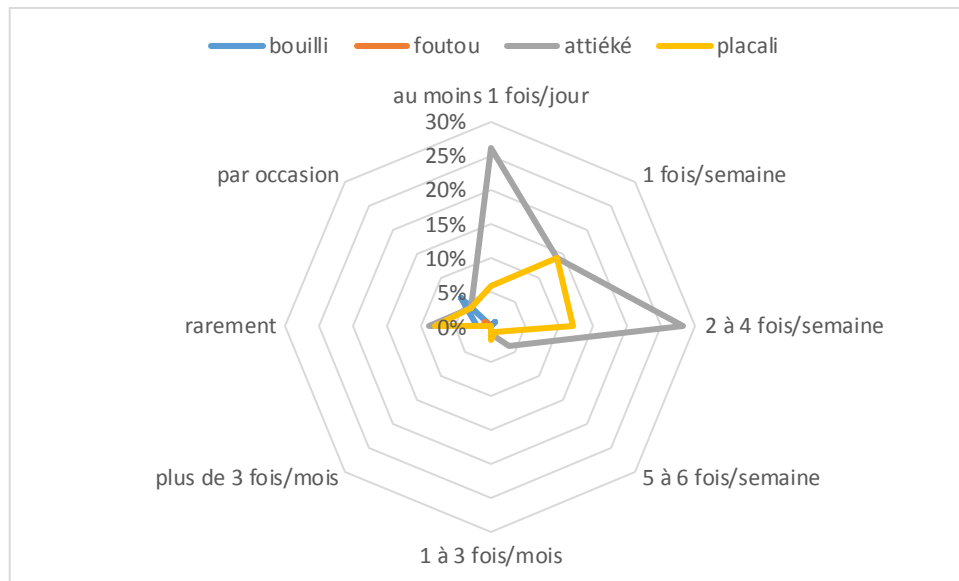
Les quantités moyennes d'attiéké et de placali consommées par jour et par enquêtés sont respectivement de  $182,2 \pm 151$  g et  $231,6 \pm 236,8$  g. Dans l'ensemble, la population enquêtée à une consommation moyenne de manioc de  $197,1$  g /jour/pers (Tableau XVI).

**Tableau XV** : Répartition des consommateurs selon la forme culinaire du manioc

formes culinaires du manioc	Effectifs	Intervalles de confiance (%)
<b>bouillie</b>	33	6 < 8 < 11
<b>foutou</b>	5	0 < 1 < 2
<b>attiéké</b>	344	83 < 86 < 89
<b>placali</b>	184	41 < 46 < 51
<b>autres</b>	20	3 < 5 < 7
<b>Non réponse</b>	27	4 < 7 < 9
<b>TOTAL</b>	400	

**Tableau XVI** : Quantité moyenne par jour et par personne de manioc consommée selon les formes culinaires

Formes culinaires du manioc	Quantité(g)/jour/personne				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart-type
<b>Bouillie</b>	32,1	160,7	96,4	160,7	90,9
<b>Foutou</b>	64,3	64,3	64,3	64,3	0,0
<b>Attiéké</b>	15,0	675,0	182,1	128,6	151,0
<b>Placali</b>	15,0	1125,0	231,6	160,7	236,8



**Figure 11:** Répartition des consommateurs de manioc en fonction des fréquences de consommation et des différentes formes culinaires

#### 2-1-4- Consommation de l'arachide

A l'issue de notre enquête, nous constatons que dans notre zone d'étude, l'arachide se consomme de diverses manières. Notamment en graines sous forme fraîche, bouillie, grillée avec la coque, sèche, grillée sans la coque, ou en pâte (sauce ou à tartiner). Les résultats indiquent que la sauce d'arachide est la forme la plus consommée suivie de l'arachide « grillée avec la coque » et de l'arachide « fraîche » dans des proportions respectives de 83%, 55% et 35% des enquêtés consommateurs d'arachide (Tableau XVII). Le test de Khi deux met en évidence l'existence de différences significatives en termes de formes culinaires d'arachide consommées ( $\chi^2 = 760,0$ ,  $ddl = 7$ ,  $1-p = >99,9\%$ ).

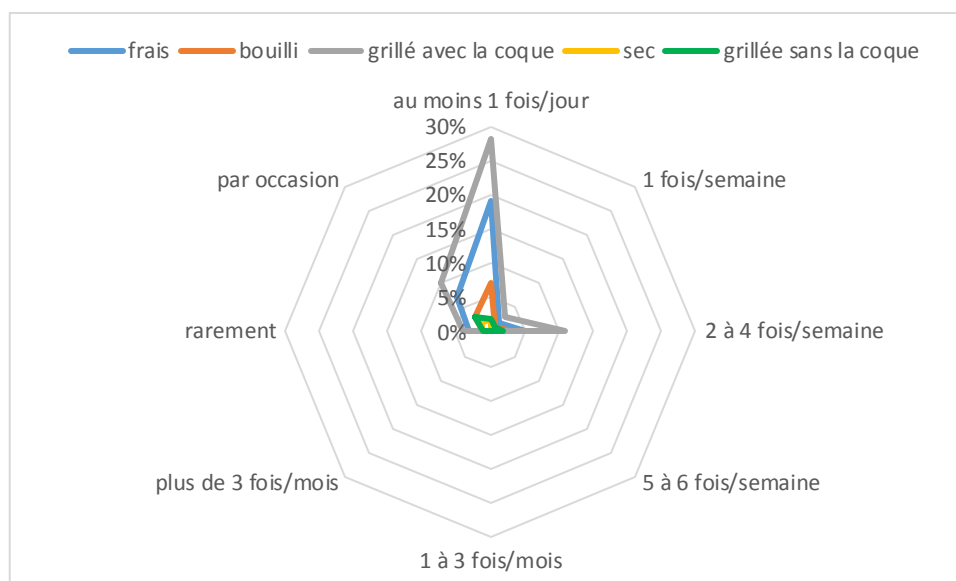
En général, la consommation des graines d'arachide est régulière sous les formes "fraîche" et "grillée avec la coque". En effet, les résultats montrent que ces deux formes sont plus consommées aux fréquences au moins une fois par jour et 2 à 4 fois par semaine (figure 12). Une personne consomme par jour en moyenne  $158,3 \pm 124,9$  g et  $170,6 \pm 147,8$  g respectivement d'arachide grillée avec la coque et d'arachide fraîche (Tableau XVIII). Dans l'ensemble, la consommation moyenne d'arachide est de 161 g/jour/pers.

**Tableau XVII** : Répartition des consommateurs selon la forme culinaire de l'arachide

<b>formes culinaires</b>	<b>Effectifs</b>	<b>Intervalles de confiance (%)</b>
<b>fraiche</b>	139	30 < 35 < 39
<b>bouillie</b>	58	11 < 14 < 18
<b>grillée avec la coque</b>	219	50 < 55 < 60
<b>sec</b>	15	2 < 4 < 6
<b>grillée sans la coque</b>	31	5 < 8 < 10
<b>Autres (sauce arachide)</b>	330	79 < 83 < 86
<b>Non réponse</b>	16	2 < 4 < 6
<b>TOTAL</b>	400	

**Tableau XVIII** : Quantité moyenne par jour et par personne d'arachide consommée selon les formes culinaires

	Quantité(g)/jour/personne				
	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Médiane</b>	<b>Ecart-type</b>
Formes culinaires de l'arachide					
<b>Fraiche</b>	10,8	755,4	170,6	151,1	147,8
<b>Bouillie</b>	22,5	630,6	170,3	154,6	169,9
<b>Grillée avec la coque</b>	7,4	618,5	158,3	154,6	124,9
<b>Sec</b>	150,0	600,0	330,0	300,0	195,6
<b>Grillée sans la coque</b>	2,3	49,1	22,1	21	14,7



**Figure 12:** Répartition des consommateurs d'arachide en fonction des fréquences de consommation et des différentes formes culinaires

### 2-1-5-Facteurs de différenciation de la consommation

#### 2-1-5-1- Le sexe

Selon les produits et les formes culinaires, les niveaux de consommation diffèrent entre les hommes et les femmes (Tableau XIX). La quantité d'aliments consommés par les hommes est supérieure à celle des femmes. Au niveau de la consommation de l'igname, une différence significative ( $p < 0,05$ ) n'est observée entre les deux sexes que dans le cas du foutou igname. Ce qui signifie que les hommes consomment plus le foutou igname que les femmes. Concernant le manioc il n'y a pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les deux sexes quelle que soit la forme culinaire. Il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les deux sexes au niveau des formes "bouillie" et "grillée avec coques" pour l'arachide.

#### 2-1-5-2- L'âge

La quantité de produits consommée par jour et par personne diffère d'une classe d'âge à l'autre (Tableau XX). Au niveau de la consommation de l'igname, une différence significative ( $p < 0,05$ ) est observée avec la forme foutou, les personnes âgées de 40 à 60 ans et plus ont la consommation la plus forte qui est en moyenne de 373,6 g/jour/pers. La consommation du manioc diffère significativement ( $p < 0,05$ ) avec l'âge au niveau de la forme attiéké. La plus forte consommation journalière est observée avec la tranche d'âge de 18 à 29 ans. Concernant la consommation de l'arachide il n'y a pas de différence significative entre les tranches d'âge quelle que soit la forme culinaire.

**Tableau XIX** : Quantité (g) de produits consommés selon le sexe et la forme culinaire

Produits	Formes culinaires	Sexes		Résultats du Test de Fisher
		Masculin	Féminin	1-p
<b>Igname</b>	<i>Bouillie</i>	290,3	249,8	80,3%
	<i>Foutou</i>	357,1	255,2	<b>99,9%</b>
	<i>Frite</i>	172,9	132,1	70,6%
	<i>braisée</i>	279,2	139,3	93,9%
<b>Manioc</b>	<i>Bouillie</i>	-	96,4	0,0%
	<i>Foutou</i>	-	64,3	0,0%
	<i>Attiéké</i>	191,3	175,4	62,3%
	<i>Placali</i>	271	210,5	84,6%
<b>Arachide</b>	<i>Fraiche</i>	194,2	143,6	92,4%
	<i>Bouillie</i>	238,5	129,9	<b>96,1%</b>
	<i>Grillée avec coques</i>	184,6	120,9	<b>99,9%</b>
	<i>Sec</i>	337,5	300	48,2%
	<i>Grillée sans coques</i>	25,1	15,4	70,8%

Tableau XX : Quantité (g) de produits consommés selon l'âge et la forme culinaire

Produits	Formes culinaires	Age						Résultats du test de fischer
		Moins de 18 ans	18 à 29 ans	30 à 39 ans	40 à 49 ans	50 à 59 ans	60 ans et plus	1-p
<b>Igname</b>	<i>Bouillie</i>	250,3	286,5	225,4	300,5	341,9	261,8	62,2%
	<i>Foutou</i>	257	282,9	248,8	385,1	346,5	381,8	<b>98,6%</b>
	<i>Frite</i>	134	169,6	125,3	250	-	200	32,7%
	<i>braisée</i>	212,5	224,4	375	265,2	221	219,1	7,7%
<b>Manioc</b>	<i>Bouillie</i>	-	160,7	32,1	-	-	-	0,0%
	<i>Foutou</i>	-	64,3	-	-	-	-	0,0%
	<i>Attiéké</i>	205,2	231,5	159,3	138	99,6	72,3	<b>99,9%</b>
	<i>Placali</i>	175,2	262,1	272,1	258,4	176,8	68,6	60,1%
<b>Arachide</b>	<i>Fraiche</i>	139,1	160,7	183,9	216,7	232,9	130,6	55,0%
	<i>Bouillie</i>	168,9	126,7	188	188,8	472,9	157,6	46,1%
	<i>Grillée avec coques</i>	136	158,2	154,1	193,9	209,8	146,9	33,7%
	<i>Sec</i>	-	300	150	600	450	150	0,0%
	<i>Grillée sans coques</i>	24,5	24,5	15,6	28	-	49,1	65,4%

## 2-2-Discussion

Les résultats obtenus montrent que la majeure partie de la population consomme l'igname, le manioc et l'arachide. La culture de ces différents produits vivriers est donc destinée en partie à la consommation locale. Bien que n'étant pas en majorité peuplées par les mêmes ethnies, l'on constate que dans les deux localités, l'igname, le manioc et l'arachide sont très appréciés. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que soit ces populations aient les mêmes habitudes alimentaires, soit le brassage de ces populations tend à modifier leurs habitudes alimentaires (N'Dri, 2010).

Selon leur préférence, les populations consomment les différents produits vivriers, après transformation ou non. Ainsi, les informations obtenues après l'enquête, montrent que la consommation de l'igname se fait sous différentes formes. Ces résultats sont en conformité avec ceux de Nindjin *et al.* (2007), qui ont indiqué que les formes de préparation culinaire de l'igname fraîche généralement rencontrées en Côte d'Ivoire sont le foutou d'igname (forme pilée), l'igname bouillie, le ragoût d'igname, l'igname braisée et les frites d'igname. Par ailleurs, le foutou d'igname se révèle être la forme la plus appréciée. Ces résultats sont corroborés par ceux de Dumont et Marti (1997) et Mahyao (2008) qui ont montré que le foutou igname était la forme culinaire la plus appréciée respectivement en Afrique occidentale et en Côte d'Ivoire.

A l'instar de l'igname, l'enquête montre que le manioc peut être consommé sous diverses formes, lesquelles font partie des aliments à base de manioc consommés en Côte d'Ivoire selon Yéboué *et al.* (2017) et Zoumenou *et al.* (1999). L'attiéké se trouve être la forme culinaire la plus consommée ce qui serait en accord avec certains auteurs qui affirment que l'attiéké est l'aliment à base de manioc le plus consommé en Côte d'Ivoire (Coulin *et al.*, 2006; Kouamé *et al.*, 2013). Par ailleurs, la consommation de l'attiéké est régulière. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'attiéké est considéré comme un "fast-food" qui peut être consommé chaud ou froid (Coulin *et al.*, 2006), sa préparation ne prend pas assez de temps. De plus son prix abordable le rend accessible à toutes les bourses (Kouadio, 2013). La quantité moyenne d'attiéké consommée par jour et par personne obtenue au cours de l'enquête, est inférieure à celle trouvée par Yobouet en 2016 qui était de  $296 \pm 310$  g/jour/personne au cours d'une enquête menée à Abidjan (Yobouet, 2016). Cette différence pourrait être justifiée par le fait que la zone d'Abidjan constitue la plus forte zone de production et de consommation de l'attiéké (Krahi *et al.*, 2015). Par ailleurs, l'attiéké étant un met typique des peuples lagunaires, ce qui expliquerait qu'ils en soient les grands consommateurs (Assanvo *et al.*, 2006).



La consommation de l'arachide, quant à elle, se fait aussi sous différentes formes culinaires parmi lesquelles la sauce arachide est la plus consommée. Cette forte consommation de l'arachide en sauce pourrait être due au fait qu'elle est une spécialité du peuple malinké et que la pâte d'arachide intervient aussi dans la préparation d'autres sauces telles que la sauce « dah » (feuille d'oseille) qui est régulièrement consommée au nord de la Côte d'Ivoire (**Dally et al., 2010**). Pendant la période de forte disponibilité, les grains d'arachide sont beaucoup commercialisés sous les formes fraîche et grillée avec la coque. La population peut s'en procurer à des prix abordables, dans la rue auprès des vendeuses ambulantes ou non. Ils servent d'aliments à grignoter.

Selon le sexe et l'âge, les quantités d'aliments consommés diffèrent. Les résultats de l'enquête montrent que la consommation du manioc diffère significativement ( $p < 0,05$ ) avec l'âge au niveau de la forme attiéké. La plus forte consommation journalière est observée avec la tranche d'âge de 18 à 29 ans. Ce fait est en accord avec ceux de **Yobouet (2016)** qui a trouvé que la tranche d'âge de 19 à 49 ans était la plus grande consommatrice d'attiéké. Concernant la consommation de l'arachide il n'y a pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les tranches d'âge quelle que soit la forme culinaire. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que, d'une part, lorsque la sauce arachide est préparée dans les ménages, elle est à la portée de tous (la sauce arachide est appréciée par toutes les tranches d'âge sans distinction de sexe). D'autre part, les graines d'arachide sont aussi accessibles à tous du fait de leur provenance des plantations familiales ou de leurs prix abordables dans le commerce.

En conclusion, il est remarqué que selon le produit vivrier, différentes formes étaient plus appréciées par la population, la forme bouillie et le foutou pour l'igname, l'attiéké pour le manioc et la forme bouillie et grillée avec la coque pour l'arachide. Ces différentes formes culinaires sont consommées régulièrement par la population. Cette consommation diffère pour certains aliments en fonction de l'âge et du sexe. Les fréquences de consommation confirment bien que les populations mangent principalement ce qui est produit localement.

## **II- CONTAMINATION DES ECHANTILLONS DE SOL ET DE CULTURE PAR LES RESIDUS DE PESTICIDES**

### **1-Résultats**

#### **1-1- Caractéristiques physico-chimiques et granulométrique des échantillons de sol**

La caractérisation physico-chimique des différents échantillons de sols a permis d'obtenir plusieurs résultats (Tableau XXI).

Le pHeau des sols mesuré varie de  $5,60 \pm 0,02$  à  $6,51 \pm 0,23$  avec une moyenne de  $6,02 \pm 0,28$  à Dabakala et de  $5,54 \pm 0,00$  à  $7,39 \pm 0,17$  avec une moyenne de  $6,22 \pm 0,59$  à Niakara. Les sols sont acides pour la plupart. Il n'existe pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les moyennes de pH des échantillons des différents sites.

Concernant les teneurs des échantillons des sols en ions calcium, magnésium et potassium, les teneurs varient respectivement de  $0,536 \pm 0,002$  à  $3,832 \pm 0,002$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  avec une moyenne de  $1,456 \pm 1,089$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  à Dabakala et de  $0,619 \pm 0,01$  à  $4,684 \pm 0,001$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  avec une moyenne de  $1,783 \pm 1,382$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  à Niakara pour  $\text{Ca}^{2+}$ . Pour les ions  $\text{Mg}^{2+}$ , les valeurs varient de  $0,344 \pm 0,001$  à  $0,813 \pm 0,002$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  avec une moyenne de  $0,556 \pm 0,180$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  à Dabakala et de  $0,287 \pm 0,001$  à  $0,785 \pm 0,001$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  avec une moyenne de  $0,435 \pm 0,171$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  à Niakara. Quant aux teneurs d'ions potassium, elles varient de  $0,057 \pm 0,001$  à  $0,221 \pm 0,001$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  avec une moyenne de  $0,111 \pm 0,056$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  à Dabakala et de  $0,057 \pm 0,001$  à  $0,096 \pm 0,001$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  avec une moyenne de  $0,074 \pm 0,013$   $\text{cmol.kg}^{-1}$  à Niakara. Il n'existe pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les moyennes des teneurs en calcium. Cependant, il en existe ( $p < 0,05$ ) entre les moyennes des teneurs en magnésium et de potassium des différents sites.

En outre les taux de carbone et de matières organiques varient respectivement de  $0,48 \pm 0,01\%$  à  $1,59 \pm 0,01\%$  et de  $0,83 \pm 0,01\%$  à  $2,74 \pm 0,02\%$  à Dabakala. A Niakara, ils varient respectivement de  $0,47 \pm 0,01\%$  à  $1,08 \pm 0,00\%$  et de  $0,81 \pm 0,01\%$  à  $1,86 \pm 0,00\%$ . Il est à noter l'existence d'une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les moyennes des taux de carbone et de matières organiques des échantillons des différents sites.

Par ailleurs, les résultats obtenus montrent que les échantillons présentent des taux d'azote organique oscillant entre  $0,05 \pm 0,01\%$  et  $0,14 \pm 0,01\%$  et entre  $0,04 \pm 0,01\%$  et  $0,10 \pm 0,01\%$  respectivement à Dabakala et à Niakara. Il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les moyennes du taux d'azote total des échantillons sur les différents sites.

Le rapport carbone/azote (C//N) calculé présente des valeurs comprises entre  $10,13 \pm 0,76$  et  $11,7 \pm 0,62$  avec une moyenne de  $11,03 \pm 0,58$  pour les échantillons de Dabakala et des valeurs comprises entre  $9,73 \pm 0,23$  et  $12,72 \pm 0,10$  avec une moyenne de  $10,89 \pm 0,95$  pour ceux de Niakara. Il n'existe pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les échantillons des différents sites au niveau du rapport carbone/azote.

L'analyse granulométrique des échantillons a permis d'identifier 5 (cinq) fractions à savoir les fractions argile, limon fin, limon grossier, sable fin et sable grossier. Les pourcentages d'argile, de limon et de sable des échantillons de sol de Dabakala varient respectivement de  $3,25\%$  à  $16\%$ ; de  $8,22\%$  à  $38,62\%$  et de  $43,78\%$  à  $82,36\%$ . Quant à ceux de Niakara, ils

varient respectivement de 5,25% à 12,5% ; de 10,38% à 31,69% et de 36,05% à 82,3%. Quel que soit la fraction considérée, il n'existe pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les échantillons des différents sites. Les sols sont essentiellement à texture limon-sableux et sable-limoneux.

**Tableau XXI** : Caractéristiques physicochimiques et granulométriques des échantillons de sol prélevés à Dabakala et à Niakara

Paramètres	Villes					
	Dabakala			Niakara		
	minimum	maximum	moyenne	minimum	maximum	moyenne
<b>pH eau</b>	5,60±0,02	6,51±0,23	6,02±0,28 <sup>a</sup>	5,54±0,00	7,39±0,17	6,22±0,59 <sup>a</sup>
<b>pH KCl</b>	4,48±0,00	5,67±0,09	4,96±0,39 <sup>a</sup>	4,11±0,01	6,84±0,16	5,45±0,82 <sup>b</sup>
<b>Ca<sup>2+</sup> (cmol.kg-1)</b>	0,536±0,002	3,832±0,002	1,456±1,089 <sup>a</sup>	0,619±0,01	4,684±0,001	1,783±1,382 <sup>a</sup>
<b>Mg<sup>2+</sup> (cmol.kg-1)</b>	0,344±0,001	0,813±0,002	0,556±0,180 <sup>a</sup>	0,287±0,001	0,785±0,001	0,435±0,171 <sup>b</sup>
<b>K<sup>+</sup> (cmol.kg-1)</b>	0,057±0,001	0,221±0,001	0,111±0,056 <sup>a</sup>	0,057±0,001	0,096±0,001	0,074±0,013 <sup>b</sup>
<b>Corg (%)</b>	0,48±0,06	1,59±0,01	1,01±0,33 <sup>a</sup>	0,49±0,01	1,08±0,00	0,82±0,23 <sup>b</sup>
<b>MO (%)</b>	0,83±0,01	2,74±0,02	1,74±0,57 <sup>a</sup>	0,84±0,02	1,86±0,00	1,42±0,40 <sup>b</sup>
<b>N total (%)</b>	0,05±0,01	0,14±0,01	0,09±0,03 <sup>a</sup>	0,05±0,01	0,10±0,01	0,08±0,02 <sup>b</sup>
<b>C/N</b>	10,13±0,76	11,7±0,62	11,03±0,58 <sup>a</sup>	9,73±0,23	12,72±0,10	10,89±0,95 <sup>a</sup>
<b>Argile (%)</b>	3,25	15,5	8,56±4,28 <sup>a</sup>	5,25	12,5	7,57±2,73 <sup>a</sup>
<b>Limons (%)</b>	10,29	38,62	22,83±10,34 <sup>a</sup>	14,78	56,95	26,44±14,73 <sup>a</sup>
<b>Sable (%)</b>	43,78	84,96	66,86±14,88 <sup>a</sup>	36,05	79,14	64,58±15,03 <sup>a</sup>
<b>Texture</b>			sable-limoneux limon-sableux			sable-limoneux limon-sableux

Les valeurs moyennes dans les lignes suivies par les mêmes lettres de l'alphabet (a, b) ne sont pas significativement différentes ( $p > 0,05$ ) en utilisant l'ANOVA et le test de Newman-Keuls.

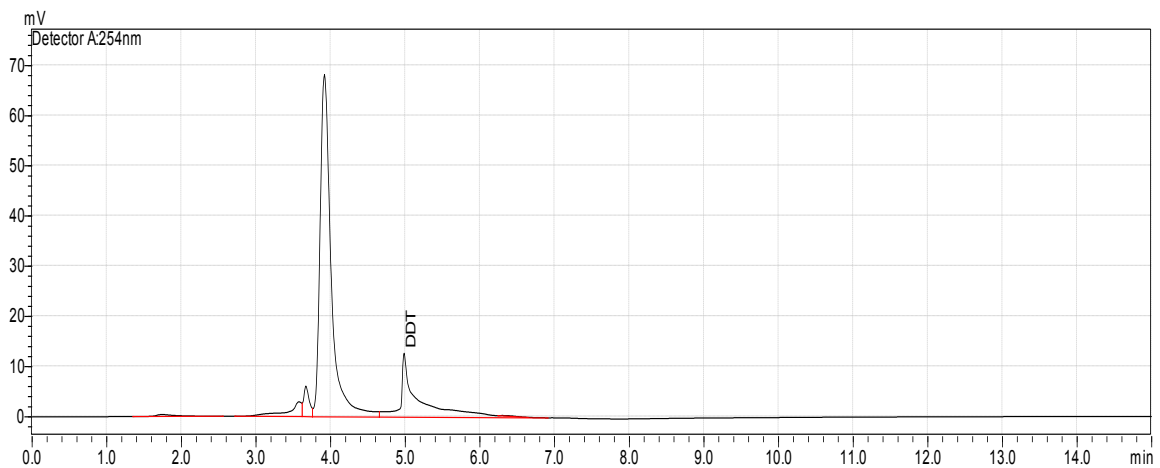
## 1-2- Analyse en HPLC de certains échantillons

### 1-2-1-Le DDT (Dichlorodiphényltrichloroéthane)

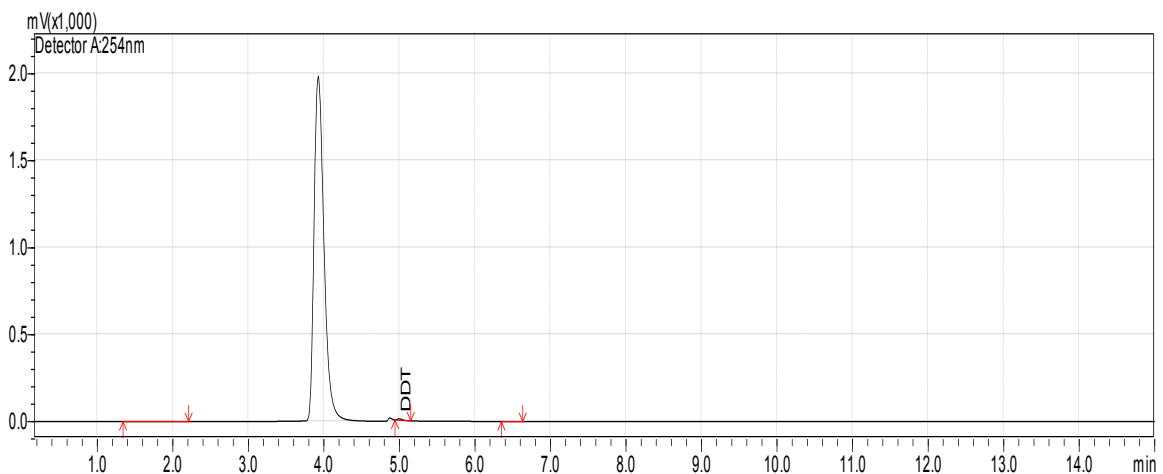
Le tableau XXII nous montre les valeurs des surfaces des pics et des concentrations de l'étalon du DDT et de l'échantillon de sol N°6 provenant de Niakara. Les différents pics associés à ces valeurs sont représentés par les figures 13 et 14.

**Tableau XXII** : Surfaces des pics et concentrations en HPLC de l'étalon du DDT et de l'échantillon de sol N6

ECH.	concentration Ech (µg/kg)	surface étalon	concentration étalon (µg-L)	VF(l)	Mech (kg)	Surface Ech.
N6	0,212	204968	10	0,005	0,025	21727



**Figure 13** : Chromatogramme représentant le profil de l'étalon du DDT



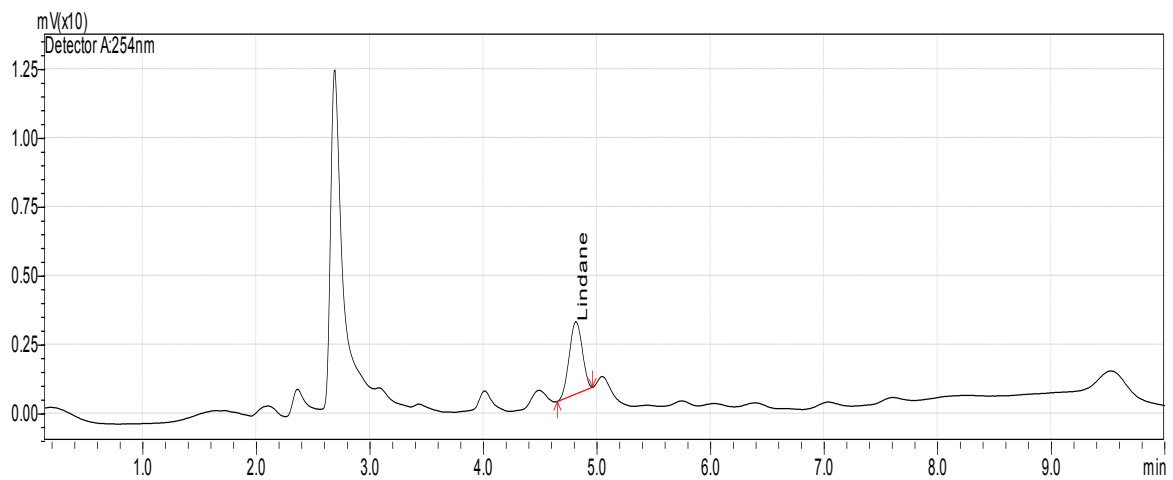
**Figure 14** : Chromatogramme représentant le profil de l'échantillon de sol N6

### 1-2-2-Le Lindane

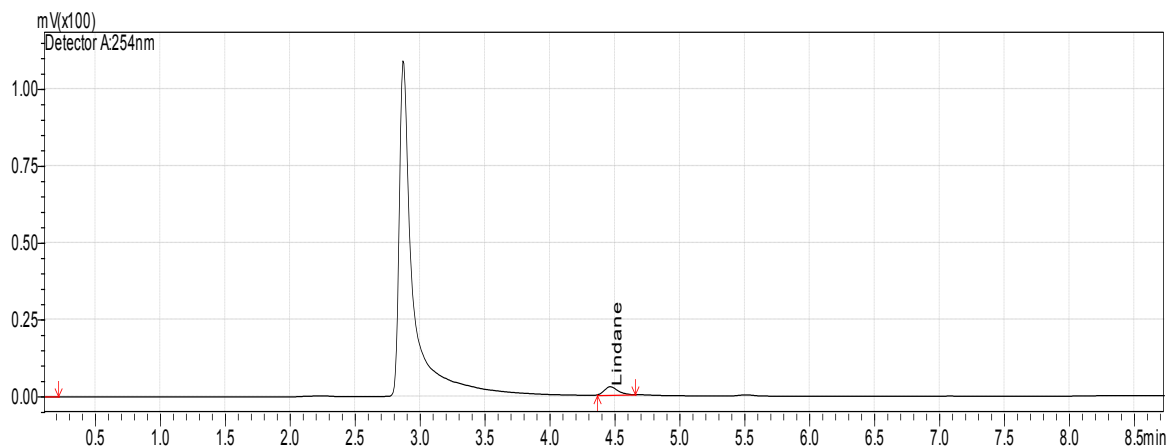
Le tableau XXIII nous montre les valeurs des surfaces des pics et des concentrations de l'étalon du lindane et de l'échantillon de sol N°6 provenant de Dabakala. Les différents pics associés à ces valeurs sont représentés par les figures 15 et 16.

**Tableau XXIII** : Surfaces des pics et concentrations en HPLC de l'étalon du lindane et de l'échantillon de sol D6

ECH.	concentration Ech (µg/Kg)	surface étalon	concentration étalon (µg-L)	VF(l)	Mech (kg)	Surface Ech.
D6	1,07	21097	10	0,005	0,025	11287



**Figure 15** : Chromatogramme représentant le profil de l'étalon du lindane



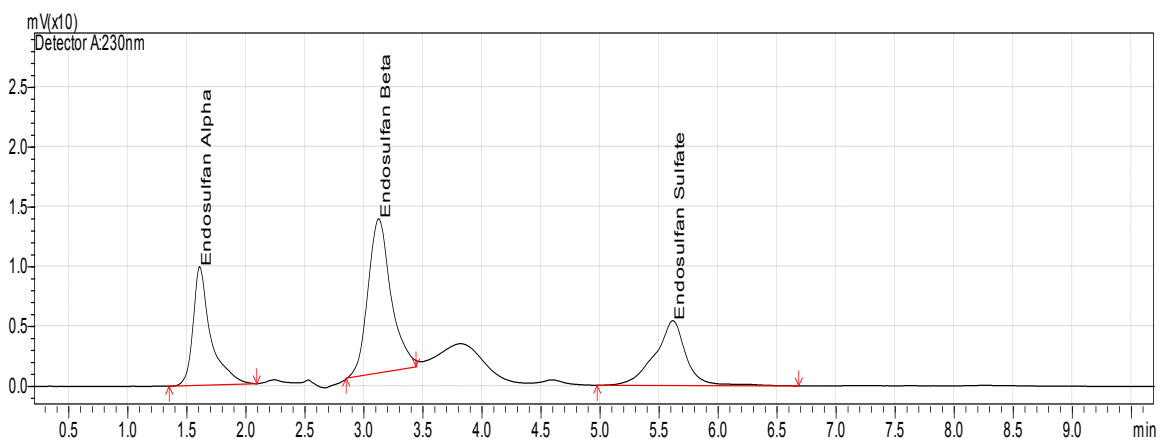
**Figure 16** : Chromatogramme représentant le profil de l'échantillon de sol D6

### 1-2-3-L'endosulfan et ses métabolites

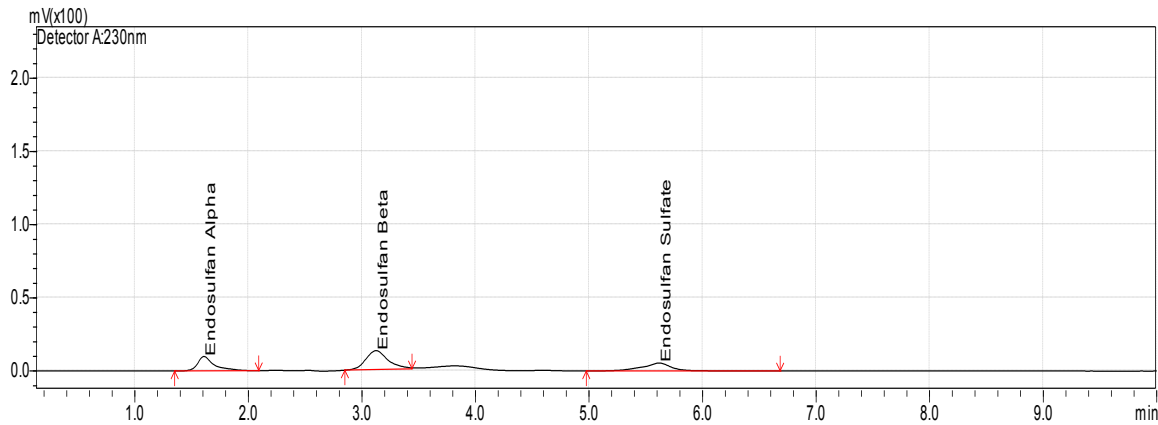
Le tableau XXIV nous montre les valeurs des surfaces des pics et des concentrations de l'étalon du lindane et de l'échantillon de sol N°6 provenant de Dabakala. Les différents pics associés à ces valeurs sont représentés par les figures 17 et 18.

**Tableau XXIV** : Surfaces des pics et concentrations en HPLC de l'étalon de l'endosulfan et de ses métabolites et de l'échantillon de sol D6

ECH.	concentration Ech (µg/Kg)	surface étalon	concentration étalon (µg-L)	VF(I)	Mech (kg)	Surface Ech.
<b>Endosulfan-α</b>						
<b>D6</b>	0,424	10549	10	0,005	0,025	2236
	<b>Endosulfan-β</b>					
	0,324	9854	10	0,005	0,025	1596
<b>Endosulfan sulfate</b>						
	0,100	5274	10	0,005	0,025	264



**Figure 17** : Chromatogramme représentant le profil de l'étalon de l'endosulfan et de ses métabolites



**Figure 18** : Chromatogramme représentant le profil de l'échantillon de sol D6

### 1-3- Concentration des résidus de pesticides dans les échantillons de sols et de produits végétaux

L'analyse des échantillons a permis d'identifier cinq (5) matières actives de pesticides organochlorés notamment le lindane, le DDT, l'endosulfan ( $\alpha$  et  $\beta$ ) et l'endosulfan sulfate. Ils ont été détectés à une fréquence de 80% dans tous les échantillons analysés (Tableau XXV). L'analyse de variance appliquée aux résultats, a montré qu'il n'existe pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les différentes moyennes de concentration de pesticides détectés dans les échantillons de sols sur les différents sites.

Les concentrations de DDT varient de 0,02 à 0,34  $\mu\text{g/Kg}$  avec une moyenne de  $0,176 \pm 0,130$   $\mu\text{g/Kg}$  à Dabakala et de 0,212 à 0,435  $\mu\text{g/Kg}$  avec une moyenne de  $0,309 \pm 0,086$   $\mu\text{g/Kg}$  à Niakara (Tableau XXVI). Il a été détecté dans 75% et 85,71% des échantillons respectivement à Dabakala et à Niakara (Figure 19).

Le taux de lindane quantifié dans les échantillons de sols oscille entre 0,42 et 1,07  $\mu\text{g/Kg}$  avec une moyenne de  $0,612 \pm 0,285$   $\mu\text{g/Kg}$  à dabakala et entre 0,435 et 0,972  $\mu\text{g/Kg}$  avec une moyenne de  $0,634 \pm 0,187$   $\mu\text{g/Kg}$  à Niakara (Tableau XXVI). Le lindane a été retrouvé dans 62,5% et 100% des échantillons respectivement à Dabakala et à Niakara (Figure 19).

L'endosulfan  $\alpha$  a été détecté à des concentrations variant de 0,13 à 0,424  $\mu\text{g/Kg}$  avec une moyenne de  $0,274 \pm 0,116$   $\mu\text{g/Kg}$  à Dabakala et de 0,021 à 0,481  $\mu\text{g/Kg}$  avec une moyenne de  $0,316 \pm 0,150$   $\mu\text{g/Kg}$  à Niakara (Tableau XXVI).

L'endosulfan  $\beta$  est présent à des taux variant de 0,034 à 0,324  $\mu\text{g/Kg}$  avec une moyenne de  $0,181 \pm 0,106$   $\mu\text{g/Kg}$  et de 0,202 à 0,435  $\mu\text{g/Kg}$  avec une moyenne de  $0,298 \pm 0,088$   $\mu\text{g/Kg}$  respectivement dans les échantillons de Dabakala et de Niakara (Tableau XXVI).



Les concentrations de l'endosulfan sulfate quant à elles varient respectivement de 0,034 à 0,103 µg/Kg avec une moyenne de 0,072±0,028 µg/Kg et de 0,062 à 0,435 µg/Kg avec une moyenne de 0,142±0,145 µg/Kg à Dabakala et à Niakara (Tableau XXVI).

L'endosulfan β et l'endosulfan sulfate ont été détectés dans le même pourcentage d'échantillons. A savoir 75% et 62,5% des échantillons respectivement à Dabakala et à Niakara. L'endosulfan α quant à lui a été retrouvé à des taux de 100 % à Niakara et 62,5% à Dabakala dans les échantillons (Figure 19).

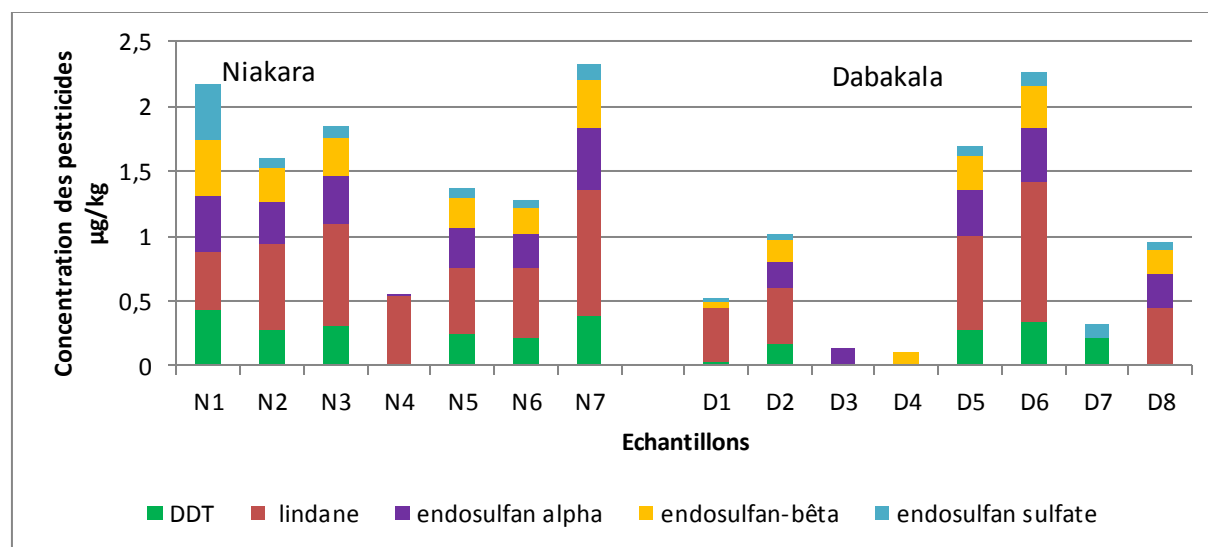


Figure 19 : Distribution des pesticides dans les différents échantillons

Tableau XXV: Fréquence de détection des résidus de pesticides dans les échantillons de sol

Pesticides	Nombre d'échantillons contaminés	Pourcentage (%)
DDT	12/15	80
Lindane	12/15	80
Endosulfan-α	12/15	80
Endosulfan-β	12/15	80
Endosulfan sulfate	12/15	80

Tableau XXVI : Concentrations de pesticides dans les échantillons de sol (µg/Kg de matière sèche)

Villes	Dabakala				Niakara			
	Min	Max	Moy	écartype	Min	Max	Moy	écartype
Pesticides								
DDT	0,02	0,34	0,176 <sup>a</sup>	0,130	0,212	0,435	0,309 <sup>a</sup>	0,086
Lindane	0,42	1,07	0,612 <sup>a</sup>	0,285	0,435	0,972	0,634 <sup>a</sup>	0,187
Endosulfan-α	0,13	0,424	0,274 <sup>a</sup>	0,116	0,021	0,481	0,316 <sup>a</sup>	0,150
Endosulfan-β	0,034	0,324	0,181 <sup>a</sup>	0,106	0,202	0,435	0,298 <sup>a</sup>	0,088
Endosulfan sulfate	0,034	0,103	0,072 <sup>a</sup>	0,028	0,062	0,435	0,142 <sup>a</sup>	0,145

Les valeurs moyennes dans les lignes suivies par les mêmes lettres de l'alphabet (a, b) ne sont pas significativement différentes ( $p > 0,05$ ) en utilisant l'ANOVA et le test de Newman-Keuls. Min : minimum, Max : maximum, Moy : moyenne

Le tableau XXVII présente les résultats d'analyses des échantillons de produits vivriers. Nous observons qu'aucun pesticide n'a été détecté dans les échantillons. Les pesticides pourraient être présents mais avec des concentrations en dessous de la limite de détection ou totalement absents.

**Tableau XXVII** : Concentrations de pesticides dans les échantillons de produits agricoles ( $\mu\text{g/Kg}$  de matière sèche)

Villes	Dabakala	Niakara
Pesticides		
DDT	ND	ND
Lindane	ND	ND
Endosulfan- $\alpha$	ND	ND
Endosulfan- $\beta$	ND	ND
Endosulfan sulfate	ND	ND

ND : non détecté

#### 1-4- Relation entre les caractéristiques physicochimiques des sols et des concentrations de pesticides retrouvées

La relation entre les caractéristiques physicochimiques des échantillons de sols et les concentrations de pesticides retrouvées dans ces échantillons a été analysée en faisant un test de corrélation (Tableau XXVIII). Les résultats du test nous montrent qu'il existe à certain niveau une corrélation ( $r \neq 0$ ) entre les caractéristiques physicochimiques et les concentrations de pesticides détectés. Cependant cette relation est faible car  $-0,5 < r < 0,0$  ou  $0,0 < r < 0,5$ .

**Tableau XXVIII :** Matrice de corrélation entre les caractéristiques physicochimiques des échantillons de sol et les concentrations des pesticides détectés

	pH eau	pH KCl	Corg (%)	MO (%)	N total (%)	C/N	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	DDT	lindane	endosulfan alpha	endosulfan-bêta	endosulfan sulfate
pH eau	<b>1</b>													
pH KCl	<b>0,96</b>	<b>1</b>												
Corg (%)	0,24	0,2	<b>1</b>											
MO (%)	0,23	0,2	<b>1</b>	<b>1</b>										
N total (%)	0,33	0,3	<b>0,99</b>	0,99	<b>1</b>									
C/N	-0,19	-0,24	<b>0,75</b>	<b>0,76</b>	<b>0,67</b>	<b>1</b>								
Argile (%)	-0,08	-0,11	0,55	0,55	0,49	0,82	<b>1</b>							
Limon (%)	<b>0,9</b>	<b>0,76</b>	0,4	0,4	0,46	0,03	0,08	<b>1</b>						
Sable (%)	<b>-0,83</b>	<b>-0,69</b>	-0,54	-0,54	-0,58	-0,24	-0,32	<b>-0,97</b>	<b>1</b>					
DDT	-0,12	-0,1	-0,22	-0,22	-0,23	-0,23	-0,18	-0,13	0,17	<b>1</b>				
lindane	-0,14	-0,01	0,08	0,08	0,14	-0,19	-0,13	-0,32	0,32	0,51	<b>1</b>			
endosulfan alpha	-0,21	-0,18	-0,13	-0,13	-0,12	-0,22	-0,18	-0,26	0,29	<b>0,87</b>	<b>0,7</b>	<b>1</b>		
endosulfan-bêta	-0,29	-0,32	-0,28	-0,28	-0,3	-0,23	-0,21	-0,26	0,3	<b>0,88</b>	0,43	<b>0,94</b>	<b>1</b>	
endosulfan sulfate	-0,34	-0,47	-0,42	-0,43	-0,49	-0,15	-0,18	-0,16	0,2	0,62	-0,18	0,52	<b>0,79</b>	<b>1</b>

## 2-Discussion

Selon la carte publiée par le service des sols de la Côte d'Ivoire, les sols rencontrés à Dabakala et Niakara sont des sols ferrugineux tropicaux parfois lessivés et à concrétions (ORSTOM, 1960). Les principales textures rencontrées dans notre zone d'étude sont en accord avec celles retrouvées par Nandjui *et al.* (2013) au cours de leur étude à Dabakala. Ces auteurs ont trouvé des textures sablo-limoneux et limoneux-sableux. Dans certains pays ouest africains ces textures ont été retrouvées dans différents champs de coton notamment au Mali et au Togo (Dem *et al.*, 2007; Mawussi, 2008; Maiga *et al.*, 2014).

Les valeurs du rapport C/N compris entre 8 et 12 traduisent une vitesse de décomposition dite normale de la matière organique et pour les valeurs supérieures à 12, la décomposition rencontre des difficultés (Pallo *et al.*, 2009). La plupart des plantes cultivées se développent convenablement dans les sols à pH compris entre 5,5 et 7,0 (Mbonigaba *et al.*, 2009). Ceci suggère donc une bonne activité biologique à cette gamme de pH. Ainsi la vitesse de décomposition normale traduit par le rapport C/N pourrait être expliquée par les valeurs de pH obtenues (5,54 à 6,51).

La présence des différents pesticides détectés dans les échantillons de sol, est due à leur utilisation passée en accord avec les résultats obtenus à l'issue de notre enquête. En effet, selon Traore *et al.* (2007), l'endosulfan utilisé dans les champs était composé à 70% d'endosulfan  $\alpha$  et à 30% d'endosulfan  $\beta$  et l'endosulfan sulfate, quant à lui, est un métabolite issu de l'oxydation de l'endosulfan  $\alpha$  et  $\beta$  (Kamei *et al.*, 2011).

Les moyennes des concentrations de DDT détectées dans les différents échantillons de sol sont toutes inférieures à 0,05 mg/Kg la limite maximale de résidus pour les sols agricoles définie par les Etats Unis (Fosu-Mensah *et al.*, 2016). Elles sont aussi inférieures à la valeur moyenne de 11  $\mu\text{g/Kg}$  trouvée dans des échantillons de sol issus de régions cotonnières au Mali (Dem *et al.*, 2007). Le DDT a été utilisé dans la lutte contre les parasites du cotonnier notamment *Helicoverpa amigera*, chenille carpophage (Crétenet et Gourlot, 2016).

Les teneurs de lindane quantifiées dans les différents échantillons de sol sont toutes inférieures à la limite maximale de résidus dans les sols agricoles définie par les Etats Unis qui est de 0,04 mg/Kg (Fosu-Mensah *et al.*, 2016). Les concentrations moyennes de lindane obtenues dans notre étude sont inférieures à celles quantifiées par Mawussi (2008) qui variaient de 0,64 à 4,79  $\mu\text{g/Kg}$  et à celles de Wang *et al.* (2016) qui variaient de 2,7 à 19,5  $\mu\text{g/Kg}$  dans le sol provenant de la zone coton respectivement du Togo et de la Chine. Le

lindane a été utilisé comme matière active dans le traitement des semences de coton (**Ton, 2004**).

Selon la littérature, les concentrations maximales admissibles de pesticides organochlorés pour les sols contaminés, sur lesquels les légumes et les tubercules sont cultivés, varient de 0,1 mg/Kg à 8 mg/Kg (**FAO, 2000; Kolani et al., 2017**). Ainsi, les différentes valeurs obtenues au niveau de l'endosulfan sont inférieures à celles recommandées par la FAO. Les valeurs maximales obtenues avec l'endosulfan ( $\alpha$  et  $\beta$ ) et l'endosulfan sulfate sont respectivement inférieures (1,88  $\mu\text{g/Kg}$  et 3,87  $\mu\text{g/Kg}$ ) et semblables à celles trouvées par **Kolani et al (2017)** dans des sols agricoles au Togo qui est de 0,4  $\mu\text{g/Kg}$ . L'endosulfan a été interdit d'utilisation dans les années 80 puis réintroduit pour lutter contre *Helicoverpa armigera*, un parasite du cotonnier, qui était devenu résistant aux pyréthrinoïdes (**Glin et al., 2006; PAN / IPEN, 2008**).

Les résultats obtenus pour les échantillons de produits vivriers sont différents de ceux trouvés par **Aikpo et al., en 2016** et par **Clostre et al. en 2015** qui ont trouvé des résidus de pesticides dans des tubercules cultivés dans des sols contaminés respectivement au Bénin et en Martinique. Ce fait pourrait s'expliquer par plusieurs raisons, notamment les traitements subis par les échantillons avant analyse. En effet, le lavage réduirait d'un certain pourcentage le taux de résidus de pesticides organochlorés retrouvé sur les végétaux notamment dans la pomme de terre de 9,8 à 12% (**Zohair, 2001**) ou de 18,1 à 23,7 % (**Soliman, 2001**). L'épluchage s'avère être le moyen le plus efficace d'éliminer le pesticide des légumes (**Bajwa et Sandhu, 2011; Chung, 2018**). **Soliman (2001)**, dans son étude sur la pomme de terre, a montré que 71,2 à 75,3% de pesticides (HCB, Lindane, p,p'DDT) grâce à l'épluchage. En effet, l'épluchage d'au moins 2 mm d'épaisseur des racines et tubercules, permet de réduire de manière très importante l'exposition des consommateurs (**Achard et al., 2007**). La congélation et le temps de congélation des végétaux réduisent aussi leur teneur en pesticides. Selon **Abou-Arab (1999)**, dans son étude sur la tomate, le taux de réduction du HCB, du Lindane et du p,p'DDT augmentait avec le temps de congélation (1 à 12 jours). Plus la tomate durait au congélateur, plus le taux de pesticides diminuait. Cette réduction a aussi été constatée par **Zhang et al., (2007)** et par **Oliva et al., (2017)** dans leurs études respectives sur le chou et les courgettes. La contamination des racines et tubercules est proportionnelle au niveau de contamination du sol. **Achard et al., (2007)** ont montré que le transfert sol-plante du chlordécone ne dépasse pas les 1/5 de la teneur en pesticides du sol soit 20%. La concentration des organochlorés dans les racines dépend en grande partie de la concentration

dans le sol (**Mikes *et al.*, 2009**). Plus le sol est pollué et plus les racines- tubercules sont susceptibles d'être contaminés. Elle dépend aussi du type de sol sur lequel sont cultivés les racines-tubercules. En effet les pesticides sont facilement adsorbables sur les sols riches en matières organiques ou en argiles, ce qui les rend faiblement disponibles pour les plantes (**Calvet *et al.*, 2005; Woignier *et al.*, 2015**). Selon **Hassine *et al.* (2008)**, les sols avec des teneurs en matières organiques inférieures à 5% ne sont pas très riches. Les teneurs de matières organiques obtenues dans notre étude étant toutes inférieures à 5%, on pourrait conclure que les sols sont pauvres en matières organiques. Ainsi cette pauvreté justifierait une faible rétention des pesticides d'où une faible pollution des sols et par conséquent une moindre contamination des plantes.

Par ailleurs, la sensibilité de la technique analytique pour la détection des composés et la méthode d'extraction pourraient expliquer le fait qu'aucun résidu de pesticides n'eût été détecté dans les échantillons. Les concentrations de pesticides dans les vivriers sont par conséquent soit en dessous des limites de détection dans la méthode utilisée ou soit la méthode d'extraction utilisée n'est pas adéquate. En effet le choix de la méthode d'extraction dépend des propriétés physicochimiques des composés d'intérêt et de la matrice de l'échantillon (**Durovic et Dorevic, 2011**). L'extraction sélective améliore les niveaux de sensibilité de détection des analytes (**Fontanals *et al.*, 2007**).

Les résultats obtenus par le test de corrélation sont différents de ceux trouvés par **Fosu-Mensah *et al.* (2016)** qui ont montré qu'il y avait une forte relation entre les concentrations des différents pesticides et les caractéristiques du sol telles que le pH, le taux de carbone organique, de matières organiques, de sable et d'argile. En effet, il existe une forte corrélation entre la rétention des polluants organiques et la matière organique d'une part dans le cas des pesticides non ionisés et d'autre part entre la rétention des polluants organiques et les argiles dans le cas des pesticides ionisés (**Sheng *et al.*, 2001**). Nos résultats sont, cependant, similaires à ceux de **Maiga *et al.*, (2014)** qui eux n'ont pas trouvé de forte relation entre ces variables.

### III- EVALUATION DES RISQUES

#### 1-Résultats

##### 1-1-Evaluation des risques liés à la consommation des aliments

Les résultats de l'analyse des échantillons de cultures ont montré une absence de résidus de pesticides dans les échantillons de culture (Tableau XXIX). Ce qui reviendrait à dire qu'il n'existerait pas de risques liés à la consommation de ces cultures.

##### 1-2-Evaluation des risques liés à l'exposition aux contaminants du sol

Le tableau XXX présente les valeurs de LADD, ILCR et HQ calculées pour les différentes voies d'exposition de l'agriculteur au DDT et au lindane contenus dans le sol selon les différentes zones. La valeur totale du risque de cancer ( $\Sigma$ ILCR) lié à l'exposition au lindane est plus élevée que celle du DDT à Dabakala et à Niakara, et ces valeurs sont sensiblement égales. Concernant le quotient de danger qui définit le risque de survenue d'effets adverses non cancérogènes, il est aussi plus élevé pour le lindane dans les deux zones. Pour chacun des pesticides (DDT et lindane), on constate que le risque de cancer diminue de la manière suivante : ILCR ingestion > ILCR dermique > ILCR inhalation.

Les valeurs de ILCR (ILCR ingestion, ILCR dermique, ILCR inhalation et  $\Sigma$ ILCR) sont toutes inférieures à  $10^{-6}$  et celles de HQ toutes inférieures à 1.

**Tableau XXIX** : Risques potentiels d'effets néfastes dus à l'exposition de l'agriculteur au DDT et au lindane contenus dans le sol

		Dabakala		Niakara	
		DDT	lindane	DDT	lindane
<b>LADD</b>	ingestion	$2,16.10^{-10}$	$7,50.10^{-10}$	$3,79.10^{-10}$	$7,77.10^{-10}$
	dermique	$4,27.10^{-11}$	$1,98.10^{-10}$	$7,50.10^{-11}$	$2,05.10^{-10}$
	inhalation	$2,22.10^{-12}$	$7,72.10^{-12}$	$3,90.10^{-12}$	$8,00.10^{-12}$
<b>ILCR</b>	ingestion	$7,33.10^{-11}$	$9,75.10^{-10}$	$1,29.10^{-10}$	$1,01.10^{-09}$
	dermique	$1,45.10^{-11}$	$2,57.10^{-10}$	$2,55.10^{-11}$	$2,67.10^{-10}$
	inhalation	$2,15.10^{-16}$	$2,39.10^{-15}$	$3,78.10^{-16}$	$2,48.10^{-15}$
<b>HQ</b>	ingestion	$4,31.10^{-07}$	$2,50.10^{-06}$	$7,57.10^{-07}$	$2,59.10^{-06}$
	Dermique	$8,54.10^{-08}$	$6,60.10^{-07}$	$1,50.10^{-07}$	$6,83.10^{-07}$
	Inhalation	$4,44.10^{-09}$	$2,57.10^{-08}$	$7,79.10^{-09}$	$2,67.10^{-08}$

LADD (dose moyenne journalière sur toute la durée de vie), le ILCR (excès de risque individuel) et le HQ (quotient de danger)

**Tableau XXX** : Risques totaux potentiels liés à l'exposition au DDT et au lindane contenu dans le sol

	Dabakala		Niakara	
	DDT	lindane	DDT	lindane
$\Sigma$ ILCR	$8,78.10^{-11}$	$1,23.10^{-09}$	$1,54.10^{-10}$	$1,28.10^{-09}$
$\Sigma$ HQ	$5,21.10^{-07}$	$3,18.10^{-06}$	$9,15.10^{-07}$	$3,30.10^{-06}$

$\Sigma$ ILCR= ILCRing + ILCRderm + ILCRinh,  $\Sigma$ HQ= HQing + HQderm + HQinh

## 2-Discussion

La diminution du risque de cancer constatée selon les différentes voies d'exposition, est en accord avec les travaux de **Ge et al., (2013)** et celles de **Da et al., (2014)** qui ont évalué les risques liés aux organochlorés présents dans des sols agricoles respectivement aux Etats Unis et en Chine.

Selon l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), le risque de cancer peut être classé suivant différents intervalles : risque très faible valeur  $\leq 10^{-6}$ , risque faibles  $10^{-6} \leq \text{valeur} \leq 10^{-4}$ , risque modéré  $10^{-4} \leq \text{valeur} \leq 10^{-3}$ , risque élevé  $10^{-3} \leq \text{valeur} \leq 10^{-1}$ , risque très élevé valeur  $\geq 10^{-1}$  (**ATSDR, 1995**). Les valeurs d'ILCR étant inférieures à  $10^{-6}$  nous pouvons dire que le risque qu'un agriculteur en contact avec le DDT et le lindane contenus dans le sol, développe un cancer est très faible quelle que soit la voie d'exposition. En tenant compte uniquement de la voie d'exposition par ingestion, des résultats similaires ont été trouvés par **Kumar et al., (2014)** et par **Yang et al., (2016)** dans leurs études portant sur des sols agricoles respectivement en Inde et en Malaisie. Ces résultats sont différents de ceux trouvés par (**Qu et al., 2014**) qui ont trouvés que 95% des ILCR calculés avaient des valeurs supérieures à  $10^{-4}$ . Concernant le risque d'apparition d'effets adverses non cancérogènes, HQ  $< 1$  ce qui signifierait que le DDT et le lindane contenu dans le sol ne causeraient pas d'effets néfastes non cancérogènes aux agriculteurs (**Yahaya, 2017**).

Les risques sanitaires potentiels liés à l'exposition de l'agriculteur au DDT et au lindane contenus dans le sol via l'ingestion, l'inhalation et la voie dermique sont négligeables.



# **CONCLUSION ET PERSPECTIVES**

La culture du coton est une culture très sensible aux parasites. Ces derniers attaquent la plante à tous les stades de son développement. Ainsi, pour l'intensification de la culture et l'augmentation du rendement, l'utilisation de pesticides dans les champs fut nécessaire. Cette utilisation qui a commencé depuis l'époque coloniale a vu l'utilisation de plusieurs pesticides dont les organochlorés. Surtout utilisés pour leur efficacité due à leur forte rémanence, les organochlorés sont aujourd'hui interdits d'utilisation à cause des risques qu'ils présentent pour la santé humaine et l'environnement. Afin de déterminer le niveau des effets néfastes de ces substances chimiques, une évaluation de l'impact de leur utilisation dans les champs de coton nous est parue nécessaire. Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à l'évaluation de la contamination des sols et cultures (racines et tubercules) liée à l'utilisation passée des pesticides organochlorés dans la culture du coton dans la région du "Hambol" ainsi qu'aux risques sanitaires associés à ses différentes contaminations.

Les résultats de l'enquête menée auprès des agriculteurs ont révélé que le DDT, l'endrine, l'endosulfan et le lindane furent utilisés dans la culture du coton dans notre zone d'étude. Après la culture du coton, les terres sont utilisées pour la production de cultures vivrières telles que l'igname, le manioc et l'arachide qui ont leur partie comestible souterraine. Concernant l'enquête effectuée auprès des consommateurs, les résultats ont montré que selon le produit vivrier, différentes formes étaient plus appréciées par la population, la forme bouillie et le foutou pour l'igname, l'attiéké pour le manioc et la forme fraîche et grillée avec la coque pour l'arachide. Les consommations moyennes des différents vivriers par les enquêtés étaient dans l'ensemble de 265,3 g/j/pers, de 197,1 g/j/pers et de 161 g/j/pers respectivement pour l'igname, le manioc et l'arachide. Ces différents vivriers sont consommés régulièrement par la population. Cette consommation diffère pour certains en fonction des formes culinaires, de l'âge et du sexe.

Suite à l'analyse des échantillons de sols et de cultures pour déterminer leur niveau de contamination, les matières actives suivantes ont été détectées: le DDT, l'endosulfan  $\alpha$ , l'endosulfan  $\beta$ , l'endosulfan sulfate et le lindane seulement dans les échantillons de sols. Les valeurs des concentrations de ces différents pesticides étaient cependant inférieures à celles recommandées par les Etats Unis et la FAO pour les sols agricoles. Les différentes concentrations trouvées n'ont pas permis de montrer une forte corrélation entre les paramètres physicochimiques des sols et ces dernières.

L'analyse des risques sanitaires effectuée, a montré que les risques cancérigènes et non cancérigènes liés à une exposition de l'agriculteur au DDT et au lindane contenus dans le sol

sont négligeables. Concernant les risques liés à la consommation des cultures, ils n'ont pas pu être quantifiés parce que les résidus de pesticides n'ont pas été détectés dans les échantillons.

En perspectives, nous envisageons:

- analyser les échantillons dès que la collecte est effectuée ou quelques jours après afin de mieux appréhender les risques liés à l'utilisation des organochlorés.

- analyser d'abord les produits viviers récoltés n'ayant pas subi de traitement pour déterminer les taux de transfert des pesticides dans les sols et ensuite les vivriers transformés (épluchés, lavés, cuits...) pour connaître les taux de réduction de ces différents traitements appliqués.

- faire la même étude dans d'autres régions du bassin cotonnier afin de connaître les zones à risques ou non.

- mener cette même étude sur d'autres familles de pesticides aujourd'hui utilisées et présentant des effets néfastes pour la santé.

**REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

- Abou-Arab, A. A. K. (1999).** Behavior of pesticides in tomatoes during commercial and home preparation. *Food Chemistry*, 65(4), 509–514.
- Achard, R., Cabidoche, Y.-M., Caron, A., Nelson, R., Duféal, D., Lafont, A., & Lesueur-Jannoyer, M. (2007).** Contamination des racines et tubercules cultivés sur sol pollué par la chlordécone aux Antilles. *Les Cahiers Du PRAM (Pôle de Recherche Agro-Environnementale de La Martinique)*, 7, 45–50.
- Adeyeye, A., & Osibanjo, O. (1999).** Residues of organochlorine pesticides in fruits, vegetables and tubers from Nigerian markets. *Science of the Total Environment*, 231(2–3), 227–233.
- AFNOR. (2005).** NF ISO 10390 Mai 2005 Qualité du sol - Détermination du pH.
- AFSCA (Agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne alimentaire). (2005).** Terminologie En Matière D'Analyse Des Dangers Et Des Risques Selon Le Codex Alimentarius, 46 p.
- Agbohessi, T. P., Toko, I. I., & Kestemont, P. (2012).** État des lieux de la contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides organochlorés dans le Bassin cotonnier béninois. *Cah Agric*, 21, 46–56.
- Agneroh, A. R. (2012).** African Cocoa Initiative-Evaluation des services de fourniture d'intrants agricoles des zones cacaoyères.
- Aïkpo, H. F., Agbandji, L., Chabi, B. C., Koumolou, L., Houssou, S. C., & Patrick, A. (2016).** Evaluation de la contamination des tubercules de manioc ( *Manihot esculenta* Crantz ) par les pesticides dans la zone cotonnière de Djidja ( Bénin ). *IJJAS*, 14(3), 744–749.
- Ait El Cadi, M., El Jaoudi, R., Bouslimane, Y., Bouklouze, A., & Cherrah, Y. (2011).** Les perturbateurs endocriniens : quel risque pour la santé ? *Mt Médecine de La Reproduction, Gynécologie Endocrinologie*, 13(2), 102–109.
- Akan, J., Sodipo, O., Mohammed, Z., & Abdulrahman, F. (2014).** Analytical & Bioanalytical Techniques Determination of Organochlorine , Organophosphorus and Pyrethroid Pesticide Residues in Water and Sediment Samples by High Performance Liquid Chromatography ( HPLC ) with UV / visible Detector. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques*, 5(6), 1–5.
- Aligon, D., Bonneau, J., Garcia, J., Gomez, D., & Le, D. (2010).** Estimation des expositions de la population générale aux insecticides : les Organochlorés, les Organophosphorés et les Pyréthrinoides, Ecole des Hautes études de Santé Publique, 78p.

- Allé, A., Dembélé, B., Yao, B., & Ado, G. (2009).** Distribution of organochlorine pesticides in human breast milk and adipose tissue from two locations in Côte d'Ivoire. *Asian Journal of Applied Sciences*, 2(5), 456–463.
- Amiard, J.-C. (2011).** Les risques chimiques environnementaux: Méthodes d'évaluation et impacts sur les organismes, Tec & Doc Lavoisier (ed.); éditions.1, 782p .
- Amvrazi, E. G., & Albanis, T. A. (2008).** Multiclass Pesticide Determination in Olives and Their Processing Factors in Olive Oil: Comparison of Different Olive Oil Extraction Systems. *J. Agric. Food Chem.*, 56, 5700–5709.
- Anger, J.-P., & Kintz, P. (2009).** Revue générale Difficultés analytiques de la caractérisation des pesticides dans le sang. *Ann Toxicol Anal.*, 21(3), 131–141.
- Asi, M. R., Hussain, A., & Muhmood, S. T. (2008).** Solid phase extraction of pesticide residues in water samples : DDT and its metabolites. *Int. J. Environ. Res.*, 2(1), 43–48.
- Assanvo, J. B., Agbo, G. N., Behi, Y. E. N., Coulin, P., & Farah, Z. (2006).** Microflora of traditional starter made from cassava for 'attiéké' production in Dabou ( Côte d' Ivoire ). *Food Control*, 17, 37–41.
- Assidjo, E., Sadat, A., Akmel, C., Akaki, D., Elleingand, E., & Yao, B. (2013).** L'analyse des risques : Outils innovant d'amélioration de la sécurité sanitaire des aliments. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales*, 11, 59–65.
- ATSDR. (1995).** Public health assessment. Johnstown City Landfill, Johnstown, Fulton Country, (CERCLIS NO. NYD98050 6927). In: Department of Health and Human Services PHS, Atlanta, editor. New York State Department of Health under cooperative agreement with the Agency.
- ATSDR. (1996).** Toxicological Profile for Endrin. In US Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Issue August), 227p.
- ATSDR. (2002).** Toxicological profile for DDT, DDE and DDD. US Agency Toxic Substances and Disease Registry. 497p.
- ATSDR. (2005).** Toxicological Profile for Alpha-, Beta-, Gamma- and Delta-Hexachlorocyclohexane. US Agency Toxic Substances and Disease Registry, 377p.
- ATSDR. (2015).** Toxicological Profile for Endosulfan. US Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Issue August), 376p.
- Azandjeme, C. S. (2014).** Exposition aux pesticides et risque de diabète de type 2 : une étude au nord du Bénin ( Afrique de l'Ouest ). Université de Montréal, Faculté de Médecine, 330p.
- Azizi, A. (2011).** Bacterial-degradation of pesticides residue in vegetables during

- fermentation. In *Pesticides - Formulations, Effects, Fate* (pp. 652–660). Prof. Margarita Stoytcheva.
- Badiane, D., Gueye, M. T., Coly, E. V., & Faye, O. (2015).** Gestion intégrée des principaux ravageurs du cotonnier au Sénégal et en Afrique occidentale. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(5), 2654. <http://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/130168>
- Bajwa, U., & Sandhu, K. S. (2011).** Effect of handling and processing on pesticide residues in food- A review. *J Food Sci Technol*, 51(2), 201–220.
- Barriada-Pereira, M., González-Castro, M. J., Muniategui-Lorenzo, S., López-Mahía, P., Prada-Rodríguez, D., & Fernández-Fernández, E. (2005).** Organochlorine pesticides accumulation and degradation products in vegetation samples of a contaminated area in Galicia (NW Spain). *Chemosphere*, 58(11), 1571–1578.
- Bassett, T. J. (2002).** Le coton des paysans- Une révolution agricole (Côte d’Ivoire 1880-1999). IRD Editions, 292p.
- Bellec, S., & Godard, E. (2002).** Contamination par les produits phytosanitaires organochlorés en Martinique: caractérisation de l’exposition des populations, 41p.
- Bempah, C. K., Agyekum, A. A., Akuamoah, F., Frimpong, S., & Buah-Kwofie, A. (2016).** Journal of Food Composition and Analysis Dietary exposure to chlorinated pesticide residues in fruits and vegetables from Ghanaian markets. *Journal of Food Composition and Analysis*, 46, 103–113. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2015.12.001>
- Bempah, C. K., Buah-Kwofie, A., Enimil, E., Blewu, B., & Agyei-Martey, G. (2012).** Residues of organochlorine pesticides in vegetables marketed in Greater Accra Region of Ghana. *Food Control*, 25(2), 537–542.
- Benson, N. U., & Olufunke, A. I. (2011).** Assessment of contamination by organochlorine pesticides in *Solanum lycopersicum* L. and *Capsicum annuum* L.:A market survey in Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 5(6), 437–442.
- Biego, G. ., Oga, A., Claon, J. S., Agbo, N. G., & Kouadio, L. P. (2005).** Détermination des résidus de pesticides organochlorés dans des produits maraichers retrouvés sur les marchés d’Abidjan. *Cahier de Santé Publique*, 4, 17–25.
- Biego, G. M. H., Coulibaly, A., Koffi, M. K., Chatigre, O. K., & Kouadio, L. P. (2009).** Niveaux de résidus de pesticides organochlorés dans les produits du cacao en Côte d ’ Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3(2), 297–303.
- Boudehenn, J., & Gambier, F. (2011).** *Influence des finitions poudres sur l’impact environnemental du MDF*. Rapport Science de l’ingénieur, Université Henri

- Poincaré, Nancy, France, 87p.
- Bouyoucos, G. J. (1951).** A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43, 435–438.
- Bremner, J. M. (1965).** Total Nitrogen. In A. G. Norman (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Agronomy Monograph 9.2 (pp. 1149–1178). American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Briggs, G. G., Bromilow, R. H., & Evans, A. A. (1982).** Relationships Between Lipophilicity and Root Uptake and Translocation of Non-ionised Chemicals by Barley ". *Pestic. Sci.*, 13, 495–504.
- Burr, S. A. (2014).** DDT (Dichlorodiphenyltrichloroethane). *Encyclopedia of Toxicology*, 1, 1141–1143.
- Calvelo Pereira, R., Monterroso, C., & Maci, F. (2008).** Distribution pathways of hexachlorocyclohexane isomers in a soil-plant-air system . A case study with *Cynara scolymus* L . and *Erica* sp . plants grown in a contaminated site. *Environmental Pollution*, 155, 350–358.
- Calvet, R., Barriuso, E., Benoit, P., Bedos, C., Charnay, M.-P., & Coquet, Y. (2005).** Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales. Editions France Agricoles, Paris, 637p.
- Cauquil, J., & Vaissayre, M. (1995).** Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale. *Agriculture et Développement*, 3(5), 17–29.
- CCIC Chambre de Commerce et d'Industrie de Côte d'Ivoire. (2011).** Les phytosanitaires en bref, 2p. [http://www.cci.ci/Fiche\\_sectorielle\\_Phytosanitaire.pdf](http://www.cci.ci/Fiche_sectorielle_Phytosanitaire.pdf)
- CCME (Conseil Canadien des Ministres de l'Environnement). (1999).** Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique - DDT, DDE et DDD. In *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement, 1999, Winnipeg, le Conseil.* (pp. 1–8).
- Challa, R., & Naidu, N. V. S. (2016).** Development and validation of HPLC method for estimation of lindane in its formulation. *Der Pharmacia Lettre*, 8(3), 23–36.
- Chaplain, V., Mamy, L., Vieublé-gonod, L., Mouglin, C., Benoit, P., Barriuso, E., & Nélieu, S. (2011).** Fate of Pesticides in Soils: Toward an Integrated Approach of Influential Factors. In Dr. Margarita Stoytcheva (Ed.), *Pesticides in the Modern World - Risks and Benefits* (p. 560). InTech. <http://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/21198>
- Charlier, C. (2009).** Pathologies endocriniennes observées chez l'Homme en rapport avec



- l'exposition aux pesticides organochlorés. *Ann Toxicol Anal.*, 21(3), 113–117.
- Chiang, K., Chio, C., Chiang, Y., & Liao, C. (2009).** Assessing hazardous risks of human exposure to temple airborne polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, 166, 676–685.
- Chung, S. W. C. (2018).** How effective are common household preparations on removing pesticide residues from fruit and vegetables? A review. *J Sci Food Agric.*, 98(8), 2857–2870.
- CI-ENERGIE. (2019).** Projet de Renforcement des Ouvrages du Système Electrique et d'accès à l'électricité (PROSER) – Phase 1: Electrification rurale de 1088 Localités, Plan Cadre de Gestion Environnementale et Sociale (PCGES), 211p.
- CIRC. (2015).** Les Monographies du CIRC évaluent le DDT, le lindane et le 2,4-D, 2p. [https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr236\\_F.pdf](https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr236_F.pdf).
- Clostre, F., Letourmy, P., & Lesueur-jannoyer, M. (2015).** Organochlorine ( chlordecone ) uptake by root vegetables. *Chemosphere*, 118, 96–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.076>
- CNRA. (2006).** Bien produire du coton en Côte d ' Ivoire-Fiche technique n°1, 4p.
- CNRA. (2010).** Le CNRA en 2010. CNRA, Direction des innovations et des systèmes d'information, 46p.
- CNRS/PRC. (2017).** IARC Monographs - Agents Classés par les Monographies du CIRC, Volumes 1–117, 67p.
- Coulin, P., Farah, Z., Assanvo, J., Spillmann, H., & Puhan, Z. (2006).** Characterisation of the microflora of attiéké, a fermented cassava product, during traditional small-scale preparation. *International Journal of Food Microbiology*, 106(2), 131–136.
- Crétenet, M., & Gourlot, J.-P. (2016).** Le cotonnier. Éditions Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, 216p.
- Cunha, S. C., Fernandes, J. O., & Oliveira, M. B. P. P. (2011).** Current trends in liquid-liquid microextraction for analysis of pesticides residues in food and water. In M. Stoytcheva (Ed.), *Pesticides-Strategies por pesticides analysis* (p. 404). Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia.
- Da, C., Liu, G., Sun, R., Yuan, Z., Tang, Q., & Liu, H. (2014).** Sources and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Surface Soils from the Nature Reserve of the Yellow River Delta, China. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 78(July), 779–786.
- Dally, T., Meite, A., Kouame, K. G., Bouafou, K. G. M., & Coulibali, K. S. (2010).** Efficacité nutritionnelle de trois mets Ivoiriens : cabatoh à la sauce dah au nord ; foutou

- igname à la sauce gouagouassou au centre ; riz cuit à la sauce graine à l'ouest . ..*J. Appl. Biosci.*, 33, 2084–2090.
- De Coster, S., & Van Larebeke, N. (2012).** Endocrine-disrupting chemicals: Associated disorders and mechanisms of action. *Journal of Environmental and Public Health*, 2012, 1–52.
- De Jaeger, C., Cherin, P., Fraoucene, N., & Voronska, E. (2012).** Place, intérêt et danger des produits phytosanitaires. *Medecine et Longevite*, 4(2), 59–67.
- De Reynal, B., & Multon, J.-L. (2009).** Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires (Lavoisier (ed.)). Collection sciences et techniques agroalimentaires, 736p.
- Dem, S. B., Cobb, J. M., & Mullins, D. E. (2007).** Pesticide Residues in Soil and Water from Four Cotton Growing Areas of Mali, West Africa. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, 1(1), 1–10.
- Diop, A. (2013).** Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar. Thèse de doctorat de l'Université du Littoral Côte d'Opale, 240p.
- Doannio, J. M. C., Dossou-Yovo, J., Diarrassouba, S., Rakotondraibé, M. E. Chauvancy, G., Chandre, F., Rivière, F., & Carnevale, P. (2002).** La dynamique de la transmission du paludisme à Kafiné , un village rizicole en zone de savane humide de Côte d'Ivoire. *Bull Soc Pathol Exot*, 95(1), 11–16.
- DPVCQ (Direction de la Protection des Végétaux, du Contrôle et de la Qualité). (2011).** Catalogue phytosanitaire de la Côte d'Ivoire. Ministère de l'Agriculture- République de Côte d'Ivoire, 98p.
- DU, G., SHEN, O., SUN, H., FEL, J., LU, C., SONG, L., XIA, Y., WANG, S., & WANG, X. (2010).** Assessing hormone receptor activities of pyrethroid insecticides and their metabolites in reporter gene assays. *Toxicol Sci*, 116(1), 58–66.
- Dumont, R., & Marti, A. (1997).** Panorama sur l'igname: ressource millénaire et culture d'avenir. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), 187p.
- Durovic, R., & Dorevic, T. (2011).** Modern Extraction Techniques for Pesticide Residues Determination in Plant and Soil Samples. In M. Dr. Stoytcheva (Ed.), *Pesticides in the Modern World - Trends in Pesticides Analysis* (p. 541). In Tech. <http://www.intechopen.com/books/pesticides-in-the-modern-world-trends-in-pesticides-analysis/modern-extraction-techniques-for-pesticide-residues-determination-in-plant->

and-soil-samples

- EDES. (2012).** Cahier Technique 3.2 Thème 3: Évaluation des risques- Principes généraux de l'évaluation des risques. EDES, 18p.
- El Mrabet, K. (2008).** Développement d'une méthode d'analyse de résidus de pesticides par dilution isotopique associée à la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse en tandem dans les matrices céréalières après extraction en solvant chaud pressurisé. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris, France, 292p.
- Ensley, S. M. (2012).** Organochlorines. In R. C. Gupta (Ed.), *Veterinary Toxicology* (pp. 586–590).
- Fabre, B., Roth, E., & Heintz, V. (2005).** Les Isomeres de l'Hexachlorocyclohexane, 126p.
- FAO/OMS. (2018).** Programme mixte FAO/OMS sur les Normes Alimentaires -Commission du Codex Alimentarius- Manuel de procédure vingt-sixième édition, 298p.
- FAO/WHO. (1995).** Application of risk analysis to food standard issues. Tech. rep., Report of the joint FAO-WHO consultation, Geneva, Switzerland. 13-17 march 1995.
- FAO/WHO. (2014).** Codex Alimentarius Commission procedural manual. 22nd ed. Joint FAO/WHO Food Standards Programme, 221p.
- FAO. (2000).** FAO Pesticide Disposal Series 8- Assessing soil contamination, A reference manual (FAO Information Division (ed.)). Editorial Group, FAO Information Division, 155p.
- FAO. (2001).** Systèmes de qualité et de sécurité sanitaire des aliments. Manuel de formation sur l'hygiène alimentaire et le Système d'analyse des risques - points critiques pour leur maîtrise (HACCP).
- FAO. (2006).** Food safety risk analysis-A guide for national food safety authorities, 119p.
- FAO. (2015).** Mesurer la durabilité des systèmes de culture du coton - Vers un cadre d'orientation, 177p.
- Ferron, P., Deguine, J. P., & Mouté, J. E.?? (2006).** Evolution de la protection phytosanitaire du cotonnier: Un cas d'école. *Cahiers Agricultures*, 15(1), 128–134.
- FIRCA. (2015).** Guide du conseiller agricole coton, Tome 1 Edition 2015: Itinéraire technique du cotonnier, 24p.
- Fleischer, G., Andoli, V., Coulibaly, M., & Randolph, T. (1998).** *Analyse socio-économique de la filière des pesticides en Côte d'Ivoire* (Série de Publication Du Projet de Politique Des Pesticides N° 06/F, Novembre 1998).
- Fontanals, N., Marcé, R. M., & Borull, F. (2007).** New materials in sorptive extraction

- techniques for polar compounds. *Journal of Chromatography A*, 1152(1–2), 14–31.
- Fosu-Mensah, B. Y., Okoffo, E. D., Darko, G., & Gordon, C. (2016).** Assessment of organochlorine pesticide residues in soils and drinking water sources from cocoa farms in Ghana. *SpringerPlus*, 5(869), 1–13.
- Fujii, Y., Haraguchi, K., Harada, K. H., Hitomi, T., Inoue, K., Itoh, Y., Watanabe, T., Takenaka, K., Uehara, S., Yang, H., Kim, M., Moon, C., Kim, H., Wang, P., Liu, A., Ngoc, N., & Koizumi, A. (2011).** Chemosphere Detection of dicofol and related pesticides in human breast milk from China, Korea and Japan. *Chemosphere*, 82(1), 25–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.036>
- Gamet-payraastre, L. (2011).** Effets physiopathologiques des mélanges de pesticides. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46, 82–85.
- Ge, J., Ann, L., Li, Q. X., & Wang, J. (2013).** Science of the Total Environment Composition, distribution and risk assessment of organochlorine pesticides in soils from the Midway Atoll, North Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, 452–453, 421–426. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.015>
- Gereslassie, T., Workineh, A., Atieno, O. J., & Wang, J. (2019).** Determination of Occurrences, Distribution, Health Impacts of Organochlorine Pesticides in Soils of Central China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 1–18.
- Giezendanner, F. D. (2012).** Taille d'un échantillon aléatoire et Marge d'erreur. [https://icietla-ge.ch/voir/IMG/pdf/7-taille-d\\_un-echantillon-aleatoire-et-marge-d\\_erreur-cms-spip.pdf](https://icietla-ge.ch/voir/IMG/pdf/7-taille-d_un-echantillon-aleatoire-et-marge-d_erreur-cms-spip.pdf)
- Gilden, R. C., Huffling, K., & Sattler, B. (2010).** Pesticides and Health Risks. *JOGNN*, 39, 103–110.
- Gillespie, Z., Pulido, O., & Vavasour, E. (2011).** Risk Assessment Approaches for Carcinogenic Food Contaminants. *International Food Risk Analysis Journal*, 1(1), 1–18.
- Glin, L. C., Kuiseu, J., Thiam, A., Vodouhê, D. S., Dinham, B., & Ferrigno, S. (2006).** Living with Poison, Problems of endosulfan in West African cotton growing systems. Pesticide Action Network UK, London, 48p.
- Gnanzou, A. (2015).** Etude des séries volcano-sédimentaires de la région de Dabakala (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) : genèse et évolution magmatique : contribution à la connaissance de la minéralisation aurifère de Bobosso dans la série de la Haute-Comoé. Université Paris Sud - Paris XI, 229p.
- González-Rodríguez, R. M., Rial-Otero, R., Cancho-Grande, B., Gonzalez-Barreiro, C., & Simal-Gándara, J. (2011).** A review on the fate of pesticides during the processes

- within the food-production Chain. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(2), 99–114.
- Graillet, V. (2012).** Appréciation quantitative de l'exposition alimentaire à des mélanges de pesticides et mécanismes de génotoxicité. Université Toulouse III- Paul Sabatier, France, 191p.
- Grange, D., Camard, J. P., Host, S., & Grémy, I. (2008).** Les pesticides: Considérations sanitaires. *Environnement et Santé. Observatoire Régional de Santé d'Ile-de-France*, 1–6.
- Guo, H., Jin, Y., Cheng, Y., Leaderer, B., Lin, S., Holford, T. R., Qiu, J., Zhang, Y., Shi, K., Zhu, Y., Niu, J., Bassig, B. A., Xu, S., Zhang, B., Li, Y., Hu, X., Chen, Q., & Zheng, T. (2014).** Prenatal exposure to organochlorine pesticides and infant birth weight in China. *Chemosphere*, 110, 1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.017>
- Haib, J., Hofer, I., & Renaud, J. M. (2003).** Analysis of multiple pesticide residues in tobacco using pressurized liquid extraction, automated solid-phase extraction clean-up and gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1020(2), 173–187.
- Hamilton, D., Ambrus, Á., Dieterle, R., Felsot, A., Harris, C., Petersen, B., Racke, K., Wong, S. S., Gonzalez, R., Tanaka, K., Earl, M., Roberts, G., & Bhula, R. (2004).** Pesticide residues in food - Acute dietary exposure. *Pest Management Science*, 60(4), 311–339.
- Han, Y., Li, W., Dong, F., Xu, J., Liu, X., Li, Y., Kong, Z., Liang, X., & Zheng, Y. (2013).** The behavior of chlorpyrifos and its metabolite 3,5,6-trichloro-2-pyridinol in tomatoes during home canning. *Food Control*, 31, 560–565. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.11.050>
- Hassine, H. B. E. N., Aloui, T., Gallali, T., Bouzid, T., Amri, S. E. L., Ben, R., Hassine, R. É. H. Ben, Aloui, T., Gallali, T., Bouzid, T., Amri, S. El, Ben, R., Évaluation, H., Amri, S. El, & Hassen, R. Ben. (2008).** Évaluation quantitative et rôles de la matière organique dans les sols cultivés en zones subhumides et semi-arides méditerranéennes de la Tunisie. *AgroSOLUTIONS*, 19(2), 4–17.
- Hogarh, J. N., Seike, N., Kobara, Y., Ofosu-Budu, G. K., Carboo, D., & Masunaga, S. (2014).** Atmospheric burden of organochlorine pesticides in Ghana. *Chemosphere*, 102, 1–5. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.019>
- Hoi, B. Van. (2013).** Contribution à l'étude de la présence et du devenir des résidus de médicaments dans les compartiments aquatiques. Thèse de doctorat, Université

- Bordeaux 1, France, Ecole Doctorale des sciences chimiques, 234 p.
- IFEN (Institut français de L'environnement). (1998).** *L'environnement en France. la Découverte.*
- INERIS. (2007a).** Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : ENDRINE, 13p. (<http://rsde.ineris.fr/>).
- INERIS. (2007b).** Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : HEXACHLOROCYCLOHEXANE, 22p. (<http://rsde.ineris.fr/>).
- INS. (2014).** Recensement général de la population et de l'habitat 2014. In <http://www.ins.ci/n/> [site accessed on May 11th 2015 ].
- INSERM. (2013).** *Pesticides-Effets sur la santé* (INSERM-Institut national de la santé et de la recherche médicale (ed.)), 161p.
- IPCS. (2004).** IPCS risk assessment terminology (Terminologie de l'évaluation des risques). Genève, Organisation mondiale de la santé, Programme international sur la sécurité des substances chimiques (Document du projet d'harmonisation n° 1). <http://www.who.int/ipcs/methods/harmonization/areas/ipcsterminologyparts1and2.pdf>.
- Janssen, M. P. M. (2011).** Endosulfan . A closer look at the arguments against a worldwide phase out. National Institute for Public Health and Environment, 90p.
- Jayashree, R., Vasudevan, N., & Chandrasekaran, S. (2006).** Surfactants enhanced recovery of endosulfan from contaminated soils. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 3(3), 251–259.
- Jiang, Y., Shibamoto, T., Li, Y., & Pan, C. (2013).** Effect of household and commercial processing on acetamiprid, azoxystrobin and methidathion residues during crude rapeseed oil production. *Food Additives and Contaminants: Part A*, 30(7), 1279–1286.
- Juc, L., Bouvet, Y., & Stratulat, T. (2006).** Pollution des sols moldaves par des pesticides organochlorés. *Déchets- Revue Francophone d'Écologie Industrielle*, 44, 37–40.
- Kamei, I., Takagi, K., & Kondo, R. (2011).** Degradation of endosulfan and endosulfan sulfate by white-rot fungus *Trametes hirsuta*. *J Wood Sci*, 57, 317–322.
- Kaushik, G., Satya, S., & Naik, S. N. (2009).** Food processing a tool to pesticide residue dissipation - A review. *Food Research International*, 42(1), 26–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2008.09.009>
- Keikothaile, B. M., Spanoghe, P., & Steurbaut, W. (2010).** Effects of food processing on pesticide residues in fruits and vegetables: A meta-analysis approach. *Food and Chemical Toxicology*, 48(1), 1–6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.10.031>
- Kinyamu, J. K., Kanja, L. W., Skaare, J. U., & Maitho, T. E. (1998).** Levels of

- Organochlorine Pesticides Residues in Milk of Urban Mothers in Kenya. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 60, 732–738.
- Kolani, L., Mawussi, G., Devault, D. A., & Sanda, K. (2017).** Organochlorine pesticides residues in agricultural soils from région des plateaux in TOGO. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 33, 33–42.
- Kone, P. W. E., Ochou, G. E. C., Didi, G. J. R., Dekoula, S. C., Kouakou, M., Bini, K. K. N., Mamadou, D., & Ochou, O. G. (2017).** Evolution spatiale et temporelle des dégâts du jasside *Jacobiella facialis* Jacobi , 1912 ( Cicadellidae ) en comparaison avec la distribution de la pluviométrie au cours des vingt dernières années dans les zones de culture cotonnière en Côte d ’ Ivoire Sp. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11(3), 1190–1201.
- Kouadio, A. A. (2013).** Le Circuit De Distribution De L ’ Attieke À Abidjan: Typologie De La Chaîne De Transport Et Dynamisme Des Acteurs. *Revue de Géographie de l’Université de Ouagadougou*, 2, 101–121.
- Kouadio, D. L., Ehouman, S. G. A., Soro, B. D., Diarra, M., Doumbia, M. L., Meite, L., Koné, M., Dembélé, A., & Traoré, K. S. (2014).** Contamination du lait caillé et de l ’ œuf consommé en Côte d ’ Ivoire par des pesticides organochlorés Résumé. *Afrique SCIENCE*, 10(4), 61–69.
- Kouakou, K. E. G., Lasm, T., Sombo, B. C., Ta, M. Y., Baka, D., & Kouadio, K. E. (2014).** Contribution de la géophysique à l’étude structurale et à l’identification des aquifères de fissures dans le Département de Dabakala (Centre-Nord Côte d ’ Ivoire ). *IJJAS*, 8(4), 1752–1769.
- Kouamé, A. K., Djéni, T. N., N’Guessan, F. K., & Dje, M. K. (2013).** Postprocessing microflora of commercial attieke (a fermented cassava product) produced in the south of Côte d’Ivoire. *Letters in Applied Microbiology*, 56(1), 44–50.
- Kouzayha, A. (2011).** Développement des méthodes analytiques pour la détection et la quantification de traces des HAP et de pesticides dans l’eau. Application à l’évaluation de la qualité des eaux Libanaises. Thèse de doctorat Université Bordeaux 1, 231p.
- Krabi, E. R., Assamoi, A. A., Ehon, A. F., Diawara, B., Niamké, L. S., & Thonart, P. (2015).** Production d’attiéké ( couscous à base de manioc fermenté) dans la ville d’Abidjan. *European Scientific Journal*, 11(15), 277–292.
- Kumar, B., Verma, V. K., Mishra, M., Gaur, R., Kumar, S., & Sharma, C. S. (2014).** DDT and HCH ( Organochlorine Pesticides ) in Residential Soils and Health Assessment for Human Populations in Korba , India. *Human and Ecological Risk Assessment*, 20(August 2013), 1538–1549.

- Kumar, M., Lakshmi, C. V., & Khanna, S. (2008).** Biodegradation and bioremediation of endosulfan contaminated soil. *Bioresource Technology*, 99(8), 3116–3122.
- Lachambre, M., & Fisson, C. (2007).** La contamination chimique: Quel risque en Estuaire de Seine? – Fiche substance: pesticides organochlorés – DDT, DDD, DDE, drines, endosulfan, HCB, HCH. GIP Seine-Aval, République Française, 23p.
- Lambelet, D., & Juc, L. (2009).** Migration de pesticides organochlorés dans les sols. *Déchets - Revue Francophone D'Écologie Industrielle*, 55, 8–11.
- Lehotay, S. J., & Hajs, J. (2002).** Application of gas chromatography in food analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 21(02), 686–697.
- Lesueur, J. M., Cabidoche, Y.-M., & Vannièrè, H. (2007).** Synthèse des conclusions du Groupe d'Etude et de Prospective "Pollution par les organochlorés aux Antilles" - Aspects agronomiques. *Les Cahiers Du PRAM (Pôle de Recherche Agro-Environnementale de La Martinique)*, 7, 7–12.
- Letondor, C. (2014).** Etude des mécanismes histologiques et physiologiques du transfert de la chlordécone (insecticide organochloré) dans les végétaux. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, 166p.
- Mahugija, J. A. M., Henkelmann, B., & Schramm, K. W. (2014).** Levels, compositions and distributions of organochlorine pesticide residues in soil 5-14 years after clean-up of former storage sites in Tanzania. *Chemosphere*, 117(1), 330–337. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.052>
- Mahyao, A. G. (2008).** Etude de l'efficacité du système d'approvisionnement et de distribution des ignames précoces kponan à travers le circuit Bouna-Bondoukou-Abidjan En Cote D'Ivoire. Thèse de doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 291p.
- Maiga, A., Blanchoud, H., Diallo, D., Alliot, F., Cissé, S., & Chevreuil, M. (2014).** Pesticides Occurrence in an Alfisol of Sudano-Sahelian Agricultural Watershed ( Korokoro , Mali ). *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 4(8), 130–141.
- Man, Y. B., Kang, Y., Wang, H. S., Lau, W., Li, H., Sun, X. L., Giesy, J. P., Chow, K. L., & Wong, M. H. (2013).** Cancer risk assessments of Hong Kong soils contaminated by polycyclic aromatic hydrocarbons. *Journal of Hazardous Materials*, 261, 770–776.
- Mawussi, G. (2008).** Bilan environnemental de l'utilisation de pesticides organochlorés dans les cultures de coton, café et cacao au Togo et recherche d'alternatives par l'évaluation du pouvoir insecticide d'extraits de plantes locales contre le scolyte du café



- (*Hypothenemus*). Thèse, Université de Toulouse, France, 207p.
- Mbonigaba Muhinda, J. J., Nzeyimana, I., Bucagu, C., & Culot, M. (2009).** Caractérisation physique, chimique et microbiologique de trois sols acides tropicaux du Rwanda sous jachères naturelles et contraintes à leur productivité. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 13(4), 545–558.
- MICS (Multiple Indicator Cluster Survey). (2006).** Suivi de la situation des enfants et des femmes: Enquête par grappes à indicateurs multiples. Côte d'Ivoire, 2006, Ministère du Plan et du Développement, Institut National de la Statistique (INS) et UNICEF.
- Mikes, O., Cupr, P., Trapp, S., & Klanova, J. (2009).** Uptake of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides from soil and air into radishes (*Raphanus sativus*). *Environmental Pollution*, 157(2), 488–496.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.007>
- Monti, D., & Coat, S. (2007).** La contamination des espèces d'eau douce. *Les Cahiers Du PRAM (Pôle de Recherche Agro-Environnementale de La Martinique)*, 7, 29–33.
- Mouchet, J. (1994).** Le DDT en santé publique. *Cahier Santé*, 4, 257–262.
- Mrema, E. J., Colosio, C., & Rubino, F. M. (2014).** Pesticide Residues: Organochlorines. *Encyclopedia of Food Safety*, 3, 23–30.  
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780123786128002389>
- Mtashobya, L. A., & Nyambo, B. (2014).** Levels of Pesticide Residues in the Eastern Arc Mountains Part of Tanzania. *International Journal of AgriScience*, 4(10), 452–462.
- N'Dri, D. Y. (2010).** Potentialités nutritionnelles et antioxydantes de certaines plantes alimentaires spontanées et de quelques légumes et céréales cultivés en CÔTE D'IVOIRE. Thèse, Università Degli Studi di Parma Facoltà di AGRARIA, 112p.
- N'Goran, K. E., N'Guessan, E., Ochou, O. G. M., Bini, K. K. N., Kouakou, M., Kouakou, B. J., Téhia, K. E., & Kouamé, B. (2017).** L'arachide, un bon précédent cultural du cotonnier en Côte d'Ivoire. In *CNRA, centre national de recherche agronomique, Fiche coton n° 4* (p. 2).
- Nandjui, J., Rosin, D., Voko, R., Kouadio, A. N. M., Fotso, B., Tano, Y., & Zeze, A. (2013).** Assessment of the occurrence and abundance of mycorrhizal fungal communities in soils from yam (*Dioscorea spp.*) cropping fields in Dabakala, North Côte d'Ivoire. *African Journal of Agricultural Research*, 8(44), 5572–5584.
- Nather, O. O., & Abiodun, J. M. (2017).** Analysis of Pesticide Residues in Agricultural Soil Using High Performance Liquid Chromatography (HPLC). *International Journal of Science and Research*, 6(10), 785–788.

- Ngom, S., Traore, S., Thiam, M. B., & Anastasie, M. (2012).** Contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal. *Rev. Sci. Technol., Synthèse*, 25, 119–130.
- Nindjin C., Konan G., Agbo N., Otokoré D., Bricas N., F. Z et G. O. (2007).** Les variétés d'igname (*Dioscorea* spp.) rencontrées sur les marchés en COTE D'IVOIRE et leur préférence culinaire. *Annales Des Sciences Agronomiques*, 9(2), 1–12.
- Nougadère, A. (2011).** Caractérisation du risque alimentaire lié aux résidus de pesticides: cas des substances actives utilisées en post-récolte en France. *2èmes Rencontre Recherche Appliquée, Transfert et Formation Du RMT 'Quasaprove' - Paris, 16 Juin 2011.*
- OECD. (2008).** *OECD Guideline for the testing of chemicals. Magnitude of the Pesticide Residues in Processed Commodities. N° 508* (Issue 3 October).
- Oliva, J., Cermeño, S., Cámara, M. A., Martínez, G., & Barba, A. (2017).** Disappearance of six pesticides in fresh and processed zucchini, bioavailability and health risk assessment. *Food Chemistry*, 229, 172–177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.076>
- ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique Outre-mer). (1960).** Carte pédologique de la République de Côte d'Ivoire.
- Pallo, J. F. P., Sawadogo, N., Zombré, N. P., & Sedogo, M. P. (2009).** Statut de la matière organique des sols de la zone nord- soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 13(1), 139–142.
- PAN/IPEN. (2008).** Interdiction de l'endosulfan dans les pays du sahel en Afrique de l'ouest, Groupe de Travail PAN (Pesticides Action Network) / IPEN (International POPs Elimination Network) sur les pesticides, 55p.
- Pascal, G. (2012).** Pour des aliments sains : savoir maîtriser les risques en alimentation Introduction et mise en contexte. *Innovations Agronomiques*, 24, 1–15.
- PNM. (2006).** Plan national de mise en oeuvre de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. République de CÔTE D'IVOIRE Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts, 147p.
- PSAC. (2012).** Projet d'Appui au Secteur de l'Agriculture de Côte d'Ivoire. Plan de gestion des pestes et pesticides. Rapport final, Ministère de l'agriculture, 55p.
- Qu, C., Qi, S., Yang, D., Huang, H., Zhang, J., Chen, W., Keleta, H., Hinga, E., Yang, J., & Xing, X. (2014).** Risk assessment and influence factors of organochlorine pesticides ( OCPs ) in agricultural soils of the hill region: A case study from Ningde , southeast China. *Journal of Geochemical Exploration*, 149, 43–51.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.11.002>

- Regnault-Roger, C. (2014).** Produits de Protection des Plantes- Innovation et sécurité pour une agriculture durable. TEC & DOC, Lavoisier, 310p.
- RESEN (Rapport d'État du Système Éducatif National). (2009).** «Rapport d'État du Système Éducatif Ivoirien: Comprendre les forces et les faiblesses du système pour Identifier les bases d'une politique nouvelle et ambitieuse. ».
- Sah, R. C., & Joshi, K. R. (2011).** Fact sheets of organic pollutants (POPs) under Stockholm convention. Center for Public Health and Environmental Development (CEPHED), Lalitpur, Nepal, 116p.
- San Miguel, A., Ravel, P., & Raveton, M. (2013).** A comparative study on the uptake and translocation of organochlorines by *Phragmites australis*. *Journal of Hazardous Materials*, 244–245, 60–69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.11.025>
- Sarr, M., Badiane, D., & Sane, B. (2016).** Evaluation de l'efficacité de nouveaux programmes de protection phytosanitaire contre les principaux ravageurs du cotonnier *Gossypium hirsutum* L. au Sénégal Assessment of new phytosanitary protection programs effectiveness against main cotton plant pes. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(5), 2163–2174.
- Scippo, M.-L., & Maghuin-Rogister, G. (2007).** Les perturbateurs endocriniens dans l'alimentation humaine : impact potentiel sur la santé. *Ann. Méd. Vét.*, 151, 44–54.
- Sheng, G., Johnston, C. T., Teppen, B. J., & Boyd, S. A. (2001).** Potential Contributions of Smectite Clays and Organic Matter to Pesticide Retention in Soils. *J. Agric. Food Chem.*, 49, 2899–2907.
- Siddique, T., Zahir, Z. A., & Frankenberger, W. T. J. (2003).** Reversed-Phase Liquid Chromatographic Method for Analysis of Endosulfan and Its Major Metabolites. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 26(7), 1069–1082.
- Soliman, K. M. (2001).** Changes in concentration of pesticide residues in potatoes during washing and home preparation. *Food and Chemical Toxicology*, 39, 0–4.
- Ssebugere, P., Wasswa, J., Mbabazi, J., Nyanzi, S. A., Kiremire, B. T., & Marco, J. A. M. (2010).** Organochlorine pesticides in soils from south-western Uganda. *Chemosphere*, 78(10), 1250–1255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.039>
- Štěpán, R., Tichá, J., Hajšlová, J., Kovalczuk, T., & Kocourek, V. (2005).** Baby food production chain: Pesticide residues in fresh apples and products. *Food Additives and Contaminants*, 22(12), 1231–1242.
- Sylla, M., Konan, L., Doannio, J. M. C., & Traor, S. (2003).** Evaluation de l'efficacité de

- lotions et de crèmes à base d'huiles de coco ( *Cocos nucifera* ), de palmiste (*Eleais guineensis*) et de gobi (*Carapa procera*) dans la protection individuelle contre les piqûres de *Simulium damnosum* s. l. en Côte d' Ivoire. *Bull Soc Pathol Exot*, 96(2), 104–109.
- Tellier, S. (2006).** Les pesticides en milieu agricole: état de la situation environnementale et initiatives prometteuses. Direction des politiques en milieu terrestre, Service des pesticides, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 90p.
- Tissier, C., Morvan, C., Bocquené, G., James, A., & Marchand, M. (2005).** Les substances prioritaires de la directive cadre sur l'eau (DCE). In *Institut Ifremer*, 92p.
- Ton, P. (2004).** La durabilité de la production du coton en Afrique de l' Ouest et du Centre . CNUCED (Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement)/ CCIC (Comité Consultatif International du Coton)/CFC (Common Fund for Commodities), 117p.
- Traoré, S. K., Mamadou, K., Dembele, A., Lafrance, P., Banton, O., & Houenou, P. (2002).** Résidus de pesticides organochlorés dans le lait humain d'une zone agricole de Côte d'Ivoire. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim*, 13, 99–109.
- Traore, S. K., Mamadou, K., Dembele, A., & Legube, B. (2007).** Etude cinétique de la dégradation de l'Endosulfane en solution aqueuse par oxydation photocatalytique et par photolyse. *Afrique SCIENCE*, 03(3), 362–377.
- UNEP (Programme des Nations Unies pour l'Environnement). (2006).** LINDANE- Descriptif des risques. Rapport du Comité d'étude des polluants organiques persistants sur les travaux de sa deuxième réunion Genève, Suisse, 27 p.
- UNESCO. (2020).** UNESCO-CÔTE D'IVOIRE-information générale-indicateurs socio-économiques. <http://uis.unesco.org/fr/country/ci>.
- USEPA. (1989).** Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual ( Part A ) Interim Final, 288p.
- USEPA. (1997). Volume I - General Factors, Exposure factors handbook: Vol. I (Issue May 1989), 854p.
- USEPA. (2002). Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites (Issue December), 187p.
- USEPA. (2009). Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual ( Part F , Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment ) Final: Vol. I (Issue January), 68p.
- Walkley, A. (1947).** A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils-effect of variations in digestion conditions and of inorganic constituents. *Soil*

- Science*, 63(4), 251–264.
- Wang, B., Wu, C., Liu, W., Teng, Y., Luo, Y., Christie, P., & Guo, D. (2016).** Levels and patterns of organochlorine pesticides in agricultural soils in an area of extensive historical cotton cultivation in Henan province, China. *Environ Sci Pollut Res* (2016), 23(7), 6680–6689.
- Wasswa, J., Kiremire, B. T., Nkedi-Kizza, P., Mbabazi, J., & Ssebugere, P. (2011).** Organochlorine pesticide residues in sediments from the Uganda side of Lake Victoria. *Chemosphere*, 82(1), 130–136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.09.010>
- Wenk, M., Baumgartner, T., Dobovšek, J., Fuchs, T., Kucsera, J., Zopfi, J., & Stucki, G. (1998).** Rapid atrazine mineralisation in soil slurry and moist soil by inoculation of an atrazine-degrading *Pseudomonas* sp. strain. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 49(5), 624–630.
- Woignier, T., Rangan, L., Fernandes, P., Clostre, F., Lesueur-Jannoyer, M., & Soler, A. (2015).** Une innovation agroécologique : la séquestration des pesticides. *Sciences Eaux & Territoires*, 16(1), 24–27.
- Yahaya, A. (2017).** Occurrences of Organochlorine Pesticides along the Course of the Buffalo River in the Eastern Cape of South Africa and Its Health Implications. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 1–16.
- Yang, F., Md Pauzi, A., Nusrat, B., & Wan Mohd, A. W. M. K. (2016).** Pesticides residues in agricultural soils and its health assessment for human in Cameron Highlands, Malaysia. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 20(6), 1346–1358.
- Yéboué, K. H., Amoikon, K. E., Kouamé, K. G., & Kati-Coulibaly, S. (2017).** Valeur nutritive et propriétés organoleptiques de l'attiéké, de l'attoukpou et du placali, trois mets à base de manioc, couramment consommés en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 113, 11184–11191.
- Yéo, S. (2014).** Analyse de l'offre d'alphabétisation des adultes en cote d'ivoire. *Revue Universitaire Des Sciences de l'Éducation*, 1, 115–142.
- Yobouet, B. A. (2016).** Contamination du lait cru et de l'attiéké vendus sur les marchés informels à Abidjan (Côte d'Ivoire) par le groupe *Bacillus cereus* et analyse des risques. Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 358p.
- Zacharia, T. J. (2011).** Identity, physical and chemical properties of pesticides. In *Pesticides in the Modern World – Trends in Pesticides Analysis* (pp. 1–18). Dr. Margarita Stoytcheva (Ed.).
- Zhang, Z., Liu, X.-J., & Hong, X.-Y. (2007).** Effects of home preparation on pesticide

residues in cabbage. *Food Control*, 18, 1484–1487.

**Zohair, A. (2001).** Behaviour of some organophosphorus and organochlorine pesticides in potatoes during soaking in different solutions. *Food and Chemical Toxicology*, 39, 751–755.

**Zoumenou, V., Aboua, F., Gnakri, D., & Kamenan, A. (1999).** Etude des caractéristiques physico-chimiques de certains plats traditionnels dérivés du manioc (foutou, placali et kokondé). *Tropicultura*, 3, 120–126.

# **ANNEXES**

**ANNEXE 1 : FICHE D'ENQUÊTE AGRICULTEURS  
IDENTIFICATION DE LA FICHE**

N° de fiche

Date

Localité

**I. CARACTERISTIQUES DU REpondANT**

1. Sexe                    M                                        F                   

2. Tranche d'âge

Moins de 25 ans                   

25 à 55 ans                   

Plus de 55 ans                   

3. Nationalité/ Ethnie

4. Situation matrimoniale

Célibataire                                        Marié                   

5. Niveau d'instruction

Non instruit                   

Primaire                   

Secondaire                   

Supérieure                   

**II. ANTECEDENTS DE L'EXPLOITATION**

6. Avez-vous déjà cultivé du coton sur votre parcelle actuelle ?

Oui                                        Non                   

7. Si Oui, Combien de fois avez-vous cultivé du coton sur cette parcelle ?

8. En quelle année vous avez débuté la culture de coton ?

9. Quels sont les produits phytosanitaires (pesticides) utilisés pour la culture de coton?

10. Continuez-vous de cultiver le coton? Sinon en quelle année avez-vous arrêté ?

11. Cultivez-vous le coton avec d'autres cultures ? Si Oui lesquelles ?

12. Quelles cultures se trouvent actuellement sur votre parcelle ?

Igname                                        Anacarde                                        Arachide                   

Manioc                                        Autres (préciser)                   

13. Quand avez-vous commencé à cultiver les cultures actuelles ? (pour celui qui ne fait plus de coton)



## ANNEXE 2 : FICHE D'ENQUÊTE CONSOMMATEURS

## IDENTIFICATION DE LA FICHE

N° de fiche :

Date :

Localité :

## I. CARACTERISTIQUES DU REpondANT

1. Sexe : M  F 

## 2. Tranche d'âge

Moins de 18 ans  40 à 49 ans   
 18 à 29 ans  50 à 59 ans   
 30 à 39 ans  60 ans et plus

## 3. Nationalité/ Ethnie :

## II. CONSOMMATION DE L'IGNAME, DU MANIOC ET DE L'ARACHIDE

## 4. Consommez-vous ces aliments ?

Igname  Manioc  Arachide

## 5. Quelle est votre fréquence de consommation ?

	Igname	Manioc	Arachide
Fois/jour			
Fois/semaine			
Fois/mois			
Autres (préciser)			

## 6. Sous quelles formes consommez-vous l'igname, le manioc, l'arachide ?

Igname		Manioc		Arachide	
Bouilli		Frais		Frais	
Foutou		Bouilli		Bouilli	
Frite		Foutou		Grillé avec coques	
Braisée		Attiéké		Grillé sans coques	
Autres (préciser)		Placali		Sauce	
		Autres (préciser)		Autres (préciser)	










## 7. Quelle quantité consommez-vous ?







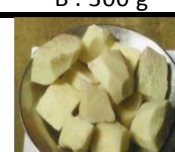



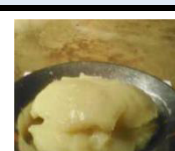




Igname		Manioc		Arachide	
Bouilli (I)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>	Frais (I)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>	Frais (I)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>
	C <input type="checkbox"/>		C <input type="checkbox"/>		C <input type="checkbox"/>
	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>		A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>		A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>

Foutou (II)	C <input type="checkbox"/>	Bouilli (II)	C <input type="checkbox"/>	Bouillie (II)	C <input type="checkbox"/>
Frite (III)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/>	Foutou (III)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Grillé avec coques (III)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Braisée (IV)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Attiéké (IV)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Grillé sans coques (IV)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
		Placali (V)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Pâte d'arachide(V)	A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>

A, B, C et D : cf. Annexe 3

## ANNEXE 3 : PHOTOGRAPHIES POUR ENQUÊTE DE CONSOMMATION

GRAINS D'ARACHIDE FRAIS	
Non décortiqués	Décortiqués
	
219,48 g	151,70 g
GRAINS D'ARACHIDE BOUILLIS	
	
122,90 g	94,67 g
GRAINS D'ARACHIDE GRILLES	
	
218,55	154,62
GRAINS D'ARACHIDE SECS	
	
189,83 g	130,30 g
	
	49,06 g Grains d'arachide grillés sans la coque

IGNAME			
Différentes portions d'igname braisée			
	A : 100 g	B : 300 g	C : 450 g
	Différentes portions d'igname frit		
A : 100 g		B : 300 g	C : 400 g
Différentes portions d'igname bouillie			
	A : 450 g	B : 675 g	C : 900 g
	Différentes portions de foutou d'igname		
A : 450 g		B : 675 g	C : 1125 g
MANIOC			
Différentes portions de placali			
	A : 450 g	B : 675 g	C : 1125 g
	Différentes portions d'attiéké		
A : 225 g		B : 450 g	C : 675 g
Portion de manioc bouilli			
	450 g		

**ANNEXE 4 : RESULTATS D'ANALYSE PAR HPLC DES DIFFERENTS  
ECHANTILLONS**

D pour les échantillons provenant de Dabakala

N pour les échantillons provenant de Niakara

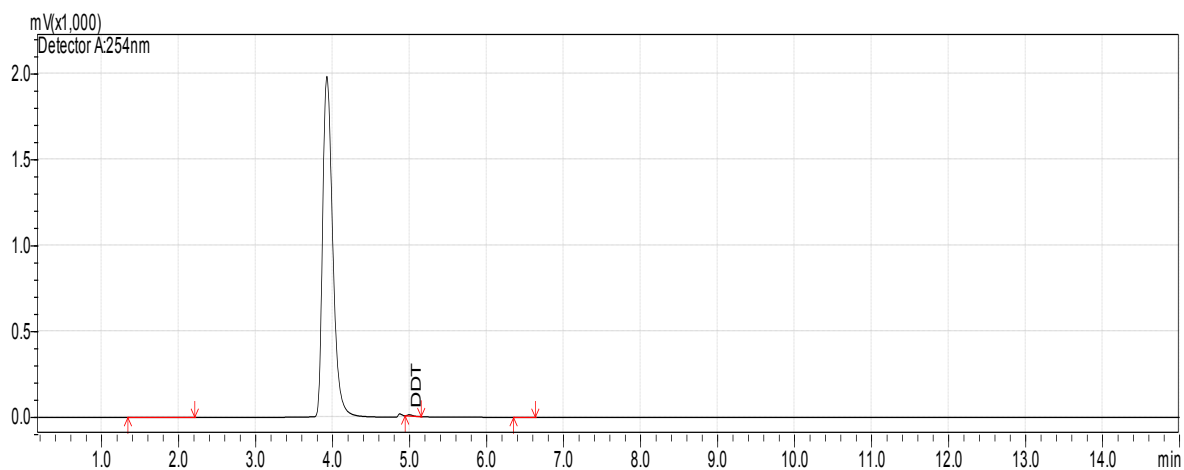
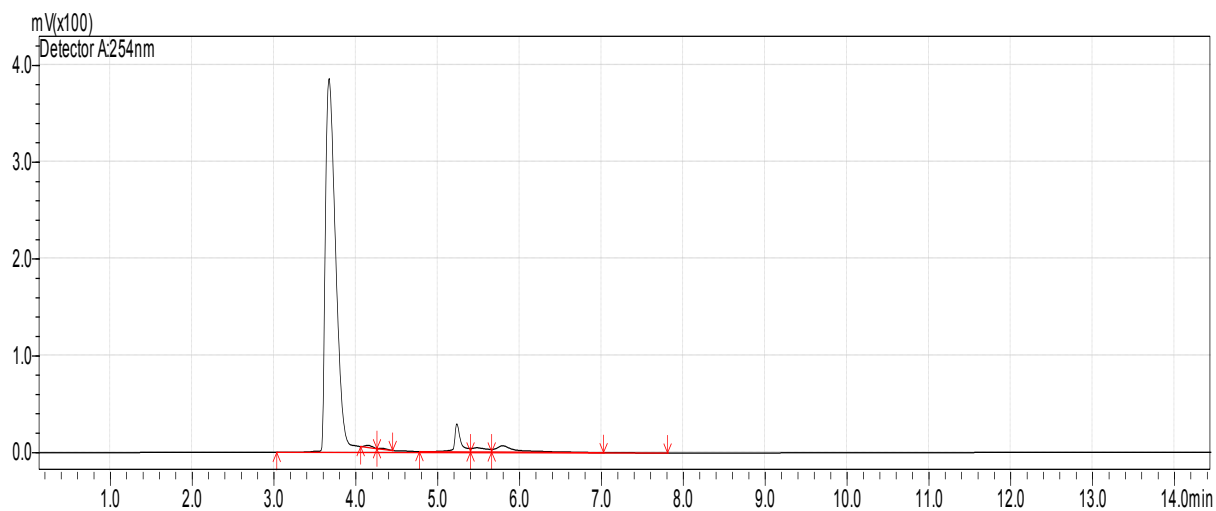
A pour les échantillons d'arachide

I pour les échantillons d'igname

M pour les échantillons de manioc

## ANNEXE 4 : RESULTATS D'ANALYSE DU DDT

ECH.	concentration Ech (µg/Kg)	surface étalon	concentration étalon (µg-L)	VF(l)	Mech (Kg)	Surface Ech.
Echantillons de sol						
D1	0,032	204968	10	0,005	0,025	25005
D2	0,17	204968	10	0,005	0,025	17422
D3	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D4	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D5	0,283	204968	10	0,005	0,025	29003
D6	0,34	204968	10	0,005	0,025	34845
D7	0,213	204968	10	0,005	0,025	21834
D8	0,02	204968	10	0,005	0,025	24497
N1	0,435	204968	10	0,005	0,025	41043
N2	0,269	204968	10	0,005	0,025	29210
N3	0,309	204968	10	0,005	0,025	31668
N4	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N5	0,242	204968	10	0,005	0,025	24801
N6	0,212	204968	10	0,005	0,025	21727
N7	0,386	204968	10	0,005	0,025	39559
Echantillons d'arachide						
D1A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D3A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D5A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D6A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N2A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N3A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N4A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N5A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N6A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N7A	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
Echantillons d'igname						
D4I	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D5I	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D8I	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
Echantillons de manioc						
D1M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D2M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D3M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D4M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D5M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D6M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
D8M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N1M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N2M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND
N3M	ND	204968	10	0,005	0,025	ND

**CHROMATOGRAMME DE L'ECHANTILLON D2****CHROMATOGRAMME DE L'ECHANTILLON N6A**

## RESULTAT ANALYSE D'ENDOSULFAN ALPHA

ECH.	concentration Ech (µg/Kg)	surface étalon	concentration étalon (µg/L)	VF(l)	Mech (Kg)	Surface Ech.
Echantillons de sol						
D1	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D2	0,212	10549	10	0,005	0,025	1118
D3	0,13	10549	10	0,005	0,025	686
D4	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D5	0,353	10549	10	0,005	0,025	1862
D6	0,424	10549	10	0,005	0,025	2236
D7	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D8	0,252	10549	10	0,005	0,025	1329
N1	0,435	10549	10	0,005	0,025	2295
N2	0,326	10549	10	0,005	0,025	1720
N3	0,38	10549	10	0,005	0,025	2004
N4	0,021	10549	10	0,005	0,025	111
N5	0,302	10549	10	0,005	0,025	1593
N6	0,265	10549	10	0,005	0,025	1398
N7	0,481	10549	10	0,005	0,025	2537
Echantillons d'arachide						
D1A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D3A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D5A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D6A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N2A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N3A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N4A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N5A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N6A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N7A	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
Echantillons d'igname						
D4I	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D5I	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D8I	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
Echantillons de manioc						
D1M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D2M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D3M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D4M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D5M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D6M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
D8M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N1M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N2M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND
N3M	ND	10549	10	0,005	0,025	ND

## RESULTAT ANALYSE D'ENDOSULFAN BETA

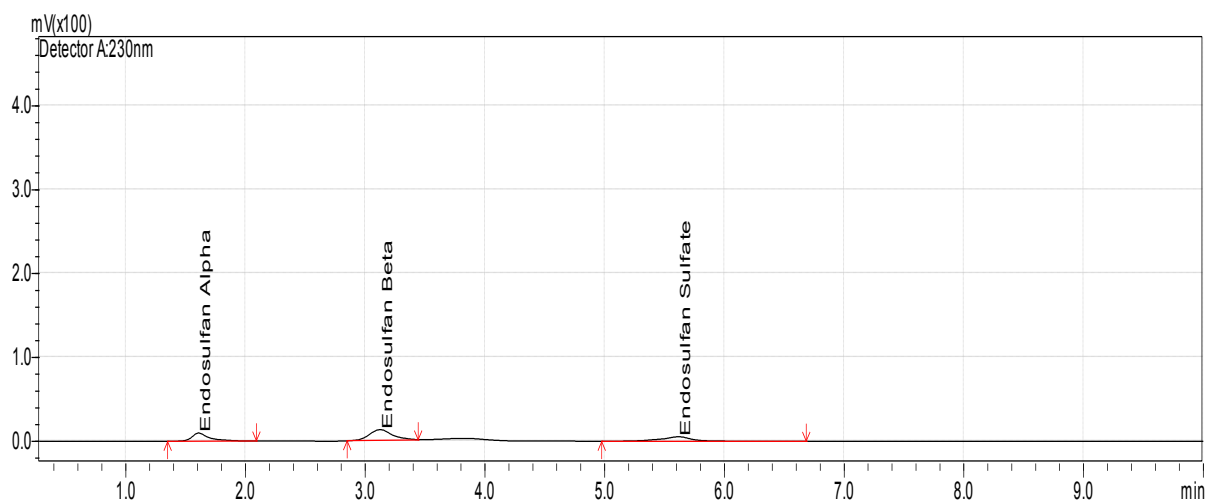
ECH.	concentration Ech (µg/Kg)	surface étalon	concentration étalon (µg/L)	VF(l)	Mech (Kg)	Surface Ech.
Echantillons de sol						
D1	0,034	9854	10	0,005	0,025	168
D2	0,162	9854	10	0,005	0,025	798
D3	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D4	0,103	9854	10	0,005	0,025	507
D5	0,27	9854	10	0,005	0,025	1330
D6	0,324	9854	10	0,005	0,025	1596
D7	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D8	0,192	9854	10	0,005	0,025	945
N1	0,435	9854	10	0,005	0,025	2143
N2	0,257	9854	10	0,005	0,025	1266
N3	0,294	9854	10	0,005	0,025	1449
N4	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N5	0,231	9854	10	0,005	0,025	1138
N6	0,202	9854	10	0,005	0,025	995
N7	0,368	9854	10	0,005	0,025	1813
Echantillons d'arachide						
D1A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D3A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D5A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D6A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N2A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N3A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N4A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N5A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N6A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N7A	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
Echantillons d'igname						
D4I	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D5I	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D8I	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
Echantillons de manioc						
D1M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D2M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D3M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D4M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D5M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D6M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
D8M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N1M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N2M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND
N3M	ND	9854	10	0,005	0,025	ND



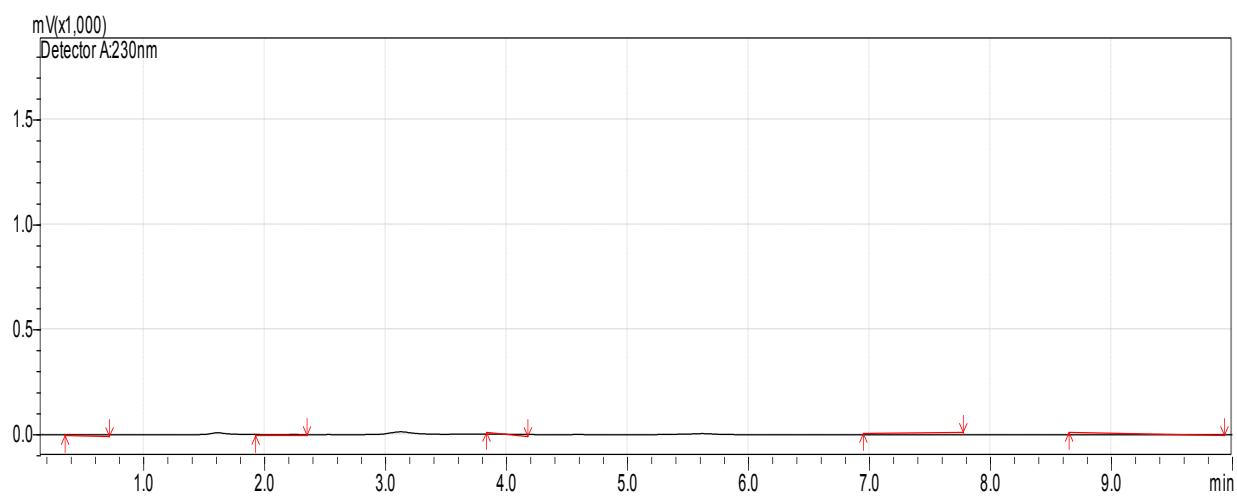
## RESULTAT ANALYSE D'ENDOSULFAN SULFATE

ECH.	concentration Ech (µg/Kg)	surface étalon	concentration étalon (µg/L)	VF(l)	Mech (Kg)	Surface Ech.
Echantillons de sol						
D1	0,034	5274	10	0,005	0,025	90
D2	0,05	5274	10	0,005	0,025	132
D3	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D4	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D5	0,083	5274	10	0,005	0,025	219
D6	0,100	5274	10	0,005	0,025	264
D7	0,103	5274	10	0,005	0,025	272
D8	0,059	5274	10	0,005	0,025	156
N1	0,435	5274	10	0,005	0,025	1147
N2	0,079	5274	10	0,005	0,025	208
N3	0,09	5274	10	0,005	0,025	237
N4	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N5	0,071	5274	10	0,005	0,025	187
N6	0,062	5274	10	0,005	0,025	164
N7	0,113	5274	10	0,005	0,025	298
Echantillons d'arachide						
D1A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D3A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D5A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D6A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N2A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N3A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N4A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N5A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N6A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N7A	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
Echantillons d'igname						
D4I	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D5I	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D8I	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
Echantillons de manioc						
D1M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D2M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D3M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D4M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D5M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D6M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
D8M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N1M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N2M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND
N3M	ND	5274	10	0,005	0,025	ND

## CHROMATOGRAMME DE L'ECHANTILLON D2



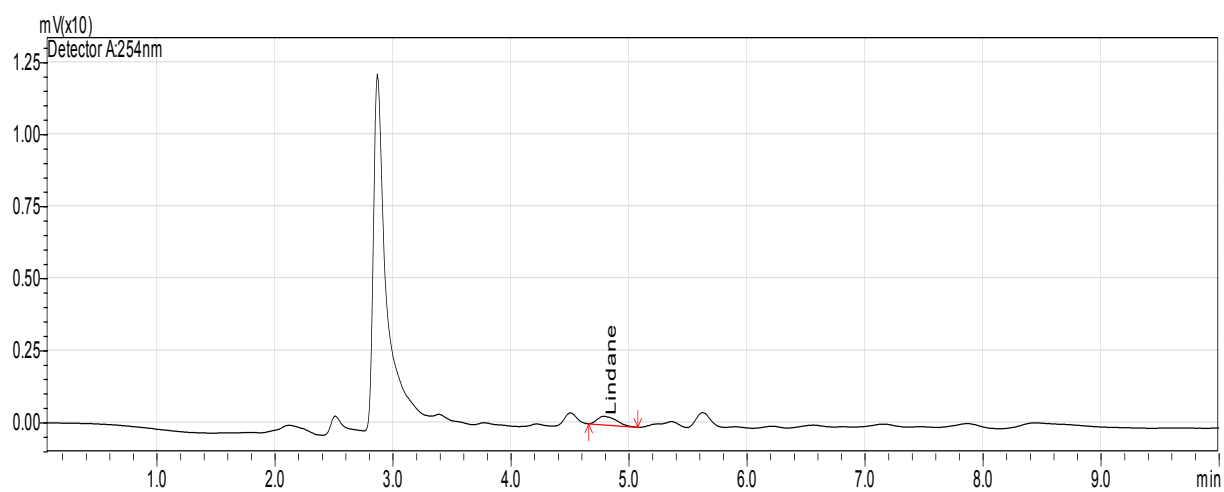
## CHROMATOGRAMME DE L'ECHANTILLON N6A



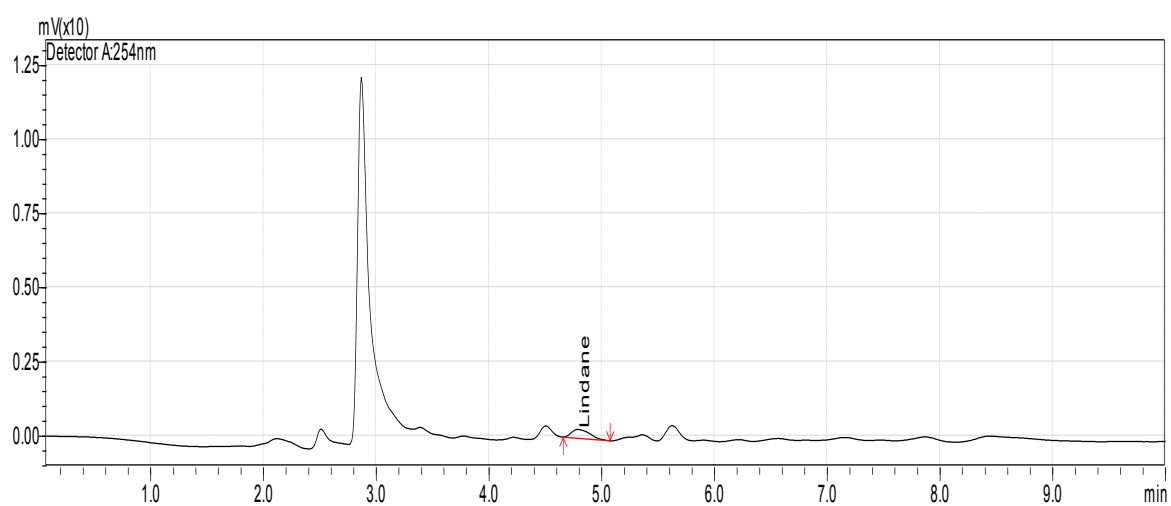
## RESULTAT ANALYSE DE LINDANE

ECH.	concentration Ech (µg/Kg)	surface étalon	concentration étalon (µg/L)	VF(l)	Mech (Kg)	Surface Ech.
Echantillons de sol						
D1	0,42	21097	10	0,005	0,025	4589
D2	0,425	21097	10	0,005	0,025	4483
D3	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D4	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D5	0,713	21097	10	0,005	0,025	7521
D6	1,07	21097	10	0,005	0,025	11287
D7	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D8	0,43	21097	10	0,005	0,025	4536
N1	0,435	21097	10	0,005	0,025	4589
N2	0,67	21097	10	0,005	0,025	7068
N3	0,778	21097	10	0,005	0,025	8207
N4	0,532	21097	10	0,005	0,025	6086
N5	0,517	21097	10	0,005	0,025	5454
N6	0,535	21097	10	0,005	0,025	6171
N7	0,972	21097	10	0,005	0,025	10253
Echantillons d'arachide						
D1A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D3A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D5A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D6A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N2A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N3A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N4A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N5A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N6A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N7A	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
Echantillons d'igname						
D4I	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D5I	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D8I	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
Echantillons de manioc						
D1M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D2M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D3M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D4M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D5M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D6M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
D8M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N1M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N2M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND
N3M	ND	21097	10	0,005	0,025	ND

## CHROMATOGRAMME DE L'ECHANTILLON D5



## CHROMATOGRAMME DE L'ECHANTILLON D2



# **ARTICLES PUBLIÉS**

## Evaluation de la consommation des cultures locales dans le centre-nord de la Côte d'Ivoire : Cas de l'igname, du manioc et de l'arachide

### [ Assessment of local crop's consumption in the north-central of Côte d'Ivoire : Cases of yam, cassava and groundnut ]

Monty Abibata CAMARA, Zita Essan Bla N'GORAN-AW, Moctar Cissé, Eric Fattoh ELLEINGAND, and Nogbou Emmanuel ASSIDJO

Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et de l'Environnement (LAPISEN),  
Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This work studies the consumption by population of Dabakala and Niakara of yam, cassava and groundnut foods. The survey sample of the population was random and was composed of 400 persons (56% women and 44% men) belonging to different ethnic groups. The results of the survey show that 97%, 93%, 96% of the surveyed population consume respectively yam, cassava and groundnut and there is not significant difference according to the cities. Of those, 79 % of the population prefer pounded yam and 57% prefer boiled yam. Cassava is more consumed as *attiéké* 86% and *placali* 46%. 83%, 55%, 35% of the population consume respectively groundnut as sauce, roasted with hull and fresh. These foods are consumed regularly by the population in proportions of 265.3 g/day/pers for yam, 197.1 g /day/pers for cassava and 161 g/day/pers for groundnut. This consumption varies according to the sex (pounded yam, boiled groundnut and roasted with hull) and according to age (pounded yam and *attiéké*).

**KEYWORDS:** yam, cassava, groundnut, consumption, cooking form.

**RESUME:** Ce travail porte sur la consommation des aliments à base d'igname, de manioc et d'arachide par les populations de Dabakala et de Niakara. L'échantillonnage de la population a été aléatoire et composé de 400 personnes (56% femmes et 44% hommes) appartenant à différents groupes ethniques. Les résultats de l'enquête montrent que 97%, 93%, 96% des enquêtés consomment respectivement l'igname, le manioc et l'arachide et cette consommation ne varie pas en fonction de la ville. De même, 79 % de la population préfèrent l'igname pilée (foutou) et 57% préfèrent l'igname bouillie. Le manioc est plus consommé sous les formes *attiéké* 86% et *placali* 46%. 83%, 55%, 35% de la population consomme respectivement l'arachide en sauce, grillée avec la coque et fraîche. Ces aliments sont régulièrement consommés par la population dans les proportions de 265.3 g/jour/pers pour l'igname, 197.1 g/jour/pers pour le manioc et 161 g/jour/pers pour l'arachide. Cette consommation varie d'une part en fonction du sexe (foutou igname, arachide bouillie et arachide grillée avec la coque) et d'autres part en fonction de l'âge (foutou igname et *attiéké*).

**MOTS-CLEFS:** igname, manioc, arachide, consommation, formes culinaires.

#### 1 INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, la consommation des différentes sources d'aliments diffère selon les régions et est largement dépendante des pratiques culturelles. Ainsi dans les régions du nord, il a été constaté que les produits céréaliers occupaient une place importante dans l'alimentation. En zone forestière, on retrouve les racines et les tubercules. Cette répartition géographique des denrées a contribué à l'adoption de style alimentaire différent selon les régions. En effet, lorsqu'une région produit une quelconque denrée, celle-ci constitue principalement son aliment de premier choix [1]. De plus, on constate que ce style alimentaire est traditionnellement composé de céréales ou de féculents accompagnés d'une sauce à base de légumes ou de légumineuses. En Côte d'Ivoire, il existe diverses plantes à racines et tubercules dont les plus importantes tant au plan

production qu'au plan consommation sont l'igname et le manioc. Avec une production nationale de 5.808.972 tonnes pour l'igname et 4.239.303 tonnes pour le manioc [2], ces dernières étant respectivement première et deuxième culture vivrière.

Par ailleurs, bien qu'étant défini par les habitudes culturelles des régions, le modèle alimentaire est aussi influencé par les brassages des populations. En effet, la migration oblige les individus à se réapproprier de nouvelles habitudes alimentaires, ce qui conduit à des transitions nutritionnelles et donc à l'abandon des cultures traditionnelles. C'est le cas de l'*attiéké* (couscous de manioc) qui, auparavant produit et consommé par les peuples lagunaires (Ebrié, Adioukrou...), est aujourd'hui consommé par tous les ménages en Côte d'Ivoire [3], [4].

Ainsi, le centre-nord de la Côte d'Ivoire, une zone de transition entre le nord et le centre, n'échappe pas à la composition de base des mets ivoiriens comprenant des céréales ou des racines-tubercules. On y trouve par conséquent des mets typiques du nord et du centre du pays.

L'objectif de la présente étude est de décrire les fréquences de consommation alimentaire des populations de Dabakala et de Niakara. Ce travail accorde un intérêt particulier au comportement alimentaire de ces populations face à l'igname, l'arachide et le manioc, trois cultures importantes dans la région.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La présente étude s'est déroulée dans les départements de Dabakala et de Niakara, situés dans la région administrative du Hambou au centre-nord de la Côte d'Ivoire. Ces localités sont distantes chacune respectivement d'environ 85,8 km et 71,1 km de Katiola, le chef-lieu de région, lui-même situé à une distance d'environ 393 km d'Abidjan.

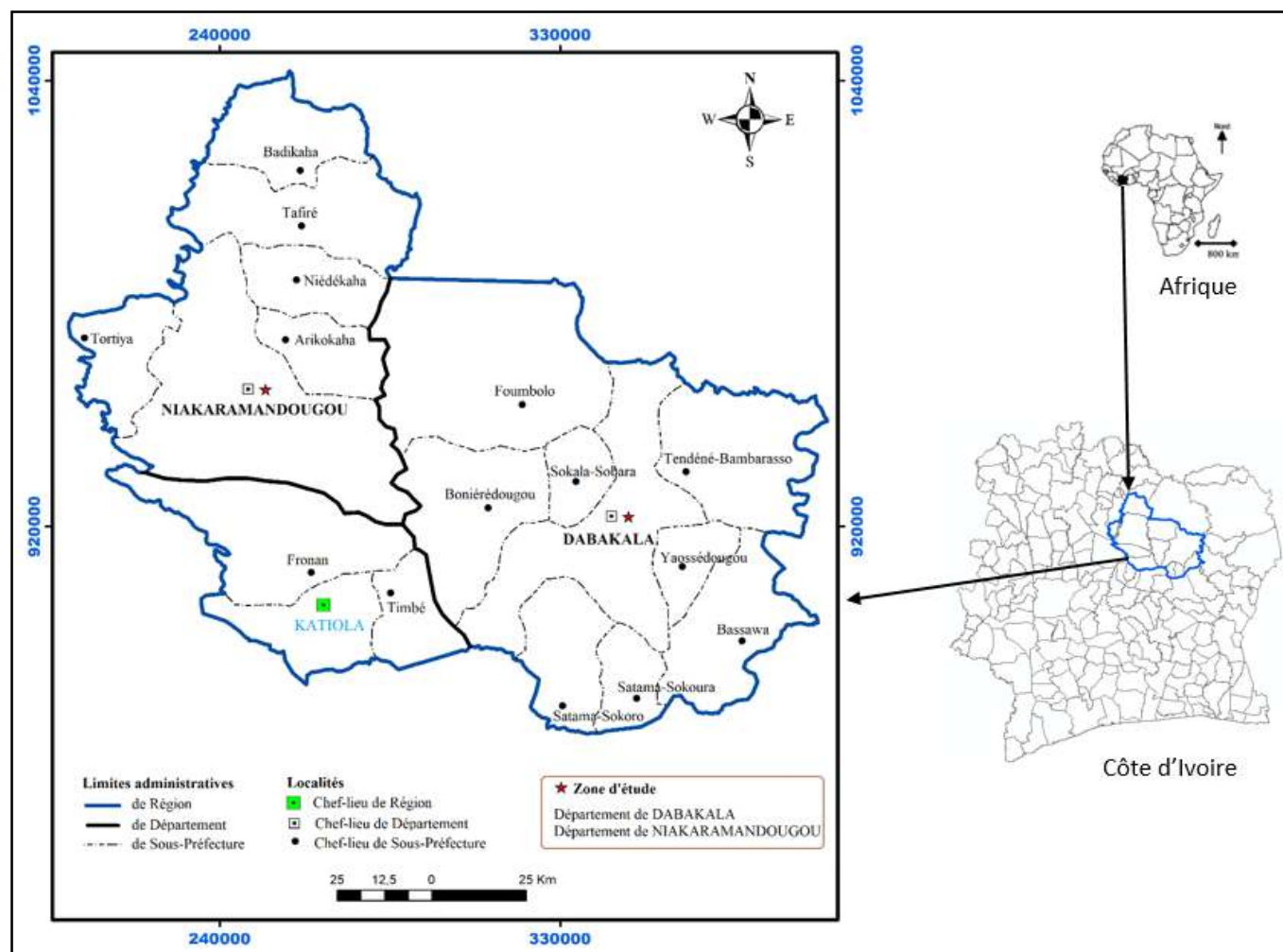


Fig. 1. Représentation de la zone d'étude

## **2.2 MATERIEL**

Le matériel technique ayant servi à la réalisation de cette enquête est constitué d'une fiche d'enquête (voir 2.5) comportant deux parties. La première partie était réservée aux caractéristiques du répondant et la seconde aux caractéristiques de la consommation de l'igname, du manioc et de l'arachide.

## **2.3 METHODES**

Une enquête a été réalisée dans les villes de Dabakala et de Niakara. Le choix de ces villes se justifie par le fait qu'elles sont les chefs lieu de département d'une part, et que l'igname, le manioc et l'arachide y sont abondamment cultivés d'autres part.

L'enquête visait à qualifier et à quantifier les aliments à base de manioc, d'igname et d'arachide consommés par la population.

De façon pratique, il s'est agi d'interroger tous les individus rencontrés, sans distinction de sexe et d'âge, sur leur consommation d'igname, de manioc et d'arachide.

Les entretiens ont été faits en français ou en malinké (langue locale). Les enquêtes se sont déroulées pendant les mois de Mai et de Juillet 2017, période de récolte des différents produits vivriers d'intérêt.

Au total, 400 personnes ont été interrogées sur leur tranche d'âge, les aliments consommés entre l'igname, le manioc et l'arachide, leur fréquence de consommation, les formes culinaires appréciées et la quantité consommée.

Pour chacun des aliments, chaque personne a été interrogée sur sa fréquence de consommation par jour, par semaine ou par mois et sur les quantités consommées à chaque fois. La consommation des différents produits étant sujette à des variations saisonnières, les niveaux de consommation correspondent à ceux des enquêtés lors de la période de forte disponibilité. Pour faciliter l'indication des quantités par les répondants, des photos d'aliments réels présentant des tailles de portions d'aliments prêts à manger, leur ont été présentées (voir 2.5).

## **2.4 ANALYSES STATISTIQUES**

Le dépouillement des données a été fait à l'aide du logiciel Sphinx V2. Les figures et tableaux ont été réalisés à l'aide d'Excel. Les questions fermées ont fait l'objet d'une analyse statistique en déterminant la fréquence, l'intervalle de confiance et les tests de Khi deux et de Fisher. Cependant les questions ouvertes issues de la fiche d'enquête et des causeries libres ont fait l'objet d'une analyse de contenu.



2.5 FICHE D'ENQUÊTE ET PHOTOGRAPHIES POUR ENQUETE

**FICHE D'ENQUETE**

N° de fiche :

Date :

Localité :

**I. CARACTERISTIQUES DU REpondANT**

1. Sexe : M  F

**2. Tranche d'âge**

Moins de 18 ans  40 à 49 ans   
 18 à 29 ans  50 à 59 ans   
 30 à 39 ans  60 ans et plus

**3. Nationalité/ Ethnie :**

**II. CONSOMMATION DE L'IGNAME, DU MANIOC ET DE L'ARACHIDE**

**4. Consommez-vous ces aliments ?**

Igname  Manioc  Arachide

**5. Quelle est votre fréquence de consommation ?**

	Igname	Manioc	Arachide
Fois/jour			
Fois/semaine			
Fois/mois			
Autres (préciser)			






























**6. Sous quelles formes consommez-vous l'igname, le manioc, l'arachide ?**

Igname	Manioc	Arachide
Bouilli	Frais	Frais
Foutou	Bouilli	Bouilli
Frite	Foutou	Grillé avec coque
Braisée	Attiéké	Grillé sans coque
Autres (préciser)	Placali	Sauce
	Autres (préciser)	Autres (préciser)

**7. Quelle quantité consommez-vous ?**

Igname	Manioc	Arachide
Bouilli A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Frais A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Frais A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Foutou A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Bouilli A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Bouillie A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Frite A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Foutou A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Grillé avec coques A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
Braisée A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Attiéké A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	Grillé sans coques A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>
	Placali A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	

PHOTOGRAPHIES POUR ENQUETE

GRAINS D'ARACHIDE FRAIS		IGNAME			
Non décortiqués	Décortiqués				
		Différentes portions d'igname braisée			
219,48 g	151,70 g		100 g	300 g	450 g
GRAINS D'ARACHIDE BOUILLIS		Différentes portions d'igname frit			
			100 g	300 g	400 g
122,90 g	94,67 g	Différentes portions d'igname bouillie			
GRAINS D'ARACHIDE GRILLES		Différentes portions de foutou d'igname			
			450 g	675 g	900 g
218,55	154,62	MANIOC			
GRAINS D'ARACHIDE SECS		Différentes portions de placali			
			450 g	675 g	1125 g
189,83 g	130,30 g	Différentes portions d'attiéké			
		Portion de manioc bouilli			
	49,06 g Grains d'arachide grillés sans la coque	Portion de foutou de manioc			
			450 g		

### 3 RESULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA POPULATION ENQUÊTÉE

Parmi les 400 personnes enquêtées, 177 étaient des hommes et 223 des femmes soit respectivement 44% et 56% de la population (Tableau 1). La majorité de cette population (58%) avait l'âge compris entre 18 et 39 ans. Aussi elle appartenait aux groupes ethniques des djimins (34%), des tagbanas (25%), des senoufos (10%) et des étrangers (15%).

**Tableau 1. Caractéristiques sociodémographiques de la population enquêtée**

		Dabakala	Niakara	Total
Pourcentage des enquêtés		59 %	42 %	
Sexe	Féminin	53 %	60 %	56 %
	Masculin	47 %	40 %	44 %
Tranches d'âge	Non réponse	10 %	0 %	6 %
	Moins de 18 ans	9 %	11 %	10 %
	18 à 29 ans	26 %	25 %	26 %
	30 à 39 ans	29 %	34 %	32 %
	40 à 49 ans	13 %	14 %	14 %
	50 à 59 ans	6 %	8 %	7 %
	60 ans et plus	6 %	7 %	7 %
Ethnies	djimini	59 %	1 %	34 %
	tagbana	6 %	51%	25 %
	senoufo	2 %	19 %	10 %
	baoulé	5 %	4 %	5%
	étrangers	15%	14 %	15%
	malinké	5 %	9 %	7%
	lobi	4 %	2 %	3%
	koulango	3 %	0 %	2%
bété	1 %	0 %	0%	

L'igname, l'arachide et le manioc sont consommés par la plupart des personnes enquêtées avec des taux respectifs de 97%, 96% et 93% (Tableau 2). Cela signifie que la majeure partie de la population consomme l'igname, le manioc et l'arachide. La culture de ces différents produits vivriers est donc destinée en partie à la consommation locale. Par ailleurs, la consommation des aliments ne varie pas en fonction des villes car il n'existe pas de différence significative  $p > 0,05$  (chi 2= 0,5, ddl = 2, 1-p = 20,9%).

**Tableau 2. Répartition des enquêtés en fonction des aliments consommés et des villes**

Villes	Niakara	Dabakala	TOTAL
Aliments consommés			
igname	98 %	95 %	97 %
manioc	90 %	95 %	93 %
arachide	98 %	94%	96 %

#### 3.2 CONSOMMATION DE L'IGNAME

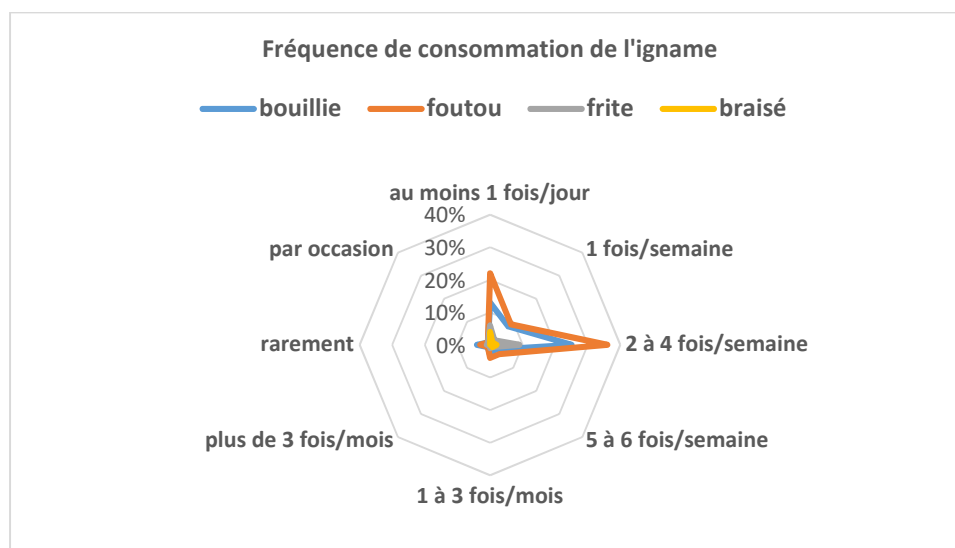
L'analyse des données recueillies nous montre que l'igname est consommée sous plusieurs formes à savoir les formes bouillie, foutou, frite, braisée et autres (ragout et boulettes). Ces résultats sont en conformité avec ceux de [5], qui ont indiqué que les formes de préparation culinaire de l'igname fraîche généralement rencontrées en Côte d'Ivoire sont le *foutou* d'igname (forme pilée), l'igname bouillie, le ragoût d'igname, l'igname braisée et les frites d'igname. La forme foutou est la plus consommée suivie de la forme bouillie avec respectivement une proportion de 79 % et 57% des enquêtés. Le test de Chi 2 met en évidence l'existence de différences significatives en termes de formes culinaires d'igname consommées (Chi 2 = 729,1, ddl = 6,1, 1-p = > 99,9%). Les consommateurs qui affirment apprécier le *foutou* d'igname sont plus nombreux que ceux qui aiment

l'igname bouillie. En effet, selon certains auteurs, le foutou est la forme culinaire de l'igname la plus appréciée en Afrique occidentale [6] et en Côte d'Ivoire [7].

**Tableau 3. Répartition des consommateurs selon la forme culinaire d'igname**

formes culinaires de l'igname	Effectif	Intervalles de confiance (%)
bouillie	227	52 < 57 < 62
<i>foutou</i>	317	75 < 79 < 83
frite	82	17 < 21 < 24
braisée	32	5 < 8 < 11
autres	9	1 < 2 < 4
Non réponse	14	2 < 4 < 5
TOTAL	400	

De manière générale, la consommation de l'igname sous toutes les formes est régulière au sein des consommateurs enquêtés. En effet, quelle que soit la forme culinaire, les résultats d'enquête montrent que l'igname est plus consommée à des fréquences d'au moins 1fois/jour et de 2 à 4 fois/semaine (fig.2). Pendant la saison des ignames, 45 % des consommateurs d'igname en mangent tous les jours.



**Fig. 2. Répartition des consommateurs d'igname en fonction des fréquences et des différentes formes culinaires**

La consommation moyenne de ces formes culinaires est de  $297,0 \pm 249,3$  g/jour/ pers et  $266,2 \pm 224,2$  g/jour/pers respectivement pour l'igname sous forme *foutou* et l'igname bouillie. Dans l'ensemble, la population enquêtée à une consommation d'igname de  $265,3$  g/jour/pers.

**Tableau 4. Quantité moyenne par jour et par personne d'igname consommée selon les différentes formes culinaires**

Formes culinaires d'igname	Quantité(g)/jour/personne			
	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Bouillie	15,0	1350	266,2	224,2
<i>Foutou</i>	7,5	1125	297,0	249,3
Frite	3,3	1125,0	147,8	166,0
Braisée	5,0	700,0	240,1	170,7
Ensemble	3	1350	265,3	

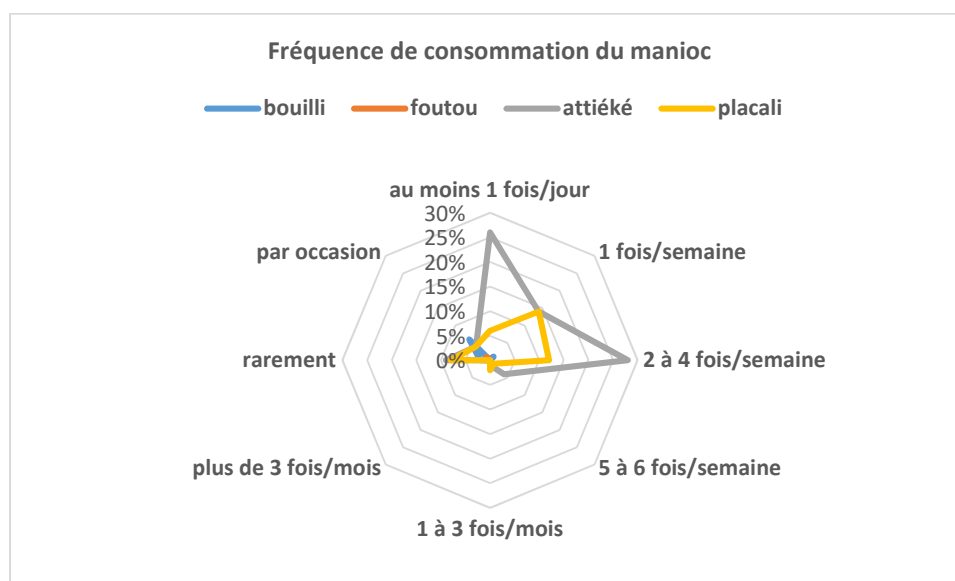
### 3.3 CONSOMMATION DU MANIOC

A l'instar de l'igname, le manioc peut être consommé sous différentes formes notamment bouillie, *foutou*, *attiéké*, *placali* et autres (« *kokondé* », braisé et mélangé à de la banane pour le *foutou*). Ces différentes formes culinaires font partie des aliments à base de manioc largement consommés en Côte d'Ivoire [8], [9]. L'*attiéké* est la forme la plus consommée avec 86% des enquêtés suivi du *placali* (46%) des enquêtés. En effet certains auteurs révèlent que, l'*attiéké* est l'aliment à base de manioc le plus consommé en Côte d'Ivoire [10], [11]. Toutefois, l'analyse statistique montre l'existence d'une différence significative en termes de formes culinaires de manioc consommées ( $\chi^2 = 898,6$ , ddl = 6,  $1-p = > 99,9\%$ ).

**Tableau 5. Répartition des consommateurs selon la forme culinaire du manioc**

formes culinaires du manioc	Effectifs	Intervalles de confiance (%)
bouillie	33	6 < 8 < 11
<i>foutou</i>	5	0 < 1 < 2
<i>attiéké</i>	344	83 < 86 < 89
<i>placali</i>	184	41 < 46 < 51
autres	20	3 < 5 < 7
Non réponse	27	4 < 7 < 9
TOTAL	400	

De manière générale, la consommation du manioc est régulière sous la forme *attiéké* au sein des consommateurs enquêtés. En effet, les résultats d'enquête montrent que cette forme culinaire est plus consommée à des fréquences d'au moins 1fois/jour et de 2 à 4 fois/semaine par plus de 50% des enquêtés (fig. 3). Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que l'*attiéké* est considéré comme un "fast-food" qui peut être consommé chaud ou froid [10]. Sa préparation ne prend pas assez de temps. De plus son prix abordable le rend accessible à toutes les bourses [12].



**Fig. 3. Répartition des consommateurs de manioc en fonction des fréquences et des différentes formes culinaires**

Les quantités moyennes d'*attiéké* et de *placali* consommées par jour et par enquêtés sont respectivement de  $182,2 \pm 151$  g et  $231,6 \pm 236,8$  g. La quantité moyenne d'*attiéké* consommée par jour et par personne obtenue au cours de l'enquête, est inférieure à celle trouvée par Yobouet en 2016 qui était de  $296 \pm 310$  g/jour/personne au cours d'une enquête menée à Abidjan [13]. Cette différence pourrait être justifiée par le fait que la zone d'Abidjan constitue la plus forte zone de production et de consommation de l'*attiéké* [14]. Aussi, ce fait pourrait se justifier par le fait que l'*attiéké* est un met typique des peuples lagunaires qui en sont les grands consommateurs [3]. Dans l'ensemble, la population enquêtée à une consommation de manioc de  $197,1$  g /jour/pers.

Tableau 6. Quantité moyenne par jour et par personne de manioc consommée selon les différentes formes culinaires

Formes culinaires du manioc	Quantité(g)/jour/personne			
	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Bouillie	32,1	160,7	96,4	90,9
Foutou	64,3	64,3	64,3	0,0
Attieké	15,0	675,0	182,1	151,0
Placali	15,0	1125,0	231,6	236,8
Ensemble	15	1125	197,1	

### 3.4 CONSOMMATION DE L'ARACHIDE

A l'issue de notre enquête, nous constatons que dans notre zone d'étude, l'arachide se consomme de diverses manières. Notamment en graines sous forme fraîche, bouillie, grillée avec la coque, sèche, grillée sans la coque, ou en pâte (sauce ou à tartiner). Les résultats indiquent que la sauce d'arachide est la forme la plus consommée suivie de l'arachide « grillée avec la coque » et de l'arachide « fraîche » dans des proportions respectives de 83%, 55% et 35% des enquêtés consommateurs d'arachide. Le test de Khi deux met en évidence l'existence de différences significatives en termes de formes culinaires d'arachide consommées ( $\chi^2 = 760,0$ , ddl = 7, 1-p = >99,9%). Cette forte consommation de l'arachide en sauce pourrait s'expliquer par le fait qu'elle est une spécialité du peuple malinké et que la pâte d'arachide intervient aussi dans la préparation d'autres sauces telles que la sauce « dah » (feuille d'oseille) qui est régulièrement consommée au nord de la Côte d'Ivoire [2].

Tableau 7. Répartition des consommateurs selon la forme culinaire de l'arachide

formes culinaires	Effectifs	Intervalles de confiance (%)
fraîche	139	30 < 35 < 39
bouillie	58	11 < 14 < 18
grillée avec la coque	219	50 < 55 < 60
sec	15	2 < 4 < 6
grillée sans la coque	31	5 < 8 < 10
Autres (sauce d'arachide)	330	79 < 83 < 86
Non réponse	16	2 < 4 < 6
TOTAL	400	

En général, la consommation des graines d'arachide est régulière sous les formes "fraîche" et "grillée avec la coque". En effet, les résultats montrent que ces deux formes sont plus consommées aux fréquences au moins une fois par jour et 2 à 4 fois par semaine. Pendant la période de forte disponibilité, les grains d'arachide sont beaucoup commercialisés sous ces formes, à des prix abordables, dans la rue par des vendeuses ambulantes ou non. Ils sont consommés comme grignotage.

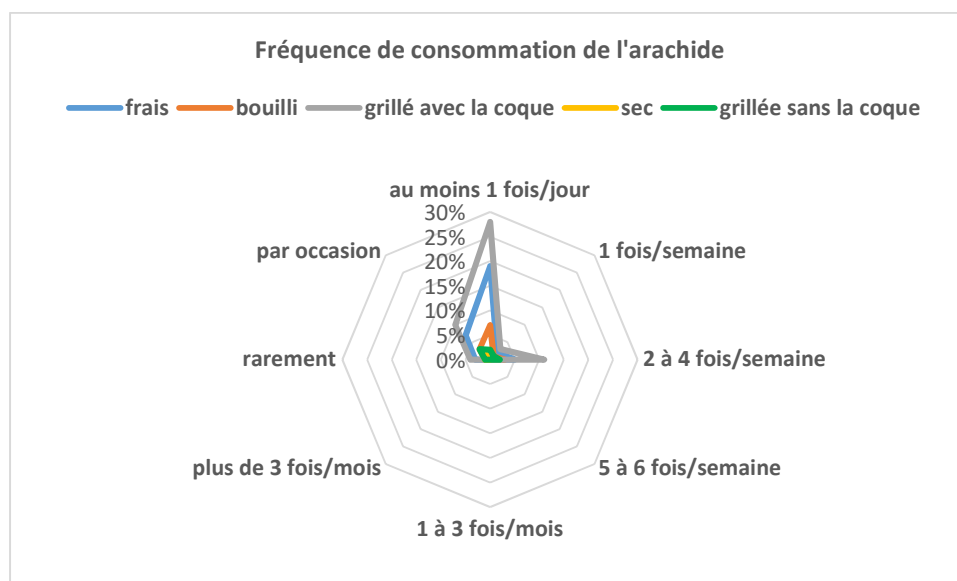


Fig. 4. Répartition des consommateurs d'arachide en fonction des fréquences et des différentes formes culinaires

Une personne consomme par jour en moyenne  $158,3 \pm 124,9$  g et  $170,6 \pm 147,8$  g respectivement d'arachide grillée avec la coque et d'arachide fraîche. Et dans l'ensemble, la consommation journalière d'arachide par personne est de 161 g/jour/pers.

Tableau 8. Quantité moyenne par jour et par personne d'arachide consommée selon les différentes formes culinaire

Formes culinaires de l'arachide	Quantité(g)/jour/personne			
	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Fraiche	10,8	755,4	170,6	147,8
Bouillie	22,5	630,6	170,3	169,9
Grillée avec la coque	7,4	618,5	158,3	124,9
Sec	150,0	600,0	330,0	195,6
Grillée sans la coque	2,3	49,1	22,1	14,7
Ensemble	2	755	161	

#### 4 FACTEURS DE DIFFÉRENCIATION DE LA CONSOMMATION

##### 4.1 DIFFÉRENCES SELON LE SEXE

Selon les produits et les formes culinaires, les niveaux de consommation diffèrent entre les hommes et les femmes (Tableau 7). La quantité d'aliments consommés par les hommes est supérieure à celle des femmes. Au niveau de la consommation de l'igname, une différence significative ( $p < 0,05$ ) n'est observée entre les deux sexes que dans le cas du foutou igname. Ce qui signifie que les hommes consomment plus le foutou igname que les femmes Concernant le manioc il n'y a pas de différence significative ( $p > 0,05$ ) entre les deux sexes quelle que soit la forme culinaire. Il existe une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les deux sexes au niveau des formes "bouillie" et "grillée avec coques" pour l'arachide.

Tableau 9. Quantité (g) de produits consommés selon le sexe et la forme culinaire

Produits	Formes culinaires	Sexes		Résultats du Test de Fisher 1-p
		Masculin	Féminin	
Igname	Bouillie	290,3	249,8	80,3%
	Foutou	357,1	255,2	99,9%
	Frite	172,9	132,1	70,6%
	braisée	279,2	139,3	93,9%
Manioc	Bouillie	-	96,4	0,0%
	Foutou	-	64,3	0,0%
	Attiéké	191,3	175,4	62,3%
	Placali	271	210,5	84,6%
Arachide	Fraiche	194,2	143,6	92,4%
	Bouillie	238,5	129,9	96,1%
	Grillée avec coques	184,6	120,9	99,9%
	Sec	337,5	300	48,2%
	Grillée sans coques	25,1	15,4	70,8%

#### 4.2 DIFFÉRENCES SELON L'ÂGE

La quantité de produits consommée par jour et par personne diffère d'une classe d'âge à l'autre. Au niveau de la consommation de l'igname, une différence significative ( $p < 0,05$ ) est observée avec la forme foutou, les personnes âgées de 40 à 60 ans et plus ont la consommation la plus forte qui est en moyenne de 373,6 g/jour/pers. La consommation du manioc diffère significativement ( $p < 0,05$ ) avec l'âge au niveau de la forme *attiéké*. La plus forte consommation journalière est observée avec la tranche d'âge de 18 à 29 ans. Ce résultat est en conformité avec ceux de Yobouet en 2016 [13] qui a trouvé que la tranche d'âge de 19 à 49 ans était la plus grande consommatrice d'*attiéké*. Concernant la consommation de l'arachide il n'y a pas de différence significative entre les tranches d'âge quelle que soit la forme culinaire. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que, d'une part, lorsque la sauce arachide est préparée dans les ménages, elle est à la portée de tous (la sauce arachide est appréciée par toutes les tranches d'âge sans distinction de sexe). Et d'autre part, les graines d'arachide sont aussi accessibles à tous du fait leur provenance des plantations familiales ou de leurs prix abordables dans le commerce.

#### 5 CONCLUSION

Cette enquête de consommation s'est déroulée dans la région du "Hambol". Elle a été menée auprès de 400 personnes et a permis de qualifier et de quantifier les aliments à base d'igname, de manioc et d'arachide consommés par la population. Selon le produit vivrier, différentes formes étaient plus appréciées par la population, la forme bouillie et le foutou pour l'igname, l'*attiéké* pour le manioc et la forme bouillie et grillée avec la coque pour l'arachide. Ces différentes formes culinaires sont consommées régulièrement par la population. Cette consommation diffère pour certains aliments en fonction de l'âge et du sexe. Les fréquences de consommation confirment bien que les populations mangent ce qui est produit localement.

#### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les consommateurs ainsi que les personnes ressources ayant apporté une contribution à l'amélioration de ce travail.



## REFERENCES

- [1] N'Dri D.Y. (2010). Potentialités nutritionnelles et antioxydantes de certaines plantes alimentaires spontanées et de quelques légumes et céréales cultivés en Côte d'Ivoire. Università degli studi di parma facoltà di Agraria
- [2] FAOstat. (2014). Food and Agriculture Organization Statistic of the United Nation, Rome, Italy. <http://www.fao.org>.
- [3] Assanvo, J. B., Agbo, G. N., Behi, Y. E. N., Coulin, P., & Farah, Z. (2006). Microflora of traditional starter made from cassava for "attiéké" production in Dabou (Côte d'Ivoire). *Food Control*, 17, 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.08.006>
- [4] Diarrassouba, D. (2018). Le manioc ivoirien : origine et expansion dans le reste du monde , du 16ème au 20ème siècle. *European Journal of Social Sciences Studies*, 2(10), 48–62. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1161731>
- [5] Nindjin C., Konan G., Agbo N., Otokoré D., Bricas N., F. Z. et G. O. (2007). Les varietes d'igname (dioscoreaspp.) Rencontrees sur les marches en cote d'ivoire et leur preference culinaire. *Annales Des Sciences Agronomiques*, 9(2). <https://doi.org/10.4314/asab.v9i2.43231>
- [6] Dumont, R., & Marti, A. (1997). *Panorama sur l'igname: ressource millénaire et culture d'avenir*. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD).
- [7] Mahyao, A. G. (2008). *Etude De L'Efficacite Du Systeme D'Approvisionnement Et De Distribution Des Ignames Precoces Kponan à Travers Le Circuit Bouna-Bondoukou-Abidjan En Cote D'Ivoire*. Retrieved from: [http://www.researchgate.net/publication/230874557\\_Etude\\_de\\_l'Efficacite\\_du\\_Systeme\\_d'Approvisionnement\\_et\\_de\\_Distribution\\_des\\_Ignames\\_Precoces\\_Kponan\\_a\\_travers\\_le\\_Circuit\\_Bouna-Bondoukou-Abidjan\\_en\\_Cote\\_d'Ivoire/file/d912f5059d10ab6530.pdf](http://www.researchgate.net/publication/230874557_Etude_de_l'Efficacite_du_Systeme_d'Approvisionnement_et_de_Distribution_des_Ignames_Precoces_Kponan_a_travers_le_Circuit_Bouna-Bondoukou-Abidjan_en_Cote_d'Ivoire/file/d912f5059d10ab6530.pdf)
- [8] Yéboué, K. H., Amoikon, K. E., Kouamé, K. G., & Kati-Coulibaly, S. (2017). Valeur nutritive et propriétés organoleptiques de l'attiéké, de l'attoukpou et du placali, trois mets à base de manioc, couramment consommés en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 113, 11184–11191. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4314/jab.v113i1.7>
- [9] Zoumenou, V., Aboua, F., Gnakri, D., & Kamenan, A. (1999). Etude des caractéristiques physico-chimiques de certains plats traditionnels dérivés du manioc (foutou, placali et kokondé). *Tropicultura*, 3, 120–126.
- [10] Coulin, P., Farah, Z., Assanvo, J., Spillmann, H., & Puhon, Z. (2006). Characterisation of the microflora of attiéké, a fermented cassava product, during traditional small-scale preparation. *International Journal of Food Microbiology*, 106(2), 131–136. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.06.012>
- [11] Kouamé, A. K., Djéni, T. N., N'Guessan, F. K., & Dje, M. K. (2013). Postprocessing microflora of commercial attiéke (a fermented cassava product) produced in the south of Côte d'Ivoire. *Letters in Applied Microbiology*, 56(1), 44–50. <https://doi.org/10.1111/lam.12014>
- [12] Kouadio, A. A. (2013). Le Circuit De Distribution De L'Attieke À Abidjan : Typologie De La Chaîne De Transport Et Dynamisme Des Acteurs. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 2, 101–121.
- [13] Yobouet, B. A. (2016). Contamination du lait cru et de l'attiéké vendus sur les marchés informels à Abidjan (Côte d'Ivoire) par le groupe *Bacillus cereus* et analyse des risques. Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- [14] Krabi, E. R., Assamoi, A. A., Ehon, A. F., Diawara, B., Niamké, L. S., & Thonart, P. (2015). Production d'attieke (couscous à base de manioc fermenté) dans la ville d'Abidjan. *European Scientific Journal*, 11(15), 277–292.
- [15] Dally, T., Meite, A., Kouame, K. G., Bouafou, K. G. M., & Coulibali, K. S. (2010). Efficacité nutritionnelle de trois mets ivoiriens : cabatoh à la sauce dah au nord ; foutou igname à la sauce gouagouassou au centre ; riz cuit à la sauce graine à l'ouest. *J. Appl. Biosci.*, 33, 2084–2090.