



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR AGROFORESTERIE

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE : 2020-2021

N° D'ORDRE : 40

THESE DE DOCTORAT

Mention : Agriculture et Foresterie Tropicale

Spécialité : Biochimie et AgROTOXICOLOGIE

**ETUDE DE L'IMPACT DES PRATIQUES
CULTURALES SUR LA QUALITE DES
NOIX DE CAJOU (*Anacardium occidentale L.*)
ET AGROTOXICOLOGIE DES INTRANTS
CHIMIQUES DANS TROIS ZONES DE
PRODUCTION EN CÔTE D'IVOIRE**

CANDIDAT

Nom : KOFFI

Prénoms : Yao Stéphane

JURY

Président : Mme TIDOU Abiba Sanogo, Professeur Titulaire, Université Jean Lorougnon Guédé

Directeur : M. KOUADIO James Halbin, Maître de Conférences, Université Jean Lorougnon Guédé

Rapporteur : M. DEMBELE Ardjouma, Directeur de recherche, Université Nangui Abrogoua

Examineur : M. BEUGRE Avit Grah Maxwell, Professeur Titulaire, Université Jean Lorougnon Guédé

Examineur : M. GUEHI Tagro, Professeur Titulaire, Université Nangui Abrogoua

**Soutenue publiquement
le 11 décembre 2021**

TABLE DES MATIERES

	Pages
TABLE DES MATIERES	i
DEDICACE.....	xi
AVANT-PROPOS	xii
REMERCIEMENTS	xiii
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	xvi
LISTE DES TABLEAUX.....	xviii
LISTE DES FIGURES.....	xxi
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
1.1. Généralités sur la noix de cajou	6
1.1.1. Origine.....	6
1.1.2. Description botanique.....	7
1.1.2.1. Systématique de l’anacardier	7
1.1.2.2. Famille des Anacardiaceae.....	8
1.1.2.3. Exigences édapho-climatiques de l’anacardier	10
1.1.3. Situation mondiale de la noix de cajou.....	10
1.1.3.1. Principales zones de production de noix de cajou dans le monde	10
1.1.3.2. Principales zones de consommation de noix de cajou dans le monde.....	12
1.1.4. Evolution de la production de la noix de cajou en Côte d’Ivoire	13
1.1.5. Description et usage des produits de la noix de cajou après récolte.....	15
1.1.6. Régions écologiques de culture de l’anacardier en Côte d’Ivoire	16
1.1.7. Impact des conditions écologiques sur les noix de cajou	17
1.2. Qualité marchande des noix de cajou brutes dans le processus de production	18
1.2.1. Contribution des traitements de récolte et post-récolte	18

1.2.2. Contribution des tests d'évaluation de la qualité marchande des noix de cajou	18
1.2.3. Qualité nutritive de la noix de cajou.....	21
1.3. Qualité sanitaire des noix de cajou.....	22
1.3.1. Contaminants chimiques biologiques : cas des aflatoxines dans les noix de cajou ...	22
1.3.1.1. Caractérisation des aflatoxines.....	23
1.3.1.2. Propriétés physico-chimiques des aflatoxines	25
1.3.1.3. Toxicocinétique des aflatoxines.....	25
1.3.1.4. Exposition de l'homme aux aflatoxines.....	27
1.3.1.5. Conditions favorisant la production d'aflatoxines.....	29
1.3.1.6. Dosage des aflatoxines.....	29
1.3.1.7. Réglementation des aflatoxines dans les noix.....	32
1.3.1.8. Moisissures aflatoxinogènes	33
1.3.1.8.1. Facteurs favorisant le développement des moisissures aflatoxinogènes.....	33
1.3.1.8.2. Identification des moisissures	34
1.3.1.8.2.1. Caractères morphologiques d'identification du genre <i>Aspergillus</i>	35
1.3.1.8.2.1.1. Description macroscopique des <i>Aspergillii</i>	35
1.3.1.8.2.1.2. Description microscopique des <i>Aspergillii</i>	36
1.3.1.9. Méthodes de lutte contre la contamination des noix par les aflatoxines.....	37
1.3.1.9.1. Bonnes pratiques culturales et prévention du risque de contamination par les aflatoxines	37
1.3.1.9.2. Méthodes alternatives de lutte et réduction du risque de contamination par les aflatoxines	39
1.3.2. Contaminants chimiques de synthèse : cas des pesticides dans les noix de cajou	40
1.3.2.1. Composition des pesticides	41
1.3.2.2. Classification des pesticides	42
1.3.2.2.1. Classification selon l'usage	42
1.3.2.2.2. Classification selon les cibles à contrôler.....	43

1.3.2.2.3. Classification selon la composition chimique de la matière active majoritaire dans le mélange	43
1.3.2.2.4. Classification selon la toxicité	48
1.3.2.3. Pesticides utilisés dans la culture de l’anacarde.....	48
1.3.2.4. Législation et réglementation des pesticides en Côte d’Ivoire	49
1.3.2.4.1. Normes du Codex Alimentarius	49
1.3.2.4.2. Législation dans le secteur des pesticides en Côte d’Ivoire	50
1.4. Risques liés à l’utilisation des produits phytosanitaires	51
1.4.1. Impact des pesticides sur la santé et l’environnement.....	51
1.4.1.1. Impact des produits phytosanitaires sur la santé de l’Homme.....	51
1.4.1.2. Impact des pesticides sur l’environnement	52
1.4.2. Facteurs à risque sanitaire et environnemental lié à l’utilisation des pesticides	52
1.4.2.1. Facteurs influençant la toxicité des pesticides due à l’exposition professionnelle	52
1.4.2.2. Facteurs influençant la contamination dans les produits alimentaires.....	53
1.4.2.3. Facteurs influençant la pollution environnementale	54
1.4.3. Evaluation des risques résultant des pratiques phytosanitaires en milieu professionnel agricole	54
1.4.3.1. Logiciels d’aide à la décision.....	54
1.4.3.2. Analyse des « dangers » et analyse des « risques »	55
1.4.3.3. Indicateurs de risque des pesticides	55
DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES	57
2.1. Sites d’étude	58
2.1.1. Présentation des sites	58
2.1.2. Caractéristiques des zones d’étude	60
2.1.2.1. Département de Mankono.....	60
2.1.2.2. Département de Dabakala	60
2.1.2.3. Département de Bondoukou	60

2.1.3. Caractéristiques des sites pour les tests de récolte et de post-récolte	61
2.2. Matériel d'étude	62
2.2.1. Matériel biologique.....	62
2.2.2. Matériel technique pour les expérimentations.....	62
2.2.3. Matériel de laboratoire.....	62
2.3. Approche méthodologique	63
2.3.1. Analyse des pratiques culturelles dans la production des noix de cajou	63
2.3.1.1. Enquête qualitative.....	64
2.3.1.2. Enquête quantitative.....	64
2.3.2. Taille et répartition de la population interviewées	64
2.3.3. Evaluation de la qualité des noix de cajou des zones d'étude	65
2.3.3.1. Echantillonnage pour la détermination de la qualité des noix de cajou.....	65
2.3.3.1.1. Collecte auprès des producteurs	65
2.3.3.1.2. Prélèvement des noix de cajou dans entrepôt après six (6) mois de stockage	66
2.3.3.2. Evaluation de la qualité technologique des noix de cajou	66
2.3.3.2.1. Détermination de la masse et proportion des noix et amande de cajou	66
2.3.3.2.2. Détermination des caractéristiques morphométriques des noix et amandes de cajou	67
2.3.3.2.3. Détermination des caractéristiques marchandes des noix de cajou.....	69
2.3.3.3. Caractérisation physicochimique et nutritive des noix de cajou.....	70
2.3.3.3.1. Détermination de la matière sèche des noix	71
2.3.3.3.2. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH) des noix.....	71
2.3.3.3.3. Détermination de l'extrait sec réfractométrique (° Brix) des noix	71
2.3.3.3.4. Détermination de l'acidité titrable des noix.....	71
2.3.3.3.5. Détermination de la teneur en matière grasse des noix	72
2.3.3.3.6. Détermination du profil d'acides gras des noix	73
2.3.3.3.7. Détermination du taux de cendre des noix	73

2.3.3.3.8. Dosage des fibres brutes (celluloses brutes) des noix	73
2.3.3.3.9. Dosage des minéraux essentiels des noix	74
2.3.3.3.10. Détermination de la teneur en sucres totaux des noix	75
2.3.3.3.11. Détermination des teneurs en protéine des noix.....	75
2.3.3.4. Caractéristiques sanitaires des noix de cajou.....	76
2.3.3.4.1. Détection et quantification des résidus de glyphosate et 2,4-D dans les noix de cajou	77
2.3.3.4.1.1. Extraction des résidus de produits phytosanitaires.....	77
2.3.3.4.1.2. Conditions de la chromatographie liquide haute performance.....	77
2.3.3.4.1.3. Quantification du glyphosate et 2,4-D.....	78
2.3.3.4.2. Analyse des moisissures contaminant	79
2.3.3.4.2.1. Isolement des moisissures	79
2.3.3.4.2.2. Purification des souches	79
2.3.3.4.2.3. Identification des souches purifiées.....	79
2.3.3.4.3. Quantification des aflatoxines dans les noix de cajou par le lecteur "VICAM"	81
2.3.3.4.3.1. Extraction des aflatoxines.....	81
2.3.3.4.3.2. Lecture des concentrations des aflatoxines	81
2.3.4. Evaluation des traitements post-récoltes sur la qualité sanitaire des noix de cajou ...	82
2.3.4.1. Evaluation de l'impact du délai de ramassage des noix de cajou	82
2.3.4.2. Evaluation de l'impact des supports de séchage utilisés	84
2.3.4.3. Evaluation de la cinétique de l'eau dans les noix de cajou.....	85
2.3.4.4. Caractérisation des noix défectueuses.....	85
2.3.4.5. Identification morphologique des isolats du genre <i>Aspergillus</i> en fonction du délai de ramassage des noix.....	86
2.3.4.5.1. Identification macroscopique des isolats.....	86
2.3.4.5.2. Identification microscopique des isolats	87
2.3.4.6. Analyses mycotoxicologiques	87

2.3.5. Evaluation des risques toxicologiques liés à l'utilisation des pesticides dans la culture de l'anacardier	89
2.3.5.1. Evaluation des risques sanitaires liés aux pesticides utilisés dans la culture d'anacardiens	90
2.3.5.2. Evaluation des risques environnementaux liés aux pesticides utilisés dans la culture d'anacardiens	92
2.3.6. Analyses statistiques des données	94
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	95
Chapitre 1 : Description des pratiques culturales dans la production de noix de cajou dans trois grandes zones de production de la Côte d'Ivoire	96
1.1. Caractéristiques sociodémographiques des producteurs dans les zones d'investigation ..	96
1.1.1. Profil des producteurs de noix de cajou.....	96
1.1.2. Activités professionnelles des producteurs de noix de cajou	97
1.2. Caractéristiques des plantations d'anacardier et main d'œuvre agricole associée	98
1.2.1. Typologie des plantations d'anacardiens	98
1.2.2. Main d'œuvre disponible selon la taille des plantations d'anacardier.....	100
1.3. Pratiques des producteurs le long de l'itinéraire post-récolte des noix de cajou	101
1.3.1. Techniques de récolte des noix de cajou	101
1.3.2. Traitements post-récolte des noix de cajou	102
1.3.2.1. Techniques de séchage et d'entreposage des noix de cajou collectées.....	102
1.3.2.2. Séchage et stockage des noix de cajou.....	102
1.3.2.3. Triage des noix défectueuses pendant les opérations post-récolte.....	103
1.3.3. Pratiques phytosanitaires dans la culture de l'anacardier	104
1.3.3.1. Utilisation des pesticides dans la culture de l'anacardier	104
1.3.3.2. Techniques phytosanitaires observées dans les plantations d'anacardier	105
1.4. Discussion	106
Conclusion partielle.....	109

Chapitre 2 : Caractéristiques technologiques et nutritives des noix de cajou des trois grandes zones de production en Côte d’Ivoire.....	110
2.1. Propriétés physiques des noix de cajou entières et de leurs composants selon la région de production.....	110
2.2. Caractéristiques morphométriques des noix de cajou selon les zones de production	112
2.2.1. Taille des noix et amandes de cajou selon la zone de production	112
2.2.2. Paramètres morphologiques des noix et amandes de cajou selon la zone de production	112
2.2.3. Effet des zones agroécologiques sur les paramètres morphométriques des noix et amande de cajou	115
2.3. Corrélation entre les paramètres morphométriques des noix de cajou produites.....	117
2.4. Caractérisation physico-chimique des noix de cajou selon la zone de collecte	120
2.4.1. Paramètres biochimiques des noix des zones de collecte	120
2.4.2. Profil lipidique des noix des zones de collecte.....	121
2.4.3. Composition minérale des noix des zones de collecte	122
2.5. Discussion	124
Conclusion partielle.....	128
Chapitre 3 : Qualité sanitaire des noix de cajou commercialisées dans trois grandes zones de production Ivoirienne	129
3.1. Qualité marchande des noix de cajou selon les zones de production.....	129
3.1.1. Grainage, amande utilisable et out-turn des noix dans les zones de production	129
3.1.2. Défauts des noix dans les zones de production	130
3.2. Etude mycotoxicologique des noix de cajou	132
3.2.1. Identification des moisissures contaminant les noix de cajou	132
3.2.1.1. Prédominance de la flore fongique totale isolée	137
3.2.1.2. Densité des espèces du genre <i>Aspergillus</i> dans les noix de cajou	138
3.2.2. Occurrence des aflatoxines dans les noix de cajou selon la zone de production.....	139
3.3. Teneurs en résidus de pesticides dans les noix de cajou	140

3.3.1. Teneurs en résidus moyennes d’herbicides totaux par zone de production	140
3.3.2. Teneurs en résidus moyennes d’herbicides par matière active par zone de production	141
3.3.2.1. Teneurs en résidus de glyphosate des noix de cajou.....	141
3.3.2.2. Teneurs en résidus de 2,4-D des noix de cajou.....	142
3.4. Discussion	144
Conclusion partielle.....	148
Chapitre 4 : Impacts et risques liés aux pratiques culturales dans la culture de l’anacardier dans trois grandes zones de production Ivoirienne	149
4.1. Impact des pratiques de récolte et des traitements post-récoltes sur la qualité des noix de cajou	149
4.1.1. Effet du délai de ramassage et du séchoir sur la masse et la teneur en eau des noix de cajou.....	149
4.1.1.1. Conditions climatiques durant les expérimentations	150
4.1.1.2. Cinétique de séchage des noix de cajou selon le délai de ramassage	152
4.1.1.3. Cinétique de séchage des noix de cajou selon les aires de séchage.....	154
4.1.3. Analyse de la qualité sanitaire des noix après six (6) mois de stockage	155
4.1.3.1. Taux d’infection des noix de cajou en fonction des délais de ramassage et de la nature du support de séchage	155
4.1.3.2. Taux de perte des noix de cajou.....	155
4.1.3.3. Effet du délai de ramassage des noix sur la contamination par les <i>Aspergillii</i> ..	156
4.1.3.4. Contamination en aflatoxines des noix de cajou.....	157
4.1.3.4.1. Contamination en aflatoxines des noix de cajou selon le délais de ramassage	158
4.1.3.4.2. Contamination en aflatoxines des noix de cajou selon les aires de séchage	158
4.2. Risques sanitaires liés aux pratiques phytosanitaires dans la culture de l’anacardiens ...	159
4.2.1. Connaissance des risques toxicologiques et expérience dans l’utilisation des produits phytosanitaires	159
4.2.2. Période d’utilisation des produits phytosanitaires dans la culture d’anacardiens	160

4.2.3. Caractérisation des produits phytosanitaires utilisés dans la culture d’anacardiérs .	161
4.2.3.1. Principaux pesticides recensés	161
4.2.3.2. Principales matières actives recensées	163
4.2.4. Management des produits phytosanitaires en milieu paysan dans la production des noix de cajou	164
4.2.4.1. Doses de pesticides appliquées par les producteurs	164
4.2.4.2. Utilisation des équipements de protection	165
4.2.4.3. Autres aspects de gestion des produits phytosanitaires	167
4.2.5. Caractérisation des Symptômes d’intoxications relevées chez les producteurs rencontrés.....	169
4.2.6. Pression phytosanitaire dans les champs d’anacardiérs	170
4.2.6.1. Indices de fréquence de traitement des pesticides (IFT _p) dans la culture d’anacardiérs	170
4.2.6.2. Indices de fréquence de traitement des herbicides (IFT _H) et insecticides (IFT _I) dans la culture d’anacardier.....	171
4.2.6.3. Indices de pression pesticides (IP) dans les exploitations d’anacardier.....	173
4.2.7. Risques toxicologiques liés aux pratiques phytosanitaires dans la culture de l’anacardier	173
4.2.7.1. Risques pour la santé humaine des pratiques phytosanitaires des producteurs de noix de cajou	173
4.2.7.1.1. Toxicité des matières actives utilisées dans la culture de l’anacardier	173
4.2.7.1.2. Toxicité des préparations commerciales utilisées dans la culture de l’anacardier.....	176
4.2.7.1.3. Niveau d’exposition des producteurs de noix de cajou des trois zones d’étude	178
4.2.7.2. Risques pour l’environnement des pratiques phytosanitaires des producteurs..	181
4.2.7.2.1. Indicateur de contamination des sols et des eaux par matières actives recensées	181
4.2.7.2.2. Indicateur de risque pour l’environnement (IRE) de l’IRPeQ	183

4.2.7.2.2.1. Risque environnemental des matières actives recensées	183
4.2.7.2.2.2. Risque environnemental des pesticides les plus utilisés dans la culture de l'anacardiers.....	184
4.3. Discussion	185
Conclusion partielle.....	193
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	194
Conclusion générale	195
Perspectives	196
REFERENCES	197

DEDICACE

A mon papa KOFFI Suih Hyacinthe et ma maman N'DA Affoué Pauline ; les sacrifices que vous avez consentis pour vos enfants resteront à jamais gravés dans notre mémoire. Vous nous avez guidé, conseillé, protégé et entouré d'amour. Recevez ce travail qui est le vôtre, en témoignage de notre amour filial. Puisse l'Éternel vous accorder toujours une bonne santé.

AVANT-PROPOS

Depuis mon admission en Sécurité Alimentaire, j'ai consacré mes activités de recherche à la compréhension et à la gestion de la qualité des productions agricoles. Une orientation de recherche qui s'inscrit dans une démarche de mise en place d'une agriculture et d'une industrie agro-alimentaire compétitive et de qualité, respectueuse de l'environnement et capable d'une gestion durable et globale des ressources. C'est dans cette optique que s'est structurée les travaux de cette thèse.

Pendant les années consacrées aux travaux de ma thèse (2017 – 2020), mes recherches ont porté sur la noix de cajou. L'innovation dans ces travaux est d'améliorer la durabilité et partant, de lancer les bases d'une certification de la noix de cajou, comme c'est le cas dans la culture du café et du cacao en Côte d'Ivoire. Les pratiques agricoles dans la culture d'anacardier, notamment l'usage des pesticides, les techniques de récoltes et post-récoltes diffèrent d'une région de production à une autre. Cette disparité pourrait influencer aussi bien la qualité des noix produites et la durabilité de leur conservation. Il convient donc de décrire clairement les pratiques culturelles actuelles dans les zones de production, de les éprouver eu égard non seulement à la qualité nutritive et sanitaire des noix mais également à la santé et sécurité des producteurs et de l'environnement. Ces aspects constituent des impératifs pour identifier les points sur lesquels on pourrait agir pour avoir des noix de meilleure qualité et évoluer vers une agriculture durable. Les meilleures pratiques seront donc déterminées et traduites en un guide de bonnes pratiques tenant compte des réalités de production agroécologiques. Ce guide sera une avancée de taille pour la filière de l'anacarde.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire de thèse vient finaliser 4 ans de travail. Il met un terme à cette expérience professionnelle enrichissante mais aussi personnelle hors du commun qui n'aurait pas été réalisée sans le savoir et le soutien de nombreuses personnes. Cette expérience de vie, m'a permis d'apprendre, de partager, d'échanger, mais surtout de rencontrer, côtoyer et collaborer avec de nombreuses personnes. Je tiens ainsi à remercier en quelques lignes toutes ces personnes.

Mes remerciements vont d'abord à l'endroit de Madame TIDOU Abiba Sanogo épouse KONE, Professeur Titulaire, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) de Daloa, Côte d'Ivoire, pour son amour pour la recherche et son dévouement au travail bien fait. Trouvez ici l'expression de ma reconnaissance la plus sincère.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Messieurs les Vice-présidents de l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) de Daloa ; en l'occurrence Monsieur KONE Tidiani, Professeur Titulaire, Vice-président chargé de la pédagogie, de la recherche, de la vie universitaire et de l'innovation technologique de l'UJLoG pour sa bienveillance sur la formation et la recherche à l'Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) et Monsieur AKAFFOU Doffou Sélastique, Professeur Titulaire, chargé de la planification, de la programmation et des relations extérieures de l'UJLoG, pour sa grande implication dans la visibilité externe de l'UJLoG.

Je tiens à remercier Madame TONESSIA Dolou Charlotte, Maître de Conférences, Directeur de l'UFR Agroforesterie de l'UJLoG qui a bien voulu accepter mon inscription en thèse au sein de l'UFR qu'elle dirige.

Je n'oublie pas Monsieur BEUGRE Avit Grah Maxwell, Professeur titulaire, responsable du laboratoire d'Agrovalorisation, pour son accompagnement et ses conseils avisés dans la réalisation de cette thèse. Je suis très marqué par l'accueil toujours chaleureux et l'honneur que vous m'avez fait en m'acceptant dans votre laboratoire.

Je voudrais particulièrement témoigner ma reconnaissance à Monsieur KOUADIO James Halbin, Maître de Conférences, mon Directeur de Thèse, qui a fait preuve d'une grande disponibilité et d'une immense patience pendant toute la durée de ce travail. Professeur, vos observations, vos orientations, et votre soutien moral et financier m'ont permis de conduire à terme cette recherche. Tout au long de cette thèse, j'ai pu beaucoup admirer vos qualités humaines et scientifiques. Professeur, une fois de plus, un très grand merci à vous tout en espérant avoir été à la hauteur de vos attentes et de vos espérances.

Je réitère ma gratitude à l'ensemble du corps enseignant de l'Université Jean Lorougnon Guédé et en particulier celui de l'unité pédagogique de Biochimie-microbiologie, pour leur contribution, leur conseil et leur assistance qui m'ont permis de mener à bien mes travaux.

Je remercie le Professeur DEMBELE Ardjouma, ex Directeur du Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA) pour ses conseils avisés pour sa participation au jury de cette thèse. La grande partie des analyses de cette thèse s'est déroulée dans le Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE) d'Abidjan.

Je tiens particulièrement à exprimer ma gratitude, à la Présidente du jury, Madame TIDOU Abiba Sanogo, Professeur Titulaire, Présidente de l'Université Jean Lorougnon Guédé, aux membres du jury : Monsieur DEMBELE Ardjouma, Directeur de Recherche à l'Institut de Recherche des Energies Nouvelles (IREN) de l'Université Nanguy Abrogoua, Monsieur GUEHI Tagro, Professeur Titulaire à l'Université Nangui Abrogoua et Monsieur BEUGRE Avit Grah Maxwell, Professeur Titulaire à l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour avoir accepté d'évaluer la qualité de ce travail. Chers professeurs, recevez à travers ces lignes mes remerciements et mes salutations les plus émouvantes pour l'attention que vous avez porté à cette thèse.

J'associe à ces remerciements Monsieur KONAN Albert chef de zone ANADER de la région du Béré, Monsieur MAMADOU Ouattara chef de zone ANADER de la région du Hambol et tous leurs collaborateurs pour leur implication dans les enquêtes de terrain qui se sont déroulées dans leurs différentes zones de couverture.

Je ne manquerai pas de remercier Monsieur KOUAME Kouman Patrice et Monsieur SEKONGO Fonibé, respectivement Président du Conseil d'Administration (PCA) et Directeur de la Société Coopérative COPABO COOP-CA de Bondoukou. Un grand merci à Monsieur KOUABENA Kouassi Thomas, responsable qualité et certification dont la disponibilité, la gentillesse, l'aide et la collaboration à cette recherche scientifique ne m'ont jamais fait défaut.

Je fais une mention spéciale à mes amis étudiants et thésards KOFFI Béranger, KOUADIO Kouamé Jean Olivier, OUATTARA Gningnéri Souleymane, TOURE Fanraban Fabrice, N'ZI parfait en souvenir des bons moments passés ensemble. Partager ces instants de ma vie avec vous m'a énormément enrichi. Merci pour tout.

Je réitère ma profonde gratitude à mon père et à ma mère qui ont su que « mon salut passe par l'instruction » et qui m'ont transmis les valeurs essentielles de la vie.

Enfin, mes remerciements vont à l'endroit de mon grand frère AHOU Koffi Daniel et de mes sœurs KOFFI Marie France Aya, N'Guessan Rose de Lima, KOFFI Akissi Claire

Pamela, KOFFI Amenan Ange Olivia, KOFFI Amoin Prisca pour leur esprit de fraternité, d'accompagnement et de sympathie.

Je remercie aussi vivement ma bien aimée KOBO N'dri Evodie Syntyche et notre fils KOFFI Akoundjuè Yohan Marc-kemael pour le soutien indéfectible et la joie qu'ils m'ont apporté.

Je suis énormément reconnaissant à mon oncle Monsieur YAO Kouamé Simplicie et son épouse OUATTARA Siatta épouse YAO. L'aboutissement de ce travail est le couronnement de tout ce que vous avez fait pour moi.

Je ne saurais oublier N'GUESSAN Juste, ALLAH Yao Romaric et ABDOUL Seidou qui m'ont aidé sur le terrain lors de la collecte des données.

A toutes les personnes dont les noms n'ont pu être mentionnés, qu'elles trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

®	Symbole de marque déposée
2,4-D	Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique
A	Degré d'aplatissement
ACN	Acétonitrile
AJE	Apport Journalier Estimé
ANADER	Agence Nationale d'Appui au Développement rural
AOEL	Acceptable Operator Exposure Level (Niveau d'exposition acceptable pour l'opérateur)
BPA	Bonnes Pratiques Agricoles
C ₂ H ₇ NO ₂	Acétate d'ammonium
CB	Cellulose brute
CEDEAO	Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CLHP	Chromatographie Liquide de Haute Performance
COPABO	Société cooperative des producteurs Agricoles de Bondoukou
Da	Diamètre arithmétique moyen
Dg	Diamètre géométrique moyen
DL ₅₀	Dose létale tuant la moitié de la population en 24h en admission unique
DT ₅₀	Temps de demi-vie
E	Elongation
EFSA	European Food Safety Authority (Autorité européenne de sécurité des aliments)
EPI	Equipements de Protection Individuels (en anglais PPE)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
FCP	Facteur de compensation
FPer	Facteur en lien avec la persistance environnemental
FPf	Facteur de pondération lié à la formulation
GUS	Groundwater Ubiquity Score
IFT	Indice de Fréquence de Traitement
IRE	Indice de risque pour l'environnement
IRE	Indice de Risque pour l'Environnement
IRPeQ	Indicateur de risque des pesticides du Québec
IRS	Indice de risque pour la santé

IRT	Indice de risque toxicologique
Kd	Coefficient d'adsorption
KH ₂ PO ₄	Dihydrogénophosphate
K _{oc}	Coefficient d'adsorption normalisé
K _{ow}	Coefficient de partage octanol/eau
LANADA	Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole
LMR	Limite Maximale de résidus
LOD	Limite de détection
LOQ	Limite de quantification
MG	Matière grasse
OMS	Organisation mondiale de la santé
PIB	Produit Intérieur Brut
ppb	Partie par billion $\mu\text{g}/\text{kg}$ ou $\mu\text{g}/\text{L}$
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
TA	Teneur en Azote
TC	Taux de cendre
TP	Teneur en protéine
UE	Union Européenne
UEMOA	Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
UK-POEM	Predictive Operator Exposure Model (modèle prédictif britannique d'exposition de l'opérateur)
USA	United States of America
UV	Ultra-violet
Φ	Sphéricité

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tableau I: Différentes espèces du genre <i>Anacardium</i>	9
Tableau II: Origines de quelques variétés d' <i>Anacardium occidentale</i> L.	10
Tableau III: Dénombrement et rendement de noix de cajou	21
Tableau IV: Quelques composants nutritifs des amandes de cajou	22
Tableau V: Avantages et inconvénients de quelques méthodes de détection et de quantification des mycotoxines	31
Tableau VI: Limites maximales des aflatoxines dans le cajou destiné à l'alimentation humaine	33
Tableau VII : Liste des pesticides homologués et autorisés en Côte d'Ivoire au 15 mars 2018 pour l'anacarde	41
Tableau VIII: Principales familles chimiques de pesticides identifiées par la présence de groupement fonctionnel, d'atomes particuliers ou de groupes secondaires d'atomes et leur mode d'action.....	45
Tableau IX : Classification des catégories de toxicité selon l'OMS et restrictions d'utilisation recommandées	48
Tableau X: Limites Maximales en Résidus de pesticides de quelques denrées alimentaires ..	50
Tableau XI: Répartition de producteurs à interviewer par zones de production.....	65
Tableau XII: Nombre d'échantillons et quantité de noix collectée par zone de production	66
Tableau XIII: Différents échantillons prélevés selon des délais de ramassage.....	84
Tableau XIV: Paramètres considérés dans le modèle de prédiction britannique UK-POEM....	91
Tableau XV: Profil des producteurs interviewés	97
Tableau XVI: Domaine d'activité des producteurs de noix de cajou dans les zones d'étude..	98
Tableau XVII: Caractéristiques des plantations d'anacardier dans les zones d'investigation .	99
Tableau XVIII: Superficie des plantations d'anacardier et nombre de main d'œuvre employée pendant la récolte des noix	100
Tableau XIX: Techniques de séparation des noix de cajou des pommes selon la zone d'étude	101
Tableau XX: Durée de séchage et d'entreposage des noix de cajou dans les zones de production	103
Tableau XXI: Mode d'entreposage des noix de cajou selon les sites d'enquête	103

Tableau XXII: Taux de réalisation du triage des noix de cajou pendant la post récolte.....	104
Tableau XXIII: Type de pesticides utilisés en fonction des zones d'étude.....	105
Tableau XXIV: Variation de la masse de la noix de cajou, de ses différents composants et de leur proportion selon les zones de production.....	111
Tableau XXV: Caractéristiques des dimensions des noix et amandes de cajou des différentes zones de production.....	113
Tableau XXVI: Caractéristiques des traits morphométriques des noix et amandes de cajou des différentes zones de production.....	114
Tableau XXVII: Matrice de corrélation entre les caractéristiques physique des noix de cajou	118
Tableau XXVIII: Matrice de corrélation entre les caractéristiques morphologiques des noix de cajou	119
Tableau XXIX: Composition biochimiques des noix des différentes zones de production...	121
Tableau XXX: Profil et teneur des acides gras contenus dans les différents échantillons de noix	122
Tableau XXXI: Composition minérale des noix des différentes zones de production	123
Tableau XXXII: Paramètres commerciaux des noix de cajou	129
Tableau XXXIII: Caractères cultureux de quelques espèces de moisissures isolées sur milieu PDA.....	133
Tableau XXXIV: Niveau de contamination par les aflatoxines totales des noix de cajou par zone de production.....	140
Tableau XXXV: Variation du taux d'infection selon le support de séchage et le délai de ramassage des noix.....	155
Tableau XXXVI: Variation du taux de perte de noix selon le support de séchage et le délai de ramassage des noix.....	156
Tableau XXXVII: Niveau moyen de contamination en aflatoxines en fonction des délais de ramassage des noix.....	158
Tableau XXXVIII: Niveau moyen de contamination en aflatoxines en fonction du support de séchage des noix.....	159
Tableau XXXIX: Répartition des producteurs selon la connaissance des risques toxicologiques des pesticides.....	160
Tableau XL: Ancienneté dans l'utilisation des produits phytosanitaires dans les vergers d'anacardiens	160

Tableau XLI: Dose à l’hectare des pesticides les plus utilisés par les producteurs d’anacardier	162
Tableau XLII: Classe de toxicité selon l’OMS et fréquence de citation des matières actives recensées.....	163
Tableau XLIII: Fréquences de traitement des plantations.....	165
Tableau XLIV: Gestion du matériel de pulvérisation	168
Tableau XLV: Intensité de l’utilisation des pesticides dans les champs d’anacardier de Mankono, Dabakala et Bondoukou	171
Tableau XLVI: Indices de pression pesticides (kg m.a. ha ⁻¹)	173
Tableau XLVII: Indice de risque de toxicité (IRTMA) et sanitaire (IRSMA) des matières actives présentes dans les pesticides utilisés par les producteurs d’anacardiens	175
Tableau XLVIII: Indice de risque de toxicité (IRTP) et sanitaire (IRSP) des pesticides les plus utilisées par les producteurs d’anacardiens	177
Tableau XLIX: Exposition potentielle dermique aux herbicides des producteurs d’anacarde pour un opérateur sans EPI.....	179
Tableau L: Exposition potentielle dermique aux herbicides des producteurs d’anacarde pour un opérateur avec EPI	179
Tableau LI: Exposition potentielle dermique aux insecticides et fongicides des producteurs d’anacarde pour un opérateur sans EPI	180
Tableau LII: Exposition potentielle dermique aux insecticides et fongicides des producteurs d’anacarde pour un opérateur avec EPI.....	180
Tableau LIII: Indicateurs de mobilité des 10 matières actives utilisées dans la culture de l’anacardier.....	181
Tableau LIV: Capacité de contamination de la nappe phréatique par les pesticides les plus utilisés en culture d’anacardier.....	182
Tableau LV: Toxicités et indices de risques environnementaux pour les matières actives (IREMA) recensées dans la culture de l’anacardier dans les zones de Mankono, Dabakala et Bondoukou	183
Tableau LVI: Indices de risque pour l’environnement des pesticides recensés.....	184

LISTE DES FIGURES

	Pages
Figure 1: Origine et expansion de la noix de cajou dans le monde.....	6
Figure 2 : <i>Anacardium occidentale</i> L.....	7
Figure 3: Production mondiale de noix de cajou brutes.....	12
Figure 4: Principaux échanges commerciaux de noix de cajou dans le monde	13
Figure 5: Evolution de la production et de l'exportations des noix de cajou en Côte d'Ivoire	14
Figure 6 : Différents composants du fruit de l'anacardier.....	15
Figure 7: Cartographie des zones de production de noix de cajou en Côte d'Ivoire	17
Figure 8: Classification des différentes tailles des noix de cajou	19
Figure 9 : Amande de bonne qualité	20
Figure 10 : Amandes de seconde qualité.....	20
Figure 11 : Amandes rejetées	20
Figure 12: Incidence des mycotoxines dans les pays Africains	23
Figure 13 : Structures chimiques des aflatoxines B1 (AFB1), B2 (AFB2), G1 (AFG1), G2 (AFG2), M1 (AFM2)	24
Figure 14: Devenir de l'aflatoxine B1 (AFB1) dans le foie du ruminants.....	27
Figure 15: Différents niveaux physiologiques de la toxicité de l'AFB1	29
Figure 16: Principaux caractères micro morphologiques des <i>Aspergillus</i>	36
Figure 17: Carte de la Côte d'Ivoire présentant la situation géographique des zones d'étude	59
Figure 18: Localisation des sites expérimentaux de collecte des échantillons.....	61
Figure 19 : Différents types de supports de séchage des noix de cajou utilisés lors de l'étude : A : Bâche, B : Claie, C : Aire cimentée	62
Figure 20: Photographies présentant des étapes de manipulation pour la détermination des paramètres morphologiques	68
Figure 21: Mode opératoire de lecture des aflatoxines totales dans le lecteur Vicam	81
Figure 22: Photographie présentant le séchage des noix sur bâche (A), claie (B) et aire cimentée (C) au cours de l'étude expérimentale	85
Figure 23: Proportion de producteurs associant des cultures aux plantations d'anacardiens .	100
Figure 24: Délai de ramassage des noix de cajou dans les différentes zones de production .	101
Figure 25: Support de séchage des noix de cajou en fonction des zones de production.....	102

Figure 26: Répartition des zones de production selon la technique d'utilisation des pesticides	105
Figure 27: Projection des paramètres physiques (A) et représentation des noix de cajou brute selon la zone de production (B).....	116
Figure 28: Projection des paramètres physiques (A) et représentation des amandes de cajou selon la zone de production (B).....	116
Figure 29: Proportion de défauts recensés parmi les noix défectueuses	130
Figure 30: Photographies des défauts caractéristiques des noix de cajou	131
Figure 31: Densité relative des genres de moisissures isolés de l'ensemble des échantillons de noix de cajou analysés	138
Figure 32: Densité relative des espèces du genre Aspergillus dans l'ensemble des échantillons analysés	139
Figure 33: Concentrations totales de résidus d'herbicides dans les noix de cajou des différentes zones de production.....	141
Figure 34: Concentrations moyennes du glyphosate dans les noix de cajou en fonction de la zone de production	142
Figure 35: Concentrations moyennes du 2,4-D dans les noix de cajou en fonction de la zone de production	143
Figure 36: Photographie présentant l'aspect des fruits (A) et des noix de cajou (B) selon le délai de ramassage.....	150
Figure 37: Variation de la température et de l'hygrométrie au cours du séchage des noix ...	151
Figure 38: Evolution de la masse en fonction du délai de ramassage des noix durant le séchage	152
Figure 39: Perte de poids des noix en fonction du délai de ramassage des noix durant le séchage	153
Figure 40: Evolution de l'humidité des noix en fonction du délai de ramassage des noix durant le séchage	153
Figure 41: Evolution de la masse en fonction du support de séchage.....	154
Figure 42: Evolution de l'humidité des noix en fonction du support de séchage	154
Figure 43: Densité des moisissures potentiellement aflatoxinogènes en fonction du délai de ramassage des noix.....	157
Figure 44: Chromatogramme présentant les différents pics d'aflatoxines détectées par CLHP dans les échantillons de noix de cajou	157

Figure 45: Dynamique d'utilisation des produits phytosanitaire dans les vergers d'anacardier durant une année agricole.....	161
Figure 46: Pesticides utilisés dans la culture d'anacardier selon leur statut d'homologation	162
Figure 47: Quantité moyenne de pesticide appliquée par les producteurs par hectare et par traitement.....	165
Figure 48: Des producteurs sans EPI en train de traiter leur champ d'anacardier	166
Figure 49: Proportion d'utilisation des équipements de protection pendant l'application des pesticides	166
Figure 50: a) Producteur revenant du champ avec son emballage de pesticide réutilisé comme gourde d'eau ; b) ensemble d'emballage de pesticides réutilisés comme récipients pour la conservation d'ingrédient alimentaire (sel, huile, eau)	169
Figure 51: Nature des affections ressenties par les producteurs après application des pesticides	170
Figure 52: Variabilité inter-régionale des IFT herbicides (IFTH) dans la culture d'anacardiens	172
Figure 53: Variabilité inter-régionale des IFT insecticide (IFTI) dans la culture d'anacardiens	172

INTRODUCTION

Le développement économique de la Côte d'Ivoire reste tributaire de l'agriculture. En effet, le secteur agricole représente 22 % du PIB et 40 % des exportations du pays (PSAC, 2017) grâce aux spéculations de rente comme le cacao, le café, le palmier à huile, l'hévéa et plus récemment l'anacarde ou noix de cajou. A ce jour, la noix de cajou est passée parmi les premiers produits d'exportation de noix au monde avec une production de 7.091.275 tonnes en 2019 (FAOSTAT, 2019). Ce produit représente, pour l'Afrique qui fournit 50 % de l'offre mondiale de noix brutes de cajou, une grande opportunité économique (Dedehou *et al.*, 2015 ; Issaka, 2019). Au niveau de la Côte d'Ivoire, la noix de cajou a très vite suscité un intérêt si bien qu'elle est devenue l'un des principaux produits d'exportation du pays, avec des productions annuelles excédant souvent les 700 mille tonnes, soit environ 21 % de l'offre mondiale (Lebailly *et al.*, 2012 ; Ducroquet *et al.*, 2017). Ce qui fait de la Côte d'Ivoire, le premier pays producteur et exportateur mondial de noix de cajou depuis l'année 2015 avec environ 400 000 planteurs en grande majorité de petits exploitants (Coulibaly, 2018). Depuis lors, la culture de l'anacardier, est devenue, non seulement une activité stratégique dans l'économie de la Côte d'Ivoire mais également, un moteur de développement national (Nugawela *et al.*, 2006 ; Lebailly *et al.*, 2012 ; Adaman & N'dri, 2016). En effet, les recettes d'exportation des noix de cajou ont été de 487,68 milliards de f CFA en 2020 contre 442,800 milliards de f CFA en 2016 ; soit une hausse de plus de 10 % (PSAC, 2017 ; Konan, 2021).

Cependant, les systèmes d'exploitation en Côte d'Ivoire restent traditionnels avec un faible niveau de maîtrise de la qualité des noix produites et de la gestion des intrants chimiques (Rongead, 2014 ; Dedehou *et al.*, 2015 ; Coulibaly, 2018). En effet, en dépit du volume de production qui s'accroît au fil des années, la compétitivité des noix ivoiriennes connaît un tableau peu reluisant sur le marché extérieur (Mieu, 2018 ; Lath, 2018). Les causes de cette qualité insuffisante sont multiples. Notamment l'absence de normes précises pouvant servir de référence aux producteurs et la production dans des zones parfois inadéquates à la culture de l'anacardier (Goujon *et al.*, 1973 ; Irene *et al.*, 2019). En effet, cette situation favorise l'adaptation de méthodes culturelles et la qualité des noix de cajou pourrait s'en trouver dégradée avec des pertes post-récoltes (Saltini *et al.*, 2013). De plus, pour améliorer les rendements, les producteurs d'anacarde ont de plus en plus recours à la lutte phytosanitaire pour lutter contre les bioagresseurs de l'anacardier (N'depo *et al.*, 2017 ; PACCVA, 2017 ; PSAC, 2017).

Par ailleurs, certains gros consommateurs de noix de cajou au monde, comme l'Union Européenne, les Etats Unis et la Chine, ont commencé à renforcer leurs normes de qualité et de sécurité alimentaire (Anonyme 1 ; Gong *et al.*, 2016 ; Autentika Global, 2021). Ces normes concernent tout particulièrement les mycotoxines et les résidus de produits phytosanitaires

(Blanc, 2001 ; OMS, 2001 ; Autentika Global, 2021). Il y a donc nécessité pour les pays exportateurs de noix de cajou en général, et en particulier pour la Côte d'Ivoire, d'intégrer cette nouvelle donne. Car, les noix de cajou provenant d'Afrique sont de plus en plus contaminées par les mycotoxines, notamment les aflatoxines, et par les moisissures aflatoxinogènes (Lamboni *et al.*, 2016 ; Adetunji *et al.*, 2019). Ces moisissures aflatoxinogènes sont connues comme habitants primaires du sol qui contaminent en particulier les céréales et les graines oléagineuses (Tola & Kebede, 2016 ; Udomkun *et al.*, 2017). Et selon plusieurs études, ces contaminations sont liées aux pratiques de récolte et post-récolte inadéquates ; notamment au niveau des champs (Danso *et al.*, 2017 ; Suleiman R. *et al.*, 2017 ; Omara *et al.*, 2020).

Ces nouvelles contraintes imposent aux exportateurs de noix de cajou, la conduite d'actions visant à garantir la qualité et l'innocuité de leurs produits, tout en promulguant une agriculture productive, rentable économiquement, respectueuse de l'environnement, de la santé humaine (FAO, 2001 ; Trabelsi, 2017 ; Autentika Global, 2021). Ces critères de qualité constituent ainsi des impératifs à la production de noix de cajou, si la Côte d'Ivoire veut continuer de s'assurer des débouchés à l'exportation et garantir un développement durable de la filière anacarde (Seck, 2004 ; Arlène & Broutin, 2009). Il est donc impérieux d'évoluer vers des pratiques agricoles permettant une meilleure gestion de la qualité, de la préservation des ressources naturelles et de la santé humaine. Paradoxalement, en Côte d'Ivoire, la majorité des études sur la noix de cajou n'a porté que sur les aspects socio-économiques, le criblage génotypique pour l'optimisation du rendement et les insectes ravageurs (Djaha *et al.*, 2012 ; N'depo *et al.*, 2017 ; Koffi & Oura, 2019). La gestion de la qualité des noix de cajou par l'amélioration des techniques de récolte et post-récolte, ainsi que l'évaluation des risques sanitaires et environnementaux (mycotoxine, pesticide) n'a fait l'objet d'aucune étude scientifique.

Face à ce constat, la question majeure qui se pose est de savoir si les pratiques agricoles dans la culture de l'anacardier en Côte d'Ivoire s'inscrivent dans une perspective de développement durable ?

Cette étude permettra donc de disposer de données scientifiques sur les pratiques culturales responsables de la dépréciation de la qualité des noix de cajou en Côte d'Ivoire. Elle permettra également de contribuer à comprendre la nature et l'origine des risques liés à l'usage des produits phytosanitaires dans la culture de l'anacardier.

L'objectif principal de ce travail est non seulement d'évaluer l'impact des pratiques culturales et des traitements post-récoltes sur la qualité des noix de cajou produites en Côte d'Ivoire mais également l'incidence agrototoxicologique des pesticides utilisés.

Pour atteindre cet objectif général, quatre objectifs spécifiques ont été formulés. Il s'agit de :

- ✓ décrire les pratiques culturelles de production de noix de cajou dans différentes zones agroécologiques de production ;
- ✓ identifier l'impact agroécologique sur la qualité technologique, nutritive et sanitaire des noix de cajou ;
- ✓ évaluer expérimentalement *in situ*, l'impact des traitements post-récoltes sur la contamination par les moisissures et les mycotoxines ;
- ✓ évaluer les risques sanitaires liés aux pratiques phytosanitaires dans la culture de l'anacardier.

PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Généralités sur la noix de cajou

1.1.1. Origine

La noix de cajou est le produit de l'anacardier. Ce végétal appartient à la famille des Anacardiaceae comme la mangue et la pistache. L'arbre est natif de l'Amérique du Sud, plus précisément de la région de Ceara au Nord-est de la côte du Brésil où il était cultivé par les peuples indigènes bien avant sa découverte par les Portugais (Marc *et al.*, 2012). C'est entre le XVe et le XVIIe siècle que l'anacardier a été diffusé dans le monde par les explorateurs Portugais (Purseglove, 1988 ; Dendena & Corsi, 2014). Ceux-ci l'ont implanté en Afrique de l'Ouest, en Afrique de l'Est, en Inde et dans le Sud-Ouest de l'Asie (Indonésie, Philippines, Thaïlande, etc.) (Figure 1).

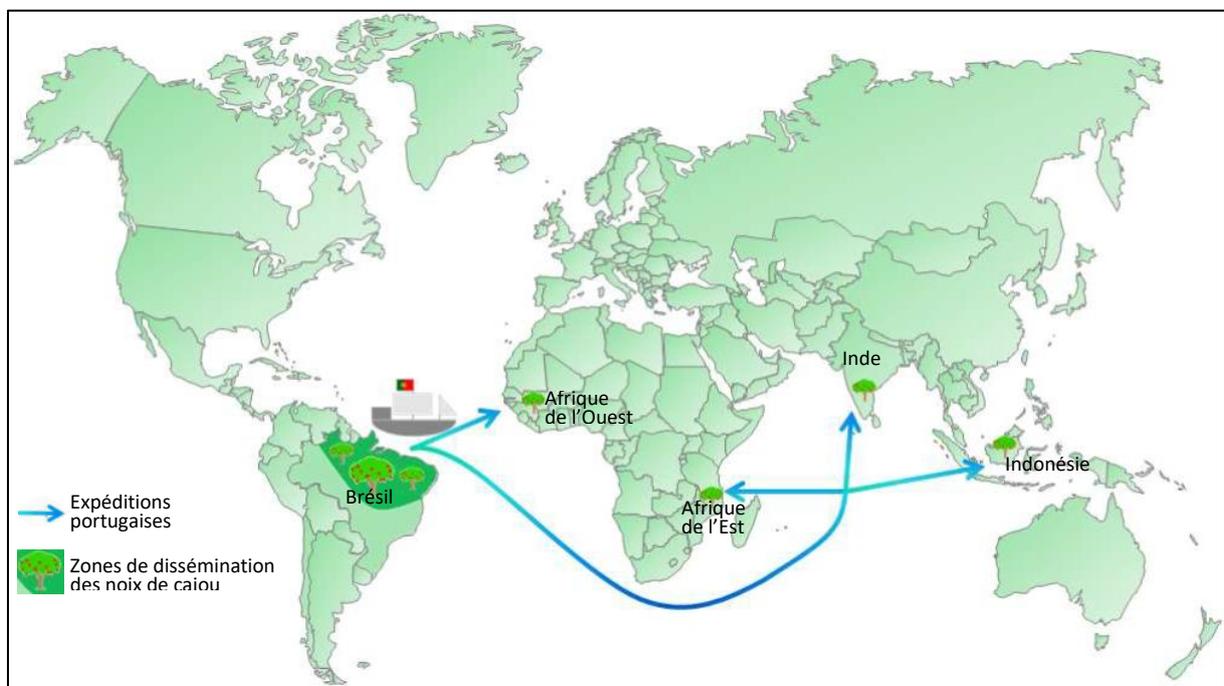


Figure 1: Origine et expansion de la noix de cajou dans le monde (Ricau, 2013)

En Afrique, l'anacardier a été introduit pour la première fois au Mozambique par les navigateurs portugais pour servir de plante d'agrément et pour prévenir l'érosion des sols (Ahmadou, 2019). Après son arrivée sur la côte Est de l'Afrique dans la seconde moitié du XVIe siècle, l'arbre s'est ensuite répandu sur la côte Ouest et enfin sur les îles (Goujon *et al.*, 1973). Cependant, la première description de la noix de cajou a été faite en 1557 par l'explorateur et écrivain français André Thevet qui l'a nommé « acaïou ». Quant au terme « cajou », dérivé de

« cajú » de la langue tupi (langue de la tribu indienne du Nord-Est du Brésil), désignait l'anacardier et son fruit (Lautié *et al.*, 2001).

1.1.2. Description botanique

1.1.2.1. Systématique de l'anacardier

Connu sous les noms vernaculaires d'anacarde, d'acajou ou de cajou en français, de "cashew nut" en anglais, de "habb Al-biladhir" en arabe, puis de "yao kuo" en chinois, la noix de cajou est un produit d'un végétal d'une espèce diploïde (Orwa *et al.*, 2010 ; Ahmadou, 2019). En 1753, le naturaliste suédois Carl Von Linné nomma l'arbre (Figure 2) *Anacardium occidentale*.



Figure 2 : *Anacardium occidentale* L. (source : http://caribfruits.cirad.fr/production_fruitiere_integree/conduite_de_son_verger/les_cultures/noix_de_cajou)

La position systématique de l'arbre selon la classification phylogénétique APG (Angiosperm Phylogeny Group) IV est la suivante (Chase *et al.*, 2016) :

Règne	: Végétal
Division	: Magnoliophyta
Embranchement	: Spermatophytes
Sous-embranchement	: Angiospermes
Classe	: Dicotylédones
Ordre	: Sapindales
Sous ordre	: Anacardiineae
Famille	: Anacardiaceae
Tribu	: Anacardieae
Genre	: <i>Anacardium</i>
Espèce	: <i>Anacardium occidentale</i>

1.1.2.2. Famille des Anacardiaceae

La famille des Anacardiaceae comprend aujourd'hui environ 83 genres et 860 espèces connues (Christenhusz & Byng, 2016). Elle est répartie en cinq tribus, à savoir la tribu Anacardieae, Spondiadeae, Semecarpeae, Rhoëae, et Dobineae. La tribu des Anacardieae se compose de huit genres : *Androtium*, *Buchanania*, *Bouea*, *Gluta*, *Swintonia*, *Mangifera*, *Fegimanra* et *Anacardium* (Mitchell & Mori, 1987).

- Espèces du genre *Anacardium*

On sait aujourd'hui qu'il existe jusqu'à 20 espèces du genre *Anacardium* (Tableau I) en Amérique du Nord et en Amérique du Sud (Nair, 2010).

Tableau I: Différentes espèces du genre *Anacardium*

Nom botanique	Pays d'origine
<i>Anacardium brasiliense</i> Barb. Rodr	Brésil
<i>Anacardium curatellaefolium</i> St.Hil (identique à <i>A. subcordatum</i> Presl.)	Brésil
<i>Anacardium encardium</i> Noronha	Malaysie
<i>Anacardium giganteum</i> Hancock ex.Engl	Brésil
<i>Anacardium humile</i> St. Hil (<i>Anacardium subterraneum</i> Liais)	Brésil
<i>Anacardium mediterraneum</i> Vell. Fl. Flum	Brésil
<i>Anacardium nanum</i> St. Hil (comme <i>A. humile</i> Engl., <i>A. pumilum</i> Walp)	Brésil
<i>Anacardium occidentale</i> L. (noix de cajou)	Brésil
<i>Anacardium rhinocarpus</i> D.C. Prod.	Brésil
<i>Anacardium spruceaum</i> Benth ex Engl.	Brésil
<i>Anacardium microsepalum</i> Loes.	Région amazonienne
<i>Anacardium corymbosum</i> Barb. Rodr.	Brésil
<i>Anacardium excelsum</i> Skeels (comme <i>Rhinocarpus excelsa</i>)	Brésil
<i>Anacardium parvifolium</i> Ducke	Région amazonienne
<i>Anacardium amilcarianum</i> Machado	Brésil
<i>Anacardium Kuhlmannianum</i> Machado	Brésil
<i>Anacardium negrense</i> Pires and Fro'es	Brésil
<i>Anacardium rondonianum</i> Machado	Brésil
<i>Anacardium tenuifolium</i> Ducke	Brésil
<i>Anacardium microcarpum</i> Ducke	Région amazonienne

Source : Index Kewensis 1996, Jardins botaniques royaux, Kew.

- Variétés du genre *Anacardium*

Selon Didier (2001), il existe différentes variétés du genre *Anacardium*. Celles-ci sont classées en fonction de la taille, de la couleur, de la forme et de la texture du pseudo fruit (pomme de cajou). Ainsi, des espèces du genre *Anacardium* ont été subdivisées en différentes variétés caractérisées par deux couleurs (jaune et rouge) du pseudo fruit et par trois formes (ronde, oblongue et en forme de poire). Toutes les autres caractéristiques intermédiaires de couleur, de forme et de taille du pseudo fruit définissent des sous variétés.

En Côte d'Ivoire, une variété de l'espèce *Anacardium occidentale* L., originaire du Brésil et dénommée « jumbo » est fortement appréciée pour la taille de ses noix (grosses noix). Le tableau II répertorie différentes variétés d'*Anacardium occidentale* L.

Tableau II: Origines de quelques variétés d'*Anacardium occidentale* L.

Origines	Variétés
Brésil	Jumbo, Amarello gigante, Yermelho, Butter
Colombie	Amirillo, Roja
Vietnam	Maranon rosado, Maranon amarillo
Malaisie	Americanum, Indicum
Bengale-occidental	Hajari

Source : Didier, 2001.

1.1.2.3. Exigences édapho-climatiques de l'anacardier

L'anacardier est réputé pour sa grande rusticité. Il pousse dans de très mauvais sols et sous des conditions climatiques très sévères. Cependant, une production abondante et régulière de noix de qualité ne peut être obtenue que sous certaines conditions écologiques (Dendena & Corsi, 2014 ; Benido, 2017). En effet, pour produire une récolte abondante, l'anacardier exige une pluviométrie annuelle comprise entre 760 et 1800 mm et une bonne insolation caractérisée par une saison sèche bien marquée de 5 à 7 mois (Benido, 2017 ; Ahmadou, 2019). Dans les régions à précipitations abondantes et régulièrement réparties sur l'année, l'arbre manifeste une grande exubérance de végétation mais fleurit et fructifie peu. Sa productivité diminue très sensiblement à partir de 600 m d'altitude. L'anacardier supporte les températures s'échelonnant entre 12 et 32 °C, mais est sensible aux écarts importants de température ainsi qu'au froid intense (Kouamé, 2017).

L'anacardier s'adapte à divers types de sols. Il n'exige pas un sol riche mais préfère les sols légers, sableux, profonds, bien drainés et composés à 25 % d'argile dont les pH varient entre 6 et 7,3 avec un niveau de nappe phréatique situé entre 5 et 10 m de profondeur (Nair, 2010 ; Adou, 2014 ; Ahmadou *et al.*, 2019).

1.1.3. Situation mondiale de la noix de cajou

1.1.3.1. Principales zones de production de noix de cajou dans le monde

Dans le monde, on dénombre 33 pays producteurs de noix de cajou. Les 10 plus grands producteurs sont le Vietnam, l'Inde, le Brésil, la Côte d'Ivoire, le Bénin, le Nigéria, la Guinée

Bissau, la Tanzanie, les Philippines et l'Indonésie. Ils offrent à eux seuls 91 % de la production mondiale de noix. L'Afrique (50 %) et l'Asie (47 %) produisent 97 % de l'offre mondiale de noix de cajou brutes. En Afrique, la marge de production de l'Afrique de l'ouest, est au moins de 90 % contre 9,9 % pour l'Afrique de l'Est (Issaka, 2019). En 2019, la production mondiale de noix de cajou brute a été supérieure à 3 000 000 tonnes, soit l'équivalent de plus de 600 000 tonnes d'amandes de cajou. Les productions dans les importants pays producteurs sont résumées à la figure 4 (FAOSTAT, 2019).

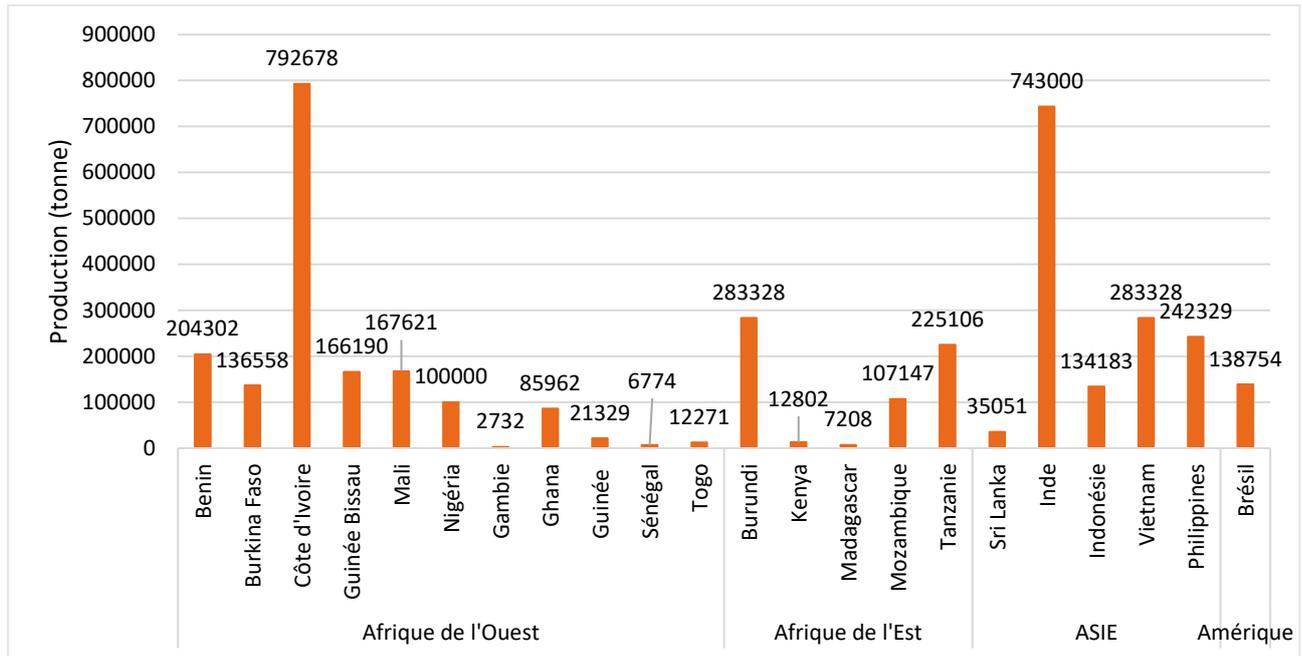


Figure 3: Production mondiale de noix de cajou brutes (FAOSTAT, 2019)

1.1.3.2. Principales zones de consommation de noix de cajou dans le monde

La consommation de noix de cajou est de plus en plus importante dans plusieurs pays du monde. Cependant, les principaux consommateurs de noix de cajou sont l'Inde, les Etats-Unis et l'Union Européenne. Ces trois pays représentent plus de 70 % de la consommation mondiale (Rabany *et al.*, 2015). Aussi, au cours de la dernière décennie, de nouveaux marchés se sont développés notamment la Russie, l'Australie, Nouvelle-Zélande, la Chine, le Brésil, le Vietnam, la Thaïlande, la Malaisie, les Emirats Arabes Unis, l'Arabie Saoudite, le Liban et l'Israël (Ricaú, 2013). Pour ce qui est de l'Inde, le Brésil et le Vietnam, ces pays sont à la fois de grands producteurs et consommateurs de noix de cajou (figure 5).

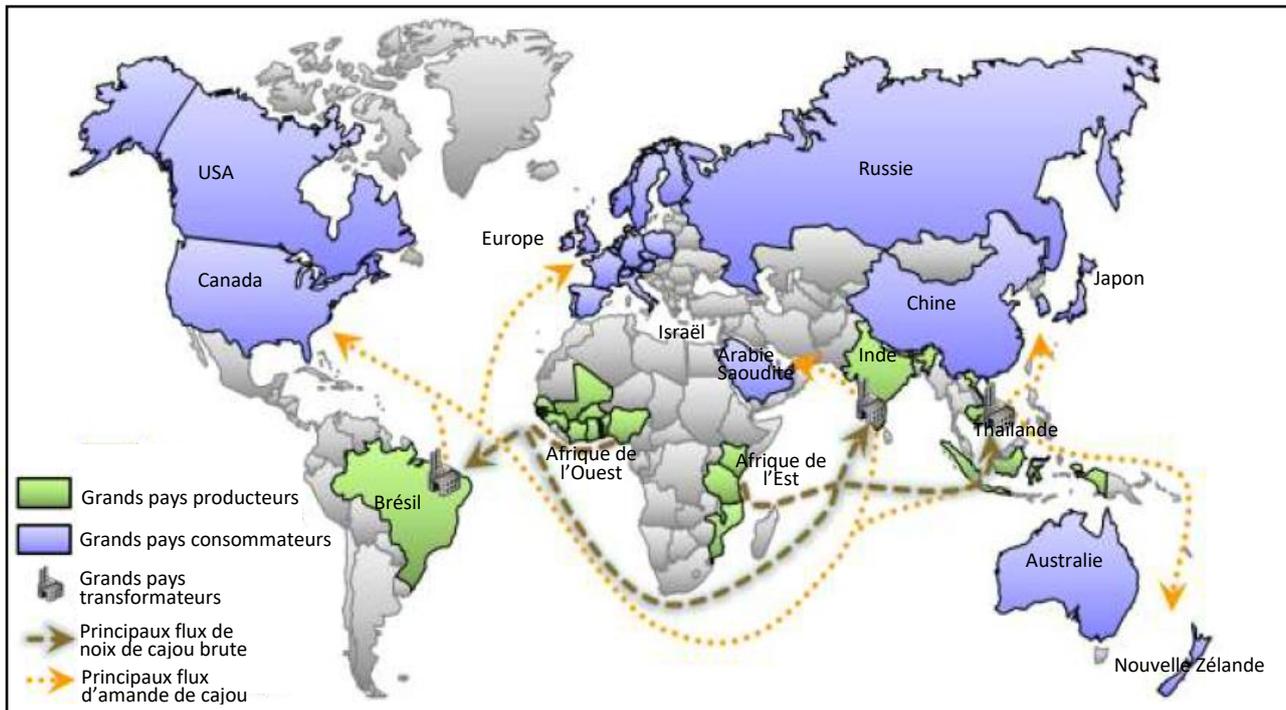


Figure 4: Principaux échanges commerciaux de noix de cajou dans le monde (Ricaú, 2013)

1.1.4. Evolution de la production de la noix de cajou en Côte d'Ivoire

Introduit dans les années 1960 à cause de sa capacité à pousser dans de très mauvais sols et sous des conditions climatiques très sévères, la culture de l'anacardier en Côte d'Ivoire avait pour vocation de lutter contre la déforestation et l'avancée du désert dans le Nord du pays (Rey, 1998). Dans cet objectif, de 1959 à 1969, la Société pour le développement de la forêt (SODEFOR) et la Société d'Assistance Technique pour la Modernisation Agricole de Côte d'Ivoire (SATMACI) vont planter en somme 2220 hectares d'anacardier (Rey, 1998). Mais à partir de 1968, on assiste à l'achat des premières noix. Ainsi, en 1972, le gouvernement ivoirien crée la Société de Valorisation de l'anacardier du Nord (SOVANORD) pour assurer la commercialisation puis l'écoulement des produits de l'anacardier. Dans la même foulée, en 1976, la SOVANORD crée une unité de décorticage à Korhogo dénommée AICI (Anacarde Industrie Côte d'Ivoire). Malheureusement, en 1981, l'usine ferme avec l'arrêt des activités de la SOVANORD et la commercialisation des noix brutes passe aux mains des privés spécialisés dans le négoce (Bamba, 2007). La filière anacarde a repris à partir de 1985 avec une production de 2000 tonnes et devient une culture de spéculation à partir des années 1990. De cette période jusqu'en 2005, la filière va connaître plusieurs passages à vide caractérisés par les fermetures successives des unités de décorticage suites aux mauvaises gestions des sociétés, la chute des prix sur le marché mondial et les crises politico-militaires de 1999 et 2002 (Soro, 2012). A

partir de 2005 il y aura une réorganisation de la filière marquée par une reprise d'activité de certaines unités et la création de nouvelles sociétés. Il s'agit entre autres de la société OLAM-Ivoire à Dimbokro et Bouaké et de nombreuses petites unités industrielles et collectives (coopératives) de décorticage artisanal dans la région du Gontougo avec la Société Coopérative des Producteurs Agricoles de Bondoukou (COPABO), et dans la zone des savanes (Soro, 2012). Depuis 2013, le Gouvernement a créé par décret n°2013-681 du 02 octobre 2013, l'organe de régulation, de suivi et de développement des filières coton et anacarde, en abrégé, le Conseil du Coton et de l'Anacarde (CCA) pour soutenir cette dynamique. Ce dispositif a permis de mettre en place le cadre réglementaire nécessaire à l'exercice des activités des filières coton et anacarde. Aujourd'hui, la filière anacarde concerne 1156 coopératives agréées et 139 sociétés exportatrices installées en permanence dans notre pays avec une capacité de transformation de plus de 16 % contre un taux d'environ 14 % en 2014 (Coulibaly, 2018). La culture de l'anacardier est devenue une culture pérenne génératrice de sources de revenus pour plus de 350 000 producteurs. La production des noix suit une croissance exponentielle. En deux décennies, le pays s'est emparé presque discrètement de la place de premier producteur et exportateur mondial. De 70 000 tonnes en 1999, la production ivoirienne d'anacarde a bondi à 350 000 tonnes en 2010, puis a officiellement franchi le seuil de 700 000 tonnes en 2017 (figure 6) (Ruf *et al.*, 2019).

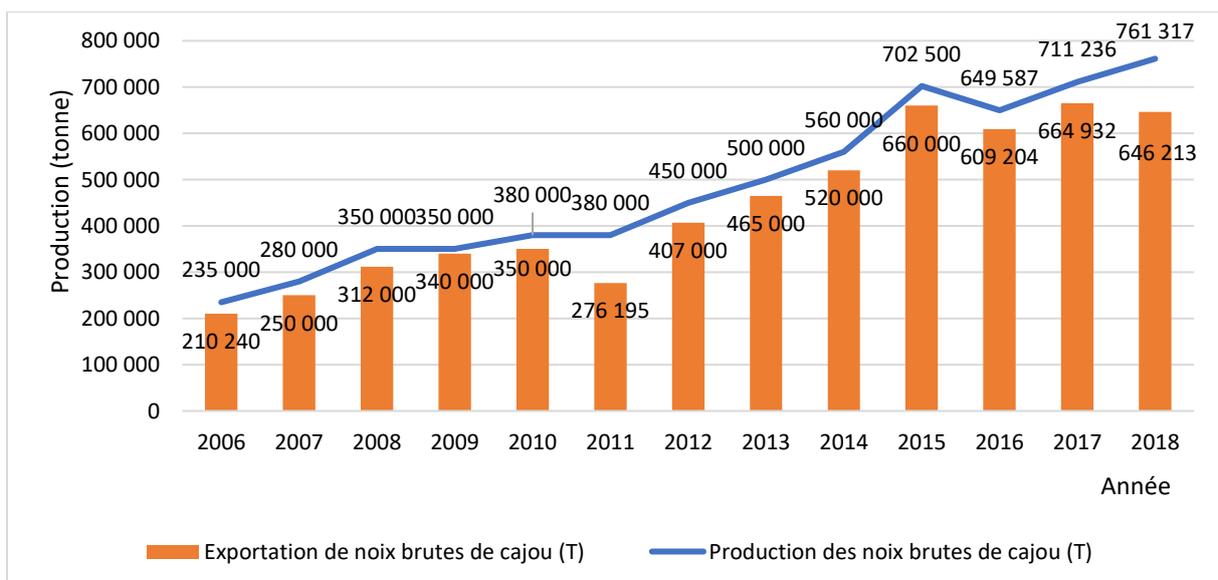


Figure 5: Evolution de la production et de l'exportations des noix de cajou en Côte d'Ivoire (FIRCA, 2018)

1.1.5. Description et usage des produits de la noix de cajou après récolte

La noix de cajou est un fruit akène réniforme gris ou brun grisâtre à maturité qui atteint son plein développement en un mois environ. Elle se développe à l'extrémité d'un pédoncule hypertrophié, charnu et comestible appelé pomme de cajou ; qui prend de vives colorations jaune, rouge ou une teinte intermédiaire orange. Dans le mésocarpe de la coque, dure et ligneuse, se trouvent des cavités contenant une résine phénolique appelée cardol ou baume de cajou (Agboton *et al.*, 2013). Cette structure est séparée de l'amande par une pellicule de couleur brun-rouge, la testa. L'amande contenue dans la coque représente 20 à 25 % du poids total de la noix. La noix de cajou mesure entre 3 à 5 cm de long sur 2 à 3,5 cm de large avec une épaisseur moyenne de 1,6 cm (Figure 3) (Lautié *et al.*, 2001 ; Decreux & Rinderknecht, 2013 ; Bama, 2014). Ces chiffres sont cependant susceptibles de très grandes variations car la taille des noix est un caractère extrêmement hétérogène.

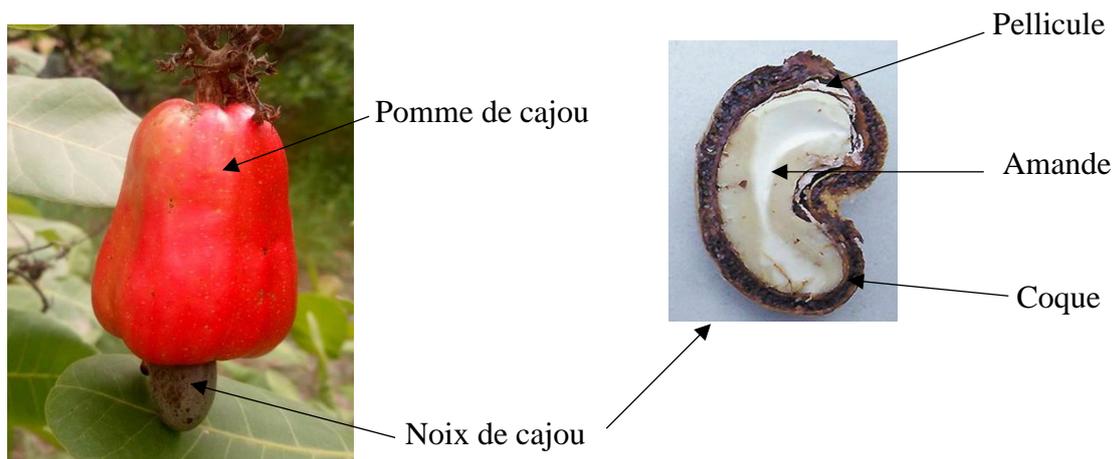


Figure 6 : Différents composants du fruit de l'anacardier (Aci, 2008)

Les utilisations des produits ou composants de la noix de cajou sont très variées et elles sont exploitables à plusieurs niveaux :

- **L'amande** : est principalement consommée sous la forme de « grignotage » ou « amuse-gueule » torréfiée salée ou non, frite, cuite et crue. Sous forme broyée, elle est utilisée par l'industrie alimentaire (chocolaterie, pâtisserie et biscuiterie). De l'amande est aussi extraite, par pressage, une huile utilisée en cosmétique ou en pharmacologie et aussi dans les préparations culinaires en tant qu'huile alimentaire (Adou, 2014).

Le baume : aussi appelé Cashew Nut Shell Liquide (CNSL), est extrait de la coque de cajou. Il a de multiples usages dans l'industrie. Ainsi, il est employé dans la fabrication d'encres, d'insecticides ou encore d'éléments de frictions de véhicules comme les freins et les embrayages (Telascrea *et al.*, 2014 ; Velmurugan *et al.*, 2014). Il est également utilisé dans l'industrie des revêtements (vernis, matières plastiques) (Balgude & Sabnis, 2014). Ce liquide est dangereux et ne doit pas être manipulé avec les mains nues. Sa manipulation exige l'utilisation de gants appropriés, etc.

- **La coque** : une fois retirée, elle sert de combustible pour la cuisson ou le chauffage dans le processus de transformation des noix de cajou (Neya *et al.*, 2017).
- **La pellicule** : La pellicule entourant l'amande est brûlée comme la coque, elle est aussi utilisée comme combustible ou en tant que complément à l'alimentation du bétail (Adouko, 2013 ; Yao *et al.*, 2013).

1.1.6. Régions écologiques de culture de l'anacardier en Côte d'Ivoire

Tirée par une demande internationale en croissance, la culture de l'anacardier suscite incontestablement un vif engouement dans différentes régions agroécologiques de la Côte d'Ivoire. Initialement produite dans la zone de savane (Ruf *et al.*, 2019), la culture de l'anacardier s'est aussi invitée vers le sud, dans les ex zones cacaoyères de contact forêt-savane telles que celles de Tanda et Bondoukou, mais également dans les anciennes boucles du cacao vers M'Bahiakro à l'Est et Bouaflé à l'Ouest, et plus récemment, au cœur de régions cacaoyères comme à Bayota, au nord de Gagnoa (Bagal & Vittori, 2010 ; Ducroquet *et al.*, 2017 ; Ruf *et al.*, 2019). Sur la base de la dernière cartographie (Figure 7) publiée par le CCA, la noix de cajou est produite aujourd'hui, dans 19 régions de la Côte d'Ivoire dont les principales en termes de tonnage sont le Béré, le Hambol et le Gontougo. Selon les fiches synoptiques d'achat de noix de cajou par entité administrative, les productions dans ces trois grandes régions sont essentiellement influencées par les tonnages importants enregistrés chaque année dans les départements de Mankono au Nord-Ouest, de Bondoukou au Nord-Est et de Katiola au Centre-nord de la Côte d'Ivoire (Anonyme 2). Dans cette dernière zone géographique, se trouve l'une des régions écologiques favorables à la culture de l'anacardier parmi celles que compte l'Afrique francophone ; c'est-à-dire la zone de Dabakala (Goujon *et al.*, 1973).

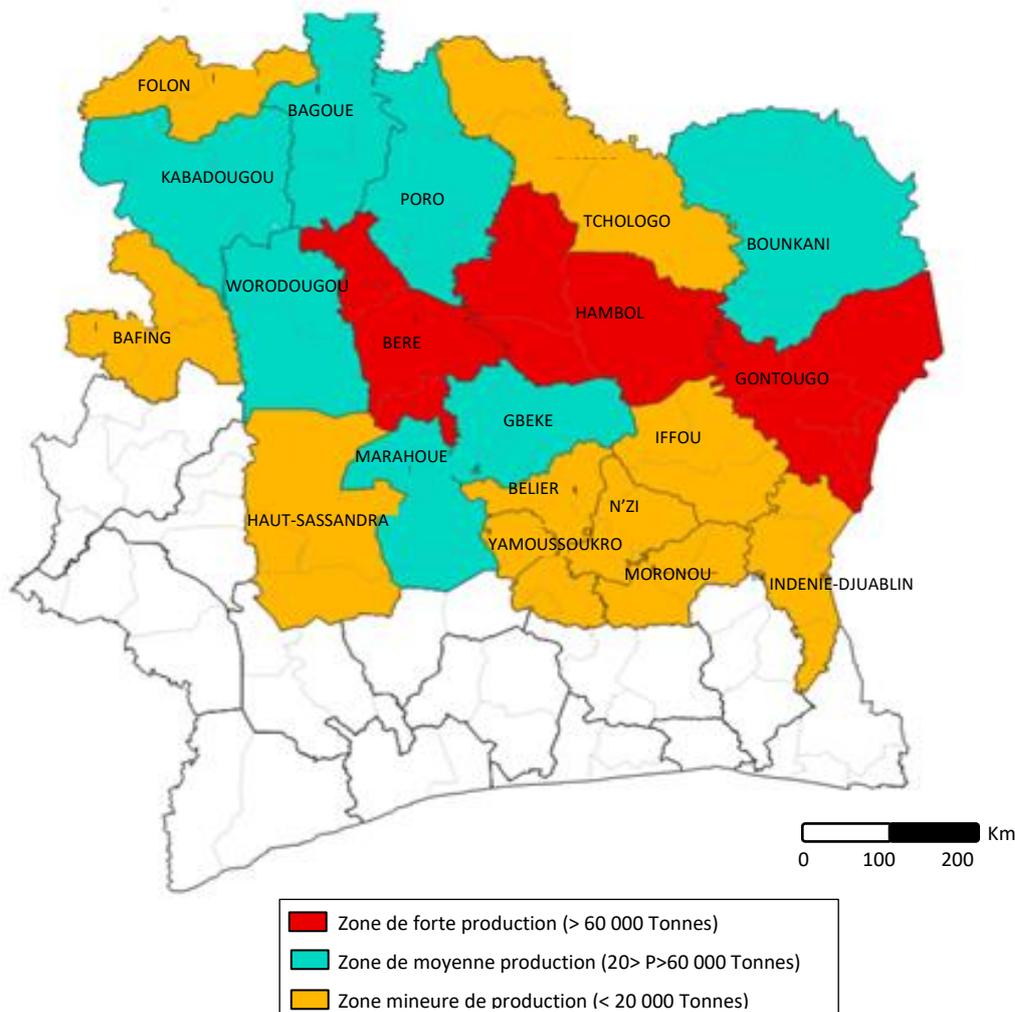


Figure 7: Cartographie des zones de production de noix de cajou en Côte d'Ivoire (MINAGRI & MININDU, 2017)

1.1.7. Impact des conditions écologiques sur les noix de cajou

Les conditions climatiques, en particulier la température et l'intensité de la lumière ont un effet significativement fort sur la qualité nutritionnelle des fruits. Les basses températures favorisent la synthèse des sucres et de la vitamine C (le glucose étant le précurseur de l'acide ascorbique) et diminuent en même temps le taux d'oxydation de l'acide ascorbique (Adou, 2014). Par ailleurs, dans les sols peu profonds, l'anacardier entre en compétition avec la végétation superficielle pour ses besoins en eau durant la saison sèche. Dans ces conditions, la croissance est modeste et peut être complètement inhibée si les mauvaises herbes ne sont pas contrôlées (Adou, 2014).

1.2. Qualité marchande des noix de cajou brutes dans le processus de production

1.2.1. Contribution des traitements de récolte et post-récolte

Les traitements de récolte et post-récolte, notamment les techniques de collecte, de séchage et de stockage des noix de cajou jouent un rôle clé dans la qualité des noix de cajou brutes et la réduction des pertes post-récoltes (Priyashantha *et al.*, 2020). Ces techniques diffèrent souvent selon les pays ce qui influe sur la qualité des noix qui varie d'un pays à un autre (Issaka, 2019). C'est le cas pendant la collecte des noix où celles-ci sont ramassées et séparées quotidiennement au Sénégal, en Gambie et en Guinée-Bissau pendant que ces traitements sont réalisés tous les deux jours voire plus en Côte d'Ivoire (Issaka, 2019). Cependant, très peu de travaux scientifiques sont disponibles quant à l'impact de ces pratiques de récolte et post-récoltes existantes sur la qualité des noix.

1.2.2. Contribution des tests d'évaluation de la qualité marchande des noix de cajou

Sur le marché international, la qualité des noix de cajou brutes est déterminante dans la fixation des prix (Ogunwolu *et al.*, 2016). Trois tests clés sont généralement utilisés pour déterminer la qualité des noix : le test d'humidité des noix, le test de dénombrement des noix et le test de rendement (Ndiaye *et al.*, 2020). Ces tests permettent ainsi, d'apporter des améliorations au niveau des itinéraires techniques en appliquant les bonnes pratiques de collecte, de séchage et d'entreposage (Tchétangni *et al.*, 2016).

❖ Humidité des noix

Les amandes humides, c'est-à-dire celles dont le taux d'humidité des noix est supérieur ou égal à 10 % sont proscrites. Immédiatement après la récolte, les noix de cajou doivent être exposées au soleil pour leur séchage jusqu'à ce que les noix présentent un taux d'humidité compris entre 8 et 10 % dans la coque (Norme CEE-ONU DDP-17, 2013). Quand il dépasse 10 %, les noix sont vulnérables aux moisissures, par contre s'il est très bas (inférieur à 6 %), les noix se dessèchent, perdent du poids et sont également trop fragiles pour une transformation industrielle (Ahmadou, 2019).

❖ Dénombrement des noix

Ce test donne le nombre de noix, sélectionnées de manière aléatoire dans les sacs, au kilogramme et est exprimé en Noix/kg. Dans le test de dénombrement, plus les noix sont grosses (Figure 8) mieux cela vaut. Les dénombrements de noix de taille moyenne donnent en général 168 à 199 noix par kilogramme. Pour certaines noix en Inde et en Tanzanie, il a été enregistré des chiffres plus bas de l'ordre de 160 noix au kilogramme. Pour les noix de très petites tailles,

le nombre peut être de l'ordre de 230 à 240 noix par kilogramme. De telles noix sont difficiles à transformer en industrie et sont donc ainsi considérées comme de qualité inférieure (Gilleo *et al.*, 2011). L'indication de la taille des noix est essentiellement liée aux traits morphométriques notamment leurs longueur, largeur, épaisseur et forme (Adeigbe *et al.*, 2016 ; Touré *et al.*, 2018). Cependant, comme pour la plupart des produits agricoles, ces propriétés physiques dépendent étroitement des facteurs agro-écologiques (Kyriacou *et al.*, 2018).

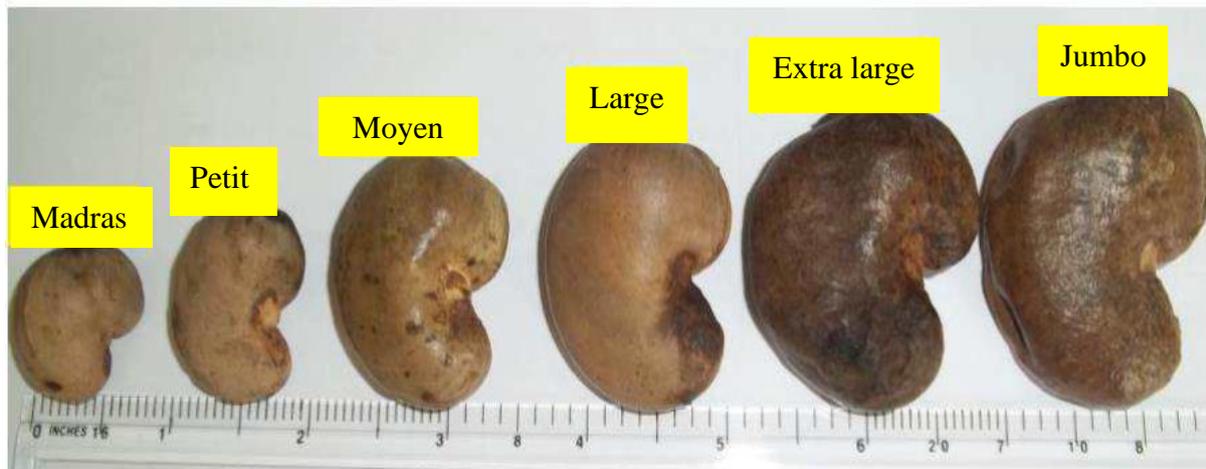


Figure 8: Classification des différentes tailles des noix de cajou (Ahmadou, 2019)

❖ Rendement des noix de cajou ou KOR (Kernel Output Ratio) /Out-turn

La taille des noix vue de l'extérieur ne constitue pas une mesure adéquate de la qualité. En effet, en fonction des pratiques de production et de collecte utilisées au niveau de la plantation, on peut avoir à l'intérieur des noix brutes, une amande de bonne ou de mauvaise qualité (Tchétingni *et al.*, 2016). C'est pourquoi les acheteurs de noix de cajou s'assurent de leur qualité sur la base de leur rendement en amande (Tchétingni *et al.*, 2016).

La procédure du test de rendement requiert que les noix soient ouvertes, l'amande à l'intérieure analysée et la détermination du pourcentage de noix classées selon les trois catégories de qualité ci-après (ACi, 2008) :

1) amande de bonne qualité (bonne forme, bonne taille et couleur blanche) (figure 9) ;



Figure 9 : Amande de bonne qualité (source : Aci, 2008)

2) amande immature ou piquée (prématurée et fripée ou présentant des taches noires ou sombres) (figure 10) ;



Figure 10 : Amandes de seconde qualité (source : Aci, 2008)

3) noix vide, amande pourrie, rabougrie, mitée, moisie ou beurrée (peu développée, présentant des maladies, des signes de destruction par les insectes ou autres facteurs) (figure 11).



Figure 11 : Amandes rejetées (source : Aci, 2008)

Après le prélèvement d'échantillons aléatoires sur les sacs de noix brutes, l'ouverture des noix et le tri des amandes dans les trois catégories énumérées ci-dessus, un calcul est effectué pour attribuer une note de rendement (Tableau III). Ce qui permet de connaître la quantité en livre (lb) de bonnes amandes que l'on peut avoir dans un sac de 80 kg de noix après décorticage. Il s'exprime en lbs/sac de 80 kg (1 lb = 0,45359 kg ou encore 1 kg = 2,2 lbs). Exemple : un out-turn de 49 lbs/sac de 80kg veut dire qu'on peut avoir 49 lbs (22,2 kg) d'amandes utilisables par l'industriel si on décortique des noix d'un sac de 80kg. Ainsi, ce test permet d'évaluer le taux de noix défectueuses dans le lot. Un lot ayant un taux de noix défectueuses (taux de défaut) supérieur à 24 % est systématiquement rejeté.

Tableau III: Dénombrement et rendement de noix de cajou (Gilleo *et al.*, 2011)

Dénombrement des noix/kg	Observations tirées du dénombrement des noix	Rendement (lbs)	Observations tirées du rendement
200 ou plus	Petites noix (difficiles à transformer)	< 48	Mauvaises noix (quasiment impossibles à transformer)
		49-50	Acceptable, si les noix sont de taille moyenne ou de grande taille
169–199	Noix de taille moyenne (bonne qualité)	51-52	Bonne qualité
		53-54	Qualité allant de bonne à excellente (excellente, si les noix sont de grande taille)
168 ou moins	Grandes noix	55-56	Excellente qualité

1.2.3. Qualité nutritive de la noix de cajou

La consommation de noix de cajou a de nombreux effets bénéfiques sur la santé. Les noix de cajou sont saines et riches en minéraux, nutriments essentiels (Tableau IV) (Rico *et al.*, 2016). Les acides gras contenus dans l'amande de cajou sont d'un grand intérêt au plan diététique, dans la lutte contre le mauvais cholestérol. Comme la plupart des produits oléagineux, près des trois quarts des calories totales de la noix de cajou sont des lipides (corps gras). La majorité (60 %) de ces lipides est sous forme d'acides gras monoinsaturés, un type de gras ayant des effets bénéfiques sur la santé cardiovasculaire (Forouhi *et al.*, 2018 ; Jalali *et al.*, 2020).

Tableau IV: Quelques composants nutritifs des amandes de cajou (Nair, 2010 ; Rico *et al.*, 2016)

Nutriments	Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g	
Eau	3,8	
Glucides totaux	26 g	
Protéines	21,3	
Fibres	3,6	
Sels minéraux	2,4	
Lipides	Acide gras monoinsaturés	61.78
	Acide gras polyinsaturés	17.92
Vitamines PP	3,68 mg/100g	
Vitamine E	2,10 mg/100g	

1.3. Qualité sanitaire des noix de cajou

Pour garantir la sécurité sanitaire des noix de cajou, l'une des préoccupations fondamentales de santé publique, les bonnes pratiques de production des noix ont été établies selon les normes internationales de contrôle qualité et de sécurité alimentaire (Decreux & Rinderknecht, 2013 ; Diop, 2013). Des normes de procédés ont été établies pour contrôler le contenu microbiologique (moisissures) ainsi que les concentrations en résidus de pesticides. Ces risques de contamination peuvent venir de sources diverses, notamment de toxines naturelles ou de résidus de produits agrochimiques d'origine anthropique (Manizan *et al.*, 2018).

1.3.1. Contaminants chimiques biologiques : cas des aflatoxines dans les noix de cajou

Les mycotoxines se positionnent comme les contaminants biologiques de nombreuses denrées alimentaires d'origine végétale, en particulier les céréales, les fruits secs, les noix de cajou, les fèves de cacao et les grains de café qui font la base économique du secteur agricole dans la plupart des pays africains en voie de développement (Decreux & Rinderknecht, 2013). Aujourd'hui, plus de 300 métabolites secondaires ont été identifiés ; mais seule une trentaine possédant de réelles propriétés toxiques préoccupantes est recherchée comme contaminants naturels des aliments. Du point de vue agro-alimentaire et sanitaire des produits agricoles africains, les toxines considérées comme "majeures" sont les aflatoxines, les ochratoxines, les fumonisines, la zéaralénone et le déoxynivalénol (figure 12). Ces mycotoxines peuvent contaminer les produits agricoles depuis le champ mais également lors des traitements post-récoltes. Parmi elles, seules les aflatoxines sont règlementées au niveau de la filière cajou

(Norme CEE-ONU DDP-17, 2013). En effet, ces dernières contaminent de plus en plus les produits oléagineux ; affectant ainsi les filières d'exportation des pays producteurs africains (Blanc, 2001 ; Darwish *et al.*, 2014). Les aflatoxines sont secrétées dans les matières premières d'origine végétale aussi bien à la récolte que durant les traitements post-récoltes, notamment le séchage et le stockage (Decreux & Rinderknecht, 2013 ; Nimaga, 2015).

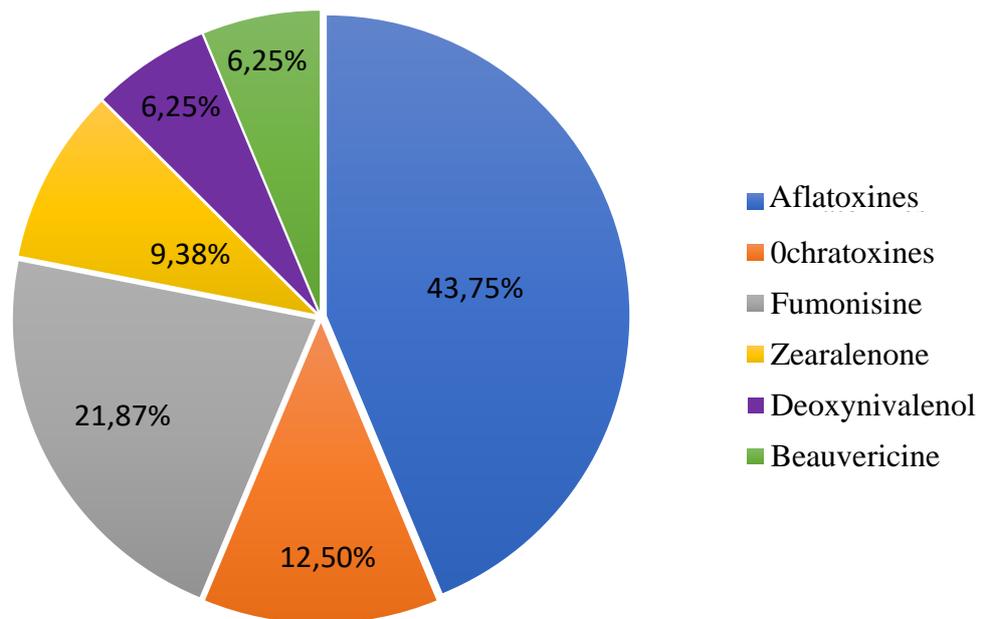


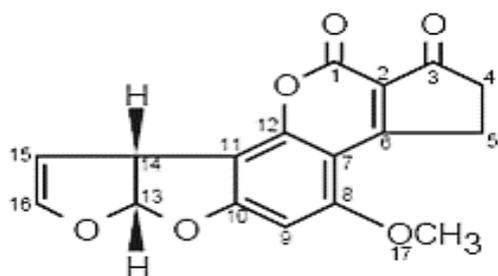
Figure 12: Incidence des mycotoxines dans les pays Africains (Darwish *et al.*, 2014)

1.3.1.1. Caractérisation des aflatoxines

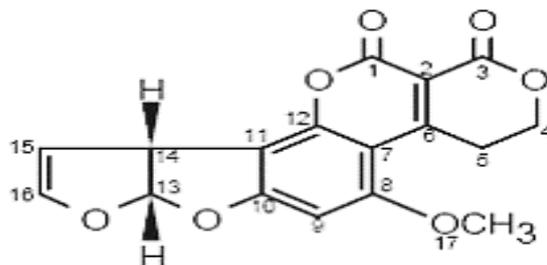
Le nom aflatoxine est un acronyme formé de la combinaison de la lettre « A » pour *Aspergillus* et « FLA » pour *flavus*. On y a associé le mot « TOXINE » signifiant poison (Sirma, 2013 ; Brahmi & Zahi, 2016). Ce nom est issu de l'investigation qui a permis de mettre en évidence la présence d'une toxine dans l'aliment des volailles. En effet, en 1960, aux environs de Londres (Angleterre), des élevages de dindons sont atteints d'une grave intoxication, appelée autrefois « maladie X des dindons », provoquée par l'ingestion de tourteaux d'arachide (Gadi, 2012). Des études conduites sur la matière première, établissent pour la première fois une relation entre l'intoxication et la présence d'une toxine produite par *Aspergillus flavus* colonisant les graines d'arachide. Ce fut le début d'une série de recherches qui aboutit en 1965 à l'isolement et à la caractérisation de la structure des aflatoxines (Asao *et al.*, 1963, 1965).

Parmi la vingtaine d'aflatoxines (AFs) connues à ce jour (El khoury, 2016), L'AFB1 est le composé le plus abondant dans les aliments contaminés, mais aussi le plus toxique suivi par l'AFG1, l'AFB2 et l'AFG2 avec une toxicité décroissante (Cole & Cox, 1981).

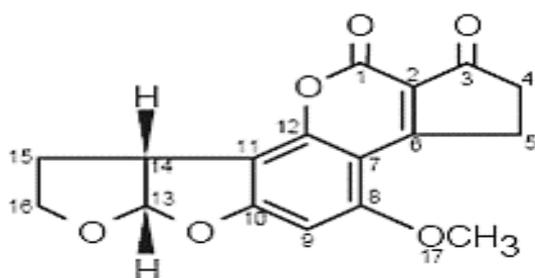
L'aflatoxine M1 (AFM1), un métabolite de l'aflatoxine B1, excrétée de façon non négligeable dans le lait, a la particularité d'être aussi toxique que l'AFB1 (Figure 13) (Bourais & Amine, 2006 ; Boudra *et al.*, 2007).



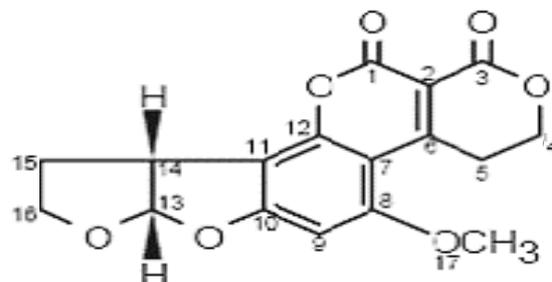
AFB1 (Formule brute : $C_{17}H_{12}O_6$
Masse molaire : 312,3 g/mol)



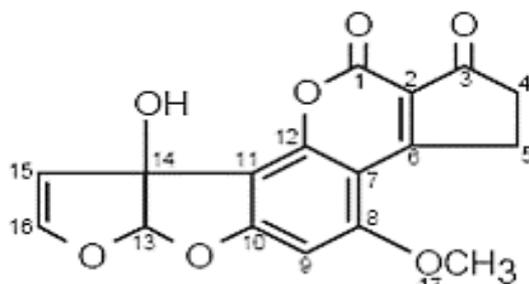
AFG1 (Formule brute : $C_{17}H_{12}O_7$
Masse molaire : 328,3 g/mol)



AFB2 (Formule brute : $C_{17}H_{14}O_6$
Masse molaire : 314,3 g/mol)



AFG2 (Formule brute : $C_{17}H_{14}O_7$
Masse molaire : 330,3 g/mol)



AFM1 (Formule brute : $C_{17}H_{12}O_7$
Masse molaire : 328,3 g/mol)

Figure 13 : Structures chimiques des aflatoxines B1 (AFB1), B2 (AFB2), G1 (AFG1), G2 (AFG2), M1 (AFM2) (El khoury, 2016)

1.3.1.2. Propriétés physico-chimiques des aflatoxines

Les aflatoxines sont des cristaux fluorescents de façon très intense sous la lumière ultraviolette (UV) à la longueur d'onde de 365 nm (Redouane-salah, 2016). Les aflatoxines B émettent une fluorescence bleue, et les aflatoxines G, une fluorescence verte. Ces couleurs de fluorescence sont à l'origine des noms des aflatoxines « B » pour *Blue* (couleur bleue en anglais) et « G » pour *Green* (couleur verte en anglais) (El himer & Gherras, 2017). Quant aux indices « 1 » ou « 2 », ils leur sont affectés selon la mobilité chromatographique relative (El khoury, 2016). Ce sont des molécules dont la structure de base est constituée de cycles bifuranne coumarine-lactone/cyclopentanone. Les aflatoxines du type G possèdent un cycle lactone, tandis que celles du type B ont un cyclopentanone. Ce sont des molécules stables et très résistantes aux différents procédés de transformation alimentaire telle que la torréfaction, l'extrusion et la cuisson (Marin *et al.*, 2013). En effet, la décomposition des aflatoxines a lieu à de très hautes températures qui sont difficilement compatibles avec les procédés de fabrication ou de transformation des aliments. Par exemple, l'AFG2 est dénaturée à partir de 237°C, l'AFG1 se décompose entre 244-246°C, tandis que l'AFB1 et l'AFB2 s'avèrent être encore plus résistantes, se décomposant respectivement à partir de 268-269 et 286-289°C (Redouane-salah, 2016). Cependant, plusieurs agents oxydants comme le permanganate de potassium, le chlore, le peroxyde d'hydrogène et l'ozone réagissent avec les AFs en provoquant l'ouverture du cycle lactone. Cette ouverture se caractérise par la perte de la fluorescence. Elles sont aussi dégradées par l'ammoniaque (NH₄OH). Avec l'hypochlorite de sodium (NaOCl), l'AFB1 réagit pour donner le 2,3 dichloro-aflatoxine B1 qui est directement génotoxique (Manizan *et al.*, 2018).

1.3.1.3. Toxicocinétique des aflatoxines

Comme la plupart des molécules exogènes ou xénobiotiques, l'AFB1 subit une biotransformation hépatique ou tissulaire, conduisant soit à des métabolites hydrophiles plus facilement excrétables, soit à des métabolites réactifs, capables d'interagir avec les macromolécules de l'organisme (ADN, ARN, protéines) (Pfohl-Leszkowicz, 1999).

L'AFB1 est principalement transformée en 8 métabolites : l'époxyde-AFB1, l'AFM1, l'AFB2, l'AFQ1, l'AFP1, l'aflatoxicol, l'aflatoxicol H1 et l'aflatoxicol M1 (Jaquet *et al.*, 1982) (Figure 10). La métabolisation de l'AFB1 est principalement réalisée par l'intervention des cytochromes P450 hépatiques. Elle peut être aussi co-oxydée par la prostaglandine-H-synthétase (PGHS) et la lipooxygénase (Afssa, 2009, Ahmadou, 2019). L'AFM1 est le dérivé

hydroxylé en position C3 et se retrouve dans le lait, ainsi que dans le foie, le rein et les muscles. Sa présence dans le rumen est due au cycle entérohépatique (Redouane-salah, 2016).

Chez les ruminants, après ingestion d'aliments contaminés, les AFs sont fortement absorbées par diffusion passive au niveau du rumen et du duodénum où elles sont véhiculées dans l'organisme à partir d'une fixation sur les protéines plasmatiques (Firmin, 2011 ; Pantaya *et al.*, 2014). Ensuite, elles subissent un métabolisme hépatique intense qui peut être résumé comme suit (Redouane-salah, 2016) :

- ✓ Une phase I de biotransformation (oxydo-réduction) : mettant en jeu les enzymes mono-oxygénases à cytochromes P450s (CYPs) (Afssa, 2009). A la phase I, trois types de réactions sont possibles :
 - Des réactions d'oxydation formant par hydroxylation l'AFM1 et par époxydation l'AFB1 8,9-époxyde.
 - Une O-déméthylation pour former l'AFP1
 - Une réduction de la fonction cétone en C1 (via une NADPH réductase) pour former l'aflatoxicol (AFOL).
- ✓ Une phase II de biotransformation (conjugaison) : dans laquelle l'AFB1 8,9-époxyde est conjuguée au glutathion par des glutathion S-transférases (GST).

Ces métabolites à l'exception de l'époxyde (AFB1-8,9-exo-époxyde) sont moins toxiques que l'AFB1. Ce dernier est principalement excrété dans les urines et les fèces. La part excrétée dans les fèces est de 53 % des doses reçues d'AFB1, éliminée sous forme inchangée, ou sous forme métabolisée telle que l'AFM1, AFP1 et AFQ1, ou sous forme de dérivés conjugués ou d'adduits à l'ADN (figure 14). L'excrétion urinaire représente 30 % des doses d'AFB1 ingérées dans les conditions expérimentales. Dans les urines, l'AFM1 est le métabolite le plus abondant (Afssa, 2009 ; Firmin 2011). Une autre partie de l'AFB1 est également éliminée dans la bile conjuguée au glutathion et sous forme glucuronoconjuguée. Chez les ruminants laitiers, l'AFB1 absorbée par l'organisme, est essentiellement excrétée dans le lait sous sa forme hydroxylée, l'AFM1 (Magoha *et al.*, 2014 ; Becker-Algeri *et al.*, 2016). L'élimination de l'AFM1 par la glande mammaire des ruminants représente jusqu'à 0,1 à 2 % de la dose ingérée chez la vache laitière. Les taux excrétés peuvent atteindre 6 % de la dose ingérée chez la vache à haute production laitière (Firmin, 2011).

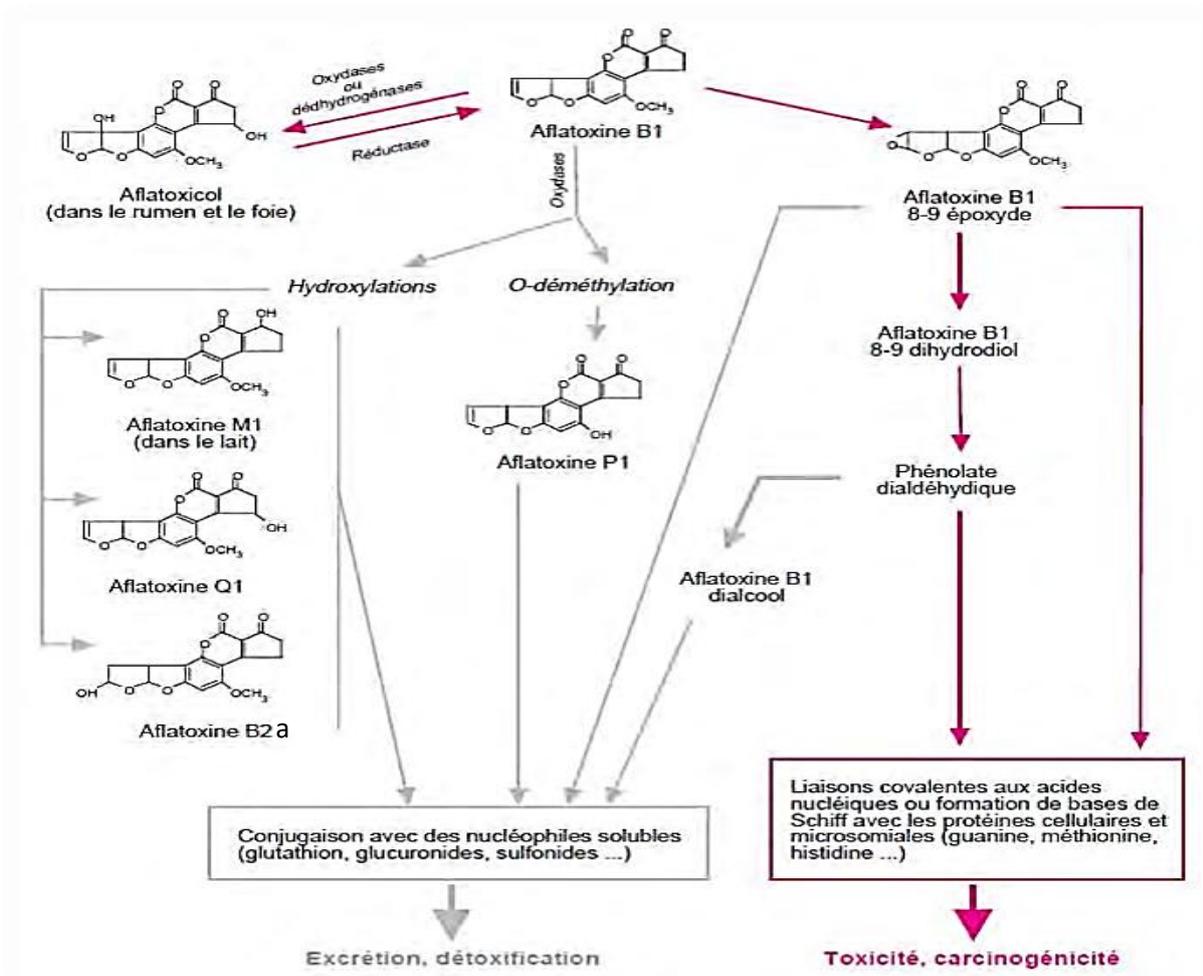


Figure 14: Devenir de l'aflatoxine B1 (AFB1) dans le foie du ruminants (Yiannikouris & Jouany, 2002)

1.3.1.4. Exposition de l'homme aux aflatoxines

Les aflatoxines sont généralement trouvées dans des aliments en provenance de régions chaudes et humides où elles sont détectées dans la plupart des denrées alimentaires à base de noix comestibles (arachides, noix du Brésil, pistaches, amandes, noix de cajou et noisettes), de céréales (maïs, sorgho, riz,) et dans les olives (Milhome *et al.*, 2014 ; Fofana-Diomande *et al.*, 2019). Leur toxicité et en particulier celle de l'aflatoxine B1, dépend de la concentration et de la durée d'exposition mais aussi d'autres paramètres tels que l'âge, le sexe, l'espèce concernée et sa tolérance, le statut nutritionnel, etc. Si les aflatoxicoses sont bien documentées chez les animaux, chez l'homme, elles ont pu être rapportées à l'occasion d'accidents toxiques aigus ou à cause de l'exposition fréquente de certaines populations, dans les zones géographiques où la contamination des aliments est fréquente (El khoury, 2016).

La toxicité aiguë induite par les aflatoxines chez les humains sont très rares de nos jours. Ces accidents toxiques ont lieu suite à l'ingestion d'aliments fortement contaminés par les aflatoxines. Le Kenya a connu plusieurs cas récurrents d'aflatoxicose aiguë chez les êtres humains dans les années 1981, 2001, 2004 et 2005. La plus grande intoxication a eu lieu en 2004, où 317 cas d'aflatoxicoses aiguës ont été signalés entraînant la mort de 125 personnes suite à la consommation de maïs contaminé. Le maïs à l'origine de ces aflatoxicoses contenait 4.400 ppb d'aflatoxine B1, ce qui est 440 fois plus élevé que le niveau de tolérance de 10 ppb fixé par le Bureau de Standards du Kenya (Dieme *et al.*, 2016).

La toxicité chronique est le cas le plus fréquent et le plus redouté en raison des habitudes alimentaires et du pouvoir de rémanence de ces toxines (Afssa, 2009). Elle est liée à une ingestion modérée et répétée des aflatoxines dans le temps.

L'exposition chronique à des quantités faibles des aflatoxines (l'aflatoxine B1 en particulier), est associée à un risque accru de développer le carcinome hépatocellulaire ou cancer du foie. L'aflatoxine B1 est le cancérigène naturel le plus puissant qui existe avec une prévalence de 4,6 à 28,2 % des carcinomes hépatocellulaire à l'échelle mondiale (Bbosa *et al.*, 2013). Elle a donc été classée par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) en 1993 dans le groupe 1 des molécules cancérigènes pour l'homme et l'animal. Depuis 2002, les AFB2, AFG1 et AFG2 font également partie du groupe 1 des carcinogènes.

Si l'organe cible majeur de l'AFB1 est le foie, elle peut également agir sur d'autres fonctions physiologiques (Figure 15). En effet, certaines études ont aussi souligné le rôle de l'AFB1 dans le développement d'autres types de cancer tels que les cancers du rein, du système respiratoire et du tractus gastro-intestinal (GIT) (Bbosa *et al.*, 2013 ; Cui *et al.*, 2015). L'AFB1 peut aussi traverser la barrière placentaire et donc contaminer les foetus *in utero* induisant ainsi l'apparition d'effets tératogènes et des malformations congénitales (Bbosa *et al.*, 2013). Outre son pouvoir tératogène, l'AFB1 a un effet immunosuppresseur, réduisant la résistance aux infections parasitaires, bactériennes et fongiques, et souvent responsables des carences en micronutriments durant la grossesse et des infections chez la mère (Gutierrez & Agnew, 2013 ; McMillan *et al.*, 2018). L'altération du système gastro-intestinal, engendrant un retard de croissance chez l'enfant, est aussi une conséquence possible de l'exposition aux aflatoxines (Wu *et al.*, 2014). Selon les estimations, plus de 5 milliards de personnes dans les pays en voie de développement sont à risque d'exposition à l'aflatoxicose chronique (Dieme *et al.*, 2016).

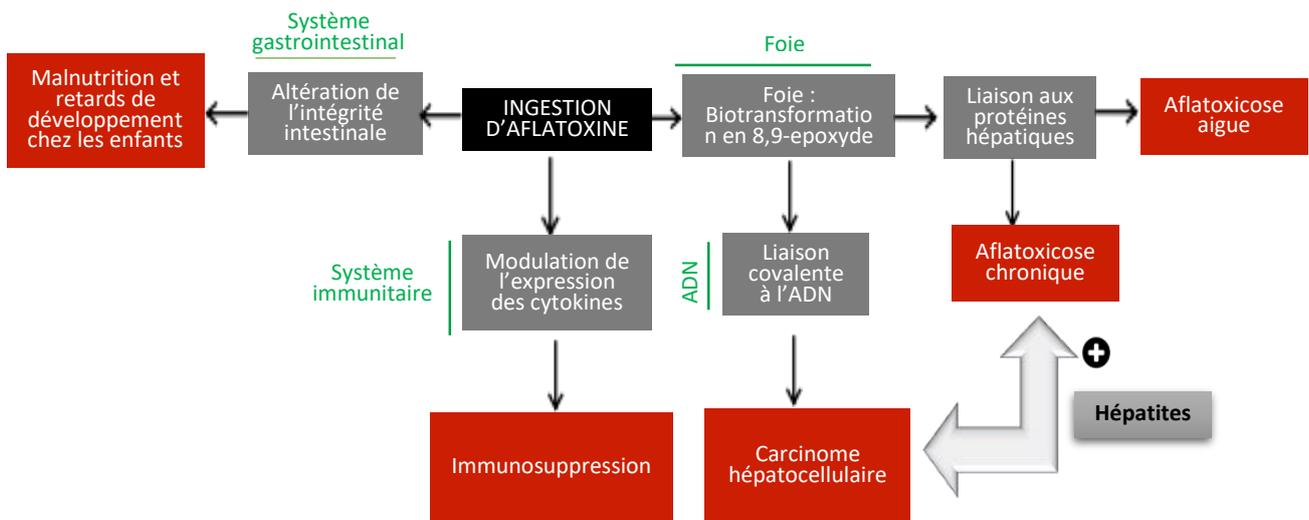


Figure 15: Différents niveaux physiologiques de la toxicité de l'AFB1 (El khoury, 2016)

1.3.1.5. Conditions favorisant la production d'aflatoxines

La présence de moisissures sur les graines ne signifie pas nécessairement formation de mycotoxines. Chaque espèce de moisissure et chaque souche au sein de chaque espèce possède ses propres caractéristiques de toxino-génèse. Toutefois, la nature et le niveau de contamination de mycotoxines dépendent essentiellement de 4 paramètres :

- la nature de la flore fongique et ses particularités physiologiques,
- la nature et la composition du substrat (type et aw),
- les facteurs climatiques (latitude, température, hygrométrie)
- environnementaux (autres microorganismes, inhibiteurs chimiques, présence de lésions sur le substrat, etc.).

Ces paramètres jouent un rôle majeur dans l'installation de l'infection fongique et la production de mycotoxines (Bhat *et al.*, 2010).

1.3.1.6. Dosage des aflatoxines

La découverte des aflatoxines dans les années 1960, a suscité de nombreuses recherches portées sur la détection des toxines dans les aliments afin de préserver la santé publique. Dans le cadre de contrôle réglementaire, la recherche de mycotoxines habituellement présentes à l'état de traces dans les aliments, exige l'utilisation de méthodes de dosage aux performances analytiques reconnues. Il existe une panoplie de méthodes de détection des mycotoxines. Ces méthodes d'analyses sensibles et fiables sont fondées essentiellement sur le principe de la

séparation chromatographique des molécules puis de leur détection par spectrophotométrie ou fluorimétrie (Redouane-salah, 2016). Les méthodes dites de « références » (ou de confirmation) permettent de détecter, identifier et quantifier les mycotoxines. Il s'agit des méthodes chromatographiques telles que la chromatographie sur couche mince (CCM), la chromatographie en phase gazeuse (CPG), la chromatographie liquide haute performance (CLHP) et plus récemment la chromatographie en phase liquide couplée à une spectrométrie de masse (LC/MS/MS).

Il existe aussi des méthodes de screening dites « rapides » qui servent essentiellement à détecter la présence d'une mycotoxine (tests ELISA, tests de type bandelette, tests à débit latéral et fluorométrie en solution). Parmi les nouveaux systèmes de détection des aflatoxines, figurent les méthodes de dépistage et de détection pour les applications rapides dans les exploitations agricoles et les laboratoires. Notamment les kits de dip-stick, les lecteurs de flux latéral et la technique MALDI-TOF (Heit, 2015). Le tableau V présente un résumé de quelques méthodes mentionnées.

Tableau V: Avantages et inconvénients de quelques méthodes de détection et de quantification des mycotoxines

Méthodes	Avantages	Inconvénients	Références
CCM	<ul style="list-style-type: none"> - Méthode de quantification fiable combinée à la densitométrie ; - Simple ; - Méthode de référence officielle. 	<ul style="list-style-type: none"> - Equipement obsolète ; - Préparation destructive des échantillons ; - Peu sensible ; - Peu spécifique. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rahmani <i>et al.</i> (2009) ; - Shephard (2009) ; - Lamrani (2009)
HPLC/FLUO	<ul style="list-style-type: none"> - Sensible ; - peut-être automatisé ; - Méthode de référence officielle. 	<ul style="list-style-type: none"> - équipement couteux nécessitant un opérateur spécialisé et un spécialiste pour interpréter les résultats ; - nécessite une dérivation. - nécessite une purification 	<ul style="list-style-type: none"> - Lamrani (2009) ; - Shephard (2009) ; - Turner <i>et al.</i> (2009) ; - Cho <i>et al.</i> (2008).
HPLC/UV	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de dérivation ; - Méthode de référence officielle. 	<ul style="list-style-type: none"> - équipement couteux nécessitant un opérateur spécialisé et un spécialiste pour interpréter les résultats ; - Peu spécifique. - nécessite une purification 	<ul style="list-style-type: none"> - Lamrani (2009)
LC-MS/MS	<ul style="list-style-type: none"> - analyse simultanée des mycotoxines ; - faible limite de détection ; 	<ul style="list-style-type: none"> - équipement très couteux nécessitant un opérateur spécialisé et un spécialiste pour interpréter les résultats ; 	<ul style="list-style-type: none"> - Lamrani (2009) ;
GC-MS/MS	<ul style="list-style-type: none"> - pas de dérivation ; - méthode de confirmation. 	<ul style="list-style-type: none"> - La sensibilité repose sur l'ionisation ; - calibration assistée pour l'analyse quantitative ; - manque de norme interne. 	<ul style="list-style-type: none"> - Shephard (2009) ; - Li <i>et al.</i> (2013)
ELISA	<ul style="list-style-type: none"> - équipement peu couteux ; - faible limite de détection ; - analyse simultanée de multiples échantillons ; - analyse semi quantitative ou quantitative possible ; - utilisation limitée de solvants organiques. 	<ul style="list-style-type: none"> - peu spécifique ; - faux positifs/ négatifs possibles ; - plage de détection étroite. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rahmani <i>et al.</i> (2009) ; - Pascal (2009) ; - pittet (2005) ; - Turner <i>et al.</i> (2009)
MALDI-TOF	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de solvant - Analyse rapide (<30 minutes) 	<ul style="list-style-type: none"> - analyse semi quantitative ; - équipement coûteux - Choix de la matrice 	<ul style="list-style-type: none"> - Heit (2015)

1.3.1.7. Réglementation des aflatoxines dans les noix

Les mycotoxines font l'objet dans de nombreux pays de textes réglementaires et normatifs fixant des limites de plus en plus faibles (Milhome *et al.*, 2014). Ces dispositions sont essentielles pour maintenir les contaminants à des niveaux qui ne nuisent pas à la santé humaine en fonction des régimes alimentaires. Elles garantissent aussi l'innocuité des aliments et fournissent une base pour l'évaluation de la qualité des produits.

✓ A l'échelle nationale

Actuellement en Côte d'Ivoire, il n'existe pas de normes ou de limites réglementaires, fixant les teneurs maximales en mycotoxines dans les noix de cajou. Toutefois, les normes applicables sont celles des pays consommateurs de noix de cajou.

✓ A l'échelle internationale

La Commission du Codex Alimentarius (CCA), appuyée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), à travers ses codes d'usage, élabore des normes internationales pour avoir connaissance sur la qualité et les risques que peut avoir l'aliment. La CCA, à travers ses comités s'occupant des produits, établit les limites maximales (normes) suivant une procédure qui suit les principes de l'analyse des risques conformément aux règles et méthodes établies dans le manuel de procédure du Codex pour prévenir la présence de contaminants (mycotoxines, acrylamides et substances radioactives) dans les aliments. Suivant cette procédure, l'autorité Européenne de Sécurité des aliments (EFSA) et certains pays du monde ont établi ou proposé des limites réglementaires concernant les aflatoxines dans les noix de cajou (Tableau VI).

Tableau VI: Limites maximales des aflatoxines dans le cajou destiné à l'alimentation humaine

Pays/ organismes	AFB1(ppb)	AFs (ppb)	Source
Codex Alimentarius	1,4	8	EFSA, 2007
Norvège	-	5	Redouane-salah, 2016
Brésil	-	10	Resolução N° 7, de 18 de fevereiro de 2011. Ministério da Saúde
UE	2	4	Commission Regulation (EU) N° 165/2010
Inde	-	10	Food Safety and Standards Authority of India (FSSAI)
États-Unis	-	20	États-Unis 20 U.S. Food and Drug Administration Compliance Policy Guides (CPG)
Benin	1	-	Dohou <i>et al.</i> , 2010
Autriche	2	-	Redouane-salah, 2016

ppb (particules par billion équivalent au µg/kg) ; AFs : la somme des 4 aflatoxines (B1+B2+G1+G2).

1.3.1.8. Moisissures aflatoxinogènes

Les aflatoxines peuvent être produites principalement par trois espèces d'*Aspergillus* : *A. flavus*, *A. parasiticus* et *A. nomius*, qui contaminent les plantes et les produits agricoles. Ces espèces fongiques sont connues pour leur capacité à synthétiser les aflatoxines notamment *A. flavus* qui produit principalement l'Aflatoxine B1 et l'Aflatoxine B2, pendant que *A. parasiticus* produit les 4 Aflatoxines (B1, B2, G1, G2) (Estela, 2017).

1.3.1.8.1. Facteurs favorisant le développement des moisissures aflatoxinogènes

Il existe plusieurs facteurs qui peuvent être regroupés comme suit :

- ✓ Facteurs intrinsèques liés au produit agricole

Les moisissures aflatoxinogènes sont omniprésentes et ont une affinité particulière pour les graines oléagineuses comme source de croissance (Estela, 2017). Elles colonisent les plantes en plein champ, et partant, les produits agricoles aussi bien à la récolte que durant les traitements post-récoltes si elles ne sont pas suffisamment déshydratées (Prandini *et al.*, 2009, Decreux & Rinderknecht, 2013 ; Nimaga, 2015). En effet, les contaminants des champs requièrent généralement des niveaux d'humidité supérieures (200-250 g d'eau /kg de matière sèche) aux contaminants de stockage (130-180 g d'eau /kg de matière sèche) (Rodrigues & Naehrer, 2012). La plage de température de croissance de ces champignons aflatoxinogènes est comprise entre

12 et 48 °C, mais les conditions optimales se situent entre 36 °C et 38 °C (Estela, 2017) et le pH optimal pour la croissance d'*A. flavus* et *A. parasiticus* est compris entre 5 et 6. Opportunément, *A. flavus* colonise généralement les grains endommagés, mais dans certains cas, il peut produire de la pectinase et de la cutinase, des enzymes utiles qui permettent une pénétration active d'un grain endommagé et ce sur des substrats ayant des activités de l'eau (Aw) comprises entre 0,78 et 0,8 (Prandini *et al.*, 2009 ; Bhat *et al.*, 2010, Lahouar, 2016; Frisvad *et al.*, 2019).

✓ Facteurs extrinsèques liés à l'environnement

Aspergillus flavus et *A. parasiticus* croissent sous des latitudes situées entre 16° et 35°, caractéristiques des zones tropicales et subtropicales de l'Afrique sub-saharienne (Gruber-Dorninger *et al.*, 2019). Ces champignons peuvent survivre dans le sol, dans les résidus de culture, et lorsque les conditions sont favorables, ils commencent à produire des spores qui sont propagées par le vent. *Aspergillus parasiticus* a une préférence pour l'environnement pédologique, tandis que *A. flavus* est mieux adapté à un environnement aérien (Estela, 2017). De ce fait, ce sont des espèces prédominantes des noix et amandes (El himer & Gherras, 2017, Adetunji *et al.*, 2018). Dans des conditions de sécheresse, *A. flavus* devient très compétitif et domine les autres espèces fongiques du sol qui exigent des niveaux supérieurs d'humidité (El khoury, 2016). Cependant, la contamination des produits agricoles par *Aspergillus flavus* est souvent liée à l'action des insectes ou acariens (Hell *et al.*, 2000). En effet, ceux-ci causent des dommages qui vont faciliter l'accès des champignons et d'autres micro-organismes aux nutriments en fragilisant les protections naturelles des grains (Battilani *et al.*, 2013). Outre l'action des insectes, la compétition pour les nutriments et de l'espace suite à l'association de plusieurs espèces fongiques toxigènes crée une interaction microbienne qui modifie la croissance des champignons.

1.3.1.8.2. Identification des moisissures

L'identification des espèces fongiques susceptibles de coloniser les aliments est basée sur la comparaison des critères d'ordre morphologique (Caractères macroscopiques, et microscopiques), après leur culture sur différents milieux appropriés (Abdellaoui & Guellal, 2016). La taxonomie des espèces étant souvent compliquée de par la grande similarité qui existe entre elles, l'identification des espèces peut être complétée par une étude moléculaire (séquençage de la région ITS1-ITS2, β -tubulines) (Pildain *et al.*, 2008, Lecellier, 2013 ; Brahmi & Zahi, 2016).

1.3.1.8.2.1. Caractères morphologiques d'identification du genre *Aspergillus*

Les ouvrages intitulés « The genus *Aspergillus* » de Raper & Fennell (1965), « Fungi and Food Spoilage » de Pitt & Hocking (1997) et « Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle » de Botton *et al.* (1990), constituent une référence pour l'étude des caractères morphologiques des *Aspergillus*.

1.3.1.8.2.1.1. Description macroscopique des *Aspergillii*

Selon Raper & Fennell (1965) et Botton *et al.* (1990), la majorité des *Aspergillii* poussent à 22-25°C ; les espèces thermophiles (*A. fumigatus*) se développent à 37-40°C et parfois jusqu'à 57°C (Tabuc, 2007). L'identification à partir des caractéristiques macroscopiques dépend des paramètres suivants :

- La surface de la colonie

La couleur de la partie aérienne des colonies : permet une orientation rapide dans l'identification d'espèces : gris-vert pour *A. fumigatus*, vert-jaune pour *A. flavus* et les espèces du groupe *A. glaucus*, vert foncé à chamois pour *A. nidulans*, brun cannelle pour *A. terreus*, chamois clair, jaune et rose pour *A. versicolor*, jaune puis noir pour *A. niger* et blanche pour *A. candidus*.

La texture du mycélium : peut-être floconneuse, veloutée, fin ou dense et former des colonies souvent poudreuses ou granuleuses.

La production de zone : les zones sont dues à la production en alternance de têtes conidiennes et des sclérotés en cercles concentriques.

- La présence ou pas de sclérote

Le sclérote est une masse à paroi épaisse composée de cellules parenchymateuses de forme, de taille et de couleurs caractéristiques. Il se rencontre chez certaines espèces comme *A. robustus* et parfois chez *A. flavus*.

- Le revers de la colonie

La pigmentation de la base du mycélium et du substrat sous-jacent : est incolore ou jaune, mais il peut brunir ou rougir avec l'âge.

La structure des colonies : les contours des colonies sont épais, minces, lisses, rugueux et lobés.

- La vitesse de croissance

Pour une température et un milieu donné, la croissance observée en un temps « t » ainsi que le diamètre atteint sur un milieu défini sont caractéristiques de chaque espèce. Cependant, quel que soit le milieu de culture, une colonie d'*Aspergillus* se développe en général entre 2 à 7 jours.

1.3.1.8.2.1.2. Description microscopique des *Aspergillii*

Les *Aspergillii* sont caractérisés par un appareil végétatif (thalle) formé de filaments mycéliens hyalins, de diamètre fin et régulier, septés et ramifiés. Sur les filaments végétatifs prennent naissance des filaments dressés, non cloisonnés (conidiophores) qui se terminent par une vésicule de forme variable sur laquelle sont disposées les cellules conidiogènes ou phialides. Les phialides peuvent être insérées directement sur la vésicule (têtes unisériées) ou portées par des petites structures insérées sur la vésicule (têtes bisériées) nommées métules ou stérigmates (Raper & Fennell, 1965 ; Botton *et al.*, 1990). Les conidies (spores assurant la multiplication asexuée des moisissures), disposées en chaînes divergentes ou associées en colonnes compactes, sont toujours unicellulaires, globuleuses, sub-globuleuses ou elliptiques, lisses ou ornementées. L'ensemble formé par la vésicule, les métules, les phialides et les conidies constitue la tête aspergillaire caractéristique du genre *Aspergillus* (figure 16).

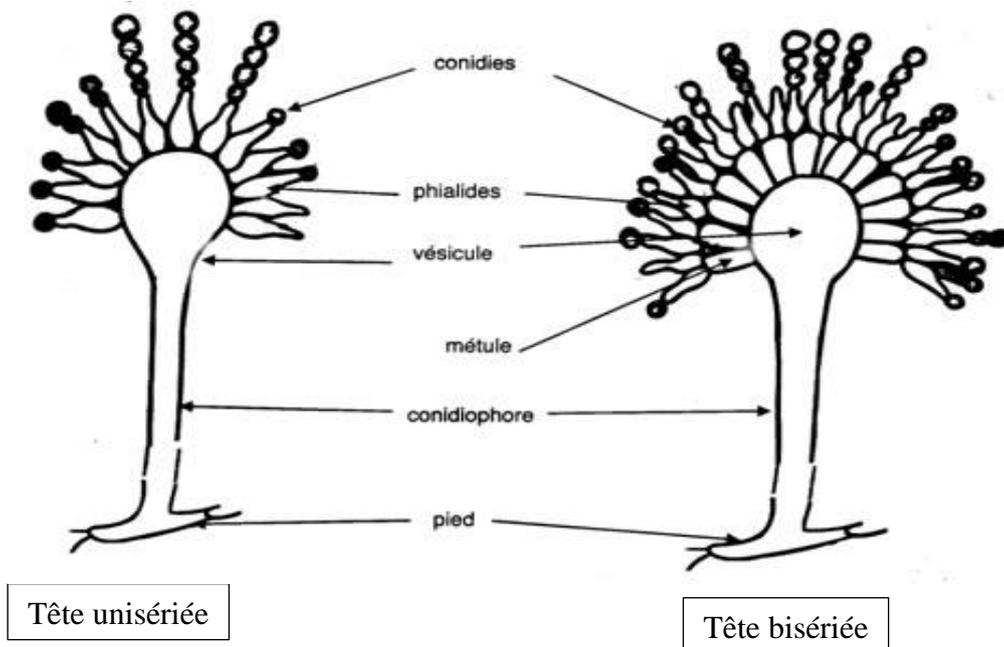


Figure 16: Principaux caractères micro morphologiques des *Aspergillus* (Chabasse *et al.*, 2002)

3.1.8.3. Caractéristiques moléculaires

Certaines espèces appartenant au même genre fongique ne peuvent être différenciées que par les outils moléculaires. Ainsi, depuis quelques années des méthodes d'identification basées sur des techniques de biologie moléculaire ont fait leurs preuves et se sont imposées par leur performance reposant sur l'étude des acides nucléiques (ADN et ARN) (Abdellaoui & Guellal, 2016). Les méthodes moléculaires les plus intéressantes sont basées sur l'amplification par PCR (polymerase chain reaction) des parties des gènes de β -tubuline et de calmoduline, de certaines régions spécifiques comme le gène codant pour la région ITS et sur la PCR-DGEE (Denaturing Gradient Gel Electrophorèsis).

1.3.1.9. Méthodes de lutte contre la contamination des noix par les aflatoxines

Comme la présence des moisissures dans les récoltes est un phénomène incontournable, il serait impossible d'éliminer toute trace de mycotoxines des produits alimentaires. Les dégâts économiques et les problèmes de santé humaine et animale engendrés par les aflatoxines ont poussé les scientifiques à chercher des méthodes efficaces pour réduire les taux de ces toxines dans les aliments, ou bien d'empêcher leur production par les moisissures toxigènes le long du circuit de production (Udomkun *et al.*, 2017).

1.3.1.9.1. Bonnes pratiques culturales et prévention du risque de contamination par les aflatoxines

Il est possible de minimiser la contamination des noix en suivant les méthodes recommandées, fondées sur les Bonnes Pratiques Agricoles (BPA) à toutes les étapes de la production : pré-récolte, récolte et post-récolte (Magan & Aldred, 2007 ; Dir *et al.*, 2018). Ces méthodes qui représentent la première ligne de défense contre la contamination par les aflatoxines permettent d'assurer la traçabilité des produits, ainsi que la sécurité et l'assurance de la qualité. Ce qui contribue à la durabilité de la production dans les conditions de culture locales.

➤ **Au niveau des traitements pré-récoltes**

Il existe de nombreuses options pour réduire les teneurs en mycotoxines des cultures avant la récolte (Sundh & Goettel, 2013 ; Mahuku *et al.*, 2019). Notamment, l'abandon de plantations trop rapprochées en respectant les espacements recommandés entre les végétaux cultivées. Par ailleurs, la monoculture à grande échelle est très sujette aux infestations de moisissures, et cette tendance pourrait encore s'accroître avec le changement climatique. Il a été constaté, suite à l'association de plusieurs cultures diversifiées dans des plantations

infestées, une atténuation des risques d'infestations de moisissures et partant une réduction de la production de mycotoxines dans les cultures (Pfliegler *et al.*, 2015).

➤ Au niveau des techniques de récolte

La période de récolte joue également un rôle essentiel dans la prévention du développement fongique. Les contaminations des produits agricoles par les aflatoxines peuvent survenir si les récoltes ne sont pas faites au moment opportun (Torres *et al.*, 2014 ; Kouadio *et al.*, 2015). De plus, la récolte durant les périodes très humides favorise également les contaminations par les aflatoxines. Pendant la période de récolte des produits agricoles, les végétaux morts ou en décomposition dans les champs, les rendent beaucoup plus vulnérables à l'invasion des moisissures et à la contamination par les aflatoxines (Diao *et al.*, 2014). Ainsi, une exposition prolongée au champ expose les grains aux attaques de différents nuisibles (Borgemeister *et al.*, 1998 ; Hell & Mutegi, 2011).

➤ Au niveau des traitements post-récoltes

Bien que les pratiques agricoles mises en place aux champs et au moment de la récolte soient essentielles pour limiter la contamination par les champignons aflatoxinogènes, les conditions post-récoltes constituent des facteurs primordiaux pour limiter l'expansion du développement fongique et éviter la production de toxines pendant cette période. En effet, si *A. flavus* contamine les cultures aux champs, il peut ensuite se développer rapidement durant le stockage, si les conditions lui sont favorables, et produire alors des quantités importantes d'aflatoxines (Torres *et al.*, 2014 ; El khoury, 2016). Pour limiter le risque, le stockage des grains séchés devrait avoir lieu dans un endroit propre, sec, à des températures tempérées et à l'abri des infestations d'insectes. Il convient aussi d'éviter toute réhumidification pendant le stockage. Une telle réhumidification peut résulter d'une humidité initiale trop élevée des grains avant le stockage (Torres *et al.*, 2014). C'est pourquoi les fruits à coque doivent alors être rapidement et efficacement séchés afin d'atteindre des niveaux d'humidité ne permettant plus la croissance fongique (10-13 % pour les céréales, 7-10 % pour les noix de cajou, 8 % pour les arachides) et éviter ainsi tout développement fongique éventuel au cours du stockage (Waliyar *et al.*, 2013 ; Diao *et al.*, 2014 ; Torres *et al.*, 2014 ; Ahmadou, 2019).

Le niveau d'humidité atmosphérique élevé dans de nombreux pays, combiné souvent à un séchage insuffisant, contribuent pour beaucoup à la contamination des récoltes et aux niveaux souvent élevés d'aflatoxines observées dans les matières premières agricoles (Torres *et al.*, 2014). Malheureusement, la mise en œuvre des bonnes pratiques de stockage et d'un bon séchage sont souvent difficiles à mettre en œuvre par les agriculteurs (El khoury, 2016).

Une étape importante pour limiter la contamination mycotoxinique pendant le stockage est un tri des grains avant le stockage (Torres *et al.*, 2014). Plusieurs méthodes peuvent être utilisées notamment le tri manuel qui consiste en une séparation selon la taille ou la densité des grains et le tri selon la couleur. Cette dernière technique pourrait réduire le taux d'aflatoxines jusqu'à 91 % (Dorner, 2008). En effet, Les noix endommagées pendant la récolte sont particulièrement sujettes à l'invasion fongique et à la pourriture (Saleh, 2008). La contamination est souvent facilitée par le fractionnement précoce des coques qui conduit à l'infestation par un certain nombre d'insectes hémiptères qui se nourrissent des noix et servent de vecteurs non spécifiques pour les maladies (Hell *et al.*, 2000).

1.3.1.9.2. Méthodes alternatives de lutte et réduction du risque de contamination par les aflatoxines

Selon El himer & Gherras (2017), les procédés de réduction des aflatoxines constituent les stratégies de lutte les plus courantes après récolte. Dans les interventions ayant lieu après la récolte, les stratégies visent surtout à décontaminer les substrats après la synthèse de la toxine ou bien à réduire sa disponibilité en empêchant sa production par les moisissures aflatoxinogènes. A cet effet, plusieurs techniques sont utilisées :

➤ Lutte biologique

Le terme "lutte biologique" recouvre différents concepts selon les disciplines impliquées dans la protection des cultures. La définition officielle par l'OILB (Organisation Internationale de la Lutte Biologique) stipule que la protection biologique est « *l'utilisation d'organismes vivants pour prévenir ou réduire les dégâts causés par des ravageurs* ». Cela consiste à réduire la densité d'un agent pathogène et/ou l'activité de celui-ci (le potentiel infectieux) en mettant en œuvre un ou plusieurs organismes autres que l'Homme (Ajouz, 2009). Ainsi, le contrôle de la croissance des moisissures toxino-gènes par l'usage d'autres espèces fongiques compétitives mais atoxiques ayant des effets dépressifs sur la production de mycotoxines constitue une solution appropriée pour l'élaboration de diverses stratégies de biocontrôle (Kagot *et al.*, 2019).

➤ Lutte chimique

La lutte chimique se définit par l'utilisation de fongicides pour détruire, affaiblir ou réprimer le champignon (Ajouz, 2009). Il a été également démontré que certains produits peuvent agir directement sur la voie de biosynthèse des aflatoxines et bloquer l'activité des enzymes intervenant dans la cascade enzymatique de cette voie (El khoury, 2016). Actuellement, les

produits chimiques restent des outils largement pour lutter contre les moisissures toxigènes en post-récolte et assurer une meilleure conservation de la noix de bouche.

1.3.2. Contaminants chimiques de synthèse : cas des pesticides dans les noix de cajou

Les risques liés aux produits agrochimiques en général et, en particulier aux pesticides, font actuellement l'objet de toute l'attention des médias en termes de communication de dangers qui menacent les Hommes et leur environnement (Congo, 2013). Les pesticides (du latin *pestis* (ravageur) et *caedere* (tuer) désignent l'ensemble des substances chimiques biologiquement actives intervenant notamment dans la protection des cultures et des récoltes. Selon le code de conduite international sur la gestion des pesticides (CCIGP, 2018), le pesticide est : « toute substance ou association de substances chimiques ou biologiques, qui est destinée à repousser, détruire ou combattre les organismes nuisibles ou à être utilisée comme régulateur de croissance des plantes ».

Dans la culture de l'anacardier, les pesticides sont de plus en plus utilisés par les producteurs pour réduire les éventuels dommages provoqués par les parasites et autres nuisibles, mais aussi pour produire en quantité des noix de cajou (Brito de Figueirêdo *et al.*, 2016 ; Yao *et al.*, 2020).

En Côte d'Ivoire, mille quatre cent soixante-douze (1472) spécialités de pesticides sont commercialisées dont seules 11 ont été homologuées et autorisées dans la culture de l'anacardier par la Direction de la Protection des Végétaux, du Contrôle et de la Qualité (DPVCQ) du ministère de l'agriculture et du développement rural MINADER (Tableau VII). Il s'agit essentiellement d'insecticides qui correspondent à 6 matières actives représentées par la deltaméthrine, la bifenthrine, l'imidaclopride, la lambda-cyhalothrine, la cyperméthrine et l'acétamipride. Cependant, dans les parcelles d'anacardier, les herbicides à base de glyphosate sont les pesticides fréquemment utilisés (Brito de Figueirêdo *et al.*, 2016 ; Yao *et al.*, 2020).

Tableau VII : Liste des pesticides homologués et autorisés en Côte d'Ivoire au 15 mars 2018 pour l'anacarde

Nom commercial	Substances actives et teneurs	Cultures / usages autorisés	N° homologation
TYPHON 96 SC	Teflubenzuron : 30 g/l Lambdacyhalothrine : 36 g/l Imidaclopride : 30 g/l	Coton, Cacao, Maraîchers, Anacarde	17 1912 In
TORO 40 EC	Acétamipride : 20 g/l Deltaméthrine : 20 g/l	Cacao, Anacarde	12 1242 In
TIMAYE 0.6 WG	Deltaméthrine : 0.6 g/kg	Mangue, Anacarde	17 1931 In
TEFAN 45 SC	Imidaclopride : 30 g/l Lambdacyhalothrine : 15 g/l	Cacao, Anacarde	11 1074 In
RIMON STAR 65 EC	Novaluron : 35 g/l Bifenthrine : 30 g/l	Cacao, Anacarde	10 0971 In
PIMEX 25 EC	Imidaclopride : 15 g/l Lambdacyhalothrine : 10 g/l	Cacao, Anacarde	11 1073 In
GOUROU SUPER 45 EC	Acétamipride : 20g/l Cyperméthrine : 25 gl	Cacao, Anacarde	13 1279 In
DANTOP 45 SC	Imidaclopride : 30 g/l Deltaméthrine : 15 g/l	Cacao, Anacarde	11 1072 In
CACAO MASSA 50 EC	Imidaclopride : 30 g/l Bifenthrine : 20 g/l	Cacao, Anacarde	11 1070 In
ALTES 45 EC	Acétamipride : 20 g/l Cyperméthrine : 25 g/l	Maraîchers, Anacarde, Maïs et Riz	13 1315 In
AFROMAX 500 EC	Chlorpyrifos ethyl : 400 g/l Cyperméthrine : 100 g/l	Mangue, Anacarde	17 1930 In

Source : Direction de la protection des végétaux, du contrôle et de la qualité (DPVCQ) du ministère de l'agriculture et du développement rural (MINADER)

1.3.2.1. Composition des pesticides

Les pesticides sont composés de deux type de constituants que sont la ou les matière (s) active (s) et l'adjuvant.

- La matière active

La matière ou substance active représente le constituant du produit exerçant l'action pesticide (CCIGP, 2018). La teneur en matière active est exprimée soit en masse par volume (g/L) ou en pourcentage (%) pour les formulations liquides, soit en masse par masse (g/kg) pour les formulations sèches (Boschetto, 2013).

- L'adjuvant

Outre, la ou les substances actives ayant une action pesticide, les produits commerciaux ou formulants, contiennent des adjuvants (solvants, tensioactifs, conservateurs, excipient, surfactants, vecteurs, coloris) et parfois des impuretés de fabrication. Les métabolites de la substance active, les adjuvants et les impuretés peuvent posséder leur propre toxicité ou interférer avec la substance active. Ces adjuvants ont pour rôle d'assurer la stabilité des matières actives durant le stockage et/ou l'utilisation et peuvent souvent potentialiser l'effet des matières actives.

Les formulations les plus répandues sur le marché sont du talc sous forme de poudres mouillables et de granulés solubles (pour les formulations solides) ou du distillat de pétrole sous forme de concentrés émulsionnables, de concentrés solubles et de suspensions concentrées (pour les formulations liquides) (Boschetto, 2013).

1.3.2.2. Classification des pesticides

Les pesticides constituent un ensemble très vaste et hétérogène de composés. Ils sont classés en fonction de l'usage, de l'organisme vivant nuisible ciblé, de la nature chimique de la matière active ou du degré de toxicité du pesticide.

1.3.2.2.1. Classification selon l'usage

Les pesticides sont séparés en deux groupes selon leur utilisation (Camard & Magdelaine, 2010) :

- Les pesticides à usage agricole : encore appelés produits phytosanitaires, il s'agit de l'ensemble des substances utilisées pour lutter contre les maladies des plantes, les animaux ravageurs (insectes), les plantes adventices (« mauvaises herbes » qui colonisent les cultures).
- Les pesticides à usage non agricole ou biocides : ils sont utilisés en hygiène publics (lutte anti-vectorielle), pour lutter contre des espèces végétales jugées envahissantes pour des raisons de sécurité (infrastructure routières, ferroviaires, aéroports) ou d'aménagement paysagers (parcs, jardins, terrains de sport, terrains militaires cimetières) et pour la protection des éléments de construction (charpente).

1.3.2.2.2. Classification selon les cibles à contrôler

Hormis les pesticides spéciaux, on identifie quatre grandes familles de pesticides de synthèse à savoir les insecticides, les herbicides, les fongicides, les rodenticides (Congo, 2013).

- Les insecticides : utilisés pour combattre contre les insectes et les acariens ravageurs. Le mode d'action de ces substances peut être fondé sur la perturbation du système nerveux, la respiration cellulaire, la mise en place de cuticule ou la perturbation de la mue.

Exemple : DDT, lindane, endosulfan, malathion, diazinon, carbaryl, carbofuran, etc.

- Les herbicides : représentent toutes substances actives ou préparations ayant des propriétés pour éliminer les mauvaises herbes. Ils sont dits « sélectifs » ou « totaux ». Les herbicides « sélectifs », détruisent les mauvaises herbes et laissent les cultures intactes tandis que les herbicides « totaux » sont susceptibles de détruire ou d'empêcher le développement de tout végétal avec des persistances d'action variable. Ils agissent sur les plantes en perturbant le fonctionnement de la photosynthèse ou la perméabilité membranaire, la croissance et la biosynthèse cellulaire (lipides, pigments, caroténoïdes, acides aminés).

Exemple : glyphosate, glufosinate, atrazine, simazine aminotriazole etc.

- Les fongicides : sont utilisés pour inhiber ou prévenir le développement des champignons.

Exemple : benomyl, le captofol, le dithane, le thiazole etc.

- Les rodenticides : sont dirigés contre les rongeurs.

Leur utilisation massive et répétée peut engendrer des conséquences néfastes pour toutes les composantes de l'environnement (Akpo *et al.*, 2016).

1.3.2.2.3. Classification selon la composition chimique de la matière active majoritaire dans le mélange

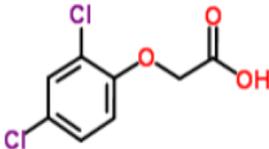
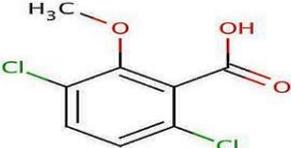
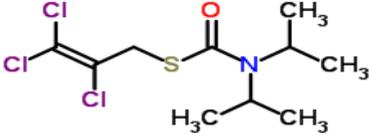
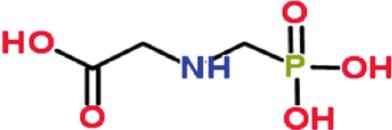
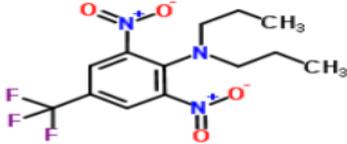
Il existe plusieurs catégories de pesticides (Tableau VIII) que sont :

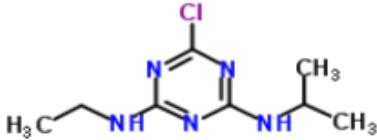
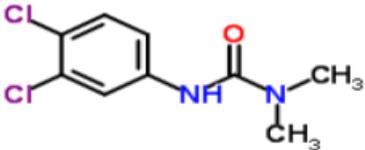
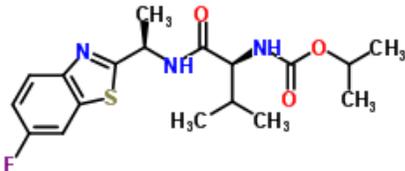
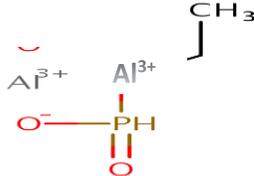
- les pesticides inorganiques : ils sont peu nombreux mais certains sont utilisés en très grandes quantités comme le soufre et le cuivre. Hormis le dés herbant total à base de chlorate de sodium, l'essentiel des pesticides inorganiques sont des fongicides (Naili, 2014).

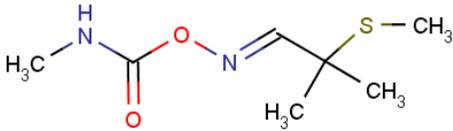
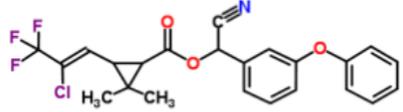
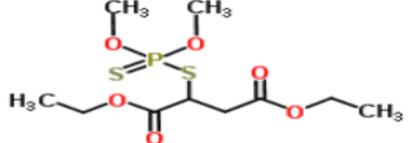
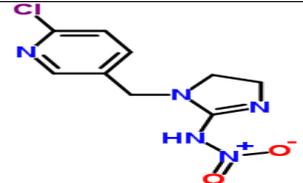
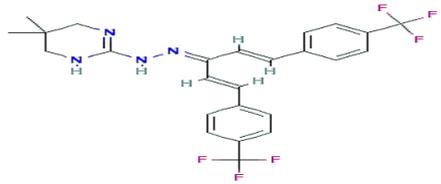
- les pesticides organométalliques : ce sont des fongicides dont la molécule est constituée par exemple d'un métal tel que le zinc ou le manganèse et d'un anion organique dithiocarbamate. Quelques exemples de ces pesticides sont le mancozèbe (avec le zinc) et le manèbe (avec le manganèse) (Naili, 2014).

- les pesticides organiques : ces derniers constituent, de loin, le groupe le plus important et représentent l'essentiel des pesticides utilisés en agriculture. Ils regroupent les pesticides organiques naturels, comme la pyréthrine, et les pesticides organiques de synthèse qui sont très nombreux et appartiennent à diverses familles chimiques. Au sein de ces dernières, les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates, les pyréthrinoïdes de synthèse, les urées substituées, les triazines et les phénols sont les plus représentées (Pesce *et al.*, 2011).

Tableau VIII: Principales familles chimiques de pesticides identifiées par la présence de groupement fonctionnel, d'atomes particuliers ou de groupes secondaires d'atomes et leur mode d'action

Type	Familles chimiques	Exemple de molécules	Formules développées	Mode d'action
Herbicides	Acides chlorophénox-alcanoïques	2,4 D (acide 2,4-dichlorophénoxyacétique)		Perturbation de la régulation de l'auxine
	Acide benzoïque	Dicamba		
	Carbamate	Triallate		Blocage des centre organisateurs des microtubules et désorganisation du fuseau achromatique
	Organophosphorés	Glyphosate [N-(phosphonométhyl)glycine]		Inhibition de la biosynthèse des acides aminés aromatiques
	Amine	Trifluraline		Inhibition de la biosynthèse des acides aminés ramifiés

Type	Familles chimiques	Exemple de molécules	Formules développées	Mode d'action
Herbicides	Triazines	Atrazine		Inhibition de la photosynthèse
	Urées substituées	Diuron		
Fongicide	Carbamates	Benthiavalicarbe		Inhibition de la formation des microtubules
	Azoles	Tétraconazoles		Inhibition de la biosynthèse des stérols
	Organophosphorés	Fosétyl-Al		Inhibition de la germination des spores et de la croissance mycélienne
	Dérivés soufrés, sulfate de cuivre	Bouillie bordelaise		Inhibition de la germination des spores

Type	Familles chimiques	Exemple de molécules	Formules développées	Mode d'action
Insecticides	Triazines	Atrazine		Perturbation de la biosynthèse des mélanines
	Carbamates	Aldicarbe		Perturbation du système nerveux
	Pyréthri-noïdes	λ cyhalothrine		
	Organophosphorés	Malathion		
	Organochlorés	DDT (Dichlorodiphényl-trichloroéthane)		
	Néonicotinoïdes	Imidaclopride		Perturbation du système respiratoire
	Amidinohydra-zones	Hydraméthylnon		

Calvet *et al.*, 2005 ; Diop, 2013 ; Serra *et al.*, 2016.

1.3.2.2.4. Classification selon la toxicité

La toxicité est la capacité intrinsèque d'une substance active à créer des dommages chez l'organisme exposé. Ainsi, sur la base de la dose létale médiane orale ou cutanée (DL50) des pesticides ou en fonction de leur degré de toxicité aiguë ou leur dangerosité, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) classe les pesticides en sept groupes. Il s'agit des groupes : extrêmement dangereux (Ia), modérément dangereux (Ib), faiblement dangereux (II), peu dangereux (III), ne semblent pas dangereux en cas d'usage normal (U), fumigants non classés (FM), utilisation obsolète comme pesticide, non classé (O) (OMS, 2019).

Compte tenu des statuts toxicologiques des pesticides, ces derniers sont considérés comme des produits dangereux. Dans tous les pays, leur utilisation obéit à une réglementation stricte (Tableau IX).

Tableau IX : Classification des catégories de toxicité selon l'OMS et restrictions d'utilisation recommandées

Classification et correspondance	DL50 aiguë (mg/kg de poids vifs chez le rat)				Utilisable par
	Voie orale		Voie cutanée		
	Solide	Liquide	Solide	Liquide	
Ia : Extrêmement dangereux « très toxique »	<5	≤20	≤10	40	Seulement des applicateurs ayant des licences
Ib : Très dangereux « toxique »	5-50	20- 200	10-100	4-400	Des traiteurs bien entraînés, formés et strictement suivis
II : Modérément dangereux « nocif »	50-500	200-2000	100-1000	400-4000	Traiteurs entraînés et suivis qui respectent strictement les précautions prescrites
III : Peu dangereux « attention »	≥500	≥2000	≥100	≥4000	Traiteurs entraînés respectant les précautions de routine

Les mots " solides " et " liquides " se rapportent à l'état de la substance active de la formulation. (Congo, 2013)

1.3.2.3. Pesticides utilisés dans la culture de l'anacarde

Les pesticides sont de plus en plus utilisés dans les vergers d'anacardiens par les producteurs pour réduire les éventuels dommages provoqués par les parasites et autres nuisibles et pour produire en quantité des noix de cajou (Brito de Figueirêdo *et al.*, 2016).

1.3.2.4. Législation et réglementation des pesticides en Côte d'Ivoire

Les pesticides utilisés pour la protection des cultures peuvent engendrer des conséquences désastreuses pour l'environnement, la santé humaine et animale si les conditions de formulation, de transport, de stockage et d'utilisation ne sont pas respectées. Ainsi, pour protéger la santé publique et l'environnement et garantir une bonne utilisation des pesticides selon les bonnes pratiques agricoles, les gouvernements dont celui de la Côte d'Ivoire ont adopté un ensemble de textes législatifs et réglementaires nationaux et internationaux dans l'optique d'une gestion sécurisée des pesticides.

1.3.2.4.1. Normes du *Codex Alimentarius*

Pour assurer la sécurité ou la santé des humains et de l'environnement, des normes ont été mises en place par la Commission du *Codex Alimentarius* sous la supervision du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) et l'OMS (Azandjeme, 2015). Ces normes fixent des seuils de résidus de pesticides (exprimées en mg.kg^{-1}) dans les denrées alimentaires, au-delà desquels les denrées contaminées sont officiellement interdites à la consommation humaine et animale. Il s'agit de limites maximales de résidus de pesticides (LMR) ou de concentration maximale admissible (CMA) pour les pesticides homologués et de limites maximales de résidus de pesticides d'origine étrangère (LMRE) pour les pesticides non homologués et les pesticides polluants organiques persistants. Les valeurs réglementaires sont définies au niveau international par la FAO et l'OMS (*Codex Alimentarius*) et au niveau national par certains pays selon les types de pesticides ou d'aliments (Kolia, 2015). Le tableau X présente quelques LMR pour certains pesticides et légumes.

Tableau X: Limites Maximales en Résidus de pesticides de quelques denrées alimentaires

Denrée alimentaire	Limites maximales de résidus autorisées (mg.kg ⁻¹)		
	2,4-D	Glyphosate	Acétamipride
Blé	2	-	0,1
Noix de cajou	0,2	0,1	0,07
Soja sec	0,01	20	0,01
Mais	0,05	5	0,01
Canne à sucre	0,05	2	0,01
Lait	0,01	0,05	0,2

Source : Commission du *Codex Alimentarius*, 2021

1.3.2.4.2. Législation dans le secteur des pesticides en Côte d'Ivoire

❖ Au plan International

En Côte d'Ivoire, les pesticides sont utilisés dans les domaines tels que l'agriculture, la santé et l'hygiène publique. Cependant, le secteur agricole est le plus grand consommateur des pesticides au niveau du pays. A cet effet, la Côte d'Ivoire a signé et ratifié tous les textes internationaux liés à la gestion des produits chimiques tels que :

- La Convention de Bâle sur le contrôle des mouvements transfrontalières des déchets dangereux et de leur élimination, ratifiée par la Côte d'Ivoire le 20 juin 1994 ;
- La Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, ratifiée le 20 janvier 2004 ;
- La Convention de Rotterdam sur la procédure PIC a été également ratifiée par la Côte d'Ivoire le 20 janvier 2004.

❖ Au plan national

La législation nationale de la Côte d'Ivoire concerne les lois, les décrets et les arrêtés dont le pays dispose en matière de gestion des produits chimiques en vue de protéger la santé humaine et l'environnement. On peut citer principalement :

- 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,

- Le décret 90-1170 du 10 octobre 1990 modifiant le décret 61-381 du 1^{er} décembre 1961 fixant les modalités de fonctionnement du contrôle, du conditionnement des produits agricoles à l'exportation.
- Le décret 89-02 du 04 janvier 1989 relatif à l'agrément de la fabrication, la vente et l'utilisation des pesticides en Côte d'Ivoire,
- La constitution ivoirienne de 2000 en son article 19,
- Le code de l'environnement du 3 octobre 1996 consolide, entre autres, la gestion des produits chimiques.

1.4. Risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires

Les pesticides destinés à prévenir et combattre les ravageurs et les nuisibles, peuvent dans certaines circonstances, entraîner des effets indésirables sur la santé ou l'environnement (Son *et al.*, 2017).

1.4.1. Impact des pesticides sur la santé et l'environnement

1.4.1.1. Impact des produits phytosanitaires sur la santé de l'Homme

Selon les circonstances, les produits phytosanitaires peuvent provoquer plusieurs formes d'intoxication en fonction de la rapidité d'apparition des symptômes, de leur sévérité, de leur durée ou de la rapidité d'absorption de la substance toxique (Amiard, 2017).

Parmi les formes d'intoxication, on en distingue deux types essentiellement :

- L'intoxication aiguë : l'apparition de la toxicité est de courte durée, l'absorption du toxique est rapide et les manifestations d'intoxication sont rapides (vertige, allergies cutanées). Toutefois, avec une dose unique suffisamment forte, la mort pourrait survenir rapidement (Hyo-Wook *et al.*, 2013) ;

- L'intoxication chronique : les expositions sont répétées sur une longue durée (plusieurs années) et la manifestation de l'intoxication dépend soit du poison qui s'accumule, soit des effets engendrés qui s'additionnent. Ce type d'intoxication provoque souvent le cancer, les effets neurologiques, dermatologiques et la perturbation du système endocrinien (Congo, 2013).

La contamination aux pesticides peut s'observer dans l'exercice d'une profession (exposition professionnelle) ou dans la vie courante (exposition non professionnelle) liée à la consommation d'aliments contenant des résidus de pesticides (Azandjeme, 2015).

1.4.1.2. Impact des pesticides sur l'environnement

L'utilisation des pesticides exerce un impact préjudiciable important sur l'environnement en entraînant des effets délétères sur des cibles autres que celles qui étaient visées par la fraction du produit appliquée qui n'est interceptée ni par les plantes ni fixée et dégradée par le sol (Melvin, 2000). Selon Kolia (2015), 10 à 70 % de la fraction du produit appliquée dérivent vers le sol et 30 à 50 % vers l'air d'où la pollution de l'eau et des milieux aquatiques, de l'air et des sols (Gouda *et al.*, 2018). Le niveau de contamination de l'environnement par le pesticide va dépendre essentiellement de ses caractéristiques, à savoir :

- la solubilité (solubilité dans l'eau) ;
- Le comportement du pesticide dans le sol : (rétention, dégradation et dissipation) ;
- la demi-vie (persistance du pesticide dans l'environnement).

1.4.2. Facteurs à risque sanitaire et environnemental lié à l'utilisation des pesticides

1.4.2.1. Facteurs influençant la toxicité des pesticides due à l'exposition professionnelle

L'exposition de l'opérateur aux pesticides peut se produire lors de la préparation de la bouillie et leur application et plusieurs facteurs peuvent modifier cette exposition. Les propriétés intrinsèques des pesticides en constituent l'un des premiers facteurs. Selon les études, les produits sous forme de poudre sont plus exposants (Xuehua *et al.*, 2020). Cependant, les formulations liquides pénètrent plus rapidement dans l'organisme à travers la peau, surtout par les mains (Flores *et al.*, 2011).

Les risques sont aussi liés aux conditions de manipulations et d'application. En effet, 90 % de l'exposition a lieu durant l'opération de dosage ou de la préparation de la bouillie (Flores *et al.*, 2011 ; Ouedraogo *et al.*, 2014).

Pour Baldi *et al.*, (2006), la pulvérisation est responsable de 50 % de l'exposition journalière totale. Cette forte exposition serait due à l'absence ou à un mauvais usage des équipements de protection individuelle (EPI) et à des débordements de la cuve (Nganoah, 2009).

La qualité de l'appareil est aussi un facteur à risque, car les pulvérisateurs manuels favorisent une exposition plus importante de l'opérateur que les pulvérisateurs motorisés du fait de la proximité des buses sur les systèmes portés (Nuyttens *et al.*, 2009).

Durant l'application des produits phytosanitaires, les fortes températures et l'humidité élevée, augmentent la pénétration des produits à travers la peau (Fenske & Edgar, 2005 ; Gil *et al.*, 2008 ; Vitali *et al.*, 2009).

Aussi, le niveau d'instruction et de formation de l'opérateur est un paramètre important pouvant influencer l'exposition de l'opérateur aux pesticides (FAO, 2001). Plus l'opérateur est instruit et formé, plus l'exposition diminue car il a une compréhension et un respect des informations mentionnées sur les étiquettes (dose à appliquer, consignes de sécurité, etc.) (Machado-Neto, 2001 ; Lebailly *et al.*, 2009).

Le respect de l'hygiène corporelle après application des pesticides permet de réduire également l'exposition professionnelle (Nganoah, 2009). Les enfants, les femmes, les personnes âgées et les individus qui ont des problèmes de santé sont habituellement les plus sensibles aux pesticides (FAO & OIT, 2013).

1.4.2.2. Facteurs influençant la contamination dans les produits alimentaires

Les risques pour la santé des consommateurs de produits contaminés aux pesticides sont essentiellement liés à la présence de leurs résidus dans les aliments. Les niveaux de résidus dans les différents produits agricoles et agroalimentaire sont influencés par certains facteurs (Nganoah, 2009) notamment :

- Les propriétés de la matière active : rémanence, photolabilité, solubilité, volatilité ;
- le respect de la dose recommandée ;
- le type de formulation utilisée ;
- la qualité des applications due aux formations sur les risques toxicologiques des pesticides ;
- les conditions agro-écologiques qui prévalent, exemple : nature du sol, microbiologie du sol, conditions atmosphériques ;
- la croissance et la physiologie de la plante ;
- le respect ou non de la dose du produit ;
- le respect ou non du nombre de traitements recommandés ;
- l'utilisation de produits recommandés ou non pour les cultures traitées.

1.4.2.3. Facteurs influençant la pollution environnementale

L'utilisation des pesticides en agriculture a souvent des répercussions néfastes sur l'environnement. Cela dépend essentiellement de quatre facteurs (Gabriel *et al.*, 2018 ; Pazikowska-Sapota *et al.*, 2020) :

- les propriétés du sol : il s'agit ici de la texture, la perméabilité, le pH et la teneur en matière organique du sol. Ces paramètres influent sur l'infiltration, la chélation et la rétention des substances actives des pesticides et de leurs métabolites ;
- les propriétés du pesticide : le niveau de pollution des pesticides est dépendant de la solubilité et du coefficient de partage octanol/eau (KOW), du coefficient d'adsorption (Kd), du temps de demi-vie (DT50) des matières actives et de leurs métabolites ;
- les caractéristiques du site : conditions géologiques (perméabilité des horizons du sol), profondeur des eaux souterraines et du climat ;
- les pratiques d'utilisation des pesticides : notamment les doses recommandées, la fréquence des applications et le délai à respecter avant l'entrée dans les plantations traitées. Aussi, le vent a des effets sur la répartition du produit ; ce qui engendre la contamination des écosystèmes. En effet, lors de la pulvérisation et en fonction du vent, 30 à 50 % de la quantité appliquée du produit peut être perdue dans l'atmosphère, sans atteindre les plantes cibles (Aubertot *et al.*, 2005 ; Gil *et al.*, 2008). C'est pourquoi, les vitesses de vent admises se situent entre 1 et 2 m/s (FAO, 2001 ; El-Aissaoui, 2015).

1.4.3. Evaluation des risques résultant des pratiques phytosanitaires en milieu professionnel agricole

1.4.3.1. Logiciels d'aide à la décision

Les méthodes de prédiction de la pollution de l'environnement et d'une exposition humaine potentielle sont réalisées grâce à des logiciels. Les logiciels PIRI et PRZM (Pesticides Root Zone Model) qui permettent respectivement de quantifier la pollution et la toxicologie de l'environnement par les pesticides et de calculer l'exposition potentielle en milieu professionnel agricole (Nganoah, 2009 ; Son, 2018). D'autres logiciels comme EToPhy et Uk-poem sont des logiciels d'aide à la décision permettant d'évaluer les risques résultant des pratiques phytosanitaires sur la santé de l'utilisateur et sur l'environnement grâce au calcul de deux

indicateurs : l'IRSA (Indicateur de Risque pour la Santé de l'Applicateur) et l'IRTE (Indicateur de Risque de Toxicité sur l'Environnement) (Gouda *et al.*, 2018 ; Son *et al.*, 2018).

1.4.3.2. Analyse des « dangers » et analyse des « risques »

Les analyses de danger et de risques n'évaluent que les dangers et risques pouvant générer de réelles conséquences néfastes pour la santé du consommateur. Ce sont des systèmes d'analyse qui permettent une réflexion ou une démarche systématique et préventive pour assurer la qualité et la sécurité des produits alimentaires.

L'analyse des dangers ou « Hazard analysis » est un terme faisant partie du système Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) dans le cadre de la sécurité alimentaire. Selon le *Codex Alimentarius*, la méthode HACCP est un outil de l'assurance qualité permettant l'identification des dangers (biologiques, physiques, chimiques ou nutritionnels) associés à la production, à la transformation et à la distribution d'un produit alimentaire, ainsi que l'évaluation et la maîtrise de leur sévérité et la fréquence de leur apparition. La caractérisation ou l'analyse de ce danger repose sur l'examen de quatre attributs à savoir la nature de l'agent, la gravité des dommages, la présence de l'agent et du risque ou la probabilité de manifestation du danger (Schiffers & Samb, 2011).

Quant à l'analyse des risques, elle consiste à répondre aux trois questions suivantes (Wall, 2011) :

- Qu'est-ce-qui peut conduire à des situations de danger ?
- Quelles sont les probabilités pour que ces situations se produisent ?
- Si elles se produisent, à quelles conséquences doit-on s'attendre ?

La première question consiste à rechercher les scénarios (Si) pouvant conduire à une défaillance. La deuxième question consiste à évaluer la possibilité d'apparition de chaque scénario « Si » à partir d'une mesure d'occurrence (dans une approche probabiliste, il s'agira de la probabilité P_i associée à S_i). La troisième question va porter sur la description et l'estimation des conséquences « Ci » liées au scénario « Si ». Ainsi, l'activité d'analyse de risques va consister à évaluer le risque R défini par l'ensemble des triplets : $R = \langle S_i, P_i, C_i \rangle$ (Son, 2018).

1.4.3.3. Indicateurs de risque des pesticides

Les indicateurs de risque des pesticides sont des outils de plus en plus utilisés pour évaluer les risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires. C'est le cas de l'indicateur de risque des pesticides du Québec « IRPeQ ». Cet outil de diagnostic et d'aide à la décision a été

conçu pour optimiser la gestion des pesticides. Il comprend un volet santé (IRPeQ-santé) et un volet environnement (IRPeQ-environnement) (Bouagga *et al.*, 2016 ; Son *et al.*, 2018) respectivement. Ces volets permettent d'établir un diagnostic situationnel et évolutif des risques découlant de l'utilisation des pesticides à différents niveaux :

- ✓ À l'échelle du producteur
 - Facilite les choix de pesticides les moins à risque pour la santé humaine et l'environnement.

- ✓ À l'échelle d'une entreprise ou d'un secteur
 - Analyse de l'évolution des risques liés aux pesticides utilisés par une entreprise ou dans un secteur d'activité (p. ex. ferme maraîchère, verger, entreprise d'entretien paysager).
 - Prise en compte des risques relatifs aux pesticides lors de la planification saisonnière des interventions phytosanitaires et des stratégies de lutte contre les ennemis des cultures.

- ✓ À l'échelle d'un pays
 - Production de bilans des risques pour la santé et l'environnement liés aux pesticides utilisés ou vendus.
 - Évaluation et suivi de l'impact des diverses mesures d'atténuation des risques relatifs aux pesticides

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

2.1. Sites d'étude

2.1.1. Présentation des sites

Les travaux ont été effectués sur différents principaux sites d'études :

- l'analyse des pratiques culturelles dans la production des noix de cajou a nécessité des enquêtes qualitatives et quantitatives dans trois départements de la Côte d'Ivoire. Ce sont les départements de Mankono, Dabakala et Bondoukou (Figure 17) issus respectivement des régions du Béré, du Hambol et du Gontougo. Ces départements considérés comme des zones de production dans notre étude, ont également servi de sites pour l'évaluation de l'exposition des producteurs aux pesticides.
- les tests de récolte et de post récolte sur la qualité des noix de cajou ont été réalisés dans des vergers de certains villages du département de Bondoukou.
- les analyses biochimiques, toxicologiques et microbiologiques ont eu lieu dans les laboratoires du LANADA et d'Agrovalorisation de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa.

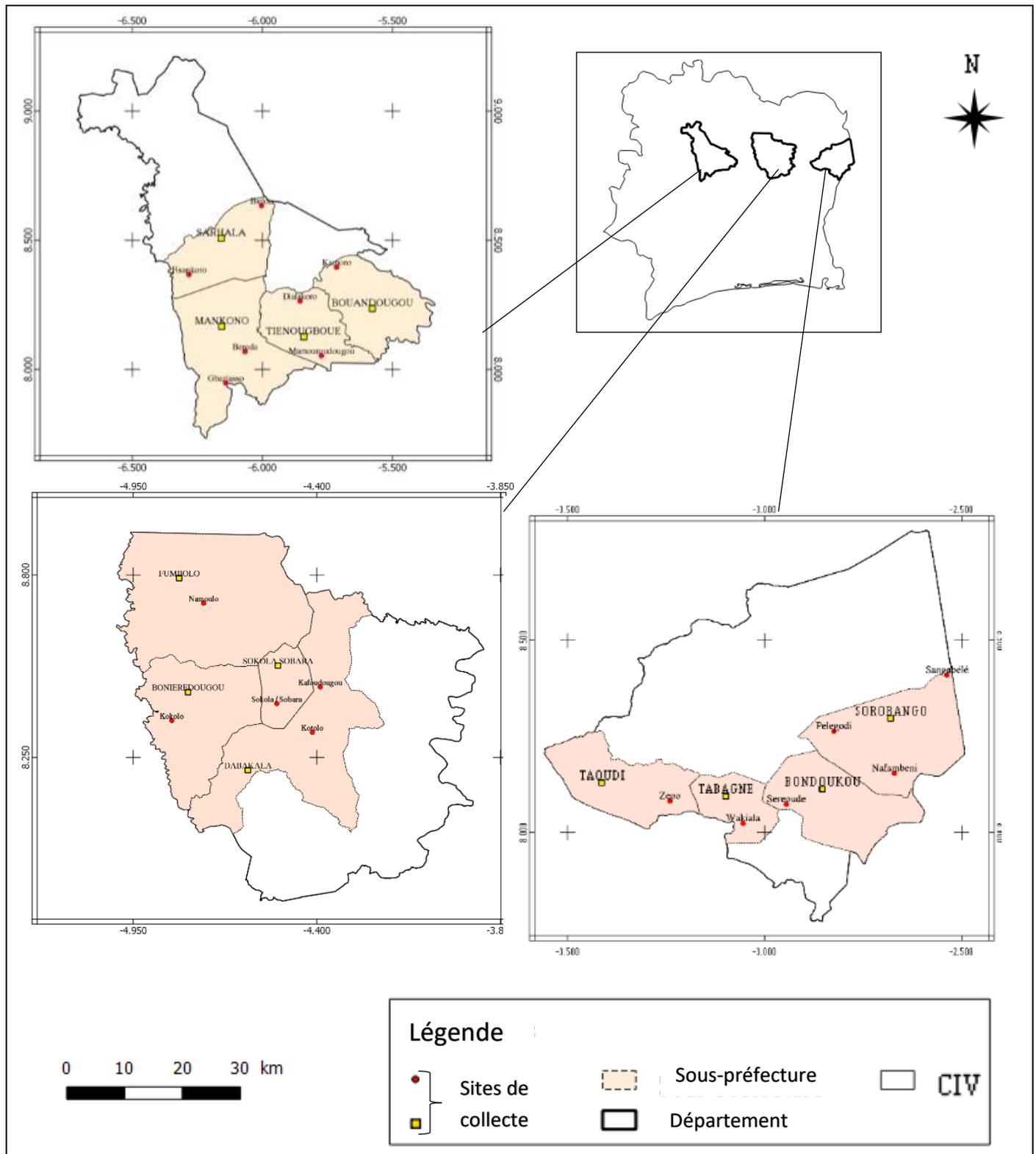


Figure 17: Carte de la Côte d'Ivoire présentant la situation géographique des zones d'étude

2.1.2. Caractéristiques des zones d'étude

Selon la fiche synoptique d'achat de noix de cajou (Anonyme 2), les départements de Mankono, Dabakala et Bondoukou représentent les principales zones de production de noix de cajou avec 40 % de l'offre nationale.

2.1.2.1. Département de Mankono

Le département de Mankono est une localité du Nord-ouest de la Côte d'Ivoire. Il se caractérise par un climat de type sub-soudanéen et se trouve à 455 km de la capitale économique Abidjan et s'étend sur une superficie d'environ 10660 km² (Kaman, 2013 ; RGPH, 2014a). Il représente la plus importante zone de production de noix de cajou en Côte d'Ivoire avec plus de 60000 tonnes de noix brutes produites en 2017 (Anonyme 2). La pluviométrie moyenne annuelle est forte de 1221 mm. Les sols de ce département sont de type ferrisols avec des pH compris entre 4,8 et 7 (Diomandé, 2013 ; climat.data.org, 2020).

2.1.2.2. Département de Dabakala

Le département de Dabakala est situé au Centre Nord de la Côte d'Ivoire. Cette localité se trouve à 498 km d'Abidjan et couvre une superficie de 9670 km². Les sols sont généralement argilo ferralitiques et argilo-sableux peu profonds. Le climat est à cheval sur le climat baouléen et le climat soudanéen avec une prédominance du climat soudanéen (Kanga, 2017). Le département est moyennement arrosé (1100 mm). Les précipitations sont variables mais inégalement réparties sur toute l'année (Brou *et al.*, 2018). Pour ce qui est de la culture d'anacardiens, la zone de Dabakala représente le second pourvoyeur de noix de cajou du pays.

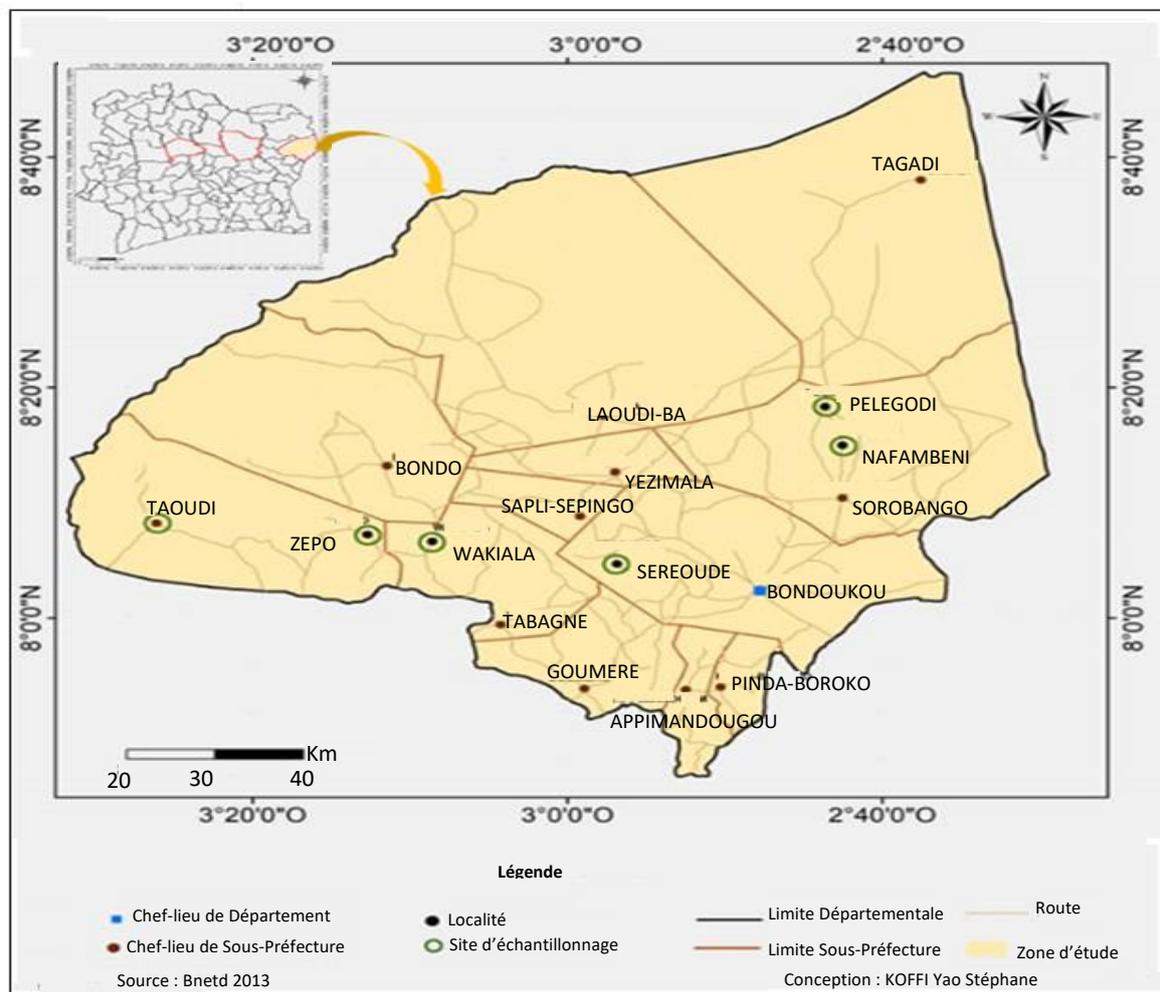
2.1.2.3. Département de Bondoukou

Quant au département de Bondoukou, il est situé au Nord-Est de la Côte d'Ivoire à 420 km d'Abidjan. Cette zone s'étend sur une superficie de 7208,94 km² (RGPH, 2014b). Le département de Bondoukou appartient à une zone intermédiaire située entre la zone guinéenne et soudano-guinéenne (Brou *et al.* 2018). Il fait partie des trois principales zones de noix de cajou du pays (Anonyme 2). La pluviométrie moyenne interannuelle est inférieure à 1048,6 mm de pluie et l'harmattan est très rude durant les mois de décembre et de janvier (Brou, 2005 ; Ducroquet *et al.*, 2017). Les sols sont généralement ferralitiques. Ils sont drainants, profonds caractérisés par une texture argilo-sableuse.

2.1.3. Caractéristiques des sites pour les tests de récolte et de post-récolte

Des études expérimentales ont été réalisées sur les traitements de récolte et post récoltes des noix de cajou dans la zone de Bondoukou durant le mois de mai, pendant la campagne agricole 2017-2018. Les expérimentations relatives à la récolte et aux traitements post récoltes ont été réalisées dans les villages de Kiramissé (sous-préfecture de Taoudi) dans la zone forestière et de Pélégoudi (sous-préfecture de Sorobango) dans la zone de savane (Figure 18). Outre cette particularité, ces villages sont diamétralement opposés et distants l'un de l'autre. Durant ce mois, les températures moyennes varient très peu selon les localités, de 27,8 à 27,3°C et la pluviosité oscille autour de 156 mm de pluie (climat.data.org, 2020).

Figure 18: Localisation des sites expérimentaux de collecte des échantillons



2.2. Matériel d'étude

2.2.1. Matériel biologique

Le matériel biologique de l'étude est constitué de noix de cajou marchandes (prêtes à être vendues) de l'espèce *Anacardium occidentale* L. qui ont été achetées d'une part avec les producteurs et d'autre part, obtenues au cours d'expérimentations. Ces noix ont été ensuite stockées pendant 6 mois dans un entrepôt sis à Bouaké à la température ambiante de $31^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et $77\% \pm 9\%$ d'humidité relative.

2.2.2. Matériel technique pour les expérimentations

Le matériel technique est constitué de différents supports de séchage. Ce sont la claie, la bâche et l'aire cimentée comme le montre la figure 19.

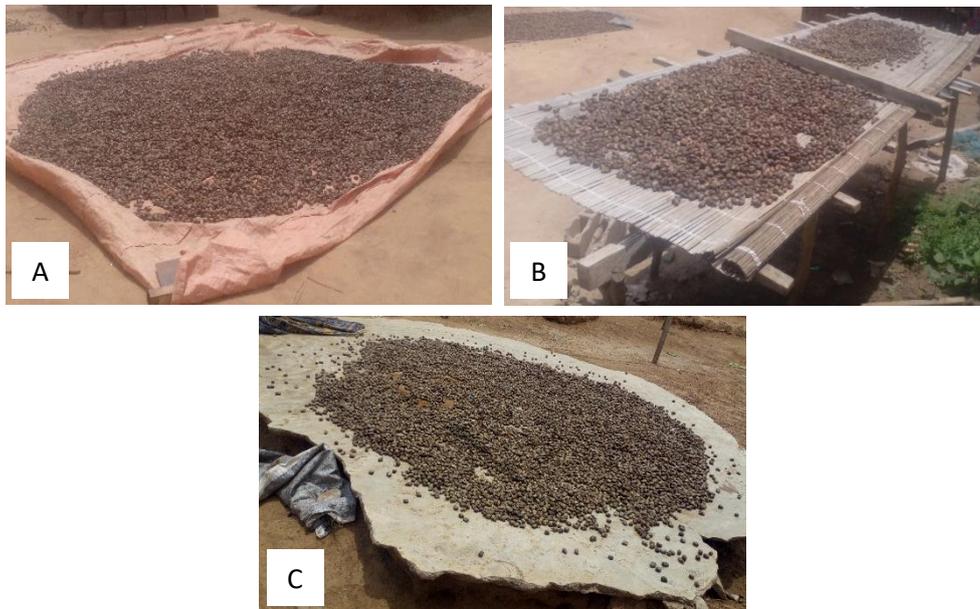


Figure 19 : Différents types de supports de séchage des noix de cajou utilisés lors de l'étude :
A : Bâche, B : Claie, C : Aire cimentée

2.2.3. Matériel de laboratoire

Plusieurs instruments ou appareils ont été utilisés au cours de cette étude au nombre desquels figurent :

- ✓ Pour la caractérisation morphométrique : pied à coulisse électronique (*Dexter*) de précision 0,1 cm, balance (OHAUS CS SERIES, Model CS 200E) de précision 0,01g, une pince "calao" ;

- ✓ Pour les analyses physicochimiques : réfractomètre (Atago, Japon), pH-mètre (Hanna), étuve isotherme (Memmert, modèle SCHWABACH 854, Allemagne), four à moufle (Nabertherm GmbH, Allemagne), cartouches Whatman (22 mm x 80 mm), soxhlet (Lenz Laborglasinstrumente™), distillateur (APPHUI1000), spectromètre d'absorption atomique (Shimadzu AA-700, Japon), mortier en porcelaine (AVIGNON), une Chromatographie Gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme (GC- FID) ;
- ✓ Pour les analyses mycologiques : autoclave (OT 012, France), boîte de Petri ;
- ✓ Pour les analyses toxicologiques : Blender (Waring commercial, Laboratory Blender, Allemagne), agitateur vortex (Heidolph 541-10000-00, France), centrifugeuses, lecteur Vicam (Vicam-Afla Test WB SR, France) ; bande Afla-V ; la verrerie courante de laboratoire, une Chromatographie Liquide de Haute Performance (CLHP), un évaporateur rotatif (BUCHI R-250, Hollande) (pour l'évaporation des solvants volatils) muni d'une pompe à vide (BUCHI V-700) et d'un bain-marie (BUCHI B-491), des colonnes d'immunoaffinité (Afla-Prep, France) (pour la purification/concentration des solutions d'Aflatoxines), une balance électronique (Shimadzu UW4200H, Japon) (pour les pesées de précision $\pm 0,01$ g), une étuve (BINDER, Allemagne) (pour le séchage et l'étuvage des échantillons et de la verrerie), un mixeur Ultra-thurax (OMNI-MIXER, Italie) (pour homogénéiser les échantillons), un bain à ultrasons (Elma S-100, Allemagne) (pour chasser les bulles d'air des solutions et la dissolution des solutés), une centrifugeuse (UNIVERSAL 320R ; HETTICH, Allemagne) (pour la centrifugation des échantillons), un agitateur (KS 130BAS de marque IKA, Hollande) (pour homogénéiser les solutions), broyeuse alimentaire à marteaux (SKF-SY508M, Côte d'Ivoire) (pour le broyage des noix de cajou).

2.3. Approche méthodologique

2.3.1. Analyse des pratiques culturelles dans la production des noix de cajou

Les pratiques culturelles dans la production des noix de cajou marchandes existantes ont été recensées et analysées au moyen d'une enquête qualitative et quantitative sur les sites de production. L'enquête qualitative a servi à appréhender les pratiques courantes adoptées par les producteurs pour la production des noix de cajou brutes, tandis que l'enquête quantitative a permis de les quantifier.

2.3.1.1. Enquête qualitative

Avant la prospection proprement dite sur les pratiques culturelles dans la culture de l'anacardier, une étude pilote, qui a duré deux mois (de mai à juin 2017), a été conduite dans les grandes zones de production de noix à savoir Bondoukou, Dabakala et Mankono. Elle a été réalisée par des entretiens individuels et de groupes. Ce qui a permis de redéfinir et réadapter la méthodologie de recherche et l'élaboration du questionnaire (annexe 1).

2.3.1.2. Enquête quantitative

Des entretiens individuels selon la technique de face à face (ce qui a évité les incompréhensions avec nos interlocuteurs) avec les producteurs, et une observation *incognito* nous ont permis de collecter les informations et d'avoir une idée globale sur les méthodes pré et post-récolte de production des noix de cajou. A cet effet, deux questionnaires (annexe 1) ont été établis. Le premier a porté sur les pratiques d'utilisation des produits phytosanitaires par les producteurs d'anacardier et leur comportement à risque pouvant avoir des répercussions sur l'environnement et la santé. Le second a concerné les pratiques de production adoptées le long du circuit de pré et post-récolte dans la culture de l'anacardier. Pour mener à bien cette étude, d'emblée une stratification des localités sur la base des axes cardinaux dans chaque zone d'étude a été réalisée. Puis, le choix de chaque localité pour l'étude par zone a été déterminée par un tirage aléatoire systématique à partir de la base de données des localités retenues par strates.

2.3.2. Taille et répartition de la population interviewées

Sur la base de la liste fournie par les structures partenaires, une population totale de 805 producteurs issue des localités choisies dans toutes les trois zones de production, a été dénombrée. Un calcul statistique suivant la formule de Lurch (1) a été utilisé et un échantillon nécessaire de 261 producteurs a été obtenu.

$$\text{Taille de l'échantillon} = \frac{N \times Z^2 \times p (1-p)}{N \times d^2 + Z^2 \times p (1-p)} \quad (1)$$

Où N= Taille de la population, d= Marge d'erreur, P= Proportion de production considérée, Z=Intervalle de confiance choisi pour un niveau de fiabilité de 95 %.

Pour chaque zone de production, un échantillon de 15 à 25 producteurs a été constitué par localité retenue. Au final, un échantillon de 386 producteurs a été obtenu, ce qui est largement supérieur à la taille minimale de producteurs nécessaire pour l'étude (Tableau XI).

Tableau XI: Répartition de producteurs à interviewer par zones de production

Département	Nombre total de producteurs recensés	Nombre de producteurs enquêtés	Taux de sondage (%)
Mankono	345	147	43
Dabakala	260	125	48
Bondoukou	200	114	57

2.3.3. Evaluation de la qualité des noix de cajou des zones d'étude

La qualité des noix de cajou brutes peut ainsi se décliner en trois éléments : la qualité technologique (propriétés agro-morphométriques et aspects technologiques), nutritive et sanitaire.

2.3.3.1. Echantillonnage pour la détermination de la qualité des noix de cajou

2.3.3.1.1. Collecte auprès des producteurs

Après l'enquête, des prélèvements de noix ont été effectués pendant les années agricoles 2017-2018 et 2018-2019 auprès des 386 producteurs interviewés pour en évaluer la qualité. Au total, 21 localités ont été sélectionnées soient 6 localités dans la région de Bondoukou, 5 localités dans la région de Dabakala et 10 localités dans la région de Mankono. L'intensité de la production de noix a été le critère déterminant la taille de l'échantillon dans chaque région (Ndiaye *et al.*, 2020). Les prélèvements ont été réalisés à partir des stocks de noix séchées des producteurs pour constituer les échantillons. Ces échantillons ont ainsi permis de constituer 3 différents lots de noix de cajou selon leurs origines. Le lot de Mankono a été constitué avec 108 échantillons, ceux de Dabakala et Bondoukou avec 87 et 91 échantillons respectivement, en raison de 0,67 à 3,22 kg/échantillon. Au total, 286 échantillons ont été collectés, soit 802,13 kg de noix (Tableau XII). Tous les échantillons ont été collectés dans des sacs de jute et stockés par lot dans un entrepôts à température ambiante à Bouaké.

Tableau XII: Nombre d'échantillons et quantité de noix collectée par zone de production

Zones de production	Situation géographique	Nombre d'échantillons	Quantité de noix collectée (kg)
Bondoukou	Est	91	234,29
Dabakala	Centre-Nord	87	221,56
Mankono	Nord-Ouest	108	346,28
TOTAL		286	802,13

2.3.3.1.2. Prélèvement des noix de cajou dans entrepôt après six (6) mois de stockage

Sur chaque lot, des échantillons élémentaires ont été prélevés afin de constituer un échantillon de laboratoire. Ces prélèvements ont été effectués selon le type d'analyse :

✓ Pour le contrôle des teneurs en mycotoxines dans les noix, les prélèvements ont été réalisés selon le règlement européen n°401/2006 (Reg. 401/2006). La masse des lots échantillonnés étant comprise entre 200 et 500 kg, un échantillon était constitué de 20 échantillons élémentaires de 300 g chacun prélevés en divers points repartis sur l'ensemble du lot. Ainsi, 3 échantillons de noix de chaque lot ont été collectés. Au total, 9 échantillons de laboratoires de 6 kg chacun ont été prélevés pour le dosage des mycotoxines et 9 autres échantillons de laboratoire pour celui des résidus de pesticides.

✓ Pour l'évaluation de la qualité technologique et nutritive des noix, un échantillon représentatif de 10 kg de chaque lot a été prélevé selon la norme internationale ISO 2859 (ISO 2859-1). La méthode des quarts a été ensuite utilisée pour séparer les échantillons destinés aux analyses physicochimiques de ceux destinés à la caractérisation des traits morphométriques et technologiques des noix. Chaque échantillon représentatif a donc été bien mélangé et divisé en 4 parties sensiblement égales et les 2 fractions opposées ont été réunies pour constituer 2 échantillons de laboratoire destinés chacun à un type d'analyse.

2.3.3.2. Evaluation de la qualité technologique des noix de cajou

2.3.3.2.1. Détermination de la masse et proportion des noix et amande de cajou

La masse unitaire des noix et amande de cajou a été obtenue par des pesées individuelles selon la norme ISO-520. Pour déterminer la masse des 1000 noix et amandes de cajou, 100 noix de cajou brutes ont d'abord été sélectionnées au hasard, pesées individuellement à l'aide d'une balance électronique de précision 0,001g et décortiquées. Les amandes à l'intérieures ont également été pesées individuellement. Ensuite, le poids des 100 noix et amandes a été multiplié

par 10 pour déterminer la masse de 1000 noix et amandes. La mesure des 1000 noix et amandes de cajou a été effectuée avec 5 répétitions pour chaque zone de production. Enfin, les différents composants de la noix, à savoir la coque, l'amande et la pellicule, ont été soigneusement séparées et pesées individuellement afin d'évaluer leurs proportions en masse (%) dans la masse totale de la noix de cajou brute. La proportion en pourcentage (%) de la coque P_c , de l'amande P_a ou de pellicule P_p été calculée suivant la formule (2) (Passannet *et al.*, 2018).

$$P_i = \frac{m_i}{m_n} \times 100 \quad (2)$$

Où m_n , m_i , sont respectivement les masses en g de la noix entière, et du composant i considéré.

2.3.3.2.2. Détermination des caractéristiques morphométriques des noix et amandes de cajou

Les caractéristiques morphométriques ont été déterminées sur un échantillon de 300 noix prélevées au hasard dans les lots d'échantillons de chaque zone de production. Pour chaque noix de cajou prise individuellement, trois dimensions principales, à savoir la longueur (L_n), la largeur (l_n) et l'épaisseur (Ep_n) ont été déterminées. Pour déterminer les dimensions principales de l'amande, la noix de cajou a été cassée manuellement ; puis la longueur (L_{am}), la largeur (l_{am}) et l'épaisseur (Ep_{am}) de l'amande ont été mesurées. Pour toutes les mesures, un pied à coulisse numérique d'une précision de 0,01 mm a été utilisé mesurées (Figure 20).

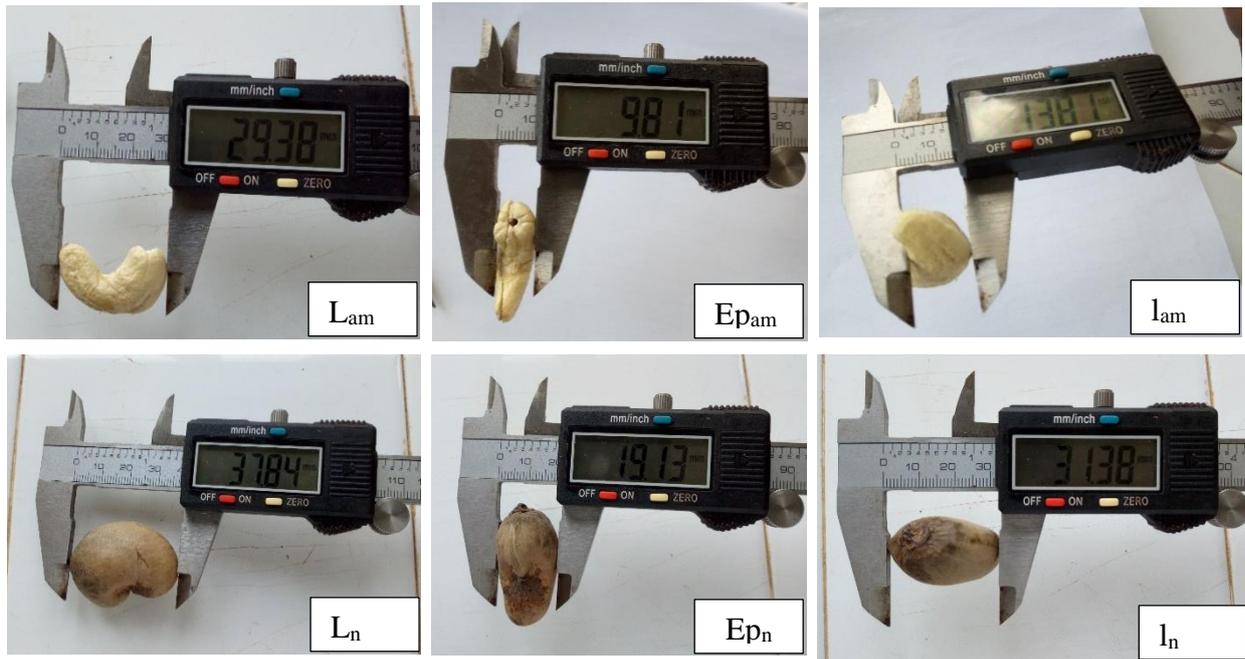


Figure 20: Photographies présentant des étapes de manipulation pour la détermination des paramètres morphologiques

L'élongation (E), le degré d'aplatissement (A), le diamètre arithmétique moyen (Da), le diamètre géométrique moyen (Dg) et la sphéricité (φ) des noix et des amandes ont été déterminés à l'aide des équations (3), (4), (5) (6) et (7) (Mirzabe *et al.*, 2013 ; Danebe *et al.*, 2019).

$$E = \frac{L}{l} \quad (3)$$

$$A = \frac{l}{Ep} \quad (4)$$

$$Da = \frac{L + l + Ep}{3} \quad (5)$$

$$Dg = \sqrt[3]{L \times l \times Ep} \quad (6)$$

$$\varphi = \frac{\sqrt[3]{L \times l \times Ep}}{L} \times 100 \quad (7)$$

Les données ci-dessus obtenues ont permis de calculer la surface (S), le volume (V) et l'aire projetée (Ap) des noix et des amandes de cajou. Ces paramètres ont été calculés à l'aide des équations (8), (9) et (10), citées par Mirzabe *et al.*, (2013) :

$$S = \pi \times Dg^2 \quad (8)$$

$$V = \frac{(\pi \times Dg^3)}{6} \quad (9)$$

$$Ap = \frac{\pi \times L \times l}{4} \quad (10)$$

2.3.3.2.3. Détermination des caractéristiques marchandes des noix de cajou

- **Grainage ou Net-compte**

Le grainage est le nombre de noix par kilogramme. Ce premier critère visible d'appréciation des noix brutes de cajou exprime le nombre de graines dans un kilogramme de noix brute. Généralement, la valeur commerciale augmente avec la taille de la noix. Dans ce travail, la grille proposée par Gilleo *et al.* (2011) a été utilisée pour évaluer le grainage. Ainsi, dans chaque sous-échantillon de noix, 1 kg de noix a été pris et le nombre de noix a été compté.

- **Taux de défaut**

Le taux de défaut (TD) mesure la quantité de noix de l'échantillon présentant un défaut : noix immatures et piquées (noix rejetées à 50 %) + noix rabougries, noix vides, noix mitées, noix moisies, noix beurrées (noix rejetées à 100 %). Pour le mesurer, on pèse les noix + les coques de ces deux catégories. Il se calcule suivant la formule:

$$TD (\%) = \frac{P_2 + P_3}{P_1} \times 100 \quad (11)$$

Avec :

P₁ : le poids total de l'échantillon de noix ; P₂ : le poids des noix rejetées à 50% et P₃ : le poids des noix rejetées à 100 % ;

- **Test de rendement en amande (KOR ou Out-turn) ou Cutting test**

Un kg de chaque noix de cajou brute a été coupé à travers la ligne d'intersection des coques à l'aide d'une pince "calao". Les amandes ont ensuite été séparées en trois catégories de qualité selon ACi (2008): les amandes de bonne qualité (acceptées à 100 %), les amandes piquées ou immatures (acceptées à 50 %) et les amandes moisies, noix vides, etc. (rejetées). La quantité en gramme d'amandes saines utilisables (A_u) dans un échantillon d'un kg de noix est évaluée par la formule (12) donnée par Ricau, (2013).

$$A_u = m_{100} + \frac{m_{50}}{2} \quad (12)$$

Où, m_{100} est le poids total des amandes + pellicules des noix acceptés à 100 % et m_{50} le poids total obtenu à partir des amandes + pellicules des noix acceptés à 50 %.

Cet indicateur a permis d'estimer à partir d'un échantillon, la qualité moyenne d'amandes utiles exprimée en livres (0,45359 kg) d'amandes par sac de 80 kg de noix brutes : le KOR. Cette dernière a été calculée à l'aide de l'équation (13) suivante, telle que rapportée par Ogunwolu *et al.* (2016).

$$\text{KOR} = A_u \times \frac{80}{454} \quad (13)$$

2.3.3.3. Caractérisation physicochimique et nutritive des noix de cajou

Avant analyse, les noix ont été décortiquées et les amandes obtenues. Toutes les amandes ont été broyées jusqu'à l'obtention d'une pâte. Toutes les analyses ont été réalisées en triple.

2.3.3.3.1. Détermination de la matière sèche des noix

La teneur en matière sèche est déterminée selon la méthode de A.O.A.C., (1990). Un (1) g de farine de cajou est pesé et mis dans un creuset en porcelaine parfaitement sec et de masse connue (m_0). La masse de l'ensemble (creuset et la prise d'essai) (m_1) est mis à sécher pendant 24 h dans une étuve isotherme à 105°C. Après ce temps, l'ensemble est retiré et refroidi au dessiccateur puis pesé à nouveau pour obtenir une masse notée : m_2 . Le taux de matière sèche (MS) est obtenu suivant la formule ci-dessous :

$$\text{MS (\%)} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (14)$$

Avec : MS = matière sèche, m_0 = masse du creuset vide (g), m_1 = masse du creuset (g) + masse de l'échantillon frais (g), m_2 = masse du creuset (g) + masse de l'échantillon séché (g).

2.3.3.3.2. Détermination du potentiel d'hydrogène (pH) des noix

Pour l'estimation de l'acidité ou l'alcalinité, le pH des noix a été déterminé selon la méthode AOAC (1995). Dix (10) g d'amande broyée sont ajoutés à 90 ml d'eau distillée puis agités au vortex pendant 30 min. La suspension est laissée au repos pendant 10 min. Le pH a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre électronique en plongeant l'électrode dans la solution à analyser et la valeur du pH est directement lue sur l'écran du pH-mètre. Avant la mesure du pH, l'étalonnage de l'appareil a été assuré par l'usage de deux solutions tampon à pH 7,0 et 4,0.

2.3.3.3.3. Détermination de l'extrait sec réfractométrique (° Brix) des noix

L'extrait sec réfractométrique (ESR) a été déterminé à l'aide d'un réfractomètre de type ATAGO (0~32 %, Japan) (AFNOR, 1991). Après le nettoyage et l'étalonnage avec de l'eau distillée, une goutte de la solution d'amande de cajou est déposée sur le prisme du réfractomètre. L'appareil est ensuite fermé et la lecture se fait directement sur l'écran en regardant face à la lumière, dans l'orifice du réfractomètre. La lecture est répétée trois fois.

2.3.3.3.4. Détermination de l'acidité titrable des noix

L'acidité titrable (en mEq/100g), a été déterminée suivant la méthode colorimétrique décrite par la norme française NF V05-101 (AFNOR, 1974). Une masse (m) de 5 g de broyat d'amande sont délayés dans 50 ml d'eau distillée. Après 5 min d'homogénéisation à l'aide d'un

agitateur magnétique et 20 min de centrifugation à 4000 trs/min, on prélève 10 ml du surnageant (V_0) que l'on transvase dans un erlenmeyer. La titration est ensuite réalisée avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH à $N_1 = 0,1$ N) après ajout au préalable de 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine et le virage à la coloration rose met fin à l'analyse. Les résultats obtenus constituent la moyenne de trois essais. L'acidité titrable est obtenue selon la formule suivante :

$$\text{Acidité Titrable (mEq/100g)} = \frac{N_1 \times V_1}{m \times V_0} \times 10^5 \quad (15)$$

V_0 : volume (ml) de la prise d'essai

m : masse (g) du broyat d'amande

N_1 : normalité de la soude versée (még-g/l)

V_1 : volume (ml) de la solution de NaOH versé à l'équivalence

2.3.3.3.5. Détermination de la teneur en matière grasse des noix

La détermination de la teneur en matière grasse (MG) de l'échantillon est réalisée par extraction au Soxhlet (AOAC, 1995). Dix (10) g de broyat d'amande déshydratés sont introduits dans une cartouche d'extraction (cartouche de Wattman) et insérée dans l'ampoule d'extraction. Un ballon à fond rond préalablement pesé (P_1) contenant 300 ml d'hexane est chauffé à 70 °C. Ce ballon est racolé au reste du système réfrigérant. La matière grasse est extraite pendant 6 heures. Après l'extraction, le solvant est évaporé à l'aide d'un rotavapor pendant 45 minutes et les extraits sont séchés à 130 °C pendant 30 minutes à l'étuve. Le ballon est ensuite placé dans un dessiccateur pendant 5 minutes puis pesé avec les matières grasses pour obtenir le poids (P_2). La formule suivante permet de calculer le taux de matière grasse :

$$\text{MG (\%)} = \frac{P_2 - P_1}{P_e} \times 100 \quad (16)$$

Avec :

P_1 : poids du ballon à vide (g).

P_2 : poids du ballon après extraction de la matière grasse (g).

P_e : poids de l'échantillon analysé (g).

2.3.3.3.6. Détermination du profil d'acides gras des noix

Les échantillons d'huile ont été convertis en esters méthyliques d'acides gras (EMAG) selon la méthode décrite par Oshodi, 1996 et Hall, 1982. Les esters méthyliques d'acides gras ont été analysés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse HP 6890 équipé d'un Détecteur à Ionisation de Flamme et fonctionnant avec le logiciel HP Chemstation Rev.09.01 (Alademeyin & Arawande, 2016). L'échantillon d'EMAG (1,5 µL) a été injecté et la séparation a été effectuée sur une colonne capillaire HP (Annexe 2). La température du four a été maintenue initialement à 60°C pendant 2 minutes, puis a augmenté de 180°C à 12°C/min à 320°C à 14°C/min et a ensuite été maintenue à 320°C pendant 5,0 minutes. La température de l'orifice d'injection et du détecteur a été réglée à 250°C et 300°C respectivement. Les pics ont été identifiés par comparaison avec des esters méthyliques d'acides gras standard (Ogungbenle & Afolayan, 2015).

2.3.3.3.7. Détermination du taux de cendre des noix

Après la délipidation du broyat d'amande de cajou au moyen d'un extracteur de Soxhlet contenant de l'hexane, le tourteau d'amande est obtenu. Un gramme du tourteau est prélevé dans un creuset préalablement pesé. L'ensemble est pesé et placé au four à moufle à 550 °C pendant 8 h. Le creuset est ensuite retiré et refroidit au dessiccateur, puis pesé à nouveau. Le taux de cendres (TC) en pourcentage (%) est déterminé par la formule suivante (AOAC, 1990):

$$TC (\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (17)$$

Avec : m_1 , la masse du creuset vide (g) ; m_2 , la masse du creuset+ la prise d'essai (g) et m_3 , la masse du creuset après incinération (g)

2.3.3.3.8. Dosage des fibres brutes (celluloses brutes) des noix

La teneur en fibre des noix de cajou est déterminée selon la méthode de BIPEA (1976). Ainsi, 3 g du tourteau d'amande (P_e) sont chauffés dans une solution de 325 ml constituée d'acide sulfurique (0,28 N), d'eau distillée et d'hydroxyde de potassium (0,5 N) (1 ; 0,6 ; 1 ; V/V/V). Le résidu est séparé par filtration sur amiante, lavé et séché à 140°C pendant 120 minutes. Il est ensuite pesé et calciné à 900°C pendant 30 minutes. La perte de poids résultant

de la calcination correspond à la cellulose brute de la prise d'essai. La teneur en cellulose pour 100g de farine est donnée par la formule suivante :

$$\text{CB (\%)} = \frac{(P_1 - P_2) - P_{\text{am}}}{P_e \times \text{MS}} \times 100 \quad (18)$$

P_{am} = 0,02 g : Poids de l'amiante

P_1 : masse (creuset+ résidu séché)

P_2 : masse (creuset+ résidu calciné)

2.3.3.3.9. Dosage des minéraux essentiels des noix

Les éléments minéraux ont été quantifiés selon le protocole décrit par l'AOAC (1990). Cinq (5) g de tourteau d'amande sont disposés dans des capsules et mis à l'étuve à 105°C pendant 24h. Après refroidissement dans un dessiccateur pendant 2 heures, 0,3 g d'échantillon sec est prélevé et mis dans une terrine en porcelaine qui est par la suite enfournée à 600°C pendant 5h dans un four à moufles jusqu'à obtention d'une cendre blanche. Après 8 heures de refroidissement à température ambiante, on y ajoute 5 ml d'acide nitrique (HNO_3 à 1 N) que l'on fait alors évaporer à sec sur une plaque chauffante. On ajoute ensuite 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl , 1 N) au résidu obtenu, et on l'enfourne à 400°C pendant 30 min. Ensuite, le résidu est alors récupéré dans 10 ml d'acide chlorhydrique (HCl , 0,1 N) puis mis dans une fiole jaugée de 50 ml et on y adjoint 5ml de chlorure de lanthane afin d'éviter les interférences des éléments Ca et K. Les éléments minéraux contenus dans la solution sont par la suite dosés par la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA).

Pour les différentes mesures, les longueurs d'ondes des éléments à analyser sont d'abord définies sur l'appareil (285.2 nm pour le magnésium, 766.5 nm pour le potassium, 213.9 nm pour le zinc, 248,3 nm pour le fer, 424,7 nm pour le calcium, 324,8 nm pour le cuivre et 589.0 nm pour le sodium). Tout en ayant pris soin de préparer des solutions standard pour chaque élément à doser, on fait les différentes lectures des gammes d'étalonnage afin de permettre d'établir la courbe d'étalonnage traduisant l'absorbance en fonction de la concentration. La lecture des solutions contenant la cendre est aussi faite au spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) afin de déterminer l'absorbance. Notons qu'il faut obligatoirement faire passer le blanc entre le passage de deux solutions différentes.

Quant au phosphore, il a été dosé par colorimétrie après une minéralisation par voie humide selon la méthode utilisée par Abot, 2017. Cette méthode est basée sur la colorimétrie du bleu de molybdène. Le principe de base est une formation puis une réduction du complexe

phosphomolybdique qui va produire une coloration bleue dont la densité optique (DO) est proportionnelle à la concentration en phosphate. Cette absorbance est mesurée à la longueur d'onde de 885 nm. La teneur des différents minéraux T (en mg.kg⁻¹) est obtenue suivant l'équation 19 :

$$T(\text{mg. kg}^{-1}) = \frac{C_{\text{ech}} - C_{\text{blanc}} \times V}{m} \quad (19)$$

C_{ech} = concentration de l'échantillon lue par la SAA, C_{blanc} = concentration du blanc donné par la SAA, V = volume en ml d'acide chlorhydrique à 0,1 N et m = masse en mg de l'échantillon sec calciné.

2.3.3.3.10. Détermination de la teneur en sucres totaux des noix

Une quantité de 0,5 g de poudre d'amande de cajou a été ajoutée à 10 ml d'éthanol 80 °GL. Le mélange a été agité à l'aide d'un vortex et centrifugé à 3000 trs/min pendant 15 minutes et le surnageant a été recueilli. Au surnageant, a été ajouté 2 ml d'acétate de plomb 10 % et l'ensemble homogénéisé et centrifugé à 3000 trs/min pendant 15 min pour purification. Le surnageant a été recueilli et complété avec 5 ml d'eau distillée. Les sucres totaux ont été mesurés par le test au phénol (Dubois *et al.*, 1956). Ainsi, 7 tubes contenant du glucose à 10 ; 20 ; 30 ; 40 ; 50 ; 60 et 70 µg/ml ont été également préparés en prélevant respectivement 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 et 0,7 ml de la solution de glucose à 1mg/ml. Ensuite il a été déposé avec précaution, dans un tube en pyrex, 1 ml de la solution d'amande obtenue, 1 ml de la solution de phénol, préparée en dissolvant 50 g de phénol dans un litre d'eau distillée et 5 ml d'acide sulfurique concentrée (95-98°C). Les tubes sont alors portés au bain-marie bouillant pendant 5 minutes. Après homogénéisation douce du mélange réactionnel et refroidissement des tubes sur la paille, les densités optiques sont lues au spectrophotomètre à 490 nm contre le blanc. Les quantités de sucres totaux ont été déterminées par référence à une courbe d'étalonnage préalablement établie à partir des solutions de glucose de concentrations ci-dessus.

2.3.3.3.11. Détermination des teneurs en protéine des noix

Les protéines ont été déterminées à partir du dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldhal (BIPEA, 1976). Un (1) g de tourteau d'amande a été introduit dans un tube Matras dans lequel sont ajoutés 20 ml d'acide sulfurique 98 % (NORMAPUR®), quelques pastilles de sulfate de cuivre (CuSO₄) et sulfate de potassium (K₂SO₄) comme catalyseur. L'ensemble est minéralisé dans un digesteur (LIEBISCH) à 400 °C pendant 2 h pour l'obtention d'une

coloration vert clair. Les tubes sont refroidis, le minéralisât est transvasé dans une fiole de 100 mL et ajusté avec de l'eau distillée pour empêcher la formation de cristaux. Dix (10) ml du mélange sont prélevés et 10 ml de solution d'hydroxyde de sodium (40 %) sont ajoutés. Le tout est distillé pendant 10 min en prenant soin de piéger le distillat dans un ballon contenant 20 mL d'acide borique (2 %) additionné d'un indicateur mixte (rouge de méthyle + vert de bromocrésol). Le distillat est récupéré et dosé par une solution titrante d'acide sulfurique (0,1 N) en présence d'un indicateur coloré (le rouge de méthyle). Le titrage est achevé lors du virage du bleu au rose. Un blanc contenant l'ensemble des réactifs à l'exception de l'échantillon a été réalisé parallèlement. Le pourcentage d'azote (N) est à partir de l'équations 20 :

$$N (\%) = \frac{(V_{H_2SO_4} - V_0) \times N_{H_2SO_4} \times 14,01}{1000 \times M} \quad (20)$$

$V_{H_2SO_4}$ = Volume de l'acide sulfurique utilisé pour l'échantillon (ml)

V_0 = volume d'acide sulfurique utilisé pour le blanc (ml)

$N_{H_2SO_4}$ = normalité de la solution d'acide sulfurique utilisé lors du titrage

M = masse en gramme de la prise d'essai

14,01 = Masse molaire de l'azote

La teneur en protéine exprimée en pourcentage est obtenue en multipliant la teneur en azote par un coefficient 6,25.

$$\% \text{ protéine} = \% N \times 6,25 \quad (21)$$

2.3.3.4. Caractéristiques sanitaires des noix de cajou

La qualité sanitaire des noix a porté d'une part sur la détermination des teneurs résiduelles en glyphosate et en 2,4-D d'une part et d'autre part sur leurs contaminations mycotoxiques. Les herbicides à base de glyphosate et 2,4-D ont été les produits chimiques les plus abondamment utilisés par les producteurs selon les résultats de l'enquête.

Les différentes analyses ont été réalisées selon les méthodes internes approuvées du Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE) d'Abidjan.

2.3.3.4.1. Détection et quantification des résidus de glyphosate et 2,4-D dans les noix de cajou

2.3.3.4.1.1. Extraction des résidus de produits phytosanitaires

- **Extraction des résidus du glyphosate**

A partir du broyat obtenu, un gramme de l'échantillon homogénéisé est prélevé dans un tube polypropylène Falcon de 50 ml. 15 ml du mélange ternaire eau, méthanol et dichlorométhane sont ajoutés et le tout est homogénéisé à l'Ultra-Thurax pendant 1min. Le mélange obtenu est centrifugé à 4000 rpm pendant 15 minutes et la phase supérieure est prélevée et évaporée à sec. Le résidu sec est repris par 10 ml d'eau et porté aux ultrasons pendant 5 min pour permettre une dissolution complète ainsi qu'une bonne homogénéisation. La solution est ensuite transférée dans un tube polypropylène Falcon de 15 ml et analysée par chromatographie liquide à haute performance (CLHP) (Annexe 3).

- **Extraction des résidus du 2,4-D**

Pour l'extraction, 25 g de l'échantillon broyé et homogénéisé sont prélevés dans un bocal. A cela, 150 ml du mélange binaire eau/acétonitrile y sont ajoutés, homogénéisés à l'Ultra-Thurax, puis filtrés sur sulfate anhydre de sodium (Na₂SO₄).

Dix millilitres (10ml) du filtrat sont d'abord prélevés et purifiés sur la cartouche C18. Mais avant, la cartouche est conditionnée avec 10 ml d'acétonitrile puis 10 ml d'eau avant de faire passer le filtrat pour le purifier sur la cartouche. Ensuite, une aliquote de 5 ml est prélevée et évaporée à sec. Enfin, après évaporation, la substance est récupérée avec 5 ml (V) d'acétonitrile (ACN) avant de passer à la lecture par CLHP (Annexe 3).

2.3.3.4.1.2. Conditions de la chromatographie liquide haute performance

- **Conditions analytiques utilisées pour le dosage du glyphosate**

L'analyse été faite par CLHP couplée à un détecteur UV à une longueur d'onde de 254 nm en mode isocratique d'élution à deux phases mobiles contenant l'acétonitrile et d'acétate d'ammonium (ACN/C₂H₇NO₂). Le volume injecté est de 5 µl sous un débit de 0,5 ml/mn avec une colonne de type VP C18.

- **Conditions analytiques utilisées pour le dosage du 2,4-D**

L'analyse a été faite par CLHP couplée à un détecteur UV à une longueur d'onde de 228 nm avec un mode d'élution par gradient à deux phases mobiles acidifiées acétonitrile /dihydrogénophosphate de potassium (ACN/KH₂PO₄). Le volume injecté est de 100 µl sous un débit de 1 ml/mn avec une colonne de type VP C18.

2.3.3.4.1.3. Quantification du glyphosate et 2,4-D

La quantification des résidus de pesticides a été obtenue en réalisant des courbes d'étalonnage à l'aide de substances de références.

- **Quantification des résidus du glyphosate**

Les cristaux purs de glyphosate (forme acide) utilisés comme substance de référence pour la préparation de gamme d'étalonnage avait un degré de pureté de 98 %. Les étalons de glyphosate ont été préparés par dissolution de ces cristaux dans de l'eau bidistillée. Ainsi, 5 solutions étalons ont été obtenues après dérivation (ajouts successifs de tétraborate de sodium (5 %) et de solution de fluorénylméthoxycarbone (FMOC) (10g/l)). Ce sont : 0,000 ; 0,016 ; 0,25 ; 0,50 et 1,00 mg/L.

- **Quantification des résidus du 2,4-D**

Les étalons de 2,4-D ont été préparés par dissolution de cristaux purs (98 %) de 2,4-D dans l'acétonitrile. Ainsi, 6 niveaux de calibration nécessaires à la réalisation de la gamme d'étalonnage ont été obtenus. Ce sont : 0,00 ; 10 ; 20 ; 25 ; 50 et 80 mg/L.

- **Les concentrations des résidus**

Les concentrations finales (C_{finale}) en mg/kg des résidus de pesticides sont obtenues en tenant compte de la dilution et de la prise d'essai selon la formule suivante :

$$C_{finale} = \frac{C_0 \times V}{m_e} \times 100 \quad (22)$$

Où C_0 désigne la concentration lue µg/ml, V le volume du solvant de récupération de l'extrait sec et m_e la masse en gramme de la prise d'essai.

- **Paramètre de performance de la méthode**

Les limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) ont été déterminées pour notre matrice, l'amande de cajou. Les limites de détection et de quantification étaient respectivement de 0,032 mg/kg et de 0,097 mg/kg pour le glyphosate et le 2,4-D.

2.3.3.4.2. Analyse des moisissures contaminant

2.3.3.4.2.1. Isolement des moisissures

La flore fongique des échantillons des noix de cajou a été isolée par la méthode du buvard modifiée (Gadi, 2012). C'est une méthode directe de détection qui permet de mettre en évidence la moisissure de surface et de profondeur des grains étudiés.

***Principe de la méthode**

L'humidité favorise le développement des champignons, en utilisant le substrat comme source d'énergie, ce qui va mettre en évidence la flore réelle qui peut se développer.

***Mode opératoire pour la Méthode du buvard modifiée**

Elle consiste à la désinfection superficielle des grains en utilisant l'hypochlorite de sodium (NaClO₃). Ainsi, 100 noix de chaque échantillon, prises au hasard, sont introduites dans l'eau de javel à 8° pendant 2 minutes et rincées avec de l'eau distillée stérile 3 fois de suite. Dans des conditions stériles et à l'aide d'une pince stérile, 3 échantillons de chaque traitement étudié sont prélevés et déposés à 3 endroits différents dans des boîte de Pétri stériles tapissées de papiers filtres imbibés d'eau distillée stérile à raison de 3 noix par boîte de sorte qu'elles soient suffisamment espacées. Les boîtes de Pétri sont ensuite fermées de parafilm, et incubées à 25°C pendant 3 à 5 jours, afin de favoriser la croissance des moisissures (Redouane-salah, 2016).

2.3.3.4.2.2. Purification des souches

Après incubation, les souches obtenues sont repiquées sur le milieu PDA (Potato, Dextrose, Agar) au chloramphénicol stérilisé à l'autoclave à 121°C pendant 15 minutes jusqu'à obtention des isolats purs (Dongmo *et al.* 2017). Pour la purification des souches, il a fallu prélever aseptiquement avec une anse stérile (flambée) un fragment mycélien à la marge du thalle de chaque colonie et transférer l'inoculum sur un milieu neuf dans de nouvelles boîtes contenant le milieu PDA. Pour obtenir un développement typique du champignon, l'inoculation a été réalisée en un seul point en déposant la bouture au centre de la boîte de Pétri (Botton *et al.*, 1990). Les boîtes sont incubées à 30°C pendant 7 jours. L'opération a été répétée jusqu'à l'obtention de souches pures qui ont été utilisées pour leur identification ultérieure.

2.3.3.4.2.3. Identification des souches purifiées

L'identification des isolats a été faite à l'aide de clés dichotomiques et d'ouvrages d'identification, en faisant essentiellement appel aux caractères cultureux et microscopiques.

✓ Identification macroscopique

Les identifications ont été réalisées après ensemencement des souches pures sur les deux milieux de cultures PDA-chloramphénicol et Sabouraud. L'identification se fait à l'œil nue et elle se base essentiellement sur les caractères cultureux comme la vitesse de croissance, la couleur et texture de thalle, la couleur du revers de la colonie, l'aspect de la spore (granuleux, poudreux), l'uniformité de la couleur des spores, présence de pigment diffusible, l'odeur et exsudats des moisissures formées et aux caractères morphologiques microscopiques (mycelia et conidies), des moisissures isolées à l'état pure (Botton *et al.*, 1990 ; Dir & Boumaza, 2018). L'observation a été effectuée en deux temps ; sur une culture jeune d'environ 3 et 5 jours, puis sur une culture de 7 jours pour avoir des structures bien différenciées et caractéristiques de la souche. En effet, l'identification repose principalement sur la formation des spores qui se produit dans une culture jeune (Botton *et al.*, 1990).

✓ Identification microscopique

L'observation microscopique a été réalisée par la technique du scotch qui consiste à adhérer à l'aide d'un bout de scotch une fraction mycélienne à partir d'une culture jeune et de la coller sur une lame contenant quelques gouttes de bleu de méthylène et en se référant au manuel de Barnett & Hunter (1998), à la clé de Botton *et al.* (1990) ainsi que celle de Pitt et Hocking (2009). Les observations microscopiques sont effectuées aux grossissements aux grossissements $\times 10$, $\times 40$, $\times 100$ (Frelka & Harris, 2015). L'étude microscopique du mycélium est basée sur l'absence ou présence de cloisons, la couleur des filaments mycéliens, le mode de ramification des cloisons et la différenciation des thallospores.

*Expression des résultats

La densité relative (Dr) des moisissures isolées a été calculée selon la formule rapportée par (Redouane-salah, 2016) :

$$Dr (\%) = \frac{\text{Nombre d'isolats d'une espèce ou d'un genre}}{\text{Nombre total de champignons isolés}} \times 100 \quad (23)$$

2.3.3.4.3. Quantification des aflatoxines dans les noix de cajou par le lecteur "VICAM"

2.3.3.4.3.1. Extraction des aflatoxines

Une quantité de 5 g d'échantillon broyés et homogénéisés est prélevée dans des tubes eppendorf de 50 ml puis 25 ml du mélange eau-méthanol y sont ajoutés. Le mélange est homogénéisé au vortex puis centrifugé à 5000 trs/min pendant 10 minutes. La phase supérieure liquide est prélevée dont 1 ml de cet extrait est transféré dans 5 tubes eppendorf numérotés de A0 à A4.

2.3.3.4.3.2. Lecture des concentrations des aflatoxines

Pour la lecture des concentrations d'aflatoxines, transférer 100 μ L de chaque extrait dans un nouveau tube eppendorf et ajouter 100 μ L du diluant afla-V. Porter le tout au vortex et transférer 100 μ L de ce mélange (en gouttes à gouttes) sur la languette Afla-V. Laisser réagir pendant 5 minutes puis insérer la languette Afla-V dans le lecteur (VICAM) après scannage du code barre, lire et imprimer la concentration (ppb) des aflatoxines totales (Figure 21) (Annexe 4).

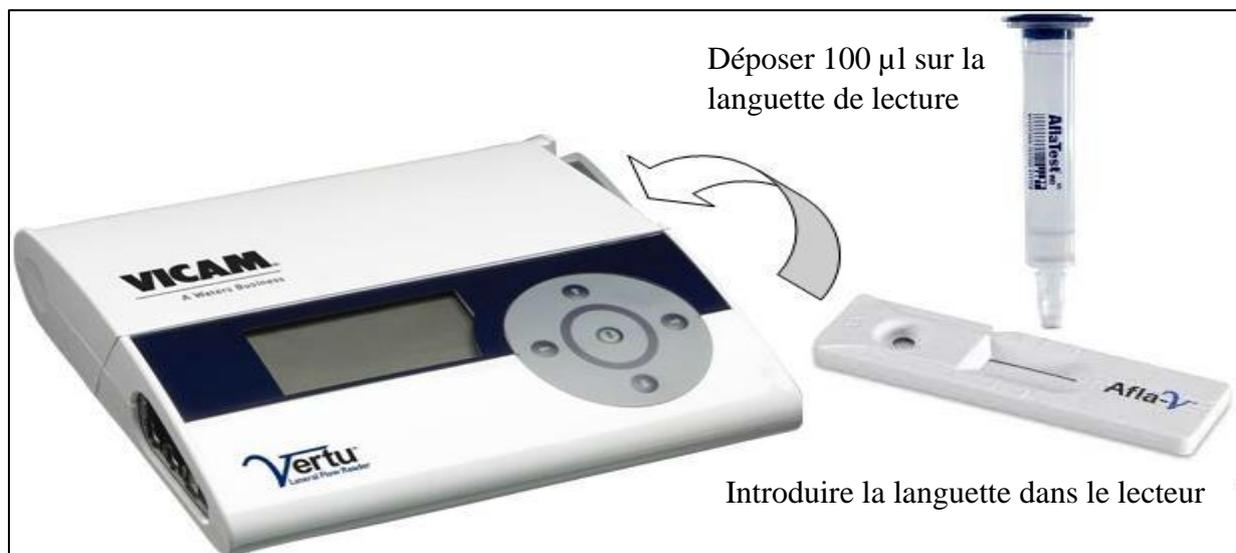


Figure 21: Mode opératoire de lecture des aflatoxines totales dans le lecteur Vicam

2.3.4. Evaluation des traitements post-récoltes sur la qualité sanitaire des noix de cajou

Dans le cadre de cette étude, des enquêtes sur les pratiques culturelles ont été conduites auprès des producteurs de noix de cajou dans trois grandes zones de production du pays. Ces enquêtes ont eu pour objectif de révéler en milieu réel paysan les traitements technologiques post-récolte dans la production de noix en Côte d'Ivoire afin de les éprouver. Ainsi, l'impact des opérations technologiques de ramassage et de séchage sur la contamination des noix par les aflatoxines ont été évalués après six (6) mois de conservation. Les tests des différentes opérations technologiques ont été réalisés à trois reprises. Le premier essai s'est réalisé dans le village de Kiramissé en décembre 2018, le second dans le village Pélégoudi en février 2018 et le dernier dans le village Nafambeni en mai 2019. Ces pratiques post-récoltes ont été éprouvées avec 8 champs d'anacardier au total, dont 3 au niveau du village de Pélégoudi, 3 à Nafambeni et 2 à Kiramissé. Ceux-ci ont été sélectionnés avec l'aide de la société de coopérative partenaire, COPABO. Au cours de ces expérimentations, la température a varié entre 28,3 et 38°C pendant que l'humidité atmosphérique était comprise entre 40 et 79 %.

Les différents prélèvements ont été effectués selon la méthode utilisée par Denys & Marot (2007) pour les échantillons collectés au champ et selon la réglementation européenne n°401/2006 (Reg. 401/2006) pour les échantillons collectés après stockage.

Pour ces tests, les noix ont été séchées au soleil de 9h à 17h tous les jours jusqu'à l'obtention d'une teneur en eau de 8 %. Pendant le séchage, les noix ont été chargées à une densité identique de 6 kg/m² sur tous les supports afin de limiter l'influence de l'épaisseur de la couche des noix séchées sur leur déshydratation. Aussi, pour réaliser un séchage uniforme des noix, des brassages réguliers ont été effectués toutes les trois (3) heures au cours de l'opération. A la fin du séchage chaque échantillon obtenu par fraction constituée a été transféré aseptiquement dans des sacs en jute de 5 kg cousus pour l'étude, et entreposés pendant 6 mois à la température ambiante avant analyse (Figure 22).

2.3.4.1. Evaluation de l'impact du délai de ramassage des noix de cajou

Le délai de ramassage des noix correspond au temps mis pour collecter les noix après la chute des fruits (pomme + noix). Les tests ont d'abord consisté à ramasser les fruits tombés le jour-j et constituer des tas ensuite. Enfin, les noix ont été collectées par torsion à différents délais (2, 3 et 7 jours). Ce délai correspond à la fréquence de ramassage des noix identifiée dans les zones de production. Pour ce faire, 9 tas de fruits d'anacardier ont été constitués sur l'ensemble du champ et subdivisés en trois lots : lot n°1, n°2, n°3, en raison de 3 tas par lot ; et

ceci sur chacun des champs retenus. Les noix des tas du lot n°1 ont été collectés 2 jours après leur mise en tas, celles des tas du lot n°2 ont été obtenues 3 jours après leur ramassage pendant qu'une période de 7 jours a été observée avant de collecter les noix des tas du lot n°3. A la fin de la collecte, deux (2) prélèvements de 4 à 5 kg sont effectués dans chaque lot de noix puis séchés sur les 3 types de supports retenus jusqu'à une teneur en eau de 8 %. Au total, 54 échantillons issus des champs ont été obtenus. Ceux-ci ont été subdivisés en 72 échantillons en raison de 3 échantillons par lot selon l'ordre établi dans le tableau XIII et stockés pendant 6 mois à température ambiante.

Tableau XIII: Différents échantillons prélevés selon des délais de ramassage

Délai de ramassage	Village	Echantillon prélevé au champ		Echantillons au séchage	
		Nombre d'échantillons	Masse (g)	N° des lots	Nombre d'échantillons
Après 2 jours	Pélégoudi	6	4982 - 5120	1	3
				2	3
				3	3
	Nafambeni	6	5004 - 5034	1	3
				2	3
				3	3
	Kiramissé	6	5009 - 5043	1	2
				2	2
				3	2
Après 3 jours	Pélégoudi	6	4984- 5254	1	3
				2	3
				3	3
	Nafambeni	6	5020 - 5401	1	3
				2	3
				3	3
	Kiramissé	6	5011 - 5277	1	2
				2	2
				3	2
Après 7 jours	Pélégoudi	6	5001 - 5111	1	3
				2	3
				3	3
	Nafambeni	6	4976 - 5918	1	3
				2	3
				3	3
	Kiramissé	6	4041 - 6010	1	2
				2	2
				3	2
Total				72	

2.3.4.2. Evaluation de l'impact des supports de séchage utilisés

Les échantillons des lots des noix collectées en fonction du délai de ramassage ont été mélangés et trois fractions équitables de 2 kg ont été extraites : fraction n°1, fraction n°2 et fraction n°3. Les noix de la fraction n°1 ont été étalées sur une bâche, celles de la fraction n°2

sur une claie (plateforme à base de Bambou) et enfin celles de la fraction n°3 a été séchée sur une aire cimentée (Figure 23).

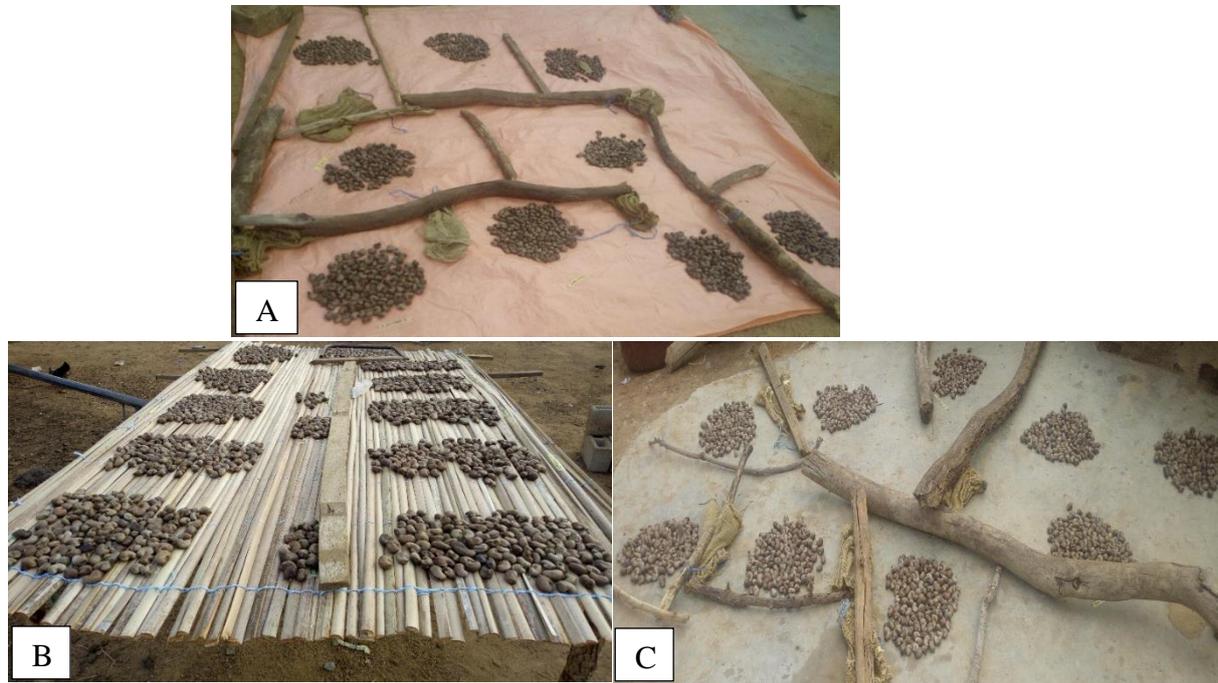


Figure 22: Photographie présentant le séchage des noix sur bâche (A), claie (B) et aire cimentée (C) au cours de l'étude expérimentale

2.3.4.3. Evaluation de la cinétique de l'eau dans les noix de cajou

Au cours des tests expérimentaux, la teneur en eau et la masse des noix ont été relevés *in situ* à chaque étape technologique post-récolte : au cours du ramassage des noix, pendant le séchage et à la fin du stockage des noix. Cette étude a été réalisée à l'aide d'un humidimètre portatif (Dickey-John mini Gac 2500) et d'une balance (SCA-301).

2.3.4.4. Caractérisation des noix défectueuses

Concernant la caractérisation des noix de cajou défectueuses, 100 noix de chaque échantillon prélevé sont décortiquées manuellement au moyen d'une pince « calao » afin de dénombrer les noix présentant des infections (défauts). Un quadruple de tests a permis d'estimer le taux d'infection (TI) des amandes et le taux de perte (TP) pour l'industriel.

✓ Le taux d'infection

Le taux d'infection des amandes (TI) a été calculé suivant la formule citée par Dongmo *et al.*, 2017 :

$$TI (\%) = \frac{\text{Nombre d'amandes infectées}}{\text{Nombre total d'amandes}} \times 100 \quad (24)$$

✓ Le taux de perte

Il a été évalué selon les types de défaut des noix regroupés en deux grandes catégories de noix. Il s'est agi des noix inutilisables (Nin) (noix immatures, pourries, beurrées, moisies et poudreuses ou présentant des galeries dues à l'action des insectes) et celles qui sont partiellement utilisables (Npu) (noix piquées et tachetées). Ce taux a été obtenu à partir de la formule suivante :

$$Tp (\%) = \frac{Nin + \left(\frac{1}{2} Npu\right)}{\text{Nombre total de noix}} \times 100 \quad (25)$$

2.3.4.5. Identification morphologique des isolats du genre *Aspergillus* en fonction du délai de ramassage des noix

La densité des *Aspergillii* contaminant les noix de cajou en fonction du délai de ramassage a été évaluée suivant la formule : " (23) " (cf. 2.3.3.4.2.3).

La découverte des principaux genres et espèces du genre *Aspergillus* tient par l'observation des caractères macro morphologiques et micro morphologiques des souches purifiées. L'étude des caractères macro et micro morphologiques des moisissures isolées s'est effectuée à partir du milieu gélosé PDA. L'identification macro et microscopique a été réalisée à l'aide du schéma taxonomique en utilisant les méthodes décrites par Raper & Fennell (1965), Botton *et al.* (1990) et Tabuc (2007).

2.3.4.5.1. Identification macroscopique des isolats

L'observation macroscopique selon la méthode décrite par Botton *et al.* (1990). Elle s'est basée principalement sur la face et le revers de la boîte de pétri, en se basant sur l'aspect des colonies, la forme et la couleur des spores ainsi que la vitesse de croissance et le diamètre de la colonie.

2.3.4.5.2. Identification microscopique des isolats

L'observation microscopique s'est essentiellement basée sur l'aspect des filaments mycéliens de l'appareil végétatif (thalle) (diamètre fin et régulier, septés et ramifiés), les caractéristiques des phialides (insérées directement sur la vésicule (têtes unisériées) ou portées par des petites structures insérées sur la vésicule (têtes bisériées)) et les caractéristiques des conidies (disposées en chaînes divergentes ou associées en colonnes compactes, globuleuses, subglobuleuses ou elliptiques, lisses ou ornementées, hyalines ou pigmentées en jaune, vert, brun ou noir).

Pour ce faire, une aiguille d'inoculation a été utilisée pour récupérer une petite partie de la colonie comportant les structures conidiogènes. L'échantillon est prélevé sur la bordure de la colonie car les structures fertiles sont jeunes et le nombre de spores n'est pas excessif. Ensuite, il est déposé sur une lame « mouillées » avec une goutte d'eau puis une lamelle de couverture est posée pour procéder enfin à l'examen au microscope.

2.3.4.6. Analyses mycotoxiques

Les aflatoxines sont déterminées selon les méthodes AOAC (2005) comprenant les étapes d'extraction, de purification sur colonne d'immunoaffinité, de concentration et de quantification à l'aide d'un étalonnage après analyse par Chromatographie Liquide Haute Performance.

➤ Phase d'extraction

Une quantité de 25 g de noix de cajou broyées est additionnée à 100 ml d'une solution de méthanol/eau (80 : 20, v/v) dans un pot à centrifuger. Le mélange est homogénéisé à l'aide d'un agitateur (Ultra Turax, France) pendant 3 minutes. L'homogénéisât est centrifugé à 4000 tours/minutes pendant 5 minutes puis filtré sur papier Whatman N°4 dans des Erlenmeyers de 25 ml.

➤ Phase de purification

Après filtration, un volume de 3 ml du filtrat est additionné à 32 ml d'une solution tampon phosphate saline (PBS) ; soit un volume total d'extraction de 35 ml. Un volume de 30 ml d'extrait est déposé sur une colonne d'immunoaffinité (Vicam, USA) à un débit de 1,5 ml/min. La colonne est ensuite lavée avec 10 ml de PBS à un débit de 2 ml/min ; l'air dans la colonne est éliminé grâce à une pompe à vide pendant 30 secondes. Les aflatoxines sont éluées avec 1,5 ml d'une solution d'acétonitrile en trois étapes de 0,5 ml, séparées d'une pause d'une minute entre chaque étape, à un débit de 0,5 ml/min.

➤ Phase de concentration

L'éluât a été dilué avec 1,5 ml de la solution PBS sur la colonne à un débit de 0,5 ml/min. L'éluât est ensuite recueilli dans un tube de 2 ml et séché sous azote à 40 °C. Le résidu obtenu est dissout dans 500 µL de méthanol, puis le dosage est effectué par Chromatographie Liquide Haute Performance (CLHP).

➤ Phase de détection et de quantification des aflatoxines

La détection et la quantification des aflatoxines dans les extraits est faite par CLHP (Annexe 5) avec détection fluorimétrique selon la méthode de R-Biopharm (2012).

Pour ce faire une aliquote de 100 µL de l'extrait a été injecté manuellement à l'aide d'une micro seringue dans une colonne greffée C18 a un débit de 0,5 ml/min. Les aflatoxines ont été éluées avec un mélange binaire composée de méthanol-acétonitrile (50 :50 ; v/v). L'analyse est réalisée en condition isocratique. Les aflatoxines ont été détectées par fluorescence (Déecteur fluorescence : λ excitation : 365 nm ; λ émission 435 nm) après dérivation post-colonne dans une cellule électrochimique à 100 µA où 119 mg de bromure de potassium et 350 µl d'acide nitrique 4M ont été ajoutés.

Les teneurs en aflatoxines ont été calculées à l'aide d'une courbe d'étalonnage avec 5 niveaux de concentrations établies à partir de standard d'aflatoxines totales (TSL-108 R Biopharm Rhône Ltd, Glasgow, UK).

Les paramètres de performance de la méthode : limite de détection (LOD) et de quantification (LOQ) pour les aflatoxines ont été déterminées selon les formules suivantes :

$$\text{LOD} = 3,3 \times S_{(yx)}^{-1} b^{-1} \quad (26)$$

$$\text{LOQ} = 10 \times S_{(yx)}^{-1} b^{-1} \quad (27)$$

Où : $S_{(yx)}$ est l'écart type standard de la droite de régression et b^{-1} , la valeur de la pente.

✓ Calcul des concentrations en aflatoxines

Les concentrations en aflatoxines ont été déterminées par calcul de l'aire des différents pics obtenus sur les chromatogrammes des échantillons à l'aide de la courbe de calibration

exprimées en ng/ml. L'expression des résultats en $\mu\text{g}/\text{kg}$ d'échantillon s'est faite selon la formule suivante :

$$[\text{AF}]_{\mu\text{g}/\text{kg}} = \frac{[\text{AF}]_{\text{HPLC}} \times V_{\text{extraction}} \times V_{\text{éluat}}}{P \times V_{\text{extrait}}} \quad (28)$$

$[\text{AF}]_{\mu\text{g}/\text{kg}}$: concentration en aflatoxine ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

$[\text{AF}]_{\text{HPLC}}$: concentration en aflatoxine donnée par CLHP (ng/ml)

$V_{\text{extraction}}$: volume des solvants d'extraction (ml)

$V_{\text{éluat}}$: volume utilisé pour eluer les aflatoxines dans la colonne d'immunoaffinité (ml)

V_{extrait} : volume de l'extrait d'échantillon purifié dans la colonne d'immunoaffinité (ml)

P : poids de l'échantillon utilisé pour l'extraction des aflatoxines (g)

2.3.5. Evaluation des risques toxicologiques liés à l'utilisation des pesticides dans la culture de l'anacardier

Afin d'évaluer l'exposition des producteurs aux pesticides, 10 localités par zones de production avaient été choisies pour abriter l'étude. Par village, nous avons décidé de suivre 5 producteurs au cours des traitements de pesticides pour un total de 50 producteurs dans chaque zone de production. Mais les observations et les mesures n'ont été effectuées que sur 30 producteurs à Mankono, 30 producteurs à Dabakala et 16 producteurs à Bondoukou lors de traitements phytosanitaires à cause du manque de moyens financiers et de la période d'étude. En effet, la campagne agricole tirait à sa fin lorsque cette étude se réalisait (mois d'avril à juin 2018). Les observations étaient essentiellement basées sur :

- les pesticides utilisés par le producteur (nom commercial du pesticide, nom de la ou des matière (s) active (s) , dose recommandée et dose réelle utilisée) ;
- la surface pulvérisée ;
- l'équipement de protection individuelle (EPI) porté par le producteur ;
- la qualité du matériel (récipient de mesure utilisé pour le dosage et pulvérisation) ;
- le comportement négligeant (manger, fumer, uriner, etc.) pendant l'application ;
- les mesures sanitaires prises après l'application du pesticide, le lavage immédiat des mains et des pieds ;

Les mesures relatives aux conditions d'application du pesticide sont les suivantes :

- la zone traitée lors de chaque application, à l'aide d'un système de géoréférence (GPS) ;
- les doses et les volumes de mélange de pulvérisation ;
- les horaires de traitement ;
- l'humidité de l'air avec un thermo-hygromètre numérique (modèle CX-201A).

2.3.5.1. Evaluation des risques sanitaires liés aux pesticides utilisés dans la culture d'anacardiens

- ✓ Caractérisation du risque sanitaire associé aux pesticides utilisés

À partir des informations recueillies sur les pratiques phytosanitaires et des données sur les propriétés toxicologiques des pesticides inventoriés (pesticides identifiés durant l'enquête), l'indice de risque sanitaire (IRS) a été calculé en utilisant l'indicateur de risque des pesticides du Québec-IRPeQ (Samuel *et al.*, 2012) (Annexe 6). Les valeurs des paramètres de toxicité proviennent des bases de données mentionnées plus haut. Ces propriétés toxicologiques ont été classées selon leur CLP (Classification, Labelling and Packaging) par la base de données EU-Pesticides (EU-Pesticides Database, 2020). Le choix de l'indicateur de risques des pesticides (IRPeQ) pour le calcul des IRS a été fait en considérant la disponibilité de l'outil et sa facilité d'utilisation. Il a été utilisé par Ahouangninou (2013), Bouagga *et al.* (2016) et par Son *et al.* (2018) respectivement au Bénin, en Tunisie et au Burkina Faso où il a permis d'évaluer et de comparer la toxicité de diverses substances actives. Il est calculé comme suit :

$$IRS_{SA} = \frac{IRT \times FPf \times FC}{10} \quad (29)$$

$$IRS_p = \sum IRS_{SA} \quad (30)$$

Avec :

- IRS_{SA} = indice de risque d'une matière active contenue dans la préparation commerciale donnée pour un hectare traité ;
- IRS_p = indice de risque sanitaire pour la préparation commerciale ;
- IRT = Indice de risque toxicologique de la substance active où $IRT = [\sum \text{des points de toxicité aiguë} + (\sum \text{des points de toxicité chronique} \times FPer)]^2$.

La somme des variables est au carré pour obtenir une plus grande distribution des valeurs et pour mettre en évidence les pesticides présentant des risques plus élevés ;

- $FPer$ = Facteur prenant en compte la persistance de la substance active dans l'environnement, (basé sur TD50 dans le sol) ou le potentiel de bioaccumulation chez l'homme (facteur de concentration biologique). Il varie de 1 à 2,5 ;

- FPf = facteur de pondération lié au type de formulation. Il varie entre 1 (risque faible) et 2 (risque élevé) ;
- FC = Facteur de compensation en tenant compte de la substance active dans la préparation commerciale et la dose appliquée ($FC = \text{concentration} \times \text{dose recommandée} / \text{ha}$) ;
- 10 = Quotient pour obtenir un IRS d'un ordre de grandeur acceptable (Son *et al.*, 2018).

✓ Evaluation du niveau d'exposition des producteurs lié aux pratiques phytosanitaires

Le niveau d'exposition potentiel des producteurs exprimé en mg/kg de poids corporel/jour, a été estimé en utilisant le modèle d'exposition UK-POEM (UK Predictive Operator Exposure Model) (Annexe 7). Ce modèle a été utilisé par plusieurs auteurs comme Nganoah (2009) ; Ouedraogo *et al.* (2014) ; Kim *et al.* (2016), Illyassou *et al.* (2017) et Son *et al.* (2018). Ce modèle tient compte des pratiques agricoles telles que les méthodes d'application des pesticides, le port ou non des EPI, les doses et volumes appliqués, des formulations et des concentrations des pesticides utilisés.

Les hypothèses de travail sur lesquelles se fondent cette évaluation, sont résumées dans le tableau XIV.

Tableau XIV: Paramètres considérés dans le modèle de prédiction britannique UK-POEM

Paramètres utilisés dans le modèle UK-POEM	Détails
Méthode d'application	Hand-held sprayer (15 l tank) : hydraulique nozzles, low level target (qui se rapproche plus du pulvérisateur porté par l'homme lors des traitements)
Type de formulation	EC, SC ou WP
Absorption dermale	10 % (valeur par défaut, OMS (2018))
Absorption par inhalation	100 % (valeur par défaut, OMS (2018))
Equipement de protection individuel	Scenario 1 : Sans protection
	Scenario 2 : Avec protection (le logiciel intègre une protection avec gants, et combinaison)
Volume du contenant	1 litre
Surface traitée / jour	Moyenne des surfaces traitées selon la zone
Durée de pulvérisation	6 heures (valeur par défaut, Son <i>et al.</i> (2018))
Poids de l'applicateur	60 kg (valeur par défaut, OMS (2018))

L'exposition prédictive totale est la somme de l'exposition par voie cutanée et par inhalation pendant le mélange ou le chargement (principalement par contact des mains) et la pulvérisation (gouttelettes reçues sur tout le corps). L'exposition prédictive a été estimée pour

deux scénarios : sans EPI, selon le scénario le plus courant après l'enquête, et avec EPI. L'exposition prédictive est effectuée par substance active et pour chaque produit phytosanitaire.

Le risque pour chaque substance active utilisée par les producteurs a été caractérisé en comparant la valeur d'exposition prédictive exprimée en mg/kg de poids corporel/jour avec le niveau acceptable d'exposition "AOEL" (Acceptable Operator Exposure Level). Lorsque cette valeur est inférieure à la valeur de l'AOEL, le risque peut être considéré comme acceptable dans le cas contraire, il est considéré comme inacceptable pour le producteur.

2.3.5.2. Evaluation des risques environnementaux liés aux pesticides utilisés dans la culture d'anacardiens

✓ Indice de fréquence des traitements (IFT)

L'indicateur de fréquence de traitement (IFT) révèle la pression exercée sur le milieu basé sur les pratiques phytosanitaires en agriculture. Il correspond au rapport entre la dose appliquée et la dose recommandée sur l'étiquette (Son *et al.*, 2018). L'unité élémentaire de l'IFT est le traitement, c'est-à-dire l'application d'un produit pendant un passage. Dans ce contexte, chaque application est considérée comme un traitement. Cependant, un mélange de deux produits appliqués lors d'un même passage comptent pour deux traitements. Cet indice est calculé pour chaque application de pesticide dans le verger d'anacardier pendant une année agricole suivant la formule utilisée par Son *et al.* (2018) :

$$IFT_{Parcette} = \frac{Dose\ appliquée}{Dose\ recommandée} \times \frac{Surface\ de\ la\ parcelle\ traitée}{Superficie\ totale\ du\ champ} \quad (31)$$

NB : L'IFT par parcelle correspond à la somme des IFT par traitement tout au long du cycle de production. L'IFT calculé est comparé à L'IFT national ou régional. En cas d'absence de L'IFT de référence, il est comparé au 70^e percentile de L'IFT d'un minimum de 30 parcelles pour la culture considérée. Cette référence est donc fixée par rapport aux pratiques courantes dans l'application des pesticides dans la zone.

Le rapport entre la surface de la parcelle traitée et la superficie totale du champ désigne la proportion des surfaces traitées (PST) et justifie l'importance de l'étendue des surfaces traitées dans les différentes exploitations d'anacardier.

La valeur pour la parcelle traitée aux herbicides est obtenue en additionnant les valeurs des différents herbicides appliqués pour une campagne culturale.

Exemple : $IFT_H = IFT_{H1} + IFT_{H2} + IFT_{H3}$

- ✓ Les indices de pression pesticides (IP) que sont les quantités totales de matières actives épandues dans l'année à l'hectare ont été aussi calculés.

- ✓ Indice GUS

L'indice GUS (Groundwater Ubiquity Score) est un indicateur qui permet de déterminer le potentiel de lessivage de chaque matière active à partir de ses propriétés physicochimiques. Celui-ci permet de calculer le potentiel d'un pesticide à contaminer l'eau souterraine par lessivage et l'eau de surface par infiltration via les systèmes de drainage. Cet indice se base sur deux propriétés physico-chimiques de la matière active : le coefficient d'adsorption sur le carbone organique (K_{oc} en ml/g) et la demi-vie dans les sols (DT50). L'indice GUS est calculé de la façon suivante :

$$GUS = \log DT50 [4 - \log (K_{oc})] \quad (32)$$

En fonction de la valeur obtenue, les pesticides présentent un risque de contamination des nappes élevé ($GUS > 2,8$), un risque de contamination moyen ($1,8 \leq GUS < 2,8$) ou un risque de contamination des nappes faible ($GUS < 1,8$).

- ✓ Indice du risque environnemental (IRE)

Pour évaluer les risques environnementaux des pesticides recensés, l'Indicateur de Risque des Pesticides de Québec (IRPeQ) a été utilisé (Annexe 6). Cet indice représente le risque potentiel pour l'environnement d'une matière active d'une préparation commerciale donnée en considérant le type d'utilisation (par exemple : culture visée). Les organismes retenus pour le calcul de l'IRE sont ceux régulièrement utilisés comme espèces sentinelles lors des évaluations des risques écotoxicologiques. Cet indicateur de risque intègre aussi bien les risques écotoxicologiques liés à l'impact des substances actives sur les espèces sentinelles comme les invertébrés terrestres (T), les oiseaux (O) et les organismes aquatiques (A) que les risques environnementaux basés sur certains paramètres physico-chimiques tels que la mobilité (M), la persistance dans le sol (P) et la bioaccumulation (B) des substances actives.

$$IRE_{matière\ active} = [1,75 \times (T + O) + A + M + P + B + 1]^2 \quad (33)$$

$$IRE_{préparation\ commerciale} = \sum IRE_{matière\ active} \quad (34)$$

NB : Les données toxicologiques utilisées ont été recueillies dans différentes bases de données [base de données de l'Union européenne sur les pesticides, SAgE pesticides (Canada), Agritox et INERIS (France)].

2.3.6. Analyses statistiques des données

Les données de l'enquête ont été dépouillées à l'aide des logiciels Sphinx version 4.5 et Statistica version 7.1. Le test de Khi deux de Pearson et les valeurs de Phi ont permis de déterminer la corrélation entre les mesures nominales.

Les résultats des analyses ont été soumis à une analyse de la variance à un facteur (ANOVA) au seuil de probabilité de 0.05 dans le but de mettre en évidence des différences significatives pouvant exister entre les paramètres des échantillons analysés. En cas de différence significative, le test de comparaison de moyenne post hoc de Student Newman-Keuls est utilisé pour déterminer les échantillons qui diffèrent les uns des autres.

Les relations liant les propriétés physiques des noix de cajou ont été évaluées en calculant les coefficients de corrélation dont le niveau de significativité a été fixé au seuil de probabilité de 0,05. Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été aussi réalisée dans le but d'identifier les relations entre les paramètres étudiés et de regrouper les échantillons ayant des paramètres de ressemblance en fonction des zones agroécologiques.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre 1 : Description des pratiques culturelles dans la production de noix de cajou dans trois grandes zones de production de la Côte d'Ivoire

En vue de répondre aux exigences d'une agriculture productive et durable, il est important de s'intéresser de plus près aux pratiques culturelles adoptées par les producteurs de noix de cajou. L'objectif de cette étude était de décrire les pratiques agricoles usuelles selon les zones agroécologiques de production des noix de cajou. Et ce, pour mieux comprendre les relations entre celles-ci et la qualité des noix de cajou produites. Cette investigation est un préalable pour d'une part, comprendre l'impact des pratiques culturelles sur la qualité des noix de cajou et d'autre part, identifier la nature et l'origine des risques afin de proposer des mesures appropriées de réduction.

1.1. Caractéristiques sociodémographiques des producteurs dans les zones d'investigation

1.1.1. Profil des producteurs de noix de cajou

Les informations recueillies sont résumées dans le tableau XV. La majorité des producteurs interrogés était de sexe masculin (M) 94 % (n=363) contre 6 % (n=23) de femmes (F), soit un sexe ratio de 16 hommes pour 1 femme. Dans ces différentes zones de production, la moyenne d'âge des producteurs enquêtés était de 45 ans avec une fourchette allant de 18 à 75 ans. Les producteurs de Mankono ont paru beaucoup plus jeunes avec 31,25 % de producteurs dont l'âge varie entre 31 et 40 ans contre 46,35 et 45,2 % des producteurs de Dabakala et Bondoukou respectivement dont l'âge était supérieur à 50 ans. En termes d'alphabétisation, on a constaté que plus de la moitié des producteurs était non scolarisée avec des taux de 67,75, 64 et 61,70 % dans les départements de Mankono, Dabakala et Bondoukou respectivement.

Tableau XV: Profil des producteurs interviewés

Variables	Pourcentage (%)			Total
	Mankono (n= 147)	Dabakala (n= 125)	Bondoukou (n= 114)	
Age				
18 - 30	10,65	4,65	4,9	6,7
31 - 40	31,25	21,55	16,2	23,0
41 - 50	28,7	27,45	33,75	30,0
51 et plus	29,4	46,35	45,2	40,3
Niveau instruction				
Non scolarisé	67,75	64,00	61,7	64,5
Primaire	19,9	26,65	31,16	25,9
Secondaire	8,95	6,5	6,25	7,2
BAC +	0,35	1,2	0,89	0,8
Ecole coranique	3,05	1,65	-	1,6

n = nombre d'individus enquêté

1.1.2. Activités professionnelles des producteurs de noix de cajou

Les résultats de l'enquête révèlent que la culture de l'anacardier est une activité qui emploie des personnes de différentes catégories de la couche sociale. Même si la majorité des producteurs est agriculteur avec 86,39 % des producteurs à Mankono, 97,95 % à Dabakala et 97,02 % Bondoukou, on note l'existence de producteurs exerçant dans différents milieux professionnels de la vie active (Tableau XVI).

Tableau XVI: Domaine d'activité des producteurs de noix de cajou dans les zones d'étude

Domaine activité	Pourcentage (%)			
	Mankono (n= 147)	Dabakala (n= 125)	Bondoukou (n= 114)	Total
Agriculteur	86,39	97,95	97,02	93,79
Acheteur de noix de cajou	1,75	0,40	0,00	0,72
Couturier	1,05	0,00	0,50	0,52
Commerçant	9,05	0,00	0,00	3,02
Agent coopérative	0,35	0,85	0,00	0,40
Mécanicien	0,35	0,00	0,50	0,28
Agent de sous-préfecture	0,35	0,00	0,00	0,12
Boutiquier	0,00	0,40	0,00	0,13
Chauffeur	0,00	0,00	0,50	0,17
Eleveur	0,00	0,40	0,00	0,13
Instituteur	0,00	0,00	0,50	0,17
Maçon	0,35	0,00	0,00	0,12
Peintre auto	0,00	0,00	0,50	0,17
Ferronnier	0,35	0,00	0,00	0,12
Technicien en aquaculture	0,00	0,00	0,48	0,16

n = nombre d'individus enquêté

1.2. Caractéristiques des plantations d'anacardier et main d'œuvre agricole associée

1.2.1. Typologie des plantations d'anacardiens

Le tableau XVII montre que la majorité (47,5 %) des plantations d'anacardier ont été créées depuis environ deux décennies. A Mankono et à Bondoukou, 48 et 54 % respectivement des vergers avaient une tranche d'âge comprise entre 11 et 20 ans. Les plus vieilles plantations sont rencontrées à postériori à Dabakala. Généralement, la mise en place des vergers d'anacardier se faisait par semis direct (92,0 %) avec des noix locales (87,6 %) souvent provenant des meilleurs arbres producteurs des plantations existantes. Ce mode de semis a permis la création de 87,4 ; 91,2 et 97,4 % des vergers d'anacardier dans les zones de Mankono, Dabakala et Bondoukou respectivement. Aujourd'hui, ces plantations sont distinguées en plantations pures représentant 58,2 % des plantation à Mankono, 94,8 % des plantations à Dabakala et 55 % des plantations à Bondoukou et les plantations associées à d'autres cultures qui représentent 30,7 % des exploitations totales investiguées. En effet, la figure 24 nous révèle

qu'à l'exception du coton, diverses cultures vivrières étaient associées à la culture de l'anacardier. Ces types de plantations étaient habituellement rencontrés dans les circonscriptions de Mankono et Bondoukou. Dans la plupart des cas, l'on associait l'igname dans 11,19 %, 1,36 % et 20,68 % des cas respectivement à Mankono, à Dabakala et à Bondoukou. Elle est suivie par ordre croissant du taux d'adoption, de la culture du maïs, de l'arachide, du riz, du manioc, du mil, du niébé, du sorgho et du taro.

Tableau XVII: Caractéristiques des plantations d'anacardier dans les zones d'investigation

Caractéristiques	Pourcentage (%)			
	Mankono (n= 147)	Dabakala (n= 125)	Bondoukou (n= 114)	Moyenne
Âge des plantations				
3 – 10 ans	20,4	10,2	6,5	12,4
11 – 20 ans	48,2	39,8	54,6	47,5
21 – 30 ans	24,6	42,0	29,2	31,9
≥ 31 ans	6,8	8,0	9,7	8,2
Mode de création des plantations				
Par repiquage de pépinière	12,6	8,8	2,6	8,0
Par semis direct	87,4	91,2	97,4	92,0
Variétés de semence utilisée				
Variétés améliorées	10,3	19,1	7,8	12,4
Variétés locales (tout venant)	89,7	80,9	92,2	87,6
Technique culturale adoptée				
Pratiques vulgarisées	25,2	27,6	1,8	18,2
Pratiques paysannes	74,8	72,4	98,2	81,8
Type de plantations				
Plantations pures	58,2	94,8	55,0	69,3
Plantations associées aux cultures annuelles	41,8	5,2	45,0	30,7

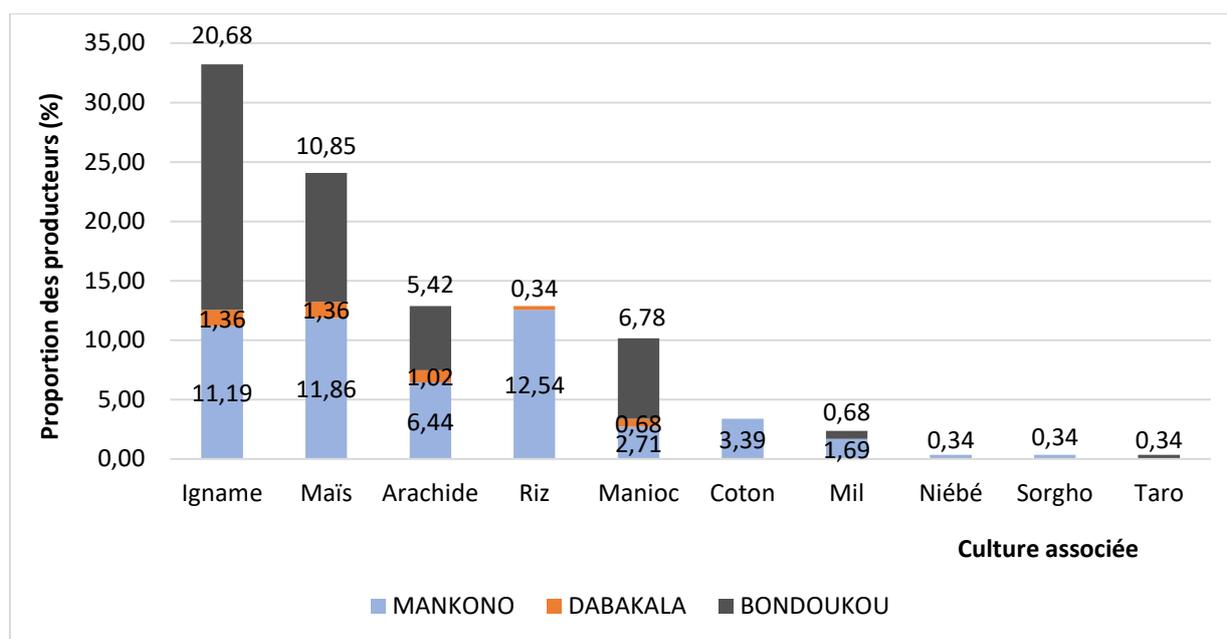


Figure 23: Proportion de producteurs associant des cultures aux plantations d’anacardiers

1.2.2. Main d’œuvre disponible selon la taille des plantations d’anacardier

Les superficies occupées par les plantations d’anacardiers varient de 2,6 à 8 ha/planteur. La superficie moyenne exploitée par planteur est de 4,88 ha à Mankono, de 5,99 ha à Dabakala et de 3,78 ha à Bondoukou. Cependant, les plantations ont une superficie comprise entre 0,3 et 40 ha à Mankono, entre 0,25 et 15 ha à Dabakala et à Bondoukou (Tableau XVIII).

Tableau XVIII: Superficie des plantations d’anacardier et nombre de main d’œuvre employée pendant la récolte des noix

Zones de production	Superficie des plantations (ha)			Main d’œuvre utile pendant la récolte des noix			Densité de main d’oeuvre (main d’oeuvre/ha) pendant la récolte des noix		
	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne
Mankono	40	0,3	4,67 ± 5,49 ^c	90	1	15,28 ± 15,37 ^b	6,67	2,75	4,88 ± 3,67 ^a
Dabakala	15	0,25	2,62 ± 2,02 ^b	43	1	10,43 ± 8,81 ^a	8	4,33	5,99 ± 5,68 ^a
Bondoukou	15	0,25	3,41 ± 2,75 ^a	23	2	6,51 ± 4,45 ^a	12	2,6	3,78 ± 2,65 ^a

Sur chaque ligne, les valeurs suivies des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de comparaison de moyenne de Newman-Keuls.

1.3. Pratiques des producteurs le long de l'itinéraire post-récolte des noix de cajou

1.3.1. Techniques de récolte des noix de cajou

La figure 25 présente la fréquence de récolte (délai de ramassage) des noix de cajou dans les zones d'étude. Les délais de ramassage varient de 1 à 14 jours à Mankono, 1 à 7 jours à Dabakala et 1 à 3 jours à Bondoukou. Cependant, la majorité des fruits est ramassée par semaine (43,8 % des producteurs) au niveau de Mankono pendant qu'à Dabakala et à Bondoukou, les fruits séjournent respectivement 3 jours (39,5 % des producteurs) et 2 jours (41,0 % des producteurs) au sol avant d'être ramassés. Et, selon l'analyse statistique des résultats, ces délais de ramassage des noix sont fortement typiques aux zones d'investigation (V Cramer = 0,51). Après le ramassage des fruits, les noix sont collectées soit par la technique du fil (0,7 % des producteurs), soit par torsion (99,3 % des producteurs) (Tableau XIX). Cette dernière technique était utilisée à 98,64 % à Mankono, 99,2 % à Dabakala et à 100 % à Bondoukou.

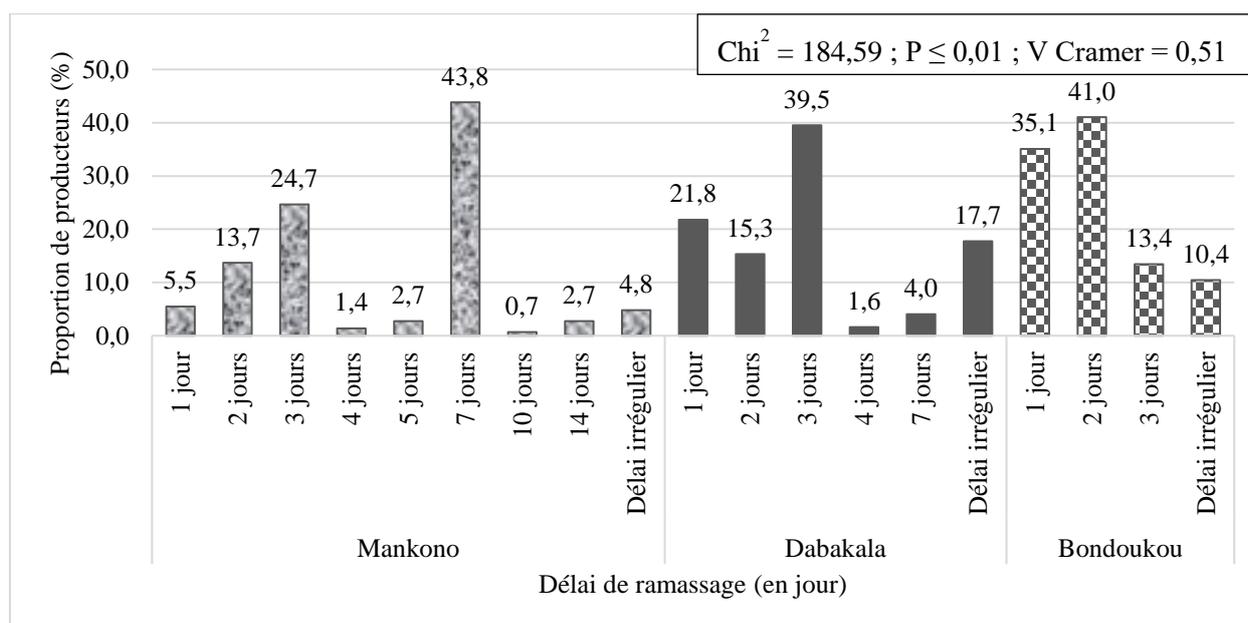


Figure 24: Délai de ramassage des noix de cajou dans les différentes zones de production

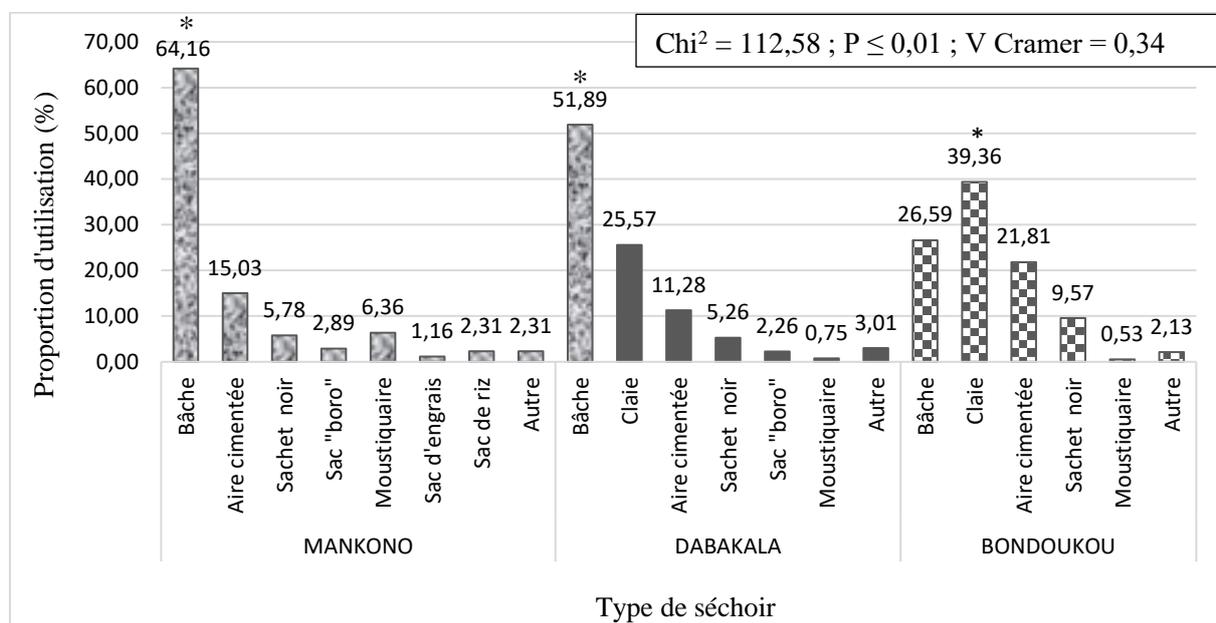
Tableau XIX: Techniques de séparation des noix de cajou des pommes selon la zone d'étude

Techniques de séparation des noix	Proportion des producteurs (%)			Total
	Mankono (n= 147)	Dabakala (n= 125)	Bondoukou (n= 114)	
Torsion	98,64	99,2	100	99,3
Technique du fil	1,36	0,8	0,0	0,7

1.3.2. Traitements post-récolte des noix de cajou

1.3.2.1. Techniques de séchage et d'entreposage des noix de cajou collectées

Les résultats de l'enquête révèlent que plusieurs types de séchoirs sont utilisés pour déshydrater les noix de cajou en milieu paysan (Figure 26). Toutefois, les séchoirs fréquemment utilisés sont la bâche, l'aire cimentée appelée communément « terrasse », la claie et le sachet noir. Aussi, l'analyse statistique à travers le test du Chi-2, montre que l'utilisation systématique de certains séchoirs est dépendante de la zone de production. Il s'agit de la bâche qui est majoritairement utilisée à Mankono (64,16 %) et à Dabakala (51,89 %) et de la claie qui est beaucoup appréciée dans la région du Gontougo avec 39,36 % de taux d'utilisation.



*= Forte corrélation entre la variable et la localité

Figure 25: Support de séchage des noix de cajou en fonction des zones de production

1.3.2.2. Séchage et stockage des noix de cajou

Le tableau XX révèle qu'indépendamment du type de séchoir, le séchage des noix se faisait pendant 1 à 4 jours à Mankono et 1 à 3 jours à Dabakala et à Bondoukou. En moyenne, cette opération technologique se déroulait durant 2 jours quel que soit la zone de production. Et, selon les producteurs interviewés, après le séchage, les noix étaient soit immédiatement vendues, soit entreposées pour attendre de meilleurs prix d'achat. Ainsi, le temps de stockage des noix pouvait atteindre 6 mois chez les producteurs de Mankono et Dabakala. Par contre, les producteurs à Bondoukou ne pouvaient patienter au maximum que pendant 5 mois. Dans le

second cas, les sacs en jute (80,1 %) étaient l’emballage privilégié pour cette tâche. Ensuite, viennent les sacs plastiques « boro » (13,8 %) et les paniers en tige de palme (5,9 %). Dans la localité de Mankono, les noix étaient souvent entreposées à même le sol (Tableau XXI).

Tableau XX: Durée de séchage et d’entreposage des noix de cajou dans les zones de production

Durée des pratiques	Mankono (n= 147)	Dabakala (n= 125)	Bondoukou (n= 114)	Moyenne
Durée de séchage des noix (Jour)				
Min	1	1	1	1,00
Max	4	3	3	3,33
Moyenne	1,98 ± 0,77 ^a	2,04 ± 0,68 ^a	2,18 ± 0,48 ^a	2,07 ± 0,64
Durée d’entreposage des noix (Mois)				
Min	2	1	1	1,33
Max	6	6	5	5,67
Moyenne	4,79 ± 1,4 ^b	2,09 ± 1,90 ^a	2,07 ± 1,20 ^a	2,98 ± 1,50

NB : Sur la même ligne, les moyennes suivies de la même lettre indiquent des différences non significatives au seuil de 5 % (Test de Newman-Keuls)

Tableau XXI: Mode d’entreposage des noix de cajou selon les sites d’enquête

Technique d’activité	Pourcentage (%)			Total
	Mankono (n= 147)	Dabakala (n= 125)	Bondoukou (n= 114)	
Entreposage des noix				
Activité réalisée (%)	17,69	16,80	40,35	24,9
Activité non réalisée (%)	82,31	83,20	59,65	75,1
Matériel d’entreposage utilisé				
Sac en jute	68,3	85,6	86,5	80,1
Sac "Boro"	26,2	3,2	11,9	13,8
Panier en tige de palme	4,8	11,2	1,6	5,9
A même le sol	0,7	0,0	0,0	0,2

1.3.2.3. Triage des noix défectueuses pendant les opérations post-récolte

En milieu paysan, le triage des noix défectueuses était réalisé durant le ramassage et le séchage des noix de cajou (Tableau XXII). Au séchage, les noix présentant des défauts visuels

étaient triées et jetées par la plupart des producteurs de Bondoukou (90,35 %), dans une certaine mesure de Dabakala (72 %) et de Mankono (57,14 %). Cependant, plus de la moitié des producteurs de Mankono (65,31 %) a avoué ne pas faire de tri au cours du ramassage des noix.

Tableau XXII: Taux de réalisation du triage des noix de cajou pendant la post récolte

Variables	Proportion des producteurs (%)			
	Mankono (n= 147)	Dabakala (n= 125)	Bondoukou (n= 114)	Total
Triage de noix défectueuses au ramassage				
Réalisé	31,97	66,4	77,19	58,5
Souvent Réalisé	2,72	3,2	0	2,0
Non Réalisé	65,31	30,4	22,81	39,5
Triage de noix défectueuses au séchage				
Réalisé	57,14	72	90,35	73,2
Souvent Réalisé	0,68	0,8	0	0,5
Non Réalisé	42,18	27,2	9,65	26,3

1.3.3. Pratiques phytosanitaires dans la culture de l'anacardier

1.3.3.1. Utilisation des pesticides dans la culture de l'anacardier

Le tableau XXIII révèle que 65,33 % des producteurs d'anacarde ont fortement recours aux produits phytosanitaires dans les vergers d'anacardiers. Les produits phytosanitaires les plus fréquemment utilisés étaient, dans la quasi-totalité des cas, des herbicides (87,20 %). Leurs taux d'utilisation étaient de 82, 84 % à Mankono, 90,52 % à Dabakala et 88,24 % à Bondoukou. Quant aux produits insecticides, un usage significatif par les producteurs a été constaté dans la zone de Bondoukou.

Tableau XXIII: Type de pesticides utilisés en fonction des zones d'étude

Variables	Pourcentage (%) par zone de production				
		Bondoukou (n= 114)	Dabakala (n= 125)	Mankono (n= 147)	Moyenne
Utilisation de PP par les producteurs	Oui	14,04	84,00**	97,96**	65,33
	Non	85,96**	16,00	2,04	34,67
Types de PP utilisés par les producteurs	Herbicides	88,24**	90,52**	82,84**	87,20
	Insecticides	11,76*	9,48	7,69	9,64
	Fongicides	0,00	0,00	9,47	3,16

PP = produits phytosanitaires ; (n) = nombre d'individus ; (**) = forte corrélation entre la variable et la localité (degré de signification du Khi2 < 0,05 et Phi > 0,7) ; (*) = faible corrélation entre la variable et la localité (degré de signification du khi2 < 0,05 et Phi < 0,7).

1.3.3.2. Techniques phytosanitaires observées dans les plantations d'anacardier

Les pratiques phytosanitaires contre les nuisibles (les mauvaises herbes et ravageurs) dans les champs d'anacardier variaient d'une zone de production à une autre (Figure 27). Pendant que certains producteurs associaient entretien manuel (utilisation de machette, charrue à disque lors de cultures associées) et usage de produits chimiques, d'autres par contre utilisaient de façon exclusive les pesticides comme seul moyen d'entretien et de lutte contre les nuisibles. Dans ce dernier groupe d'individus, on dénombre 4,10 % et 3,20 % des producteurs de Mankono et Dabakala.

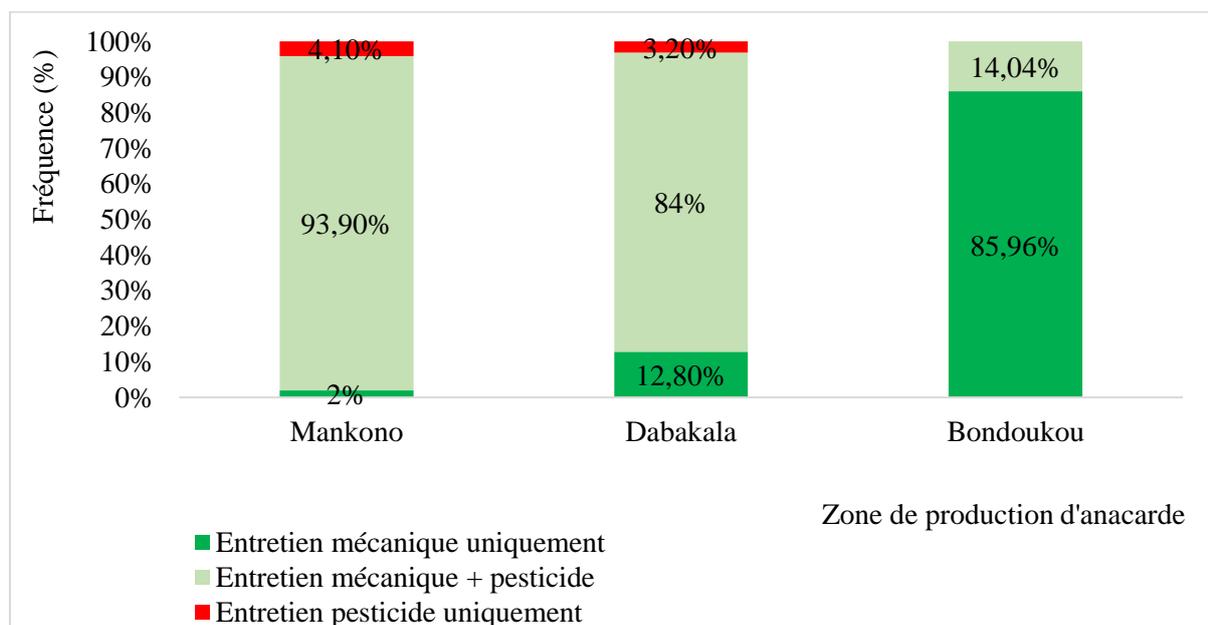


Figure 26: Répartition des zones de production selon la technique d'utilisation des pesticides

1.4. Discussion

La présente étude a permis d'analyser les pratiques culturelles existantes dans la production de noix de cajou en Côte d'Ivoire à travers les habitudes culturelles des producteurs de Mankono, Dabakala et Bondoukou.

L'enquête auprès des producteurs a révélé que la culture de l'anacardier est dévolue au genre masculin avec un sexe ratio de 16 hommes pour 1 femme. Comme au niveau de la cacaoculture, les femmes ont encore peu accès à la terre et au statut de planteur où elles possèdent 6 % des exploitations; soit un ratio identique de 16 hommes pour 1 femme (Ruf *et al.*, 2020). Le planteur "moyen" d'anacardier est donc aussi un homme à peine plus âgé, autour de 45 ans comme c'est le cas en cacaoculture (Ruf *et al.*, 2020). Toutefois, la proportion d'âge de plus de 51 ans est la plus représentative dans les zones de Dabakala (46,36 %) et Bondoukou (45,2 %). A Mankono, les producteurs paraissent plus jeunes car 31,25 % de ces derniers avaient l'âge compris entre 31 et 41 ans, ce qui pourrait expliquer le dynamisme en terme de tonnage dans cette zone. La culture de l'anacardier dans ces trois zones emploie donc une main d'oeuvre assez jeune par rapport à celle en Casamance au Sénégal où l'âge moyen est de 57 ans (Ndiaye *et al.*, 2017). Par ailleurs, les présents résultats ont révélé que plus de la moitié de cette main d'oeuvre (64,5 %) n'a jamais été à l'école. Elle exerce dans la plupart des cas (93,79 %), l'agriculture comme une activité génératrice de revenu. Les superficies des plantations varient d'une exploitation à une autre. A Mankono, elles sont en Moyenne de 5 hectares, à Dabakala 3 hectares et à Bondoukou 4 hectares. Cependant, la densité de la main d'oeuvre utilisée pendant la récolte des noix varie 3 à 7 personnes par hectare à Mankono, 5 à 8 personnes par hectare à Dabakala et 3 à 12 personnes par hectare à Bondoukou. Cela pourrait expliquer les délais de ramassage des noix assez longs à Mankono (7 jours) d'autant plus que la période de récolte coïncide avec celle du coton, la seconde culture de rente dans cette zone.

Les conséquences sur la qualité des noix de cajou seraient probablement la prolifération de champignons et la sécrétion de mycotoxines (Hell & Mutegi, 2011) mais aussi la détérioration des noix après stockage à savoir des changements dans les propriétés physiques et biochimiques des noix (Gyedu-Akoto *et al.*, 2014).

Le semis direct est le mode de semis le plus utilisé lors des créations de plantations dans ces localités. Un constat similaire dans la culture de l'anacardier au Sénégal (Ndiaye *et al.*, 2017). Concernant la typologie des plantations d'anacarde en Côte d'Ivoire, plus de la moitié des agriculteurs ont adopté l'association de plantes qui peut être intermittente ou annuelle. Les cultures fréquemment associées à la noix de cajou étaient l'igname, le maïs, l'arachide, le riz, le

manioc, le coton et le millet. Des études antérieures ont montré que les associations de plantes ou les cultures intercalaires offrent des perspectives intéressantes telles que la fertilité des sols, la lutte contre les mauvaises herbes dans les plantations d'anacarde, la prévention de la malnutrition et la diversification des revenus agricoles (Cesar & Gouro, 2001; Visalakshi *et al.*, 2015). Ce qui pourrait améliorer la qualité des productions. En effet, en fonction des conditions pédoclimatiques et des situations locales, des cultures annuelles comme les légumineuses, le gingembre, l'igname, le maïs, etc. peuvent être cultivées en intercultures. Les légumineuses telles que l'arachide, le niébé et les haricots conviennent parfaitement à la culture intercalaire (Visalakshi *et al.*, 2015). Toutefois, les agriculteurs devraient éviter certaines cultures intercalaires, car des problèmes de compétition entre plusieurs spéculations ont été signalés, avec pour conséquences un faible rendement ou une faible croissance des plantes (Cesar & Gouro, 2001 ; Visalakshi *et al.*, 2015). Par exemple, les cultures intercalaires pourraient être pratiquées les premières années (4-5 ans) lorsqu'il y a suffisamment d'espace entre les rangées de plantation, mais les cultures intercalaires de grande taille comme certaines variétés de sorgho et de mil ne devraient pas être encouragées entre les jeunes vergers, car elles fournissent trop d'ombre qui sont favorables aux attaques fongiques (Visalakshi *et al.*, 2015). En outre, les agriculteurs doivent éviter les plantes qui peuvent héberger des parasites et des maladies de la noix de cajou. En effet, il a été rapporté que l'abondance et la diversité des principaux insectes nuisibles et les maladies de la noix de cajou sont influencées par les zones et sous-zones agroécologiques (Agboton *et al.*, 2013). Cela pourrait probablement expliquer l'utilisation abondante de pesticides par les agriculteurs de Mankono. En effet, les agriculteurs de Mankono sont également des producteurs de coton. Ils ont donc tendance à utiliser les mêmes pesticides pour la culture des noix de cajou. L'application exclusive des pesticides concerne une population non négligeable de producteurs dans les zones de Mankono et Dabakala. En effet, 4 % et 3 % des producteurs de ces zones n'entretiennent les plantations qu'avec des produits phytosanitaires. De plus, ceux pratiquant l'entretien mixte (entretien manuel et le traitement chimique par intermittence) des plantations représentent la quasi-totalité des producteurs de Mankono (93 %) et Dabakala (84 %). En effet, presque tous les producteurs de Mankono et de Dabakala contre seulement un dixième des agriculteurs de Bondoukou ont utilisé le traitement chimique dans leurs vergers. Il est donc à prévoir que cela affecte la qualité de la noix de cajou si la présence de leurs résidus dans les noix de cajou dépassait les limites maximales de résidus (LMR) (Blanc, 2001). En outre, l'usage des pesticides dans les vergers d'anacardiens pourrait avoir des effets délétères sur des espèces autres que celles qui étaient visées ; et ce, à cause de leur toxicité et de leur persistance, d'autant plus que certains d'entre eux engendrent des

produits de dégradation aussi toxiques et plus persistants que la molécule originale. C'est le cas de l'éthylènedithiourée, produit de dégradation des fongicides de la classe des éthylène-bis-dithiocarbamates, dont font partie le manèbe et le mancozèbe (Maranghi *et al.*, 2013). Ce qui pourrait créer un stress suffisant pour faire obstacle à la reproduction et à la croissance des vers de terre ; réduisant ainsi les services écosystémiques des microorganismes comme la perte des propriétés agronomiques du sol (Yasmin & D'Souza, 2010 ; Pelosi *et al.*, 2014). Par ailleurs, l'apiculture dans les vergers d'anacardiens étant de plus en plus développée en Côte d'Ivoire, elle donne donc une raison supplémentaire de se préoccuper de l'utilisation des pesticides qui sont l'une des causes du déclin des abeilles (Simon-Delso *et al.*, 2014 ; Zhu *et al.*, 2014). Dans les faits, celles-ci sont sujettes à être en contact avec les pesticides après pulvérisation, car elles butinent les plantes qui en ont été aspergées. Les ouvrières, qui demeurent à la ruche, ainsi que les larves sont aussi sujettes à y être exposées à cause du pollen contaminé qui leur est apporté.

En ce qui concerne spécifiquement les fongicides, leur utilisation à Mankono pourrait s'expliquer par la prolifération des moisissures due à la fréquence de ramassage des noix de 7 jours. Cette situation pourrait être amplifiée par l'absence de tri des noix à Mankono. Des traitements post-récoltes qui pourraient avoir des conséquences néfastes sur la qualité des noix (Bugaud *et al.*, 2014 ; Manizan *et al.*, 2018). Le tri devrait donc être un moyen d'améliorer la qualité des noix de cajou car le retrait des noix défectueuses permet de réduire le risque de contamination des noix saines par les moisissures toxigènes. Des microorganismes semblent être inféodés aux noix de cajou selon les résultats d'une étude récente menée au Nigeria. En effet, les espèces fongiques à l'instar d'*Aspergillus favus*, *Rhizopus oryzae* et *Fusarium oxysporum* ont représenté 50 % de la flore fongique isolée des noix de cajou (Adetunji *et al.*, 2018).

Cette étude a également mis en exergue certaines réalités au niveau du séchage et du stockage des noix de cajou en milieu paysan. Au niveau du séchage des noix, l'utilisation de séchoirs à l'instar de la claie, l'aire cimentée communément appelée "terrasse" et les bâches ont été rapportés. Les mêmes séchoirs sont utilisés pour le séchage des fèves de cacao en Côte d'Ivoire (Dano *et al.*, 2013). Compte tenu de la contamination possible des noix de cajou par les aflatoxines (Milhome *et al.*, 2014 ; Adetunji *et al.*, 2018 ; Kujbida *et al.*, 2019), il avait été recommandé que le séchage des noix se fasse sur un sol dur, de préférence un sol en béton (Gyedu-Akoto *et al.*, 2014 ; Matimelo, 2017). En plus du support, la durée du séchage est également un facteur qui, s'il n'est pas adéquat, pourrait entraîner la contamination des fruits à coque par les aflatoxines. Notre étude a révélé un risque de contamination pour les noix issues des trois zones d'étude car tous les producteurs font sécher les noix pendant 2 jours en moyenne

alors qu'il a été recommandé un temps de séchage de 3-7 jours pour atteindre un niveau d'humidité de 10-12 % ou jusqu'à ce que les amandes cliquettent dans la coque (Gyedu-Akoto *et al.*, 2014; Matimelo, 2017). Enfin, le stockage des noix de cajou a également été investigué au cours de cette étude et au moins 50 % des agriculteurs ont stocké leur produit pendant une durée variant de 1 à 6 mois. Une pratique post-récolte favorable à la contamination par les moisissures et les mycotoxines si les taux d'humidité des noix sont supérieurs à 10 % (Torres *et al.*, 2014).

Conclusion partielle

Il ressort de ce travail que les traitements post-récoltes des noix de cajou en Côte d'Ivoire sont dans l'ensemble différents d'une région à une autre. Le ramassage et le séchage des noix de cajou dans les différentes zones de production se font pendant des temps variables. L'attente presque exclusif de 2 jours, 3 jours et 7 jours comme fréquence de ramassage respectivement dans l'Est, le Centre-Nord et le Nord-Ouest du pays et l'usage de différents matériaux de séchage dominés par la bâche, la claie, le sachet noir et l'aire cimentée pourraient influencer la qualité physique et nutritive des noix. Ces pratiques pourraient également favoriser la contamination des noix par les moisissures et les mycotoxines. Le stockage des noix allant jusqu'à 6 mois, combiné à la non maîtrise de l'humidité des noix du fait des temps de ramassage et de séchage variables constitue un facteur pouvant favoriser la prolifération des moisissures.

Dans la perspective d'une agriculture durable, il est nécessaire d'évaluer ces traitements de récolte et post-récolte dans la production des noix de cajou afin d'apprécier leur impact réel sur la contamination des noix par les moisissures et les mycotoxines.

Chapitre 2 : Caractéristiques technologiques et nutritives des noix de cajou des trois grandes zones de production en Côte d'Ivoire

Les caractéristiques technologiques et nutritives des produits agricoles sont souvent influencées par les zones agroécologiques de production. Il est donc utile qu'une étude sur les noix de cajou produites en Côte d'Ivoire soit entreprise pour leur conférer une identité qualitative selon le terroir de production. Il s'agira ainsi de fournir des données scientifiques sur la qualité des noix originaires de trois différentes régions de production du pays, sous différents aspects : qualité technologique (qualité physique et commerciale) et qualité nutritive.

2.1. Propriétés physiques des noix de cajou entières et de leurs composants selon la région de production

L'analyse du tableau XXIV, révèle que le poids moyen unitaire des noix de cajou demeure identique dans les principales zones de production. Malgré cette similarité de poids au niveau des noix entières, la masse des amandes à l'intérieur varie d'une région écologique à une autre. Elle était plus importante à Bondoukou avec une valeur moyenne de 2,16 g contre 1,90 g et 1,81 g à Dabakala et à Mankono respectivement. En général, les masses des amandes produites au niveau des principales zones valent 31,1 fois en moyenne la masse entière des noix. De l'analyse des coques, il ressort que leur proportion dans les noix de cajou variait significativement selon la zone de culture. Elle était de 66,8 % au niveau de Mankono, 64,50 % au niveau de Dabakala et 60,21 % quand les noix provenaient de l'Est du pays.

Tableau XXIV: Variation de la masse de la noix de cajou, de ses différents composants et de leur proportion selon les zones de production

Paramètres	Mankono			Dabakala			Bondoukou			Total		
	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne
Masse de la noix entière (g)												
Noix entière	9,74	3,44	6,24 ± 1,46 ^a	8,54	4,37	6,21 ± 1,31 ^a	9,22	3,65	6,19 ± 1,45 ^a	9,74	3,44	6,23 ± 1,41
Masse des composants (g)												
Amande	2,90	1,07	1,81 ± 0,38 ^a	2,79	1,35	1,9 ± 0,33 ^a	3,23	0,94	2,16 ± 0,45 ^b	3,23	0,94	1,94 ± 0,39
Coque	6,64	2,14	4,08 ± 1,01 ^a	5,52	2,53	3,99 ± 0,71 ^a	5,49	2,16	3,74 ± 0,80 ^a	6,64	2,14	3,96 ± 0,84
Pellicule	1,32	0,01	0,35 ± 0,18 ^a	0,63	0,18	0,31 ± 0,16 ^a	1,80	0,20	0,29 ± 0,23 ^a	1,80	0,01	0,33 ± 0,19
Proportion des composants (%)												
Amande	40,43	18,14	29,27 ± 3,63 ^a	38,99	24,35	30,81 ± 3,53 ^b	45,18	14,64	34,9 ± 4,96 ^c	45,18	14,64	31,3 ± 4,04
Coque	73,67	44,58	66,8 ± 4,08 ^a	86,19	56,50	64,50 ± 3,46 ^b	80,96	49,54	60,21 ± 3,63 ^c	80,96	44,58	65,27 ± 3,72
Pellicule	26,72	0,20	5,67 ± 3,31 ^a	19,02	2,27	5,04 ± 2,14 ^a	28,04	2,64	5,4 ± 3,59 ^a	28,04	0,20	5,38 ± 3,03

Sur la même ligne, les moyennes suivies de la même lettre indiquent des différences non significatives au seuil de 5 % (Test de Newman-Keuls)

2.2. Caractéristiques morphométriques des noix de cajou selon les zones de production

2.2.1. Taille des noix et amandes de cajou selon la zone de production

La longueur, la largeur et l'épaisseur des noix et amandes de cajou sont indiquées dans le tableau XXV. Les dimensions moyennes des noix étaient presque identiques quelque soit la zone de production. La seule différence était constatée au niveau des longueurs. En effet, Les noix de Bondoukou étaient significativement moins longues (28,50 mm) que celles de Mankono (29,34 mm) et Dabakala (29,73 mm). Les longueurs des amandes étaient comprises entre 12,2 et 31,5 mm, les largeurs entre 6,1 et 24,9 mm et les épaisseurs entre 5 et 30,6 mm. Mais les amandes des noix de Bondoukou paraissaient plus épaisses (15,15 mm) en moyenne que celles des noix de Dabakala (11,38 mm) et Mankono (11,20 mm).

2.2.2. Paramètres morphologiques des noix et amandes de cajou selon la zone de production

L'analyse des résultats présentés dans le tableau XXVI, montre que le volume et l'aire projetée des noix diffèrent selon la zone écologique de production. Les résultats révèlent aussi que les amandes des noix originaires de l'Est du pays sont significativement différents au niveau de leur forme. En effet, la valeur moyenne de leur élongation est de 2,36. Ainsi, elles sont moins étirées que les amandes des noix de Dabakala (2,42) mais plus étirées que celles des noix de Mankono (2,24). Par ailleurs, les amandes de noix de Bondoukou sont moins plates (0,72), plus sphérique (65,09 %) avec des diamètres arithmétique (16,40 mm) et géométrique (15,33 mm), un volume (2068,23 mm³) et une surface plane (760,76 mm²) plus importants.

Tableau XXV: Caractéristiques des dimensions des noix et amandes de cajou des différentes zones de production

Paramètres désignés	Mankono			Dabakala			Bondoukou			Total		
	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne
Noix												
L/ mm	35,5	17	29,34 ±4,49 ^a	44,1	21,5	29,73 ±2,66 ^a	42,6	21,1	28,50 ±2,8 ^b	44,1	17	29,19 ± 3,32
l / mm	30,5	16	23,33 ±2,34 ^a	29,2	17,8	23,37 ±2,08 ^a	43,6	11,8	23,21 ±2,79 ^a	43,6	11,8	23,30 ± 2,4
Ep / mm	26,8	11	16,72 ±1,91 ^a	23	12	16,48 ±1,61 ^a	25,6	11,5	16,74 ±1,84 ^a	26,8	11	16,65 ± 1,79
Amande												
L/ mm	30	12,2	22,84 ±3,08 ^a	26,6	19,4	23,59 ±1,70 ^a	31,5	14	23,64 ±3,15 ^a	31,5	12,2	23,36 ± 2,64
l / mm	24,9	6,3	10,48 ±2,57 ^a	13,4	6,1	9,90 ±1,37 ^a	15,8	6,5	10,40 ±2,59 ^a	24,9	6,1	10,26 ± 2,18
Ep / mm	20,8	5	11,20 ±1,91 ^a	16	5,6	11,38 ±1,58 ^a	30,6	9	15,15 ±4,73 ^b	30,6	5	12,58 ± 2,74

L = longueur, l = largeur, et Ep = épaisseur.

Sur la même ligne, les moyennes suivies de la même lettre indiquent des différences non significatives au seuil de 5 % (Test de Newman-Keuls)

Tableau XXVI: Caractéristiques des traits morphométriques des noix et amandes de cajou des différentes zones de production

Paramètres désignés	Mankono			Dabakala			Bondoukou			Total		
	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne
Noix												
Da / mm	42,2	14,67	23,13 ±2,28 ^a	28,77	18,1	23,19 ±1,71 ^a	34,07	17,7	23,12 ±2,09 ^a	42,2	14,67	23,15 ± 2,03
Dg / mm	31,11	14,41	22,48 ±2,00 ^a	28,23	17,44	22,51 ±1,66 ^a	33,35	17,47	22,48 ±2,03 ^a	33,35	14,41	22,49 ± 1,90
φ / %	97,95	35,07	77,09 ±4,74 ^a	99,98	52,49	75,92 ±4,04 ^a	95,08	60,46	76,59 ±3,85 ^a	99,98	35,07	76,53 ± 4,21
E / -	3,79	0,89	1,26 ±0,17 ^a	2,32	0,86	1,28 ±0,11 ^a	2,5	0,69	1,27 ±0,11 ^a	3,79	0,69	1,27 ± 0,13
A / -	1,92	0,85	1,41 ±0,15 ^a	1,9	0,99	1,43 ±0,14 ^a	2,41	0,72	1,39 ±0,17 ^b	2,41	0,72	1,41 ± 0,15
V / mm ³	15758,18	1566,61	6089,06 ±1636,4 ^a	11777,2	2775,91	6067,4 ±1341,3 ^b	19414,54	2792,48	6098,8 ±1779,5 ^c	19414,54	1566,61	6085,1 ± 1586
S / mm ²	3039,64	652,32	1600,09 ±284,3 ^a	2503,3	955,19	1600,15 ±235,4 ^a	3493,3	958,98	1600,87 ±298,2 ^a	3493,3	652,32	1600,4±272,6
Ap / mm ²	1630,16	213,63	541,48 ±116,80 ^a	829,76	309,01	548,07 ±84,68 ^b	1137,57	268,04	540,08 ±108,80 ^a	1630,16	213,63	543,2 ± 103,4
Amande												
Da / mm	23,57	8,03	14,84 ±1,93 ^a	17,7	11,37	14,96 ±1,22 ^a	23,47	12,13	16,40 ±2,69 ^b	23,57	8,03	15,4 ± 1,95
Dg / mm	23,16	7,55	13,80 ±1,90 ^a	16,65	9,9	13,81 ±1,29 ^a	22,25	11,15	15,33 ±2,71 ^b	23,16	7,55	14,31 ± 1,97
φ / %	92,72	46,31	60,84 ±7,09 ^a	65,4	47,6	58,55 ±3,81 ^a	94,97	51,56	65,09 ±9,21 ^b	94,97	46,31	61,49 ± 6,70
E / -	3,04	0,88	2,24 ±0,37 ^a	3,57	1,76	2,42 ±0,31 ^b	3,54	1,44	2,36 ±0,44 ^{ab}	3,57	0,88	2,34 ± 0,37
A / -	2,12	0,64	0,95 ±0,25 ^a	1,57	0,62	0,88 ±0,15 ^a	1,22	0,38	0,72 ±0,20 ^b	2,12	0,38	0,85 ± 0,20
V / mm ³	6501,84	225,37	1456,84 ±765,47 ^a	2417,77	508,32	1413,56 ±374,3 ^a	5768,12	725,94	2068,2 ±1200,8 ^b	6501,84	225,37	1646,2 ±780,2
S / mm ²	1684,64	179,09	609,04 ±184,12 ^a	871,15	308,02	604,16 ±109,46 ^a	1555,39	390,62	760,76 ±282,4 ^b	1684,64	179,09	657,99 ± 192
Ap / mm ²	468,88	60,37	190,02 ±61,14 ^a	254,88	104,44	184,26 ±33,8 ^a	390,89	89,34	197,10 ±69,60 ^b	468,88	60,37	190,46 ± 54,9

Da = diamètre arithmétique moyen, Dg = diamètre géométrique moyen, φ = sphéricité, E = élongation, A = degré d'aplatissement, V = volume, S = surface, Ap = aire projetée. Sur la même ligne, les moyennes suivies de la même lettre indiquent des différences non significatives au seuil de 5 % (Test de Newman-Keuls)

2.2.3. Effet des zones agroécologiques sur les paramètres morphométriques des noix et amande de cajou

Les axes F1 et F2 de l'analyse en composantes principales (ACP) expliquent la totalité (100 %) des variances (Figures 28 et 29). L'observation des cercles de corrélation (Figure 28A et 29A) montre que tous les paramètres étudiés sont bien représentés. Le nuage de points de l'ACP des zones de production révèle trois classes selon leurs critères de similarité (Figure 28B et 29B). La classe I, représentée par la zone de Bondoukou, est caractérisée par des noix beaucoup plus volumineuses ayant des surfaces planes plus importantes (Figure 28A). Ces noix regroupent des amandes dont la majorité des propriétés physiques étudiées (la longueur, l'épaisseur, le diamètre arithmétique, le diamètre géométrique, la sphéricité, le volume, la surface et l'aire projetée des amandes) sont supérieures à celles des amandes provenant de Dabakala et Mankono (Figure 29A). La classe III est représentée par la zone de Mankono. Cette zone produit des noix sphériques (Figure 28A) contenant des amandes larges et plates (Figure 29A). Quant à la zone de Dabakala, elle correspond à la deuxième classe. L'analyse des résultats de la figure 28A révèle plusieurs caractéristiques de ces noix. Elles sont aussi bien allongées que larges, avec des diamètres arithmétique et géométrique plus grands. Cependant, ces noix sont plus plates par rapport aux noix de Bondoukou et Mankono. On y trouve également des amandes allongées.

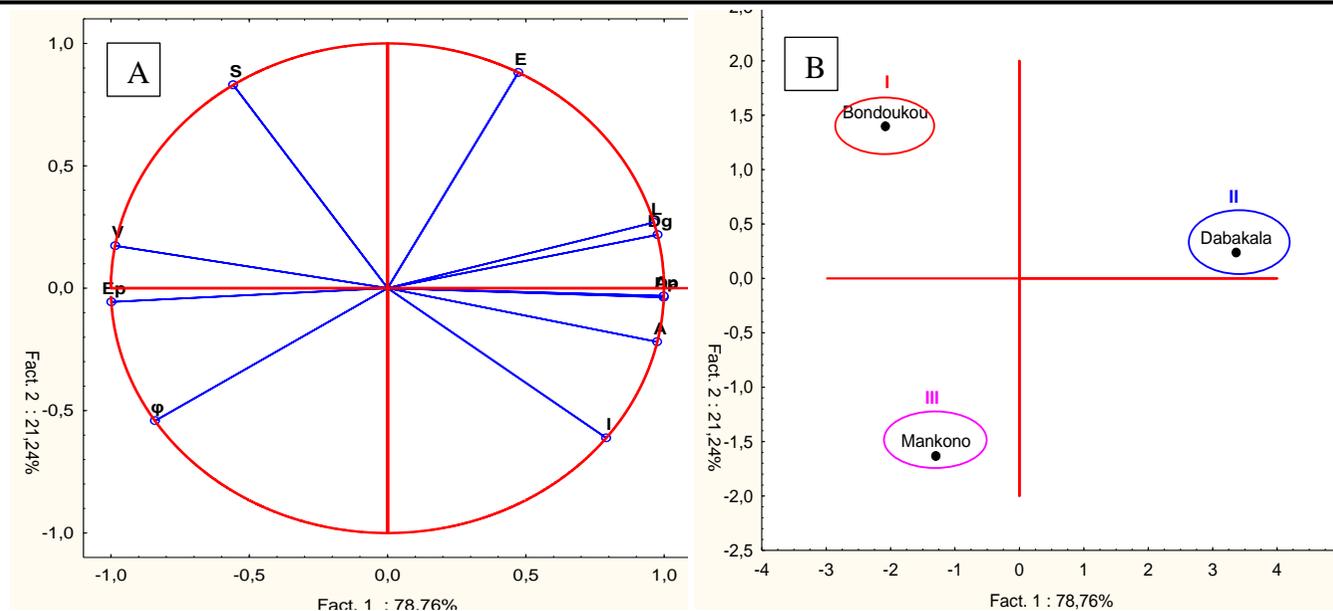


Figure 27: Projection des paramètres physiques (A) et représentation des noix de cajou brute selon la zone de production (B)

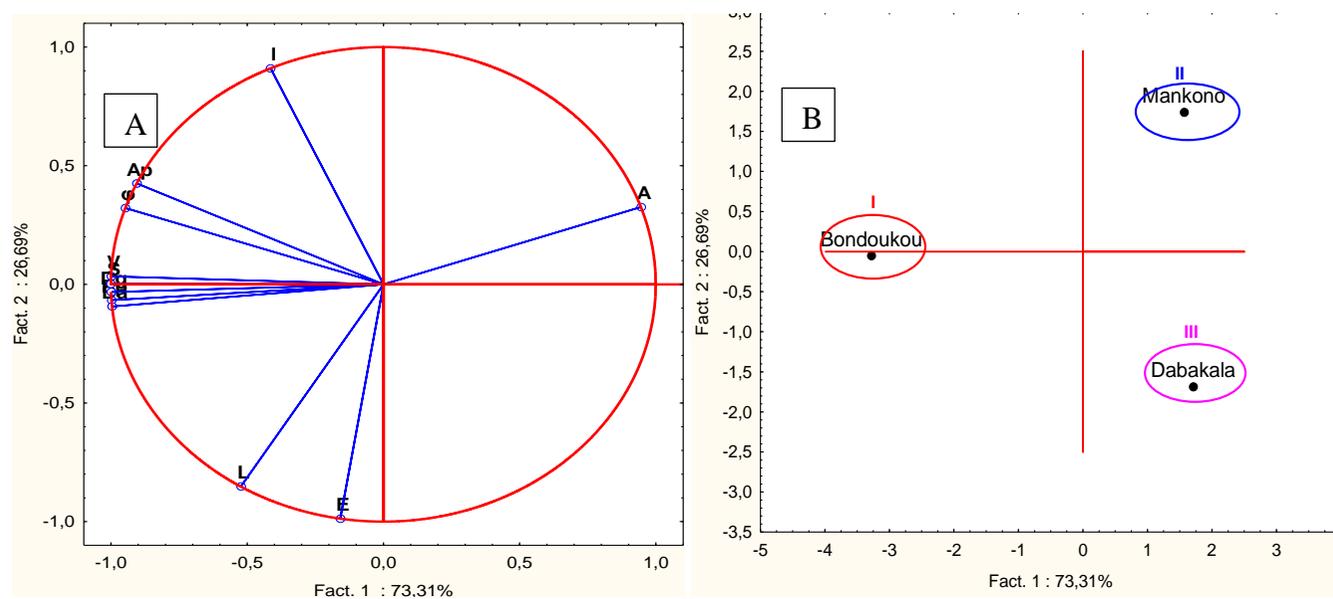


Figure 28: Projection des paramètres physiques (A) et représentation des amandes de cajou selon la zone de production (B)

2.3. Corrélation entre les paramètres morphométriques des noix de cajou produites

L'étude de la corrélation entre les paramètres du fruit d'*Anacardium occidentale* L., a permis d'identifier les différentes interactions entre les caractéristiques physiques (Tableau XXVII) et morphologiques (Tableau XXVIII) des noix de cajou. L'analyse des résultats montre que la masse de la noix de cajou est significativement et positivement corrélée à sa longueur ($r = 0,79$), sa largeur ($r = 0,73$) et à son épaisseur ($r = 0,65$). Du côté de l'amande, la masse était beaucoup plus sensible à la masse de la noix brute ($r = 0,7$). Quant à la forme des noix, leur élongation était négativement et significativement corrélée au diamètre géométrique ($r = -0,78$). Les plus fortes corrélations sont obtenues entre le diamètre arithmétique des amandes ($r = -0,99$) et des noix de cajou ($r = -0,99$) et leurs sphéricités respectives.

Tableau XXVII: Matrice de corrélation entre les caractéristiques physique des noix de cajou

Variables	Noix				Amande				Coque	Pellicule
	L/ mm	l / mm	Ep / mm	Masse(g)	L/ mm	l / mm	Ep / mm	Masse(g)	Masse(g)	Masse(g)
Noix										
L/ mm	1									
l / mm	0,61**	1								
Ep / mm	0,36	0,47	1							
Masse (g)	0,79**	0,73**	0,65**	1						
Amande										
L/ mm	0,48	0,3	0,15	0,46	1					
l / mm	0,12	-0,04	0,01	0,09	0,45	1				
Ep / mm	-0,07	-0,1	0,08	0,12	0,25	0,34	1			
Masse (g)	0,52**	0,44	0,42	0,74**	0,43	0,1	0,37	1		
Coque										
Masse (g)	0,78**	0,75**	0,67**	0,96**	0,4	0,05	0,02	0,56**	1	
Pellicule										
Masse (g)	0,24	0,2	0,13	0,27	0,15	0,11	0,04	-0,11	0,19	1

L = longueur, l = largeur, et Ep = épaisseur.

** : Corrélation significative au seuil de probabilité $P < 0,05$

Tableau XXVIII: Matrice de corrélation entre les caractéristiques morphologiques des noix de cajou

Variables	Noix					Amande				
	φ / %	Dg / mm	E / -	A / -	Da / mm	φ / %	Dg / mm	E / -	A / -	Da / mm
Noix										
φ / %	1									
Dg / mm	0,19	1								
E / -	-0,18	-0,78**	1							
A / -	-0,03	-0,34	-0,32	1						
Da / mm	0,99**	0,08	-0,13	0,07	1					
Amande										
φ / %	0,12	-0,09	0,14	-0,08	0,13	1				
Dg / mm	-0,21	0,1	0,05	-0,22	-0,24	0,54**	1			
E / -	0,14	0,05	-0,11	0,09	0,15	-0,43	-0,71**	1		
A / -	-0,01	-0,23	0,14	0,13	0,02	-0,09	-0,2	-0,45	1	
Da / mm	0,16	-0,12	0,16	-0,06	0,17	0,99**	0,44	-0,33	-0,08	1

Da = diamètre arithmétique moyen, Dg = diamètre géométrique moyen, φ = sphéricité, E = élongation, A = degré d'aplatissement, V = volume, S = surface

** : Corrélation significative au seuil de probabilité $P < 0,05$

2.4. Caractérisation physico-chimique des noix de cajou selon la zone de collecte

2.4.1. Paramètres biochimiques des noix des zones de collecte

Le pH, l'ESR, l'acidité titrable, les sucres totaux, la matière grasse, les protéines, la matière sèche, la fibre et la cendre des noix de cajou des trois zones de production sont résumées dans le tableau XXIX. Les pH des noix de cajou varient de 6,35 à 6,39. Au niveau de l'acidité titrable, les valeurs varient entre 0,04 et 0,06 %. Elles sont statistiquement différentes entre les échantillons des différentes zones de production. La différence statistique au niveau biochimique, est aussi marquée par la forte teneur en ESR des noix provenant de la zone de Bondoukou avec une valeur correspondante de 1,93° Brix. Les teneurs en sucres totaux sont également variables. La différence entre les teneurs des échantillons des noix étudiées sont statistiquement significatives. En effet, les résultats montrent que les noix de Bondoukou et Dabakala sont plus sucrées avec des teneurs respectives de 17,20 et 17,17 % que les noix de Mankono (16,80 %). Concernant les protéines, les teneurs varient en fonction de la zone écologique. Les échantillons des noix de Bondoukou et Dabakala semblent avoir les teneurs les plus élevées avec une prépondérance pour les noix de Dabakala (19,15 %). Les teneurs les plus élevées en fibres et en cendre ont été observées au niveau des noix de Dabakala et Bondoukou. Ces teneurs sont significativement supérieures aux teneurs en fibres (3,40 %) et en cendre (4,08 %) des noix de Mankono. Les teneurs en matière grasse des noix de cajou ont été influencées par la zone de production. Cependant, elles ont été plus élevées au niveau des noix de Mankono (50,14 %) et de Dabakala (48,35 %) de façon respective.

Tableau XXIX: Composition biochimiques des noix des différentes zones de production

Paramètres	Mankono	Dabakala	Bondoukou	Moyenne
pH	6,35 ± 0,05 ^a	6,36 ± 0,03 ^a	6,39 ± 0,03 ^a	6,37 ± 0,04
Acidité titrable (%)	0,06 ± 0,01 ^a	0,04 ± 0,01 ^b	0,06 ± 0,01 ^a	0,06 ± 0,01
ESR (°Brix)	1,08 ± 0,18 ^a	1,16 ± 0,26 ^a	1,93 ± 0,05 ^b	1,42 ± 0,44
Sucre totaux (%)	16,80 ± 0,14 ^a	17,17 ± 0,14 ^b	17,20 ± 0,17 ^b	17,06 ± 0,24
Protéine (%)	18,47 ± 0,06 ^a	19,15 ± 0,09 ^b	18,95 ± 0,28 ^b	18,86 ± 0,34
Matière grasse (%)	50,14 ± 1,92 ^a	48,35 ± 2,15 ^b	46,36 ± 3,68 ^c	48,28 ± 2,58
Matière sèche (%)	95,47 ± 0,17 ^a	95,65 ± 0,31 ^a	95,47 ± 0,31 ^a	95,53 ± 0,27
Fibre (%)	3,40 ± 0,13 ^a	3,02 ± 0,31 ^b	3,02 ± 0,29 ^b	3,15 ± 0,30
Cendre (%)	4,08 ± 0,14 ^a	4,34 ± 0,12 ^b	4,41 ± 0,10 ^b	4,28 ± 0,18

Sur chaque ligne, les valeurs suivies des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de comparaison de moyenne de Newman-Keuls.

2.4.2. Profil lipidique des noix des zones de collecte

Les matières grasses étaient les macronutriments les plus abondants dans les échantillons de noix de cajou analysés avec en moyenne 48,28 % du poids total des éléments nutritifs. La composition en acide gras des extraits lipidiques des différents échantillons est consignée dans le tableau XXX. Au total, 10 acides gras ont été identifiés, notamment l'acide caprylique, caprique, laurique, myristique, palmitique, stéarique, oléique, linoléique, linoléinique et arachidique. La majorité (55,55 %) de ces acides gras étaient insaturés. Ces derniers étaient constitués de 34,05 % d'acides monoinsaturés et 21,50 % d'acides polyinsaturés. Les teneurs en acides gras monoinsaturés et polyinsaturés des différents échantillons variaient respectivement de 19,83 à 51,67 % et 7,62 à 42,88 %. Ces teneurs sont statistiquement différentes et cela traduit l'influence de la zone écologique sur les échantillons de noix de cajou. En effet, les résultats révèlent que les noix de cajou de Mankono ont les teneurs les plus élevées en acide monoinsaturé avec une valeur correspondante de 51,67 %. Ensuite, viennent les noix des zones de Bondoukou (30,65 %) et Dabakala (19,83 %). En ce qui concerne les acides gras polyinsaturés, les plus fortes teneurs étaient enregistrées au niveau des

noix de Dabakala avec un taux de 42,90 %. Il est suivi d'un taux de 14,02 % au niveau des noix de Bondoukou et 7,66 % pour les noix de Mankono.

Tableau XXX: Profil et teneur des acides gras contenus dans les différents échantillons de noix

Acides gras	Mankono	Dabakala	Bondoukou	Moyenne
Profil des acides gras				
Acide gras saturé (%)	40,71 ±12,09 ^a	37,29 ±7,72 ^b	55,34 ±7,41 ^c	44,45 ±9,59
Acides gras monoinsaturés (%)	51,67 ±1,46 ^a	19,83 ±2,68 ^b	30,65 ±2,61 ^c	34,05 ±16,19
Acides gras polyinsaturés (%)	7,62 ± 9,03 ^a	42,88 ± 16,74 ^b	14,00 ±8,61 ^c	21,50 ±18,79
Teneur des acides gras totaux (%)				
Acide caprylique (C8 :0)	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,01 ^b	0,03 ±0,01
Acide caprique (C10 :0)	0,04 ± 0,01 ^a	0,01 ± 0,00 ^b	0,01 ± 0,00 ^b	0,02 ±0,01
Acide laurique (C12 :0)	0,11 ± 0,02 ^a	0,46 ± 0,22 ^b	0,53 ± 0,18 ^b	0,37 ±0,13
Acide myristique (C14 :0)	0,05 ± 0,01 ^a	0,54 ± 0,35 ^a	0,51 ± 0,21 ^a	0,37 ±0,19
Acide palmitique (C16 :0)	35,10 ± 20,66 ^a	28,60 ± 11,63 ^b	45,81 ± 9,23 ^c	36,50 ±13,84
Acide stéarique (C18 :0)	5,23 ± 2,08 ^a	7,42 ± 2,54 ^a	8,12 ± 1,33 ^a	6,92 ±1,98
Acide oléique (ω -9) (C18 :1)	51,67 ± 1,46 ^a	19,83 ± 2,68 ^b	30,65 ± 2,61 ^c	34,05 ±2,25
Acide linoléique (ω -6) (C18 :2)	7,41 ± 1,23 ^a	42,49 ± 10,24 ^b	13,71 ± 1,17 ^c	21,20 ±4,21
Acide linolénique (ω -3) (C18:3)	0,21 ± 0,04 ^a	0,40 ± 0,12 ^a	0,30 ± 0,05 ^a	0,30 ±0,07
Acide arachidique (C20 :0)	0,18 ± 0,02 ^a	0,24 ± 0,00 ^a	0,31 ± 0,06 ^a	0,24 ±0,03

Sur chaque ligne, les valeurs suivies des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de comparaison de moyenne de Newman-Keuls.

2.4.3. Composition minérale des noix des zones de collecte

La composition en P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu et Zn des noix de cajou issues des trois zones écologiques (Mankono, Dabakala et Bondoukou) est résumée dans le tableau XXXI. Ainsi, les teneurs en mg/100 g de matière sèche du P varient de 465,20 à 466,15 ; celles du K de 659,84 à 665,60 ; celles du Na de 33,27 à 35,71 ; celles du Ca de 37,46 à 38,15 ; celles du Mg de 250,92 à 251,79 ; celles du Fe de 4,91 à 5,27 ; celles de Cu de 3,26 à 3,57 et enfin celles du Zn de 2,05 à 2,09. Il n'y a pas de différence significative attribuable à la zone écologique pour les teneurs en P, Cu, Fe et en Zn. Par contre, pour les teneurs en K, Na, Ca et Mg, les différences sont significatives entre les échantillons des noix analysées. Cette différence traduit également une influence de la zone écologique. En effet, les teneurs en K, Na, Ca et Mg sont

prépondérantes dans les noix de Dabakala et Bondoukou que celles présentes dans les noix de Mankono respectivement.

Tableau XXXI: Composition minérale des noix des différentes zones de production

Paramètres	Mankono	Dabakala	Bondoukou	Moyenne
P (mg/100g)	465,20 ± 0,13 ^a	465,88 ± 0,17 ^a	466,15 ± 0,33 ^a	465,75 ± 0,46
K (mg/100g)	659,84 ± 0,81 ^a	664,63 ± 0,43 ^b	665,60 ± 1,37 ^b	663,36 ± 2,74
Na (mg/100g)	33,27 ± 0,19 ^a	35,57 ± 0,09 ^b	35,71 ± 0,20 ^b	34,85 ± 1,16
Ca (mg/100g)	37,46 ± 0,36 ^a	38,11 ± 0,24 ^b	38,15 ± 0,19 ^b	37,91 ± 0,41
Mg (mg/100g)	250,92 ± 0,21 ^a	251,60 ± 0,46 ^b	251,79 ± 0,54 ^b	251,44 ± 0,58
Fe (mg/100g)	5,27 ± 0,18 ^a	4,91 ± 0,20 ^a	5,15 ± 0,23 ^a	5,11 ± 0,25
Cu (mg/100g)	3,26 ± 0,09 ^a	3,39 ± 0,29 ^a	3,57 ± 0,25 ^a	3,41 ± 0,25
Zn (mg/100g)	2,05 ± 0,04 ^a	2,08 ± 0,02 ^a	2,09 ± 0,04 ^a	2,07 ± 0,04

Sur chaque ligne, les valeurs suivies des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de comparaison de moyenne de Newman-Keuls.

2.5. Discussion

Ce chapitre de notre étude a été une découverte des caractéristiques morphométriques et biochimiques des noix de cajou des trois différentes régions agroécologiques que sont Mankono, Dabakala et Bondoukou. L'objectif était d'évaluer les probables disparités au niveau de la qualité technologique et nutritive des noix originaires de différentes zones de production.

En ce qui concerne les aspects morphométriques, les variables suivies ont été la masse et les dimensions de la noix brute et de ses différents composants. Les résultats ont différé essentiellement au niveau de la masse des amandes et de leur proportion. Les amandes des noix de Bondoukou étaient beaucoup plus lourdes avec une masse moyenne de 2,16 g contre 1,90 g à Dabakala et 1,81 g à Mankono. Ces résultats corroborent ceux de Alae-Carew *et al.* (2020). Ces auteurs ont révélé un réel impact environnemental sur la masse des amandes de noix à travers la teneur en eau qui évolue en fonction des conditions environnementales. Dans l'ensemble, les masses moyennes des amandes restent toutes supérieures à la masse moyenne de la variété Madras (1.74 g), mais faibles face aux amandes de la variété Jumbo (3.98 g) avec une teneur en eau moyenne de 8 % (Adeigbe *et al.*, 2016). Les proportions massiques des amandes étaient significativement différentes d'une zone de production à une autre : 35,14 % à Bondoukou contre 30,81 % à Dabakala et 29,27 % à Mankono. Un résultat qui indique un rendement variable en amande par unité de masse de noix de cajou brute. Aussi, de façon particulière, les résultats indiquent que le rendement en amande des noix de Bondoukou est largement plus élevé que celui des noix de l'Inde. En effet, les amandes de cette seconde plus grande zone de production mondiale, ne représentent au maximum que 32,60 % de la noix brute (Balasubramanian, 2001).

Les valeurs massiques des noix brutes sont similaires d'une région à une autre, en moyenne 6,23g. Elles sont largement supérieures à celles de la variété Henry et James (5,56g) rapportés par Touré *et al.* (2018), de la variété Madras (Adeigbe *et al.*, 2016) et celles provenant des localités de Darou Khayrou (4,01 g) et de Dioubor (4,14 g) au Sénégal (Coly, 2017). Cependant, les masses des noix de cajou produites dans les zones de Bondoukou, Dabakala et Mankono restent inférieurs à celles des génotypes sélectionnés pour l'amélioration de la qualité des noix en Côte d'Ivoire qui pèsent en moyenne 6,87 g (Touré *et al.*, 2018). Les masses des noix des zones étudiées sont aussi faibles, comparées aux masses des variétés Costa Rica (9,75 g) et Jumbo (17.86 g) selon l'étude réalisée par Adeigbe *et al.* (2016). La variété de la noix de cajou d'une part, et les conditions agro-climatiques de production d'autre part, pourraient expliquer la nette différence enregistrée suivant les régions et au sein d'une même zone (Kelly, 2005 ; Adeigbe *et al.*, 2016 ; Touré *et al.*, 2018). En considérant les aspects dimensionnels des

noix de cajou, les données ont révélé, en grande partie, des valeurs similaires. Mais, certaines caractéristiques particulières ont été identifiées avec des noix de Bondoukou qui étaient plus courtes et dont la moyenne arithmétique des diamètres et de la sphéricité était nettement inférieure. Ces différences de propriétés physiques des noix de cajou d'origines diverses pourraient s'expliquer par la variété des noix de cajou combinée aux conditions agro-climatiques de production (Kelly, 2005 ; Adeigbe *et al.*, 2016 ; Touré *et al.*, 2018). Ainsi, les noix de notre étude étaient plus longues (2,85 à 2,97 cm) par rapport à celles rapportées en Inde (2,5 cm) et les variétés du Bénin (2,8 cm), James (2,64 cm) et Henry (2,71 cm) respectivement (Balasubramanian, 2001 ; Touré *et al.*, 2018) mais plus courtes par rapport à celles (2,5 à 3,27 cm) rapportées par Kilanko (2018). La largeur moyenne des noix (2,33 cm) semble similaire à celles des noix du Nigeria (2,04 à 2,49 cm) mais inférieures à celles de la variété Jumbo (3,36 cm) comme indiqué précédemment (Adeigbe *et al.*, 2016; Kilanko, 2018). En outre, l'épaisseur et la sphéricité moyenne des noix de Côte d'Ivoire étaient similaires à celles rapportées par Kilanko (2018) pour le Nigeria : (1,45 à 1,71 cm) et (73,71 %) respectivement.

Les amandes des noix de Bondoukou avaient également des particularités plus remarquables si l'on considère leur propriétés physiques. Les amandes de noix de Bondoukou étaient en général plus bombées ou épaisses, plus rondes et leurs longueurs faisaient 2,34 fois celles des largeurs en comparaison de celles des noix en provenance des autres régions. Toutefois, du point de vue de la sphéricité, on peut noter que les amandes de cajou des différentes zones de production en Côte d'Ivoire sont loin d'être considérées comme sphériques. En effet, les résultats des mesures montrent que leurs formes ne sont proches de celle d'une sphère, qu'à 61 % au maximum. Ainsi, comme Aboudou *et al.*, (2017), on pourrait alors être tenté d'en déduire que les variations pédologiques et géographiques, auraient des effets significatifs non seulement sur la masse, la proportion et la forme des amandes, mais aussi sur la longueur et des traits morphologiques notamment le diamètre arithmétique et la sphéricité des amandes et noix brutes de cajou produites en Côte d'Ivoire. En effet, la répartition des pluies, l'humidité relative, la température, l'ensoleillement, les facteurs édaphiques et anthropiques, auraient des effets déterminants sur la taille et la qualité des noix et amande de cajou (Wallis *et al.*, 2016). Ces propriétés physiques variables seraient dues, d'une part, aux interactions entre les traits physiques des noix et ceux de ses différentes parties et d'autre part entre leurs traits morphologiques. On peut citer la nette corrélation entre la masse de la coque et celle de la noix de cajou ($r= 0,96$), la proportion de la pellicule et sa masse ($r= 0,94$), le diamètre arithmétique de la noix et sa sphéricité ($r= 0,99$) ou le diamètre arithmétique de l'amande et sa sphéricité ($r= 0,99$). Ces liens ont également été mis en exergue par Passannet

et al., (2018) avec une forte corrélation positive entre la masse de la mangue, la masse de la peau, la largeur et l'épaisseur ($r > 0,9$). Dans les travaux de Combrink *et al.* (2013), on observait aussi une telle corrélation entre le poids des fruits et leur largeur ($r = 0,83$). Ce qui montre une liaison évidente entre ces paramètres et que surtout la masse de la noix de cajou a un effet positif sur les autres composants du fruit.

Quant aux paramètres biochimiques des noix de cajou des trois zones écologiques de notre étude, les données ont montré que les noix en fonction de leur origine de production, renferment divers composés en teneurs variables. Les noix de cajou produites à Dabakala semblent plus riches en protéine. Les échantillons de noix de Bondoukou sont caractérisés par les valeurs de l'Extrait Sec Réfractométrique (ESR). Ce paramètre qui traduit le caractère sucré du produit, révèle que les noix originaires de la zone de Bondoukou ont un goût sucré beaucoup prononcé par rapport aux noix de Mankono et Dabakala. Ce paramètre est confirmé par le dosage des teneurs en sucre totaux qui montre que les noix de Bondoukou ont les concentrations les plus élevées en sucres totaux avec une concentration moyenne de 17,20 g/100 de noix. La forte teneur en sucre des noix de cette région paraît proportionnelle aux caractéristiques des pommes de cajou qui ont été analysées par Adou (2014). Cet auteur, après avoir montré une différence nutritionnelle au niveau des pommes de cajou selon les zones agroécologiques du pays, indiquait que les pommes originaires de Bondoukou, faisaient partie des plus sucrées par rapport à celles des autres contrées de la Côte d'Ivoire notamment de Korhogo et Yamoussoukro. Quant aux noix de Mankono, elles sont plus grasses (50,14 %) et contiennent plus de fibres totales (3,4 g/100g). Ces taux diffèrent des teneurs moyennes nationales (Rico *et al.*, 2016). En effet, selon Rico *et al.* (2016), les noix qui proviennent de la Côte d'Ivoire renferment en moyenne 49,25 % de matière grasse et 3,8 % de fibres. Dans cette localité du pays, la plupart des producteurs ramassent les noix par semaine contrairement aux producteurs de Dabakala et Bondoukou qui le font respectivement chaque 2 et 3 jours. Les caractéristiques agroécologiques pourraient influencer la teneur élevée de la matière grasse de ces noix (Rico *et al.*, 2016). Toutefois, les teneurs en acide gras libre des noix de cette zone sont inférieures à celles d'Indonésie comme rapportées par Trox *et al.* (2010) dont la teneur moyenne a été de 66,21 g/100 g d'amande. Comme l'ont mentionné Assunção & Mercadante (2003), ces différences entre pays seraient dues aux climats et les types de sol. La matière grasse reste de même le macronutriment le plus abondant dans les amandes quel que soit la zone écologique de production. La concentration moyenne au niveau de ces trois sites a été de 48,28 g pour 100g d'amande. La matière grasse des noix de Mankono est essentiellement constituée d'acides gras monoinsaturés (51,67 %) dont l'acide oléique. Ces résultats sont proches de ceux rapportés par

(Adou, 2014) avec une forte teneur en acide oléique (63,80 %). Mankono fournissant plus de 68000 tonnes par an, les caractéristiques de ses noix pourraient influencer celles de la production nationale en Côte d'Ivoire. Les noix de Dabakala sont plutôt riches en acides gras polyinsaturés représentés essentiellement par l'acide linoléique. Par contre celles originaires de Bondoukou contenaient beaucoup plus d'acides gras saturés avec une forte présence d'acide palmitique (41,81 %).

Quant à la composition minérale des noix, elle n'échappe pas non plus à l'influence des conditions environnementales. En effet, Il est noté une prédominance du potassium, du sodium, du calcium et du magnésium dans les différents échantillons de noix de Dabakala et Bondoukou. Cette richesse peut être due au fait que les sols de ces zones de production sont des sols légers et profonds (Rougerie, 1978 ; Morel, 2004). Ces caractéristiques font que les minéraux au sein de ces sols sont disponibles et donc facilement mobilisables par les plantes (Goujon *et al.*, 1973). Il a été rapporté que Dabakala serait la région écologique favorable à la culture de l'anacardier en Côte d'Ivoire (Goujon *et al.*, 1973 ; Rougerie, 1978 ; Morel, 2004). Par ailleurs, plusieurs études ont montré l'impact des conditions environnementales sur les caractéristiques physico-chimiques des fruits. En Côte d'Ivoire, des études récentes comparant les fruits provenant de Korhogo, Yamoussoukro et ceux provenant de Bondoukou, ont montré des différences dans la composition nutritive (Adou, 2014). Dans la Sous-région, des études menées par Gyedu-Akoto *et al.* (2014) au Ghana sur les pommes d'anacarde issues de trois zones écologiques du pays ont conforté la thèse de l'influence des conditions telles que la zone de culture, le climat et le sol sur la composition des fruits. Dans la présente étude les trois zones agroécologiques retenues se différencient par le type de sol, le climat et la pluviométrie. Toutes choses qui se ressentent dans la composition physico-chimique des échantillons de noix récoltées.

Conclusion partielle

La caractérisation de la qualité des noix des trois grandes zones de production a été réalisée par l'évaluation des paramètres morphométriques et l'analyse de la valeur nutritive des différents échantillons de noix. Les données ont montré l'existence d'une variabilité entre les noix au niveau des caractéristiques morphométriques et de la composition biochimique en fonction de leur origine. La zone de Bondoukou, est caractérisée par des noix beaucoup plus volumineuses ayant des surfaces planes plus importantes. Ces noix regorgent des amandes dont la majorité des propriétés physiques étudiées sont supérieures à celles des amandes provenant de Dabakala et Mankono. Dans la zone de Mankono on y trouve des noix sphériques contenant des amandes larges et plates. Quant à la zone de Dabakala, l'analyse des résultats révèle des noix aussi bien allongées que larges, avec des diamètres arithmétique et géométrique plus grands. Cependant, ces noix sont plus plates par rapport aux noix de Bondoukou et Mankono.

Au regard de la composition nutritive, les noix de cajou de Mankono et Dabakala représentent une source importante d'apport en nutriments essentiels. Au niveau des minéraux, les noix de Dabakala et Bondoukou renferment les teneurs les plus élevées notamment en phosphore, potassium, sodium, calcium et magnésium. Tous les échantillons de noix présentent ainsi des potentialités nutritionnelles bénéfique pour la santé humaine. Ces noix peuvent être sélectionnées pour fortifier les farines conventionnelles selon les carences en éléments nutritifs.

Chapitre 3 : Qualité sanitaire des noix de cajou commercialisées dans trois grandes zones de production Ivoirienne

Le problème des contaminants, et tout particulièrement celui des aflatoxines et des résidus de pesticides dans les amandes de cajou, est de loin le critère qui aujourd'hui pourrait pénaliser le plus la filière anacarde tout comme les produits oléagineux d'Afrique. L'objectif de cette partie est de caractériser la qualité marchande et sanitaire des noix de cajou originaires des trois zones d'étude. Les indicateurs de la qualité sanitaire évalués sont la présence de moisissures toxigènes, les teneurs en aflatoxines et en résidus de pesticides les plus utilisés : le glyphosate et le 2,4-D.

3.1. Qualité marchande des noix de cajou selon les zones de production

3.1.1. Grainage, amande utilisable et out-turn des noix dans les zones de production

Les échantillons analysés ont présenté de façon générale un grainage homogène quel que soit l'origine des noix. On obtenait en moyenne $161,37 \pm 6,86$ noix de cajou par kilogramme d'échantillon avec différentes masses d'amande utilisable comprises entre $250,23 \pm 3,88$ g et $264,97 \pm 6,14$ g. Ce qui donnait un out-turn de 46,59 ; 44,09 et 46,69 lbs/sac de 80kg respectivement à Mankono, Dabakala et Bondoukou. Par ailleurs, les taux de défauts des noix ont été de 11,38 %, 13,8 % et 18,11 % dans les échantillons provenant des localités respectives de Bondoukou, Mankono et Dabakala (Tableau XXXII).

Tableau XXXII: Paramètres commerciaux des noix de cajou

Paramètres	Mankono	Dabakala	Bondoukou	Moyenne
Grainage (noix.kg-1)	$162,14 \pm 9,53a$	$160,91 \pm 4,07a$	$160,87 \pm 6,99a$	$161,31 \pm 6,86$
Amandes utilisables (g)	$264,38 \pm 0,78a$	$250,23 \pm 3,88b$	$264,97 \pm 6,14a$	$259,86 \pm 3,60$
Taux de défauts (%)	$18,11 \pm 1,95a$	$13,8 \pm 2,43b$	$11,38 \pm 3,17c$	14,43
Out-turn (lbs/sac de 80kg)	$46,59 \pm 3,17a$	$44,09 \pm 3,88a$	$46,69 \pm 4,07a$	45,79

Sur chaque ligne, les valeurs suivies par les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % selon le test de comparaison des moyennes de Newman-Keuls. ^{a,b}Les valeurs d'une même ligne avec des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$)

3.1.2. Défaits des noix dans les zones de production

Les échantillons prélevés dans les différentes zones d'étude ont relevé plusieurs défauts au niveau des noix. Les noix immatures, moisies, beurrées, mitées, pourries et piquées étaient généralement dénombrées. Cependant, les noix immatures et moisies ont représenté plus de la quasi-totalité (54,50) % des défauts recensés (Figure 30). Les taux des noix moisies à Bondoukou (30,76 %) et à Dabakala (33,35 %) et des noix immatures à Mankono (52,17 %) ont été les plus élevés de ces localités. Ces différents dommages causés aux noix sont entre autres présentés dans les figures 30 et 31.

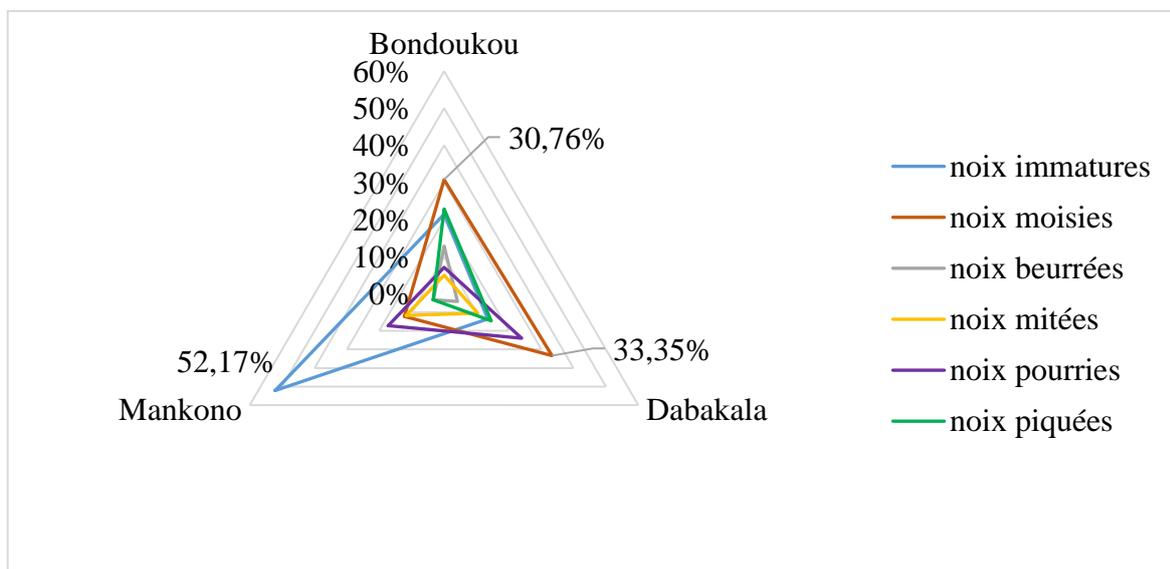


Figure 29: Proportion de défauts recensés parmi les noix défectueuses



Figure 30: Photographies des défauts caractéristiques des noix de cajou

3.2. Etude mycotoxicologique des noix de cajou

3.2.1. Identification des moisissures contaminant les noix de cajou

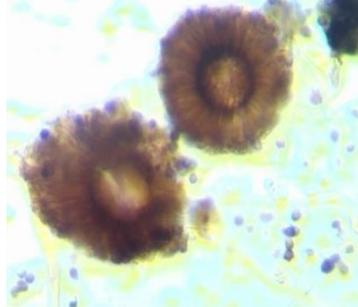
- Identification macroscopique

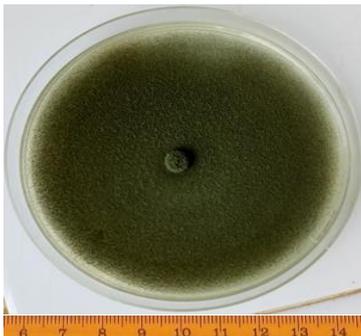
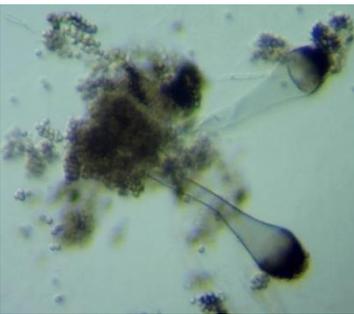
L'étude macroscopique a été réalisée par observation directe à l'œil nu après une incubation de 07 jours à 30°C sur milieu PDA. Les observations ont porté sur les caractères culturaux tels : l'aspect de la colonie, la couleur, le revers ainsi que la vitesse de la croissance. Les résultats obtenus, ont été rassemblés dans le tableau XXXIII.

- Identification microscopique

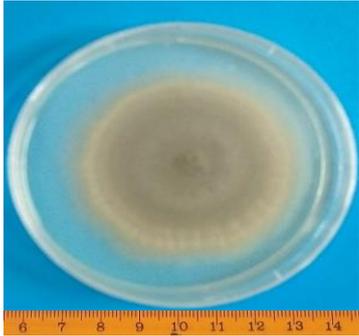
Toutes les moisissures isolées ont été soumises à une identification microscopique réalisée par une observation au grossissement X40 et X100. Cette identification était fondée essentiellement sur l'étude morphologique de mycélium (absence ou présence de cloisons, couleur, différenciation) et des spores (forme, couleur, texture de parois). Les résultats obtenus sont également rassemblés dans le tableau XXXIII ci-dessous.

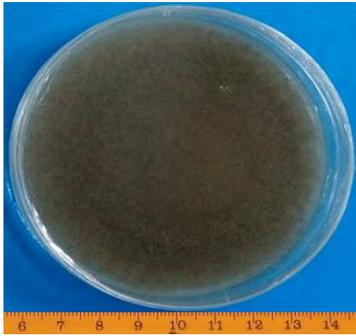
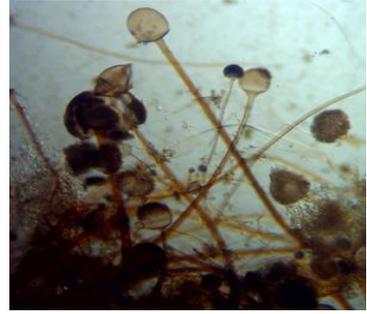
Tableau XXXIII: Résultats de l'examen macro et microscopique des souches fongiques isolées des noix de cajou sur milieu PDA

Aspect macroscopique des isolats		Aspect microscopique des isolats	Moisissures caractéristiques
Surface	Revers		
 <p>- mycélium : cloisonné, blanc, puis devenant rose saumon à violet avec contour blanc - aspect cotonneux, - croissance rapide</p>	 <p>Couleur : pourpre</p>	 <p>(Gr. x 40) - macroconidies fusiformes, souvent courbés, plurisectés</p>	<p>Cette souche appartient probablement au genre <i>Fusarium</i></p>
 <p>- mycélium : cloisonné, blanc en périphérie - aspect poudreux - spores : noire - croissance rapide</p>	 <p>Couleur : incolore</p>	 <p>(Gr. x 100) - phialides formées directement sur la vésicule - Têtes conidiennes unisériées - Masse conidienne rayonnante, les conidies en chaînes unicellulaires.</p>	<p>Ces souches semblent appartenir au genre <i>Aspergillus niger</i></p>

 <ul style="list-style-type: none"> - mycélium : cloisonné, plus dense vers le centre, lâche en périphérie blanc - aspect floconneuse et grisâtre au centre - colonies scindées en plusieurs colonnes sporales, d'abord jaunâtre, puis vert jaune foncé. - croissance rapide 	 <p>Couleur : incolore</p>	 <p>(Gr. x 100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Têtes conidiennes bisériées - Masse conidienne rayonnante avec vésicule sphéroïdale, globuleus 	<p>Ces souches semblent appartenir au genre <i>Aspergillus flavus</i></p>
 <ul style="list-style-type: none"> - revers : incolore - mycélium : cloisonné - colonies gris-verdâtre avec des bordures blanches - croissance : rapide - aspect : velouté 		 <p>(Gr. x 40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - mycélium cloisonné portant de nombreux conidiophores lisses, non ramifiés - vésicule verte ; - Phialides dressés, verte formées directement sur la vésicule et densément groupées, - Têtes conidiennes Unisériées, en colonne compacte 	<p>Ces souches semblent appartenir à l'espèce <i>Aspergillus fumigatus</i></p>

 <p>- mycélium : cloisonné, blanc - aspect granuleux - spores : noire - croissance rapide</p>	 <p>Couleur : incolore</p>	 <p>(Gr. x 100)</p> <p>- Thalle à mycélium cloisonné portant de nombreux conidiophores dressés, non ramifiés, terminés en vésicule ; - Têtes conidiennes unisériées ou bisériées - Phialides formées directement sur la vésicule ou sur des métules</p>	<p>Ces souches semblent appartenir au genre <i>Aspergillus</i></p>
 <p>Thalle à croissance rapide, légèrement floconneux, gris-vert, formant de nombreux sclérote rosâtres.</p>	 <p>Couleur : chamois</p>	 <p>(Gr. x 40)</p> <p>-conidiophores longs, isolés, renflés en vésicule au sommet et terminés par un pénicille - Penicille constitué de phialides branchés directement à l'extrémité du conidiophore - Phialides en verticilles compacts, lisses et disposés en colonnes irrégulières</p>	<p>Ces souches semblent appartenir au genre <i>Penicillium</i></p>

 <p>- mycélium : cloisonné, brun-gris à noirs avec une périphérie blanche - aspect Laineux et veloutés - croissance rapide</p>	 <p>Couleur : Marron foncé à noire</p>	 <p>(Gr. x40 et x100) - filaments septés, fins et réguliers brun foncé à noirs. - conidies pluricellulaires en chaînes brunes irrégulières ; souvent en forme de massue, cloisonnées longitudinalement et transversalement.</p>	<p>Ces critères rejoignent ceux du genre <i>Alternaria</i></p>
 <p>- mycélium : cloisonné, blanc, puis devenant rosâtre à orange - aspect Laineux, - croissance rapide</p>	 <p>Couleur : incolore</p>	 <p>(Gr. X40) - filaments septés</p>	<p>Ces souches appartiennent probablement au genre <i>Chrysonilia</i></p>
 <p>- mycélium : blanc - aspect dense et cotonneux - croissance rapide</p>	 <p>Couleur : blanche</p>	 <p>(Gr. x40 et x100) - mycélium : cloisonné au niveau de l'appareil sporifère.</p>	<p>Ces souches appartiennent probablement au genre <i>Absidia</i></p>

		- sporocystophore formé sur le trajet des stolons	
 <ul style="list-style-type: none"> - mycélium cloisonné, gris-brunâtre - aspect laineux - croissance rapide 	 <p>Couleur : brune</p>	 <p>(Gr. x100)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sporocystophores généralement très grands, terminés en entonnoir, ayant à la base de rhizoïdes – columelles brunes, globuleuses ou semi-globuleuses - Columelles brunes, globuleuses ou semi-globuleuses. 	<p>Cette souche appartient probablement au genre <i>Rhizopus</i></p>
 <ul style="list-style-type: none"> - mycélium cloisonné, brun - aspect velouté - croissance modérée 	 <p>Couleur : brun noire</p>	 <p>(Gr. X40)</p> <ul style="list-style-type: none"> - thalle brun olivacé - conidies en chaîne, septées, brunes à brun verdâtre 	<p>Cette souche appartient probablement au genre <i>Cladosporium</i></p>

Gr. : grossissement

3.2.1.1. Prédominance de la flore fongique totale isolée

Les analyses mycologiques montrent que tous les échantillons des noix de cajou analysés sont contaminés par différentes souches de moisissures. Au total, 148 souches fongiques ont été isolées des échantillons de noix collectés dans les trois zones d'étude. Afin

de caractériser cette mycoflore, des observations macroscopiques et microscopiques ont été réalisées. Elles ont permis d'identifier 12 genres fongiques (Figure 32), présentés dans l'ordre décroissant de prédominance comme suit : *Aspergillus* (80,37 %), *Chrysonilia* (6,75 %), *Rhizopus* (3,07 %), *Fusarium* (1,84 %), *Trichoderma* (1,84 %), *Absidia* (1,23 %), *Cladosporium* (1,23 %), *Curvularia* (1,23 %), *Alternaria* (0,61 %), *Gliomatix* (0,61 %), *Penicillium* (0,61 %) et *Myrothecium* (0,61 %).

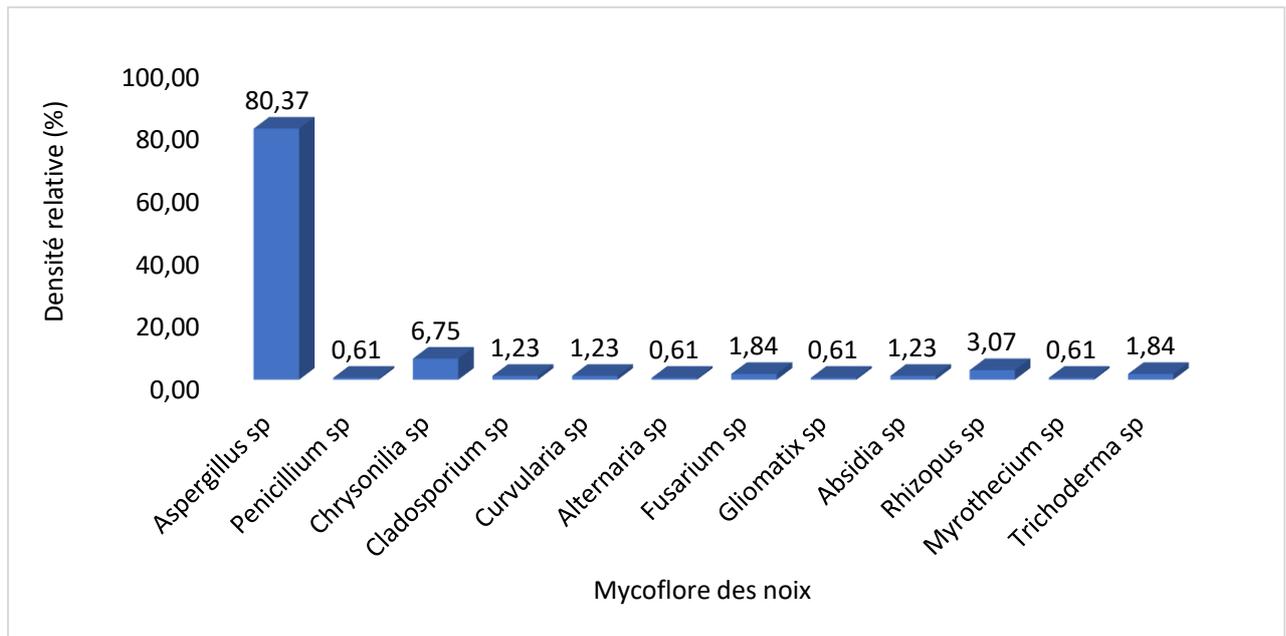


Figure 31: Densité relative des genres de moisissures isolés de l'ensemble des échantillons de noix de cajou analysés

Les genres isolés sont classés en deux groupes selon leur potentiel aflatoxinogène :

1. Genres potentiellement aflatoxinogène : *Aspergillus* (80,37 %) ;
2. Genres non aflatoxinogène : *Chrysonilia* (6,75 %), *Rhizopus* (3,07 %) ; *Fusarium* (1,84 %), *Trichoderma* (1,84 %), *Absidia* (1,23 %), *Cladosporium* (1,23 %), *Curvularia* (1,23 %), *Alternaria* (0,61 %), *Gliomatix* (0,61 %), *Penicillium* (0,61 %) et *Myrothecium* (0,61 %).

3.2.1.2. Densité des espèces du genre *Aspergillus* dans les noix de cajou

Au niveau des noix de cajou, 4 espèces fongiques appartenant au genre *Aspergillus* ont été inventoriées à savoir : *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *A. fumigatus* et *A. flavus* sp. Leurs densités relatives ont été respectivement de 71,78 ; 4,29 ; 2,45 et 1,84 % (Figure 33).

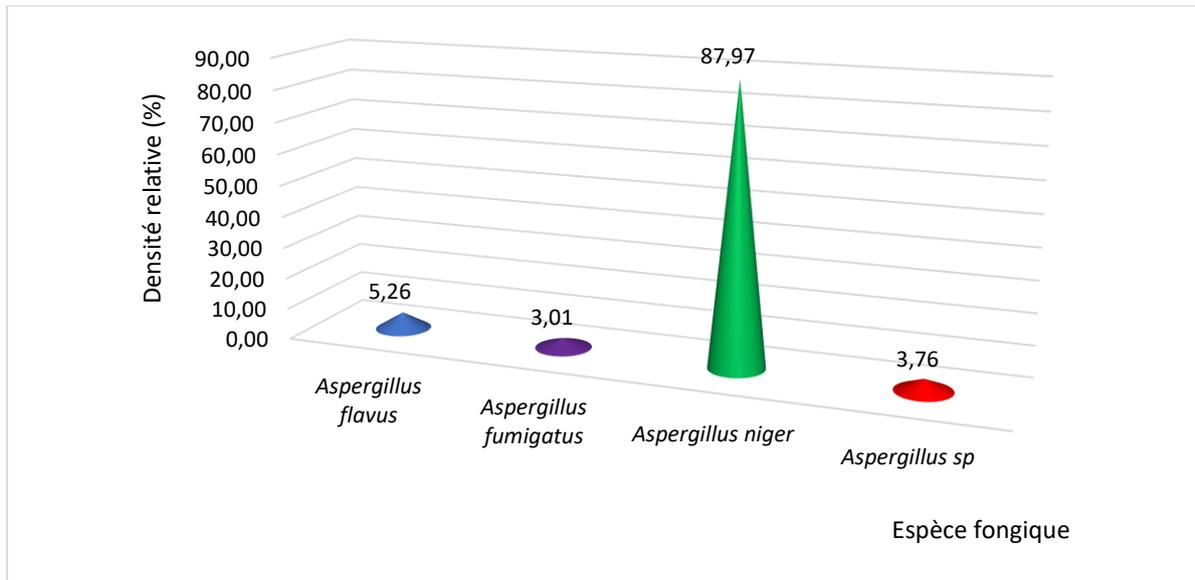


Figure 32: Densité relative des espèces du genre *Aspergillus* dans l'ensemble des échantillons analysés

3.2.2. Occurrence des aflatoxines dans les noix de cajou selon la zone de production

Les teneurs en aflatoxine détectées dans les différents échantillons de noix des trois zones de production sont rapportées dans le tableau XXXIV. Les teneurs en aflatoxines totales (AFT) des échantillons de noix des trois zones de production ont été statistiquement identiques ($P < 0,05$). Les teneurs moyennes en AFB1 ont été de $0,21 \mu\text{g.kg}^{-1}$ dans les échantillons de noix de Bondoukou et de $0,25 \mu\text{g.kg}^{-1}$ dans les échantillons de Mankono et Dabakala. Les teneurs en aflatoxines B2, G1 et G2 ont été inférieures à la limite de quantification dans tous les échantillons analysés. On obtenait ainsi des teneurs de $0,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$ d'AFT dans les échantillons de Mankono et $0,27 \mu\text{g.kg}^{-1}$ d'AFT dans les noix de Dabakala et Bondoukou.

Tableau XXXIV: Niveau de contamination par les aflatoxines totales des noix de cajou par zone de production

Echantillons des zones de production	Teneur en aflatoxine ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)				
	AFB1	AFG2	AFG1	AFB2	AFT
Mankono (n = 3)	0,25 \pm 0,35 ^a	< L.D	< L.D	< L.D	0,3 \pm 0,1 ^a
Dabakala (n = 3)	0,25 \pm 0,28 ^a	< L.D	< L.D	< L.D	0,27 \pm 0,06 ^a
Bondoukou (n = 3)	0,21 \pm 0,07 ^a	< L.D	< L.D	< L.D	0,27 \pm 0,06 ^a
LMR	2				4

AFB1 : Aflatoxine B1 ; AFB2 : Aflatoxine B2 ; AFG1 : Aflatoxine G1 ; AFG2 : Aflatoxine G2 ; AFT : Aflatoxine totales ; n : nombre d'échantillons analysés.

Dans la colonne des AFT, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls à 5 %.

Limite maximale de résidus (LMR) selon la Commission Regulation (EU) N° 165/2010.

3.3. Teneurs en résidus de pesticides dans les noix de cajou

Après l'étude prospective, il ressort que les pesticides les plus appliqués ont été les herbicides dont les matières actives sont essentiellement le glyphosate et le 2,4-D. Ces matières actives ont été mises en évidence dans les échantillons analysés.

3.3.1. Teneurs en résidus moyennes d'herbicides totaux par zone de production

Les niveaux de contamination en résidus d'herbicides totaux des noix de cajou issues des différentes zones de d'étude sont représentés sur la figure 34. Les concentrations qui y sont reportées correspondent à des valeurs moyennes des résidus de glyphosate et 2,4-D présents dans les différents échantillons des zones d'étude. Les concentrations totales retrouvées dans les noix de cajou ont varié de 0,05 à 0,08 mg/kg. La zone de Dabakala présente le niveau de contamination le plus élevé suivi dans l'ordre des zones de Mankono et de Bondoukou.

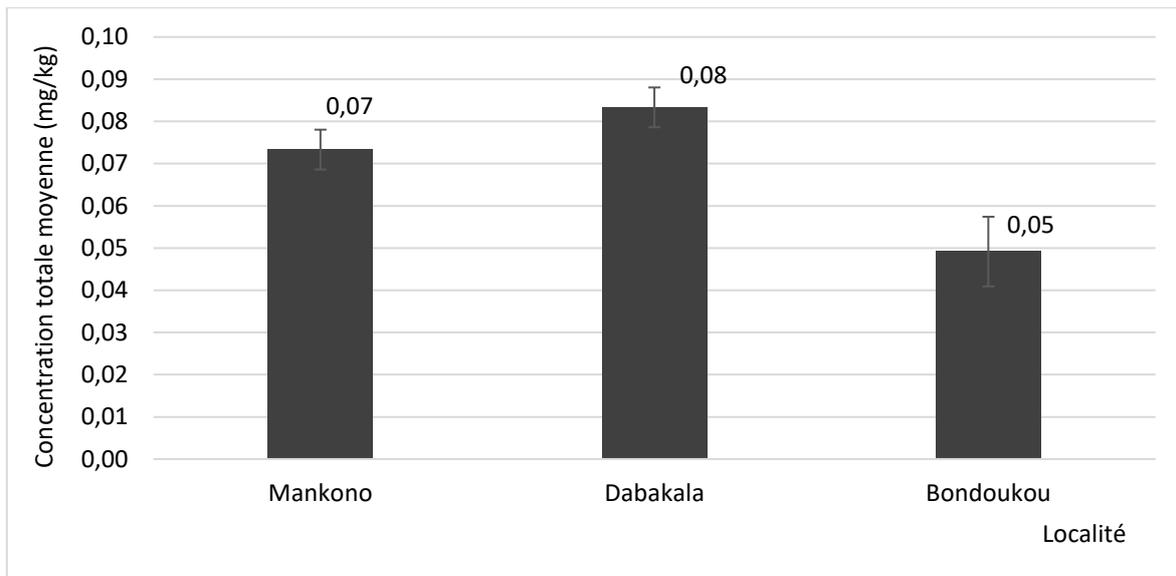


Figure 33: Concentrations totales de résidus d’herbicides dans les noix de cajou des différentes zones de production

3.3.2. Teneurs en résidus moyennes d’herbicides par matière active par zone de production

3.3.2.1. Teneurs en résidus de glyphosate des noix de cajou

Les profils de concentration du glyphosate obtenus pour les trois zones ont été relativement semblables avec la classification des concentrations totales en résidus d’herbicides (Figure 35). Ainsi, on observe des teneurs plus élevées en glyphosate dans les noix provenant de Dabakala avec en moyenne une valeur de 0,08 mg/kg de noix. Ensuite, viennent les noix de Mankono et Bondoukou où des teneurs moyennes respectives de 0,07 et 0,037 mg/kg de noix ont été retrouvées.

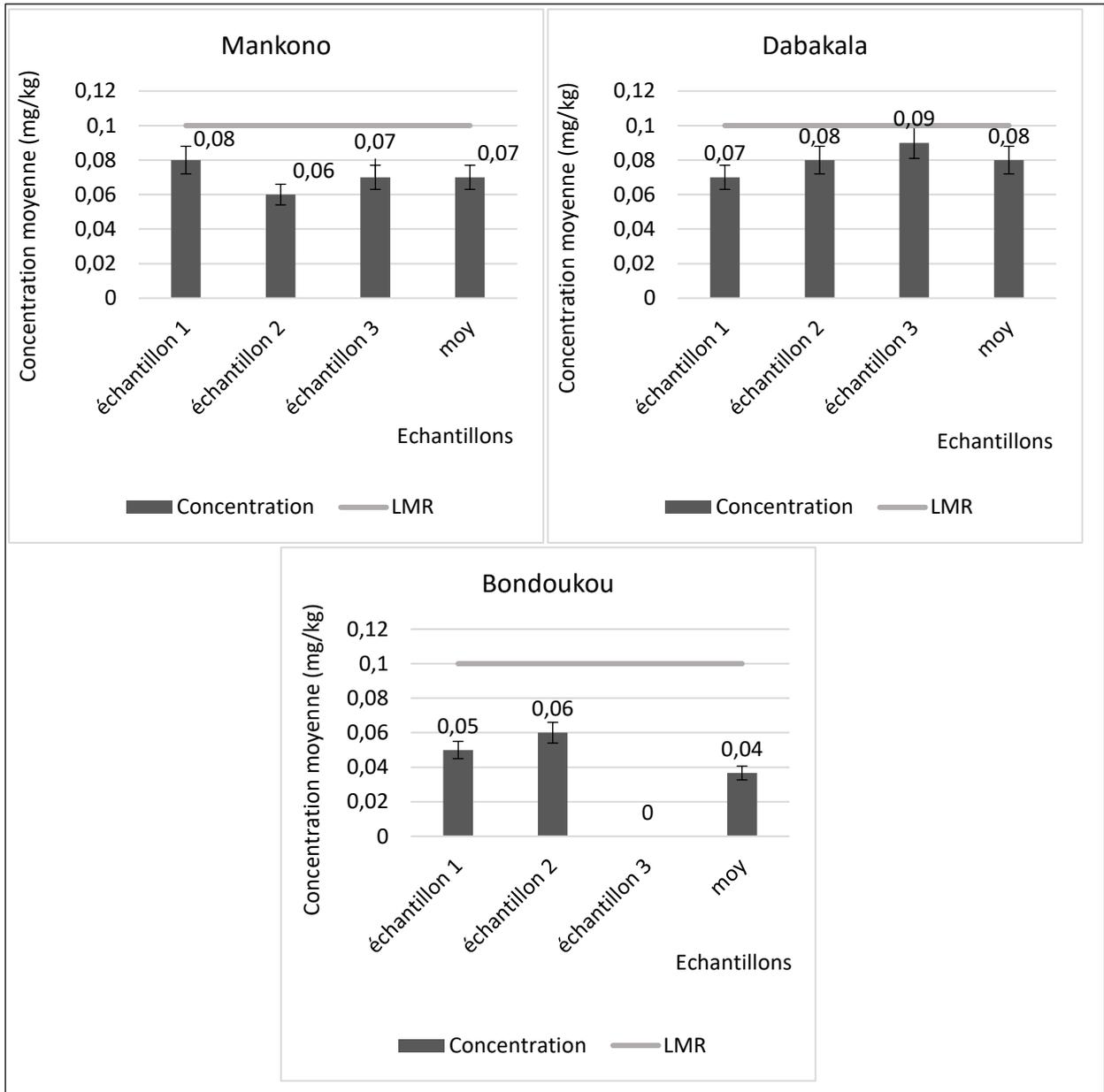


Figure 34: Concentrations moyennes du glyphosate dans les noix de cajou en fonction de la zone de production

3.3.2.2. Teneurs en résidus de 2,4-D des noix de cajou

La classification du 2,4-D dans l'ordre des concentrations varie de façon analogue à celle du glyphosate en fonction des zones de production. Les concentrations les plus élevées en résidus de 2,4-D ont été retrouvées au niveau des noix de Dabakala (0,09 mg/kg). Les noix de Bondoukou sont quant à elles caractérisées par une faible teneur en résidus de 2,4-D (Figure 36).

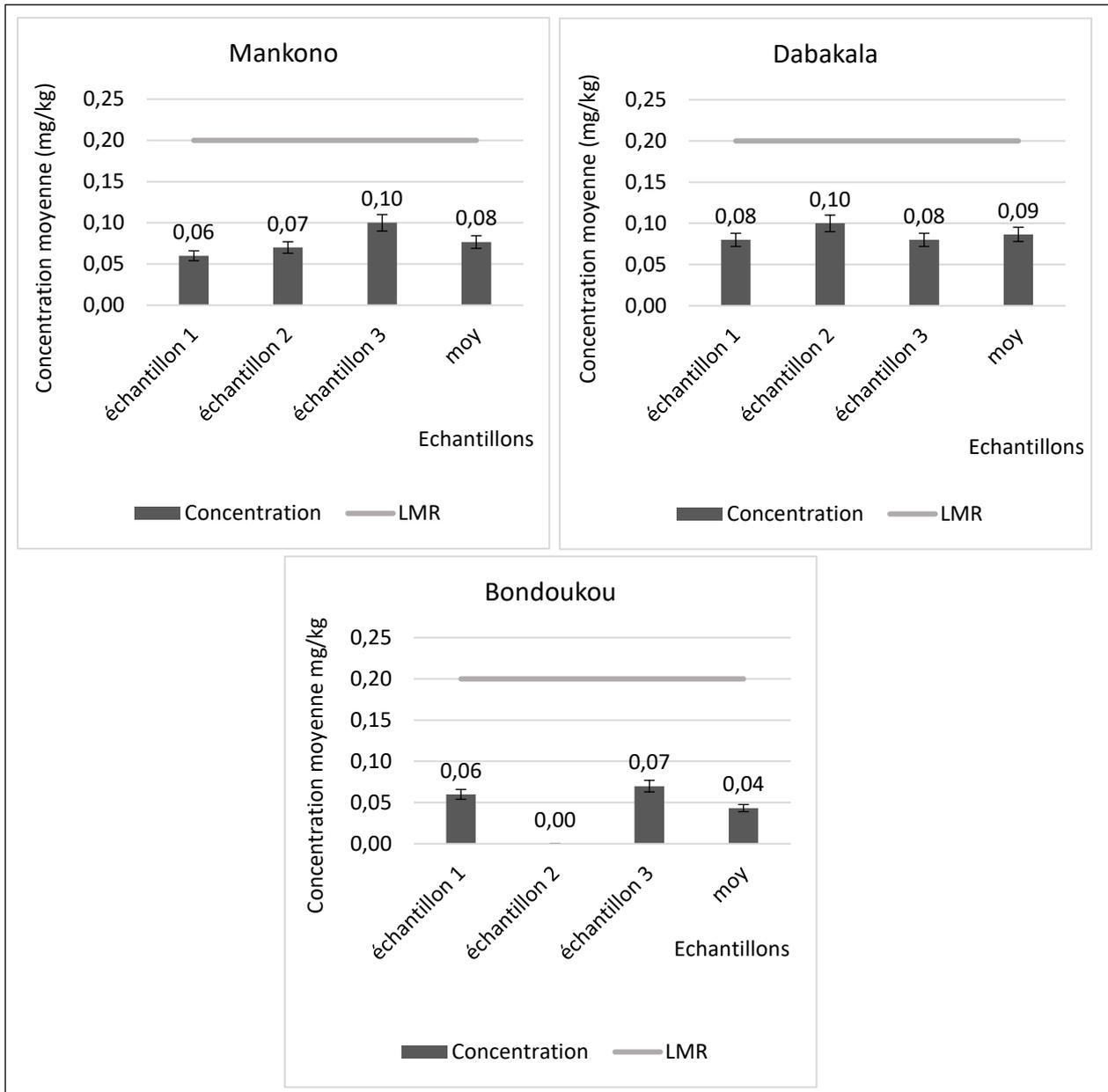


Figure 35: Concentrations moyennes du 2,4-D dans les noix de cajou en fonction de la zone de production

3.4. Discussion

Cette étude a permis d'évaluer la qualité marchande et sanitaire des noix de cajou produites en Côte d'Ivoire à travers les trois principales zones de production. Concernant la qualité marchande principalement le grainage moyen des différentes zones d'étude, il a été de 162 noix.kg⁻¹ en moyenne, presque identique d'une région à une autre. En effet, il a été de 163 noix.kg⁻¹ dans les localités de Mankono et de 162 noix.kg⁻¹ aussi bien dans les localités de Dabakala que de Bondoukou. Ces valeurs du grainage sont meilleures à la fourchette de la norme définie par la CEDAO (200 à 250 noix.kg⁻¹) et celle de la norme ISO comprise entre 180 et 200 noix.kg⁻¹ (Lautié *et al.*, 2001). Toutefois, le grainage des noix au Bénin est bien meilleur avec une valeur comprise entre 100 à 200 noix.kg⁻¹. Les données actuelles sur la qualité marchande des noix de cajou en Côte d'Ivoire indiquent que le rendement en amande des noix se situait généralement entre 46 et 48 livres. Les travaux ont démontré que seules les noix de cajou de Bondoukou (46,69 livres) et de Mankono (46,59 livres) étaient conformes après 6 mois de stockage, contrairement à celles de Dabakala (44,09 livres). Cependant, selon les normes de qualité pour les noix de cajou entières brutes, un bon résultat est de 43 à 48 livres et un excellent résultat de 48 à 55 livres avec des taux de déféctuosité inférieurs à 10 %. Dans ce cas, le rendement des noix de Dabakala reste acceptable après 6 mois de conservation. Par ailleurs, avec l'introduction de la norme ISO 6477 en 1988 qui a harmonisé et fourni un schéma de contrôle de la qualité (ONU, 2002), les noix brutes de cajou ont fait l'objet d'une norme conjointe entre les Etats membres de CEE et l'ONU. Celle-ci fixe les conditions minimales qu'une noix doit remplir pour être vendue sur le marché international notamment un bon KOR doit être supérieur à 50 lbs. Les résultats de cette étude montrent bien la nécessité d'améliorer la qualité marchande des productions en Côte d'Ivoire. En effet, les KOR à Mankono et à Bondoukou dans le cadre de cette étude sont bien inférieurs aux exigences de l'ONU et de la CEE. Toutefois, ces valeurs de KOR dans ces deux régions sont supérieures à ceux obtenus dans l'Etat de Kogi (KOR compris entre 44,37 et 45,55 lbs) au Nigéria, mais inférieurs à ceux de la Casamance (KOR compris entre 49 et 50,9 lbs) au Sénégal (Ogunwolu *et al.*, 2016 ; Ndiaye *et al.*, 2020). Parmi les pays producteurs de noix de cajou, la Guinée Bissau, l'Inde et le Vietnam ont les meilleurs KOR qui sont respectivement de 52,5 ; 52,3 et 52,3 lbs. A ce titre, en Inde, les producteurs perçoivent en moyenne des prix, 25 % plus intéressants que ceux de leurs pairs asiatiques et africains (Ndiaye *et al.*, 2020). Les KOR relativement bon des noix provenant des trois zones de production (Mankono, Dabakala et Bondoukou) pourraient être dus aux conditions environnementales et aux variétés introduites qui donnent des noix de petits calibres mais également aux pratiques culturelles. La qualité homogène des noix dans les trois

différentes zones de production du pays confirmerait cette hypothèse. En effet, selon Touré *et al.* (2018), certaines variétés locales cultivées dites « Henry et James » seraient caractérisées par des noix de petite taille. A posteriori, le rendement des noix de cajou des trois régions de la Côte d'Ivoire est resté bon après 6 mois de stockage mais les défauts de plus de 11 % devraient être une préoccupation majeure pour les agriculteurs. Les taux de défauts qui ont varié entre 11,38 à 18,11 % suivant les trois zones de d'étude, dépassent la norme UEMOA qui est de 8 % (Arlène & Broutin, 2009) et ceux de certains pays comme la région de Casamance au Sénégal dont les valeurs oscillent entre 12,26 et 13,72 % (Ndiaye *et al.*, 2020). Les causes des défauts des noix de cajou pourraient être dues aux pratiques agricoles, à savoir l'absence de triage des noix et un séchage insuffisant qui pourrait conduire à une contamination fongique et à la sécrétion de mycotoxines (Okwelogu & Mackay, 1969; Manizan *et al.*, 2018). Les données confirment ce qui a été rapporté par ces auteurs. Le niveau important de noix immatures a montré que les producteurs ne triaient pas suffisamment leur produit avant sa commercialisation. Le tri serait pour eux une perte de production (Awuah *et al.*, 2009). Au niveau des noix de cajou, les pertes pourraient s'élever à hauteur de 15 % si ces pratiques post-récoltes ne sont pas bien menées (Priyashantha *et al.*, 2020).

Des noix moisies ont été détectées dans tous les échantillons des trois zones de production. Une situation qui serait due à la teneur en humidité (relativement élevée) comme l'ont indiqué aussi Kouakou *et al.* (2013). De plus, les mauvaises pratiques de récolte et post-récolte peuvent conduire à l'invasion rapide de produits agricoles par les moisissures (Lacey & Magan, 1991; Waliyar *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2014). Ce qui pourrait expliquer le nombre important de souches isolées à partir des différents échantillons de noix provenant des trois zones de production. Ces souches fongiques appartenant à 12 genres sont présentes dans la majorité des noix et des fruits secs à coque (Tournas *et al.*, 2015 ; Dir *et al.*, 2018). L'isolement et l'identification des moisissures infestant les noix de cajou ont révélé que le genre *Aspergillus* est le plus rencontré au niveau des noix de cajou. En effet, ce genre a représenté 86,37 % des genres de moisissures isolés. Ce genre serait donc spécifique à la noix de cajou (Kujbida *et al.*, 2019). Pour Crespo (1986), les moisissures peuvent pénétrer dans les produits agricoles à travers leurs sections germinales bien que présentant une teneur en eau relativement basse. Ce qui pourrait favoriser une contamination des noix par les moisissures au niveau même des champs. En effet, les fruits secs sont naturellement contaminés par certains agents pathogènes fongiques post-récolte, notamment les *Aspergilli* xérophiles qui proviennent du champ et qui peuvent ou non survivre au processus de séchage (Tournas *et al.*, 2015). La présence de telles espèces pourrait compromettre la qualité des noix et être la cause de graves problèmes de santé

pour les consommateurs. Car, la présence des moisissures de certaines souches toxigènes présagerait une sécrétion de mycotoxines notamment les aflatoxines, les seules réglementées au niveau des noix de cajou (norme CEE-ONU DDP-17).

Cette présente étude démontre que les noix de cajou quel que soit la zone de production ont été essentiellement contaminées par l'aflatoxine B1. Les concentrations restent marginales même après six mois de conservation. Ces faibles taux pourraient s'expliquer par le fait que les conditions climatiques qui ont prévalu au cours de la culture et les traitements de récolte et post-récoltes, n'ont pas été favorables au développement des moisissures et à la production des aflatoxines (Hell & Mutegi, 2011 ; Torres *et al.*, 2014). La prédominance de l'AFB1 dans l'ensemble des échantillons pourrait s'expliquer par le fait que toutes les souches d'*Aspergillus* aflatoxinogène produisent les aflatoxines B, mais ne produisent pas toutes les aflatoxines G (Varga *et al.*, 2015 ; Kujbida *et al.*, 2019). Aussi, *Aspergillus flavus* qui ne produit que les aflatoxine B (AFB1 et AFB2) est particulièrement abondante dans les zones tropicales, où elle contamine particulièrement les céréales, les graines oléagineuses et les fruits secs (Marin *et al.*, 2013 ; El khoury, 2016). La présence des aflatoxines dans les noix de cajou est diversement appréciée. En effet, plusieurs études ont rapporté de faibles concentrations d'aflatoxines dans les noix de cajou suggérant que cette matrice n'est pas particulièrement un substrat favorable (Yılmaz & Aluc, 2014). Par exemple, l'enquête canadienne 2010-2011 sur les aflatoxines, qui a analysé 250 échantillons de noix et de beurres de noix, n'a trouvé aucun niveau détectable d'aflatoxine dans les échantillons de noix de cajou. De même, sur 70 échantillons de noix de cajou prélevés dans le Nord-Est du Brésil, seuls 2,8 % présentaient une contamination à des niveaux supérieurs à la LMR de l'UE (4 µg/kg) et un seul échantillon analysé présentait un niveau d'aflatoxines totales supérieur à la LMR (20 µg/kg) établie par la réglementation brésilienne. Une autre étude, portant sur 75 noix de cajou grillées (39 au Nigeria, 36 en Afrique du Sud) a révélé la présence d'aflatoxines totales à des teneurs comprises entre 0,03-0,77 µg/kg et 0,01-0,28 µg/kg respectivement (Kujbida *et al.*, 2019). De tels résultats ont déjà été rapportés avec de faibles concentrations d'aflatoxines allant de 0,1 à 6,8ng/kg (Adetunji *et al.*, 2018). Cependant, des concentrations significatives d'aflatoxines ont été trouvées dans des noix de cajou (0,44 à 4,16 µg/kg) provenant du Brésil (Kujbida *et al.*, 2019). Le niveau d'aflatoxines pourrait être modulé en fonction de l'état de défectuosité des noix de cajou. En effet, il a été signalé que les noix de cajou saines présentaient des niveaux d'aflatoxines plus faibles (0,001-0,008 µg/kg) que les noix malades brutes (0,005-0,090 µg/kg). Pour Gyedu-Akoto *et al.* (2014), les concentrations variables d'aflatoxines dans les noix de cajou seraient liées aux pratiques post-récolte inadéquates.

D'autres contaminants qui font aujourd'hui l'objet de plus en plus d'attention de la part du législateur sont les résidus de produits phytosanitaires. Pour cela, le dosage du glyphosate et du 2,4-D, les matières actives les plus utilisées dans la culture de l'anacardier, ont été réalisés (Yao *et al.*, 2020). Les profils de concentration totale de résidus dans les noix de cajou ont été relativement identiques dans les différentes zones de production. Les concentrations des pesticides étaient, en général, faibles au niveau de tous les sites. Des niveaux de contamination généralement observés au niveau des récoltes en arboriculture. Et cela dépendrait essentiellement du caractère rémanent des produits chimiques appliqués (Probst, 1993 ; Rainaud, 2013). Toutefois, la zone de Bondoukou a enregistré les teneurs les plus faibles. Ce qui reflète assez bien les pratiques des producteurs en termes de traitements phytosanitaires dans cette localité. Mankono et Dabakala présentent sensiblement les mêmes teneurs en résidus de pesticides analysés. On peut déduire que les pratiques étaient relativement uniformes dans ces deux zones d'étude. Il a été rapporté que les variations de teneurs observées d'une zone à l'autre résideraient dans les quantités appliquées et les périodes d'application qui sont variables en fonction des pratiques phytosanitaires (Son, 2018). Le glyphosate et le 2,4-D ont été détectés dans 100 % des échantillons de Mankono et Dabakala et dans 75 % des ceux de Bondoukou. Cependant, leur distribution retrouvée par échantillon a différencié en fonction de la matière active considérée et de la zone de production. Les teneurs en résidus de glyphosate ont été plus faibles dans les noix que celles du résidu du 2,4-D. Au niveau du glyphosate, les teneurs ont varié entre 0,06 et 0,08 mg.kg⁻¹ dans les échantillons de Mankono, entre 0,07 et 0,09 mg.kg⁻¹ dans les échantillons de Dabakala et entre 0 et 0,06 mg.kg⁻¹ dans les échantillons de Bondoukou. Pour le 2,4-D, les concentrations étaient comprises entre 0,06 et 0,1 mg.kg⁻¹, 0,08 et 0,1 mg.kg⁻¹ et entre 0 et 0,07 mg.kg⁻¹ respectivement dans les échantillons de noix de Mankono, Dabakala et Bondoukou. Néanmoins, les teneurs sont en-deçà des valeurs de références recommandées pour la noix de cajou, soient 0,1 mg.kg⁻¹ pour le glyphosate et 0,2 mg.kg⁻¹ pour le 2,4-D (UE pesticides database, 2020).

Conclusion partielle

Cette étude a permis de fournir des informations sur la qualité sanitaire des noix de cajou brutes produites dans les principales zones de production en Côte d'Ivoire. Ainsi, les noix présentant un bon KOR et un taux de défaut bas sont rencontrées dans la région de Bondoukou. Les noix de la zone de Dabakala présentent le plus faible KOR des trois zones tandis que celles de Mankono se caractérisent par un taux de défauts important. Les types de défauts les plus rencontrés ont été les noix immatures et moisies. Globalement le grainage moyen est de 162 noix/kg. Toutefois, sur les échantillons analysés, 148 souches fongiques ont été isolées avec une dominance apparente du genre *Aspergillus*. Tous les échantillons analysés sont contaminés par les aflatoxines et les résidus de glyphosate et de 2,4-D, mais à des teneurs inférieures aux normes internationales.

Les mycotoxines potentiellement présentes dans les noix de cajou sont pour la plupart difficiles à éliminer une fois présentes dans l'aliment. Il serait d'un grand intérêt de déterminer l'origine et les facteurs de la contamination par ces dernières. Il est donc important de mener une étude pour contribuer à la surveillance sanitaire des mycotoxines dans les noix de cajou de Côte d'Ivoire à travers la mise en place d'une base de données sur les points et facteurs critiques de contamination du circuit post-récolte de production.

Chapitre 4 : Impacts et risques liés aux pratiques culturelles dans la culture de l'anacardier dans trois grandes zones de production Ivoirienne

Une étude consacrée à une meilleure connaissance des effets des pratiques de récolte et des traitements post-récoltes permettra d'améliorer durablement la qualité des noix de cajou produites en Côte d'Ivoire. C'est pourquoi, éprouver les traitements post-récoltes des producteurs sur la contamination des noix par les aflatoxines d'une part, et évaluer les risques agrototoxicologiques liés aux pratiques phytosanitaires d'autre part se sont avérés nécessaires dans cette étude.

4.1. Impact des pratiques de récolte et des traitements post-récoltes sur la qualité des noix de cajou

4.1.1. Effet du délai de ramassage et du séchoir sur la masse et la teneur en eau des noix de cajou

Les traitements technologiques post-récolte que subissent les noix de cajou leur donnent un aspect différent (Figure 37). On observe un reste de pomme important rattaché à la noix lorsque celle-ci est récoltée 2 jours après la chute du fruit. Ces restes diminuent de façon croissante lorsque les noix sont collectées 3 jours et 7 jours après que les fruits soient tombés au sol.

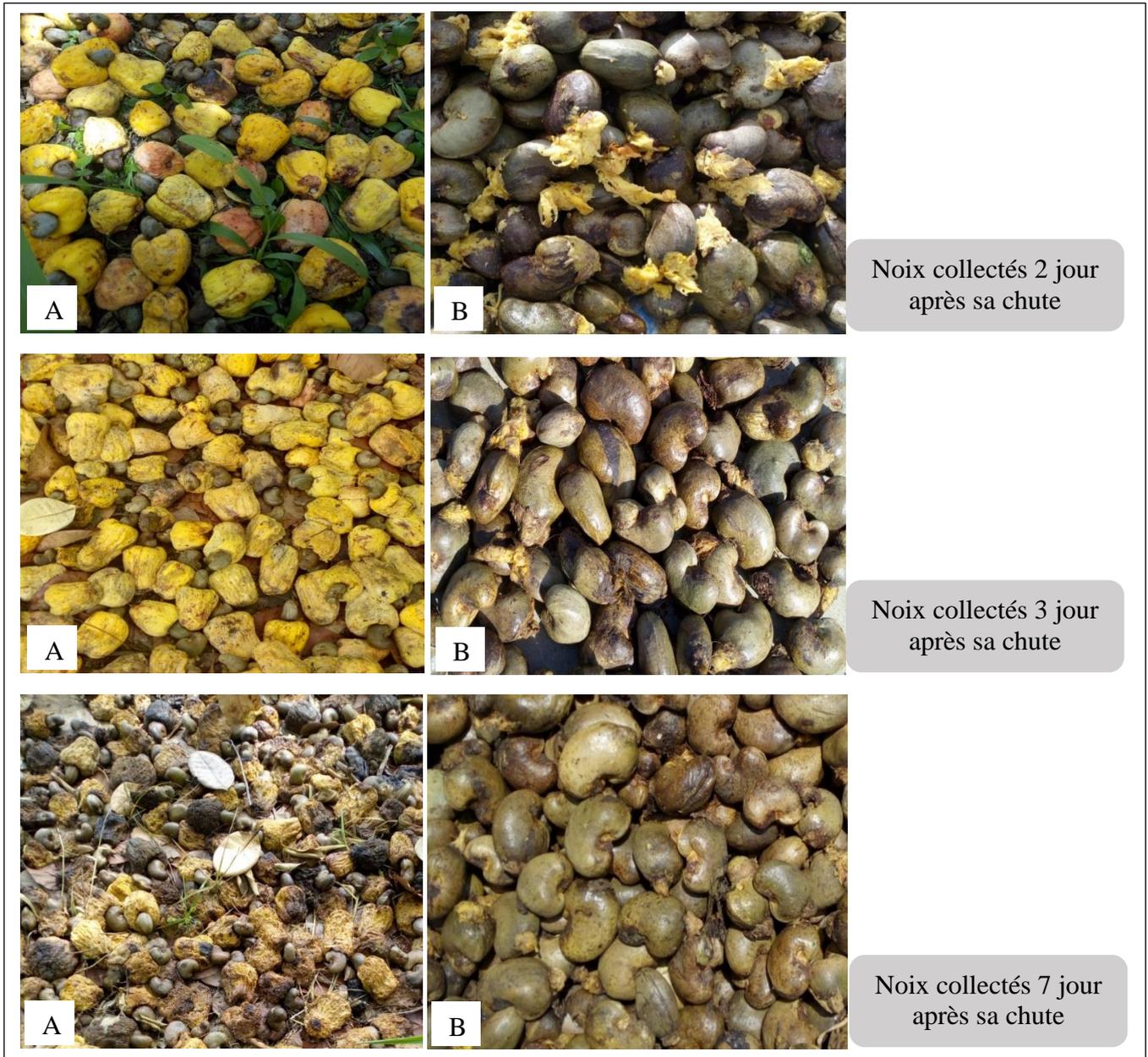


Figure 36: Photographie présentant l'aspect des fruits (A) et des noix de cajou (B) selon le délai de ramassage

4.1.1.1. Conditions climatiques durant les expérimentations

L'étude expérimentale a été réalisée dans des conditions climatiques bien connues. Les données climatiques ont été enregistrées quotidiennement avec un hygro-thermomètre en début de séchage (à 9h), en mi séchage (à 13h) et en fin de séchage (à 17h). Le séchage des noix de cajou s'est fait sur une période de 6 jours. Au cours de cette opération, la température a varié entre 28,3 et 38°C pendant que l'humidité atmosphérique était comprise entre 40 et 79 % (Figure 38).

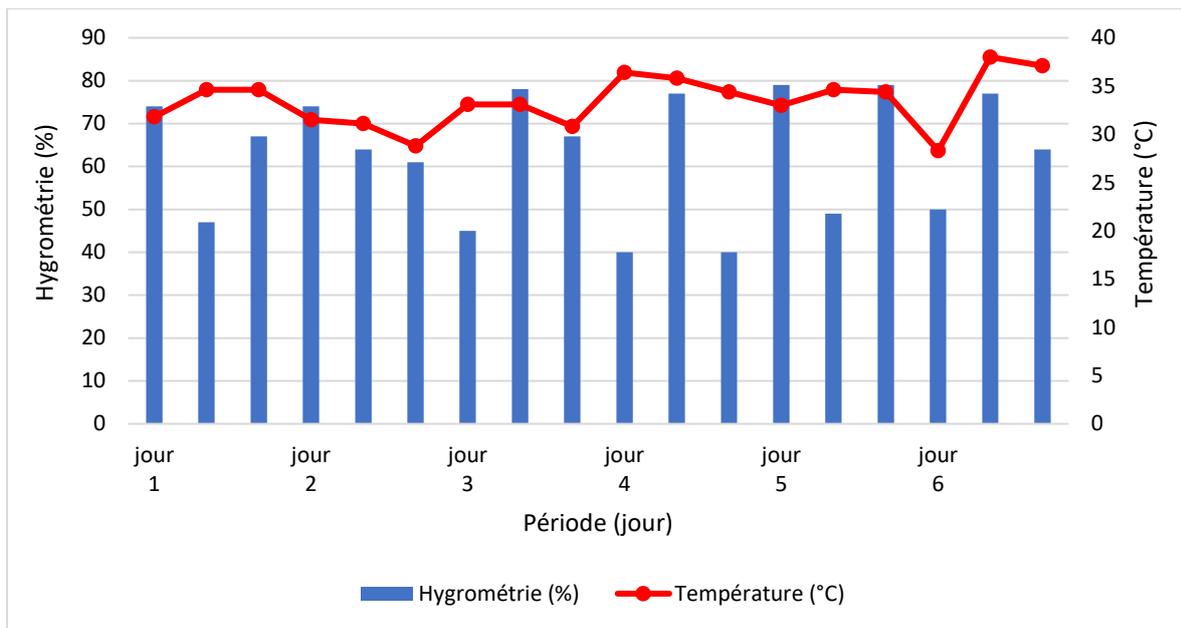


Figure 37: Variation de la température et de l'hygrométrie au cours du séchage des noix

4.1.1.2. Cinétique de séchage des noix de cajou selon le délai de ramassage

Les résultats expérimentaux présentent un lien entre la masse des noix et le délai de ramassage après 6 jours de séchage. En effet, à la fin du séchage, les noix collectées 3 jours après la chute du fruit ont présenté une masse plus élevée que celles dont les délais de ramassage ont été de 2 et 7 jours (Figure 39). L'analyse de la perte de poids en pourcentage qui résulte de la différence entre les masses initiale et finale de l'échantillon a révélé des valeurs correspondantes différentes, mais statistiquement identiques (Figure 40). Ces pertes ont été de 20,91 ; 11,81 et 13,18 % respectivement pour les noix qui ont été collectées deux (2), trois (3) et sept (7) jours après leur chute.

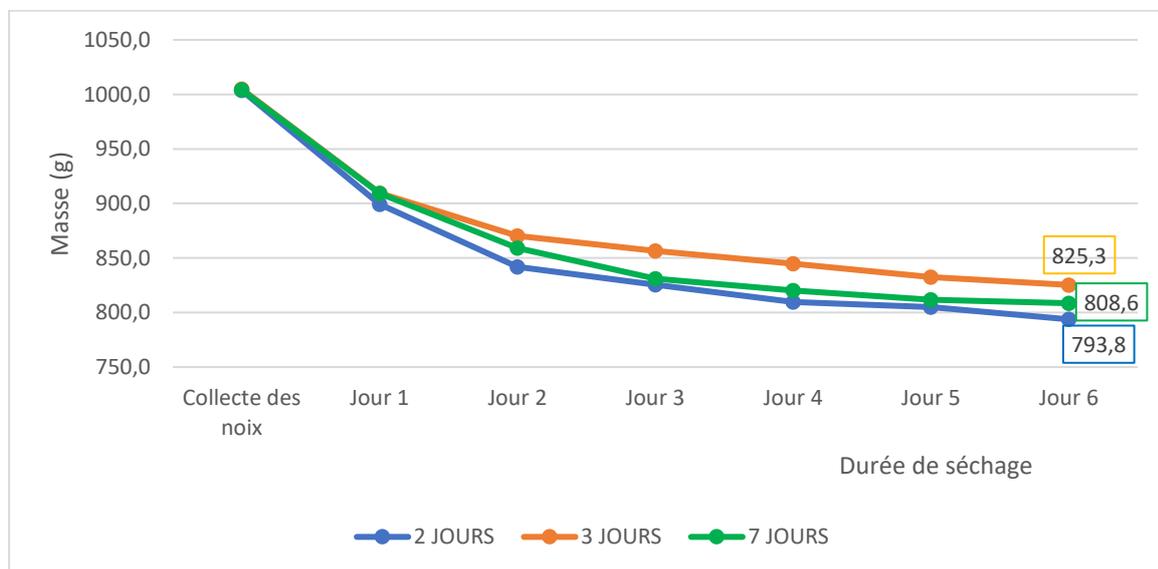


Figure 38: Evolution de la masse en fonction du délai de ramassage des noix durant le séchage

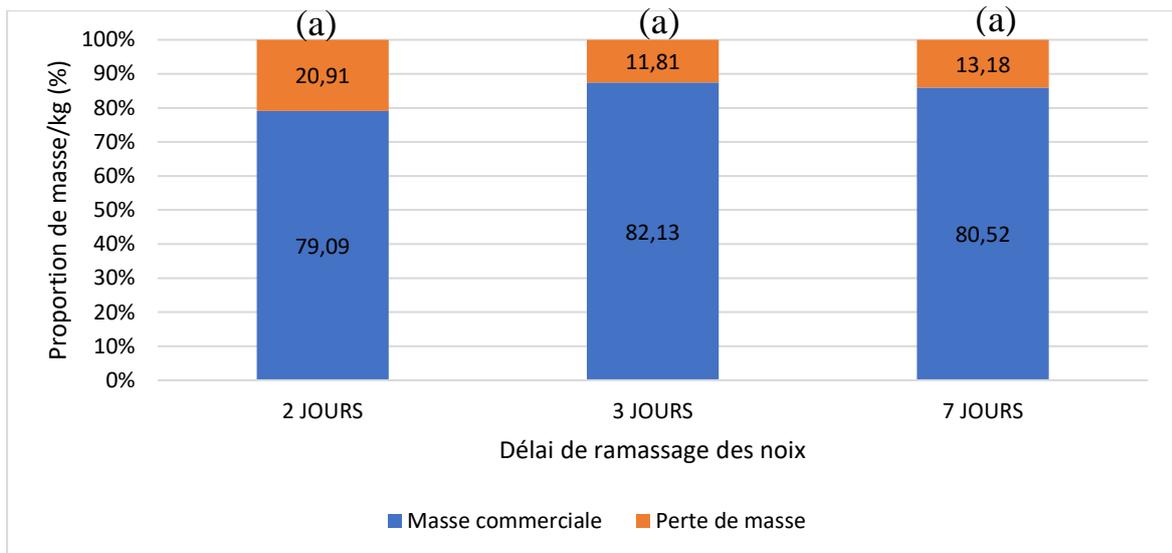


Figure 39: Perte de poids des noix en fonction du délai de ramassage des noix durant le séchage

Les observations faites au niveau de l'évolution des masses des noix sont pratiquement les mêmes que l'évolution de l'humidité des noix au cours du séchage (Figure 41). Quel que soit le délai de ramassage, les noix ont atteint une teneur en eau de 8 % au 6^e jour de séchage.

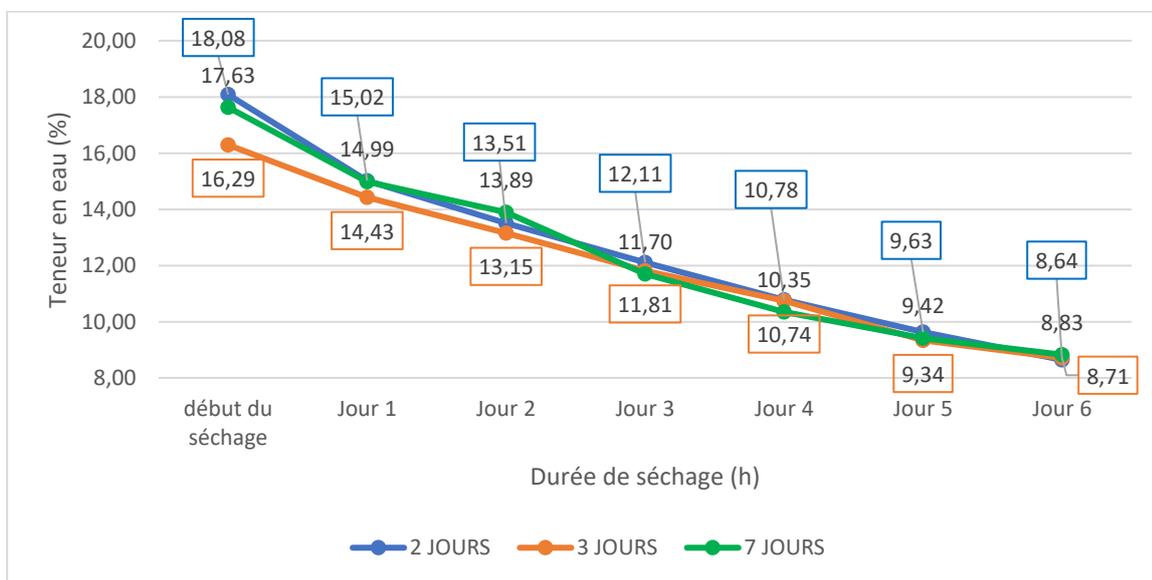


Figure 40: Evolution de l'humidité des noix en fonction du délai de ramassage des noix durant le séchage

4.1.1.3. Cinétique de séchage des noix de cajou selon les aires de séchage

La figure 42 présente les variations de la masse des noix de cajou au cours du séchage sur la claie, la bâche et l'aire cimentée. Les variations de masse sont similaires quel que soit le type de séchoir jusqu'au 6^e jour de séchage.

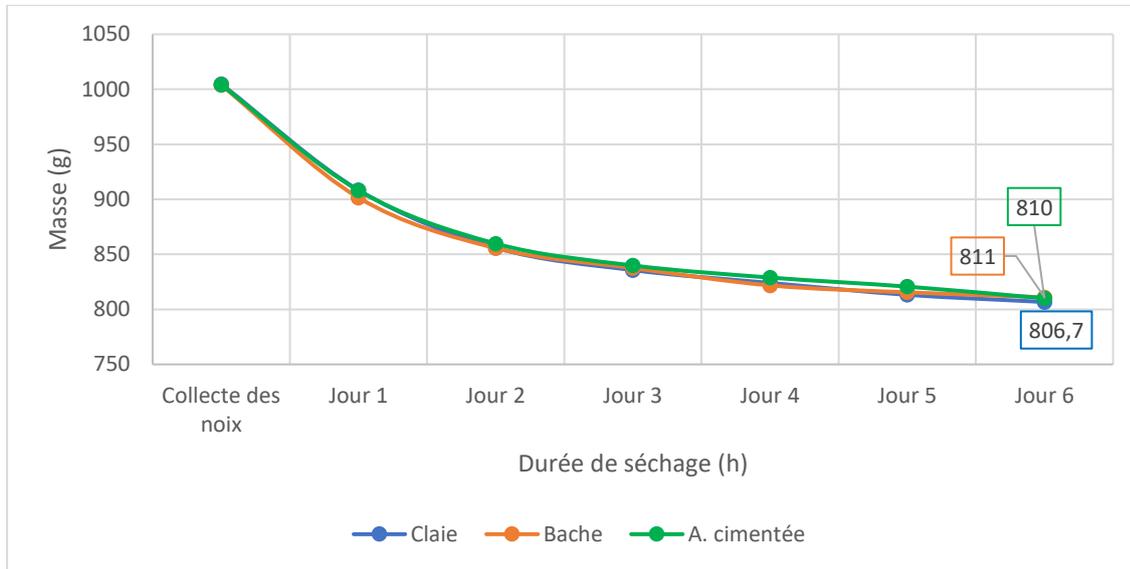


Figure 41: Evolution de la masse en fonction du support de séchage

Ces constats sont aussi valables en comparant l'évolution de la teneur en eau des noix sur mêmes supports de séchage (claie, bâche et aire cimentée) (Figure 43). Sur ces aires de séchage, aucune différence significative n'a été observée.

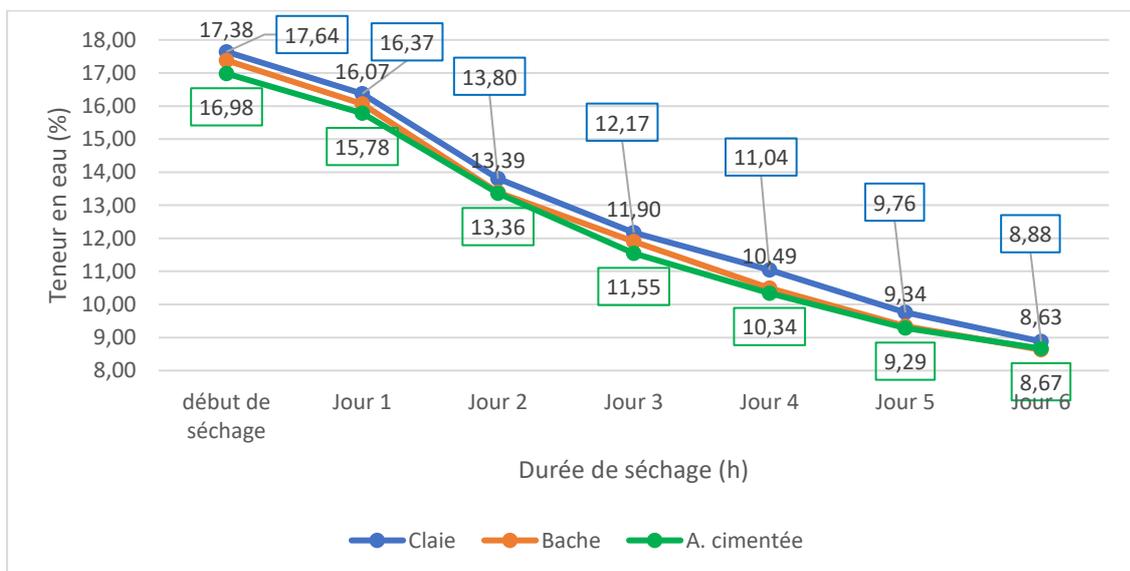


Figure 42: Evolution de l'humidité des noix en fonction du support de séchage

4.1.3. Analyse de la qualité sanitaire des noix après six (6) mois de stockage

4.1.3.1. Taux d'infection des noix de cajou en fonction des délais de ramassage et de la nature du support de séchage

Les échantillons des noix de cajou ramassées à différents délais sont colonisés par divers champignons de post-récolte. Une différence significative du taux d'infection des noix a été observée entre les noix collectées 2 jours après qu'elles soient tombées et celles collectées 3 et 7 jours après (Tableau XXXV). Les taux d'infection les plus élevés ont été de $54,6 \pm 35,43$ % chez noix collectées 7 jours après leur chute et de $22,7 \pm 9,39$ % au niveau des noix dont le délai de ramassage est de 3 jours. Le plus faible taux d'infection a été enregistré au niveau des échantillons ayant été ramassés 2 jours après la chute du fruit d'anacardier ($5,7 \pm 5,74$ %). Le délai de ramassage influence donc la colonisation des noix par les moisissures. En ce qui concerne l'impact des séchoirs sur les taux d'infection des noix, il ressort que ces derniers n'ont eu aucun effet significatif sur les infections des noix (Tableau XXXV). Cependant le taux d'infection le plus élevé a été enregistré pour un séchage sur la bâche ($37,66 \pm 6,20$ %) et le taux le plus faible, au niveau des noix séchées sur claie ($24,49 \pm 0,88$ %).

Tableau XXXV: Variation du taux d'infection selon le support de séchage et le délai de ramassage des noix

	Taux d'infection des échantillons constitués (%)		
	Minimum	Maximum	Moyenne
Délai de ramassage			
2 jours	0,0	11,5	$5,7 \pm 5,74^a$
3 jours	13,3	32,1	$22,7 \pm 9,39^{ab}$
7 jours	19,1	90,0	$54,6 \pm 35,43^c$
Support de séchage			
Aire cimentée	18,02	44,87	$31,45 \pm 13,42^a$
Bâche	31,45	43,86	$37,66 \pm 6,20^a$
Claie	23,61	25,37	$24,49 \pm 0,88^a$

Pour une colonne donnée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls à 5 %.

4.1.3.2. Taux de perte des noix de cajou

Il a été observé une disparition des pertes après 6 mois de stockage (Tableau XXXVI). Il se dégage ainsi nettement trois catégories d'échantillon de noix après stockage en fonction

des taux de perte enregistrés. Les noix collectées 2 jours après la chute des fruits ont enregistré le plus faible taux de perte dont la moyenne est de 1,85 %. La seconde catégorie de noix avec 4,73 % de perte a été les noix ayant séjournées pendant 3 jours au sol. Quant aux noix ayant été ramassées après 7 jours après leur chute, ont constitué la catégorie de noix ayant le taux de perte le plus élevé des échantillons de noix Stockés avec une valeur moyenne correspondante de 11,03 %.

En ce qui concerne les supports de séchage, nous avons observé un taux de perte significativement faible au niveau des claies après stockage des échantillons de noix. Ainsi, au sixième mois les pertes ont été de 9,81 ; 10,32 et 5,41 % avec respectivement l'aire cimentée, la bâche et la claie comme support de séchage.

Tableau XXXVI: Variation du taux de perte de noix selon le support de séchage et le délai de ramassage des noix

	Taux de perte des échantillons constitués (%)		
	Minimum	Maximum	Moyenne
Délai de ramassage			
2 jours	0,00	3,70	1,85 ± 1,85 ^a
3 jours	1,06	5,17	4,73 ± 0,44 ^{ab}
7 jours	4,32	17,74	11,03 ± 6,71 ^c
Support de séchage			
Aire cimentée	5,81	13,82	9,81 ± 4,00 ^a
Bâche	7,95	12,68	10,32 ± 2,36 ^a
Claie	5,38	5,45	5,41 ± 0,03 ^b

Pour une colonne donnée, les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls à 5 %.

4.1.3.3. Effet du délai de ramassage des noix sur la contamination par les *Aspergillii*

La figure 44 révèle que tous les échantillons analysés se sont avérés contaminés par les moisissures potentiellement aflatoxinogènes, notamment *Aspergillus flavus*. Cette espèce fongique a été essentiellement isolé (3,05 %) dans les noix collectées 3 jours après que le fruit soit tombé. Le nombre d'isolat a été évalué à 0,75 % et 1,63 % chez les noix ayant un délai de ramassage de 2 jours et 7 jours respectivement. La densité d'isolat du genre *Aspergillus* variait fortement selon le délai de ramassage des noix. Elle était de 12,98 % chez les noix fréquemment ramassées chaque 2 jours, de 37,40 % et 44,27 % chez celles ayant un délai de ramassage de 3 et 7 jours respectivement.

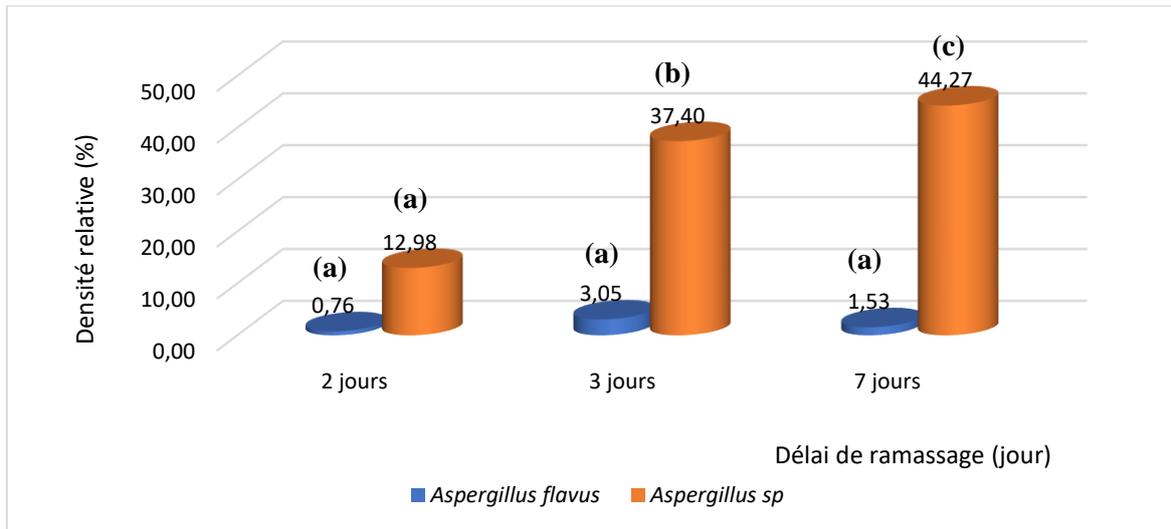


Figure 43: Densité des moisissures potentiellement aflatoxinogènes en fonction du délai de ramassage des noix

Pour chaque espèce de moisissure, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls à 5 %.

4.1.3.4. Contamination en aflatoxines des noix de cajou

Les 4 aflatoxines déterminées par CLHP, ont toutes été détectées dans les échantillons analysés (Figure 45). Il s'agit des aflatoxines B1, B2, G1 et G2.

L'AFB1 a été la plus détectée et ceci, dans 83,33 % des échantillons analysés avec des teneurs allant de 0,1 à 0,4 $\mu\text{g.kg}^{-1}$. Les teneurs en aflatoxines B2, G1 et G2 ont été toutes inférieures à limite de détection (LD).

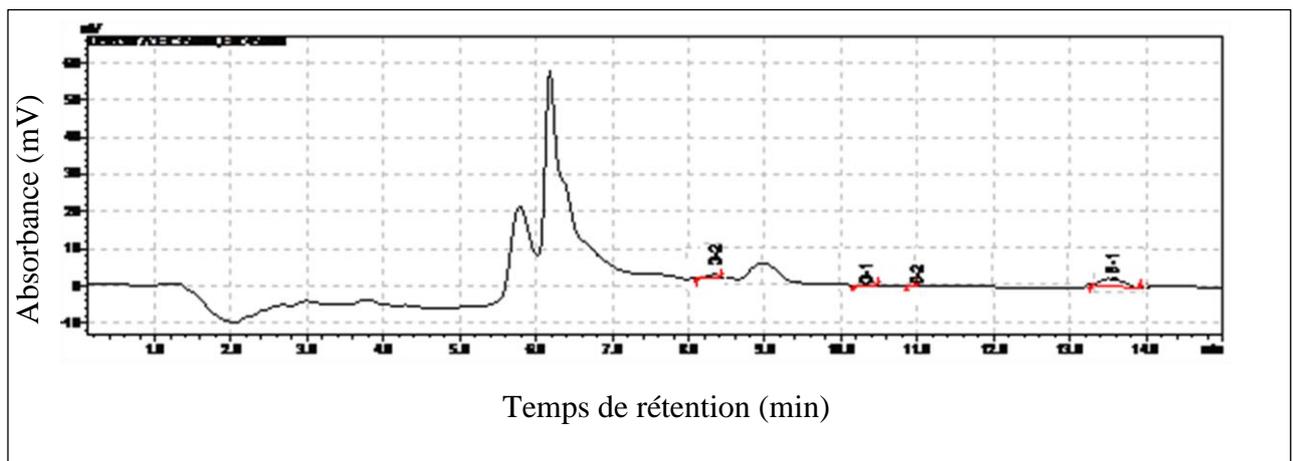


Figure 44: Chromatogramme présentant les différents pics d'aflatoxines détectées par CLHP dans les échantillons de noix de cajou

4.1.3.4.1. Contamination en aflatoxines des noix de cajou selon le délais de ramassage

Les résultats du tableau XXXVII révèlent que la contamination des noix en aflatoxines diffère selon les délais de ramassage. Ainsi, lorsque les noix ont été collectées 2 jours après la chute du fruit, aucune contamination n'a été détectée. Cependant, elles l'ont été pour un délai de ramassage de 3 et 7 jours. Les teneurs en aflatoxines des noix collectées chaque 3 jours (AFB1= 0,18 µg/kg ; AFT= 0,29 µg/kg) ont été significativement inférieures à celles des noix collectées chaque 7 jours (AFB1= 0,29 µg/kg ; AFT= 0,34 µg/kg).

Tableau XXXVII: Niveau moyen de contamination en aflatoxines en fonction des délais de ramassage des noix

Délai de ramassage	Teneur en aflatoxine (µg.kg ⁻¹)				
	AFB1	AFG2	AFG1	AFB2	AFT
2 jours	< L.D	< L.D	< L.D	< L.D	< L.D
3 jours	0,18± 0,09 ^a	< L.D	< L.D	< L.D	0,21±0,27 ^a
7 jours	0,29±0,13 ^b	< L.D	< L.D	< L.D	0,34±0,41 ^b

AFB1 : Aflatoxine B1 ; AFB2 : Aflatoxine B2 ; AFG1 : Aflatoxine G1 ; AFG2 : Aflatoxine G2 ; AFT : Aflatoxine totales. Dans la colonne des AFT, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls à 5 %.

4.1.3.4.2. Contamination en aflatoxines des noix de cajou selon les aires de séchage

Les teneurs en aflatoxines sont présentées dans le tableau XXXVIII. Elles varient en fonction de l'aire de séchage utilisée dans les différentes localités de production. La teneur en aflatoxines des noix est fortement influencée par les aires de séchage utilisées. Au niveau des bâches, les teneurs sont plus élevées que celle des aires cimentées (0,25 µg/kg d'AFB1 et 0,25 µg/kg d'AFT). Les noix séchées sur les claies n'ont présenté aucune trace d'aflatoxines.

Tableau XXXVIII: Niveau moyen de contamination en aflatoxines en fonction du support de séchage des noix

Séchoir utilisé	Teneur en aflatoxine ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)				
	AFB1	AFG2	AFG1	AFB2	AFT
Claie	< L.D	< L.D	< L.D	< L.D	< L.D
Bâche	0,25± 0,38 ^a	< L.D	< L.D	< L.D	0,3±0,84 ^a
Aire Cimentée	0,1±0,12 ^b	< L.D	< L.D	< L.D	0,11± 0,34 ^b

AFB1 : Aflatoxine B1 ; AFB2 : Aflatoxine B2 ; AFG1 : Aflatoxine G1 ; AFG2 : Aflatoxine G2 ; AFT : Aflatoxine totales. Dans la colonne des AFT, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls à 5 %.

4.2. Risques sanitaires liés aux pratiques phytosanitaires dans la culture de l'anacardiers

4.2.1. Connaissance des risques toxicologiques et expérience dans l'utilisation des produits phytosanitaires

La plupart des producteurs d'anacarde utilise les produits phytosanitaires. Pourtant, environ 90 % des producteurs n'ont aucune connaissance sur les risques toxicologiques et écotoxicologiques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires (Tableau XXXIX). Or, Selon les résultats de l'enquête (Tableau XL), leur emploi dans la culture d'anacardier remonte déjà à plus de 6 ans dans la zone de Mankono, plus de 4 ans à Dabakala et plus récemment à Bondoukou.

Tableau XXXIX: Répartition des producteurs selon la connaissance des risques toxicologiques des pesticides

		Pourcentage (%)			
		Bondoukou	Dabakala	Mankono	Moyenne
Connaissance des risques toxicologiques	Oui	4,39	5,60	22,45	10,81
	Non	95,61**	94,40**	77,55**	89,19

(**) = forte corrélation entre la variable et la localité (degré de signification du Khi2 < 0,05 et Phi > 0,7)

Tableau XL: Ancienneté dans l'utilisation des produits phytosanitaires dans les vergers d'anacardiers

Zone de production	Ancienneté (année) ± écart type
Mankono	6,94+-4,40 (a)
Dabakala	4,10+-2,05 (b)
Bondoukou	2,25+-1,04 (b)

Les moyennes suivies de la même lettre indiquent des différences non significatives au seuil de 5 % (Test de Newman-Keuls)

4.2.2. Période d'utilisation des produits phytosanitaires dans la culture d'anacardiers

Les niveaux d'utilisation mensuelle des produits phytosanitaires pendant l'année agricole sont représentés sur la figure 46. Ce recours aux produits chimiques dans les vergers d'anacardiers des zones investiguées est manifestement plus important au mois d'août. Les résultats de notre enquête révèlent que l'application des produits phytosanitaires s'étend presque sur toute l'année dans les zones de Mankono et Dabakala avec des proportions maximales d'utilisation enregistrées respectivement les mois d'août (22,4 %) et de septembre (20,5 %). Quant aux producteurs de la zone de Bondoukou, l'utilisation des produits phytosanitaires est concentrée entre les mois de mai et d'octobre avec un pic au mois d'août (30 %).

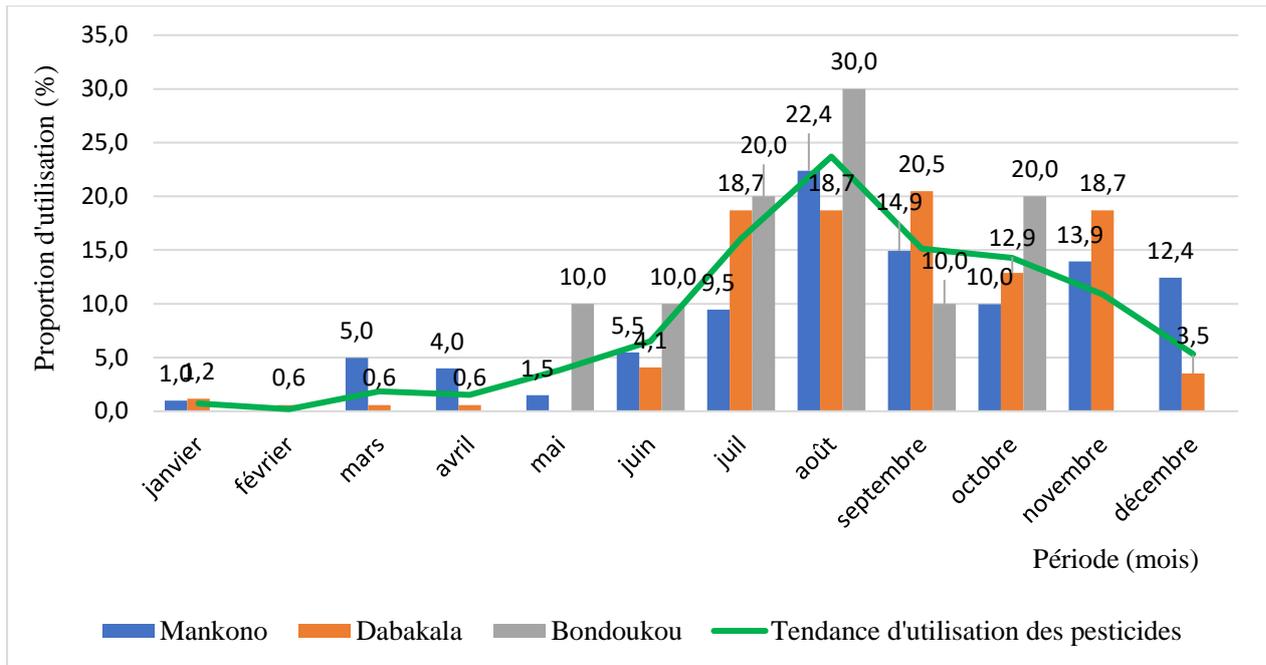


Figure 45: Dynamique d'utilisation des produits phytosanitaires dans les vergers d'anacardier durant une année agricole

4.2.3. Caractérisation des produits phytosanitaires utilisés dans la culture d'anacardiers

4.2.3.1. Principaux pesticides recensés

Les pesticides recensés sont pour la plupart des herbicides avec 52 spécialités. Ces derniers étaient par ordre d'importance : Glyphader® (31,28 %), Kalach® (29,07 %), Herbextra® (26,43 %) et Ladaba® (13,22 %) avec des doses d'usage variables selon la formulation et l'enherbement des exploitations (Tableau XLI). Les herbicides sont suivis par les insecticides (16 spécialités), dont les plus utilisés par les producteurs étaient Altes® (47,37 %), Insectido® et Polytrine® (15,79 %), Decis® et Garant® (10,53 %), les fongicides (1 spécialité) et les fongicides /engrais (1 spécialité).

Parmi ces préparations commerciales, 28 soit 40 % n'étaient pas homologués par la direction de la protection des végétaux du contrôle et de la qualité (DPVCQ) de Côte d'Ivoire (Figure 47). Les différents types de formulation rencontrés sur le terrain sont les formulations liquides [EC : *Emulsifiable concentrate (en anglais), ou concentré émulsifiable*, SL : *Soluble concentrate (en anglais), ou concentré soluble*] et solides (WG : *Water dispersible granule (en anglais), ou granulés à disperser dans l'eau*, SG : *Water soluble granule (en anglais), ou granulés solubles dans l'eau*).

Tableau XLI: Dose à l'hectare des pesticides les plus utilisés par les producteurs d'anacardier

Nom commercial du pesticide	Mankono		Dabakala		Bondoukou		Total		Dose recommandée à l'hectare (kg ou L/ha)		
	Fréq.	%	Fréq.	%	Fréq.	%	Fréq.	%			
Herbicide										Form. SL	Form. SG
Glyphader®	26	11,45	43	18,94	2	0,88	71	31,28	0,6 à 10	1 à 2	
Kalach®	14	6,17	48	21,15	4	1,76	66	29,07	3 à 4	1,5	
Herbextra®	38	16,74	18	7,93	4	1,76	60	26,43	1 à 1,5	-	
Ladaba®	29	12,78	1	0,44	0	0,00	30	13,22	1,5	1	
Insecticide										Form. EC	
Decis®	2	10,53	0	0	0	0	2	10,53	0,5	-	
Insectido®	0	0,00	3	15,79	0	0	3	15,79	0,5	-	
Altes 45 EC	3	15,79	5	26,32	1	5,26	9	47,37	0,5	-	
Polytrine®	3	15,79	0	0	0	0	3	15,79	0,5	-	
Garant extra®	2	10,53	0	0	0	0	2	10,53	0,5	-	
Fongicide										Form. EC	
Margouza ®	15	100	0	0	0	0	15	100,00	0,5	-	

Form : formulation

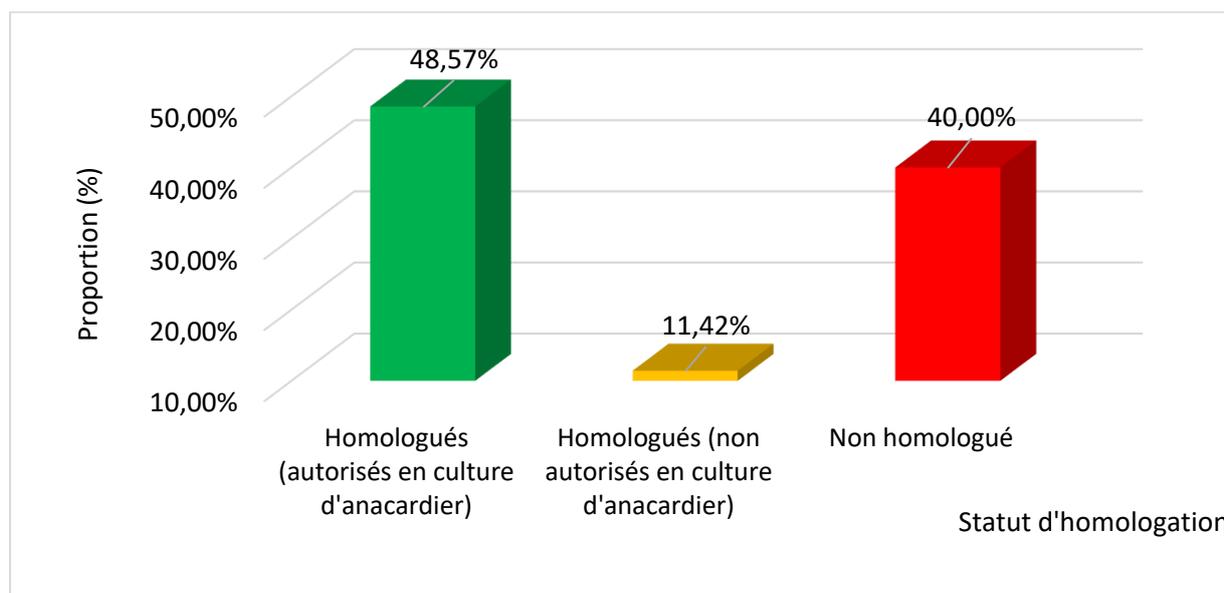


Figure 46: Pesticides utilisés dans la culture d'anacardier selon leur statut d'homologation

4.2.3.2. Principales matières actives recensées

Les résultats de notre enquête révèlent l'utilisation d'une dizaine de molécules dont les principales sont présentées dans le tableau XLII. Les pesticides utilisés dans la culture de l'anacardier appartiennent principalement à 7 grandes familles chimiques que sont les phosphonoglycines, alkylchlorophenoxy, les carbamates, les organophosphorés, les neonicotinoïde, les phenylamide et les pyréthriinoïdes. Au niveau des spécialités commerciales, le glyphosate et le 2,4 D étaient les matières actives les plus appliquées dans les vergers d'anacardiens. Toujours dans ce groupe, des matières actives prohibées ou dont l'utilisation est réglementée telle que le paraquat ont également été citées par les producteurs même si la fréquence obtenue était faible (0,8 %). Au total 11 matières actives dont 3 herbicides, 2 fongicides et 6 insecticides ont été recensées.

Tableau XLII: Classe de toxicité selon l'OMS et fréquence de citation des matières actives recensées

Matières actives	Classe de toxicité	Familles chimiques	Mankono		Dabakala		Bondoukou		Total	
			Fréq.	%	Fréq.	%	Fréq.	%	Fréq.	%
Herbicides										
Glyphosate	III	Phosphonoglycine	171	66,6	109	70,2	78	93,6	358	72,3
2,4-D	II	Alkylchlorophenoxy	50	19,3	12	8,0	-	-	62	12,5
Paraquat	II	-	2	0,8	2	1,3	-	-	4	0,8
Fongicides										
Mancozèbe	III	Carbamate	15	5,8	-	-	-	-	15	3,0
Metalaxyl-M	III	Phenylamide	1	0,4	-	-	-	-	1	0,2
Insecticides										
Acétamipride	II	Neonicotinoïde	6	2,3	12	7,7	2	2,4	20	4,0
Profenofos	II	Organophosphoré	8	3,1	10	6,5	-	-	18	3,6
Cyperméthrine	II	Pyréthriinoïde	2	0,8	5	3,2	1	1,2	8	1,6
Lambdacyhalothrine	II	Pyréthriinoïde	1	0,4	5	3,2	-	-	6	1,2
Deltamethrine	II	Pyréthriinoïde	1	0,4	-	-	1	1,2	2	0,4
Imidaclopride	II	Neonicotinoïde	-	-	-	-	1	1,2	1	0,2

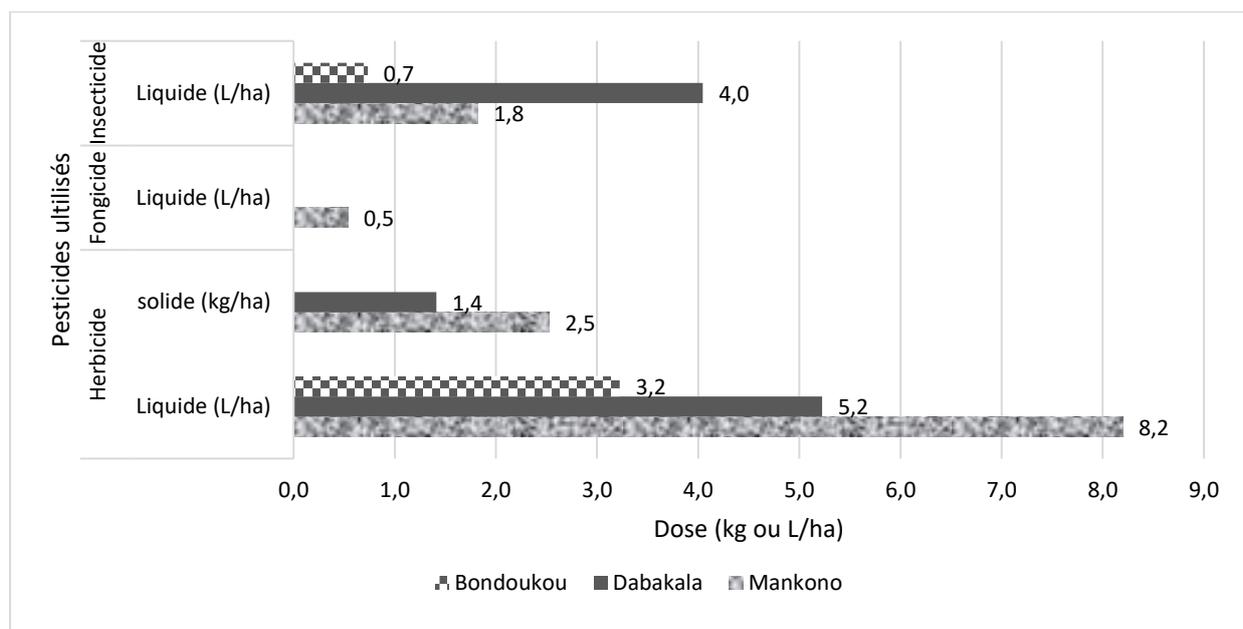
Fréq. = Fréquence de citation ; II = Modérément dangereux ; III = Légèrement dangereux

4.2.4. Management des produits phytosanitaires en milieu paysan dans la production des noix de cajou

4.2.4.1. Doses de pesticides appliquées par les producteurs

Les résultats de l'enquête ont révélé que les quantités de pesticides appliquées par traitement étaient assez variables (Figure 48). Les quantités d'herbicides appliquées variaient entre 1 et 14 flacons d'un litre et entre 1 et 50 sachets d'un kilogramme. Les doses moyennes appliquées ont donc été estimées entre 3,2 et 8,2 litres par hectare au niveau des formulations liquides et entre 1,4 et 2,5 kg par hectare pour les formulations solides. Quant aux insecticides, on dénombrait 1 à 22 boîtes par traitement. La dose moyenne appliquée était donc estimée à 4 litres par hectare à Mankono, 1,8 litres par hectare à Mankono et 0,7 litre par hectare à Bondoukou. Les produits fongicides ont été recensés uniquement au niveau des producteurs de Mankono qui utilisaient 2 à 4 pots (bidons) de quatre litres par traitement. Ce qui donnait en moyenne une dose de 0,5 litre par hectare.

Concernant les charges phytosanitaires dans les vergers, elles variaient en fonction de la fréquence de traitement par année agricole (Tableau XLIII). Dans la majorité des cas, le traitement était réalisé 2 fois par année par les producteurs de Mankono (41,7 %) et 1 fois par les producteurs de Dabakala (59,8 %) et Bondoukou (43,8 %) pour lutter contre l'enherbement. Au niveau des insecticides, seuls les producteurs de la zone de Dabakala (9,8 %) les appliquaient deux (2) fois par année agricole.



Les mots "solides" et "liquides" se rapportent à l'état de la substance active de la formulation.

Figure 47: Quantité moyenne de pesticide appliquée par les producteurs par hectare et par traitement

Tableau XLIII: Fréquences de traitement des plantations

Nombre d'application par année agricole	Mankono		Dabakala		Bondoukou		Total		
	Fréq.	%	Fréq.	%	Fréq.	%	Fréq.	%	
Herbicide									
1 fois	52	36,1	61	59,8	7	43,8	120	46	
2 fois	60	41,7	18	17,6	1	6,3	79	30	
3 fois	9	6,3	3	2,9	2	12,5	14	5	
4 fois	2	1,4	-	-	-	-	2	1	
5 fois	1	0,7	-	-	2	12,5	3	1	
Fongicide									
1 fois	1	0,7	1	1,0	-	-	2	1	
2 fois	-	-	-	-	-	-	-	-	
3 fois	-	-	-	-	-	-	-	-	
4 fois	-	-	-	-	-	-	-	-	
5 fois	-	-	-	-	-	-	-	-	
Insecticide									
1 fois	14	9,7	6	5,9	3	18,8	23	9	
2 fois	3	2,1	10	9,8	1	6,3	14	5	
3 fois	-	-	3	2,9	-	-	3	1	
4 fois	1	0,7	-	-	-	-	1	0,4	
5 fois	1	0,7	-	-	-	-	1	0,4	
TOTAL	144	100	102	100	16	100	262	100	

Fréq. = Fréquence de citation

4.2.4.2. Utilisation des équipements de protection

L'enquête a révélé que la majeure partie des producteurs (57,7 %) n'utilisait pas d'équipement de protection individuel (EPI) pour se prémunir de tout danger (Figure 49). Seulement 0,6 % (Figure 50) des producteurs pouvaient prétendre à une protection grâce à la tenue "G+B+L+M+C" (tenue composée de gant (G), botte (B), lunette (L), masque anti poussière (M) et d'une combinaison ou tenue de travail) qu'ils portaient.



Figure 48: Des producteurs sans EPI en train de traiter leur champ d'anacardiérs

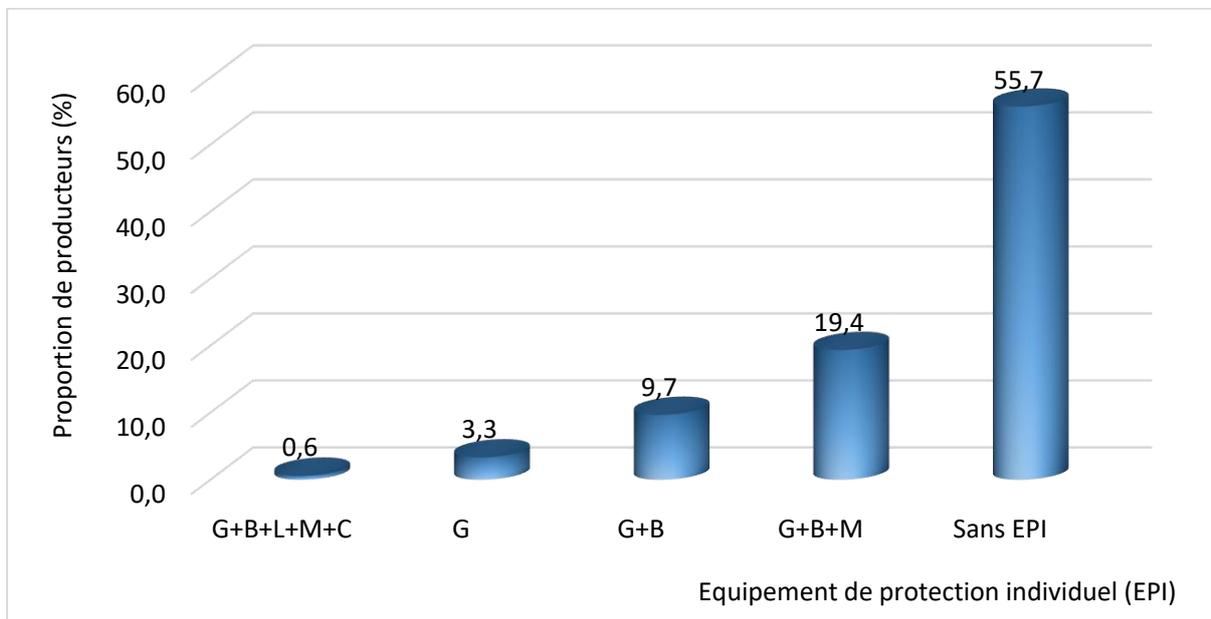


Figure 49: Proportion d'utilisation des équipements de protection pendant l'application des pesticides

4.2.4.3. Autres aspects de gestion des produits phytosanitaires

Le tableau XLIV résume bien les matériels utilisés par les producteurs pour les traitements phytosanitaires. Les solutions de pesticides préparées sont appliquées essentiellement au moyen de pulvérisateurs à dos (93,9 %) et d'atomiseur (6,1 %). Après traitement, 65,8 % des applicateurs nettoient leur matériel de travail au champ mais 20 % les nettoient dans un point d'eau. D'après les producteurs, ces points d'eau étaient soit des rivières, des marigots ou soit des puisards.

Plus de 90 % des producteurs acquéraient les pesticides dans des lieux non indiqués notamment les tout-venant (22 %), les marché (56,5 %) mais également avec des vendeurs ambulants (15 %). La plupart des pesticides achetés n'était pas un choix prémédité des paysans mais sur propositions des commerçants. Ces produits étaient donc susceptibles d'être prohibés et méconnus par les producteurs.

Le traitement réservé aux emballages vides n'était pas non plus adéquat. En effet, les producteurs pouvaient les abandonner dans la plantation (61,8 %), les enterrer (15,3 %), les brûler (6,8 %), les réutiliser après lavage (14,4 %) (Figure 51) ou les retourner chez le vendeur (1,8 %).

Tableau XLIV: Gestion du matériel de pulvérisation

Variable	Nombre de citation	Pourcentage (%)
Matériel de traitement		
Pulvérisateur à dos	262	93,9
Atomiseur	17	6,1
Fournisseurs		
Tout venant	85	22,0
Marché	218	56,5
Vendeur ambulant	58	15,0
Revendeur agréé	11	2,8
Magasin agréé	6	1,6
Société coopérative	8	2,1
Lieu de nettoyage du matériel de pulvérisation		
Champ	254	65,8
Maison	55	14,2
Point d'eau près du champ (≤ 100 m)	47	12,3
Point d'eau loin du champ (> 100 m)	30	7,7
Traitement des emballages vides		
Abandonnés dans la plantation	210	61,8
Enterrés	52	15,3
Brulés	23	6,8
Usage domestique	49	14,4
Retour au vendeur	6	1,8



Figure 50: a) Producteur revenant du champ avec son emballage de pesticide réutilisé comme gourde d'eau ; b) ensemble d'emballage de pesticides réutilisés comme récipients pour la conservation d'ingrédient alimentaire (sel, huile, eau)

4.2.5. Caractérisation des Symptômes d'intoxications relevées chez les producteurs rencontrés

Les différentes affections recensées chez les personnes enquêtées sont résumées dans la figure 52. Parmi les producteurs rencontrés, 37,6 % ont affirmé ressentir des malaises après utilisation des produits phytosanitaires. La manifestation des symptômes pouvait avoir lieu pendant la préparation ou la pulvérisation du produit dans les 24 heures après le contact avec le produit. La majeure partie des affections recensées touchent principalement la peau avec 39,89 % des cas. Ensuite viennent les affections telles que les céphalées (27,98 %), les difficultés respiratoires (11,97 %), les douleurs abdominales (10,90 %), les nausées (2,93 %), les affections oculaires (2,61 %) et les vertiges et rhumes avec 1,86 % des cas recensés.

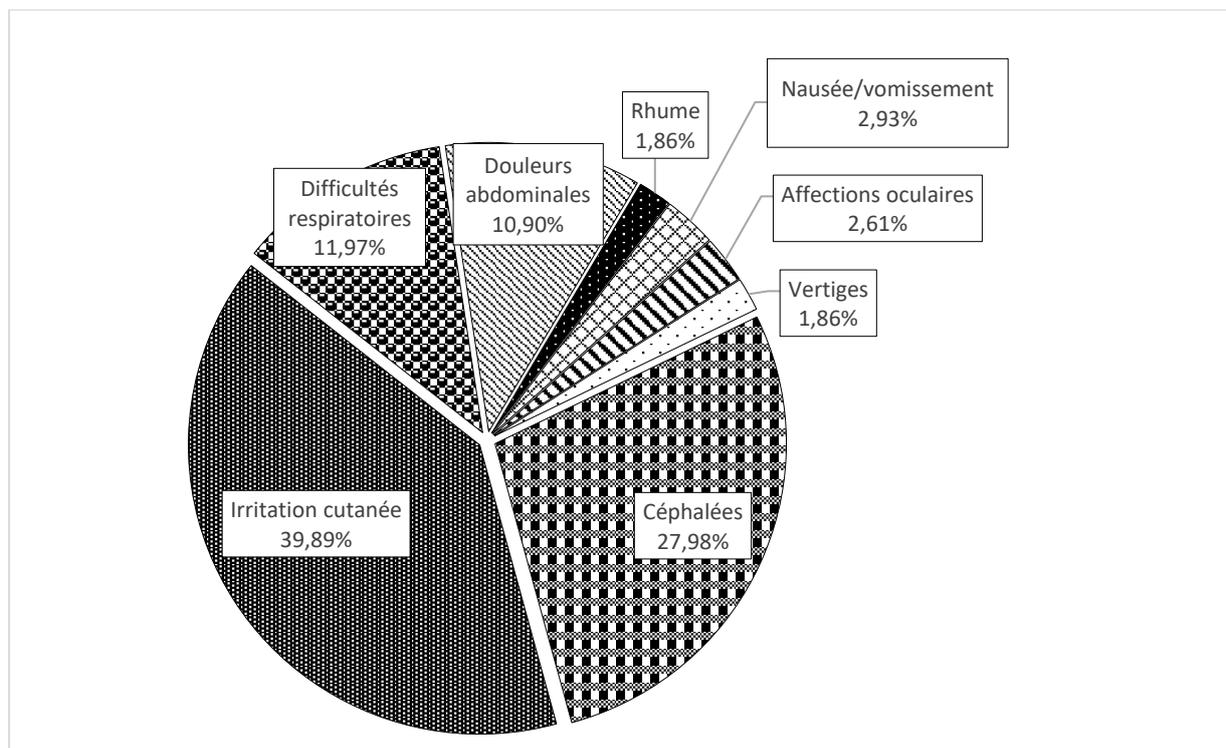


Figure 51: Nature des affections ressenties par les producteurs après application des pesticides

4.2.6. Pression phytosanitaire dans les champs d’anacardiens

4.2.6.1. Indices de fréquence de traitement des pesticides (IFTp) dans la culture d’anacardiens

Les valeurs moyennes de l’indice de fréquence de traitement des pesticides (IFTp) dans les vergers d’anacardiens des trois zones d’étude varient entre 0,81 et 2,69 (Tableau XLV). L’IFTp moyen total dans les exploitations d’anacardier est de 2,35. La pression phytosanitaire est beaucoup plus élevée dans les vergers d’anacardiens de Mankono avec un IFTp supérieur au 70^e percentile (2,63) des valeurs d’IFTp réalisé pendant la campagne culturale.

Tableau XLV: Intensité de l'utilisation des pesticides dans les champs d'anacardier de Mankono, Dabakala et Bondoukou

Zone de production	Nombre de producteurs suivis	IFTp Minimum	IFTp Maximum	IFTp Moyen	IFTp au 70e percentile
Mankono	30	0,03	35,12	2,69 ± 2,11	2,63
Dabakala	30	0,03	4,96	1,43± 0,57	1,65
Bondoukou	16	0,09	2,82	0,81± 0,16	0,94
IFT _{pondéré/ha}	76	0,03	35,12	2,35± 1,03	1,98

4.2.6.2. Indices de fréquence de traitement des herbicides (IFT_H) et insecticides (IFT_I) dans la culture d'anacardier

Les traitements de type herbicide à Mankono sont présentés dans la figure 69. Ils sont significativement plus intenses ($P \leq 0,05$) avec une valeur moyenne d'IFT_H de 3,28 soit trois fois plus qu'à Dabakala et Bondoukou. Cependant, en comparaison aux deux autres zones de production, l'écart inter-centile de la pression phytosanitaire plus élevé, traduit une forte hétérogénéité dans la pression des traitements de type herbicide dans la zone de Mankono.

Les traitements de type herbicide à Mankono sont présentés dans la figure 70. Les champs d'anacardiers dans la zone de Dabakala subissent significativement plus les traitements de type insecticide ($P \leq 0,05$) avec 50 % de parcelles traitées dont l'IFT_I moyen est de 1,53 contre 0,77 et 0,53 respectivement à Mankono et Bondoukou.

Quant à la zone de Bondoukou, elle est marquée par des IFTp plus faibles et homogènes sur l'ensemble des parcelles d'anacardier (Figures 53 et 54). La moitié de ses plantations ont un IFT_H moyen de 0,94 et un IFT_I de 0,41 contre 0,99 et 1,53 à Dabakala et 1,76 et 0,77 au niveau de Mankono respectivement.



Figure 52: Variabilité inter-régionale des IFT herbicides (IFT_H) dans la culture d'anacardiers

L'échantillon de parcelles est ici caractérisé par sa médiane (trait gris gras), sa moyenne (x). Les deux tirets aux extrémités hautes et basses représentent respectivement les valeurs du minimum et du maximum des IFT_H. La « boîte » représente les valeurs des 25e et 75e percentile des IFT_H.

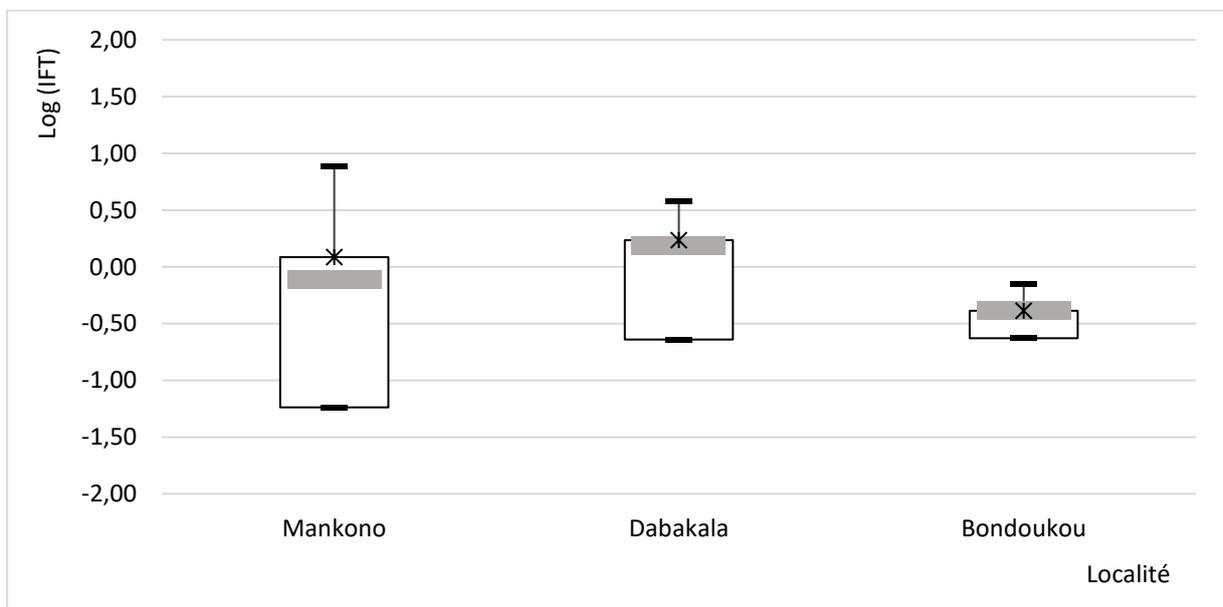


Figure 53: Variabilité inter-régionale des IFT insecticide (IFT_I) dans la culture d'anacardiers

L'échantillon de parcelles est ici caractérisé par sa médiane (trait gris gras), sa moyenne (x). Les deux tirets aux extrémités hautes et basses représentent respectivement les valeurs du minimum et du maximum des IFT_I. La « boîte » représente les valeurs des 25e et 75e percentile des IFT_I.

4.2.6.3. Indices de pression pesticides (IP) dans les exploitations d'anacardier

La pression annuelle moyenne en pesticides par exploitation en 2018 était de 74,78 kg de matières actives à l'hectare (kg m.a. ha⁻¹) (Tableau XLVI). La pression en pesticides maximale était de 130,65 kg m.a. ha⁻¹ correspondant aux traitements de type herbicide dans la zone de Mankono alors que le minimum était de 0,12 kg m.a. ha⁻¹ dans la zone de Bondoukou. Les indices de pression moyens en pesticides sont respectivement de 44,99 kg ; 39,98 Kg et 4,69 kg de matières actives à l'hectare emblavé dans les exploitations d'anacardier à Mankono, Dabakala et Bondoukou.

Tableau XLVI: Indices de pression pesticides (kg m.a. ha⁻¹)

Zone de culture	Indice de Pression (kg m.a/ha)			
	Herbicide	Insecticide	Fongicide	Moyenne
Mankono	130,65	4,22	0,12	44,99 ± 1,86
Dabakala	76,56	3,39	–	39,98 ± 2,05
Bondoukou	9,25	0,14	–	4,69 ± 0,20
Total	216,46	7,75	0,12	74,78 ± 4,35

4.2.7. Risques toxicologiques liés aux pratiques phytosanitaires dans la culture de l'anacardier

4.2.7.1. Risques pour la santé humaine des pratiques phytosanitaires des producteurs de noix de cajou

4.2.7.1.1. Toxicité des matières actives utilisées dans la culture de l'anacardier

Le tableau XLVII présente les indices de risque toxicologique (IRT) des matières actives recensées dont les valeurs varient de 36 à 2550,25. Sur les 10 matières actives recensées, 9 (90 %) ont un risque de toxicité aiguë plus important que le risque chronique. Le mancozèbe et la Lambda-cyhalothrine présentent à la fois des risques aigus et chroniques élevés. Cependant, le mancozèbe présente un risque de cancer plus important que les autres matières actives. Les indices de risque toxicologique (IRT) et les indices de risque pour la santé (IRS) les plus élevés ont été obtenus avec le profénofos (IRT = 2550,25 ; IRS = 637,56), la Lambda-cyhalothrine (IRT = 2209 ; IRS = 552,25) et le 2,4-D (IRT = 1332,25 ; IRS = 432,98) alors que les plus faibles ont été obtenus avec le Métalaxyl (IRT = 81 ; IRS = 14,18) et l'Imidaclopride

(IRT = 36 ; IRS = 6,30) (Tableau XLVI). Le profénofos présente le risque le plus élevé pour la santé à long terme (reproduction) car son facteur de persistance dans les tissus est très important. Il se distingue aussi des autres matières actives par son risque de toxicité aiguë plus important par voie orale et capable d'une irritation cutanée. Le profénofos se retrouve dans cinq insecticides homologués les plus utilisés en culture d'anacardier (33,33 % des insecticides). La Lambda-cyhalothrine se caractérise par une toxicité aiguë élevée par inhalation. Par contre, le 2,4-D, une matière active herbicide, présente non seulement un risque de toxicité aiguë beaucoup plus important au niveau de la peau, mais aussi est marquée par un risque sanitaire élevé.

Tableau XLVII: Indice de risque de toxicité (IRTMA) et sanitaire (IRSMA) des matières actives présentes dans les pesticides utilisés par les producteurs d'anacardiens

Matière active (MA)	Tox. or.	Tox. cut.	Tox. Inh.	Irr. cut.	Irr. ocul.	Sens.	Tox. aig.	Canc	Gén.	Per. End.	Repr.	Dév.	Tox. Chron.	FPer	IRT _{MA}	IRS _{MA}
Profenofos	8	4	4	8	4	0	28	0	1	0	8	0	9	2,5	2550,25	637,56
Lambda-cyhalothrine	4	4	8	2	1	0	19	4	4	4	0	2	14	2	2209	552,25
2,4 D sel d'amine	2	2	2	1	8	8	23	2	0	4	2	1	9	1,5	1332,25	432,98
Mancozèbe	1	1	1	1	4	4	12	8	4	4	0	1	17	1	841	147,18
Cyperméthrine	4	1	2	1	2	8	18	4	0	0	0	0	4	2	676	118,30
Deltaméthrine	4	4	2	4	4	0	18	0	0	0	0	0	0	1,5	324	56,70
Glyphosate	1	1	2	2	8	0	14	0	0	0	0	0	0	1	196	78,40
Acetamipride	4	1	2	1	1	0	9	0	0	0	2	0	2	1	121	21,18
Métalaxyl	2	1	1	1	4	0	9	0	0	0	0	0	0	2	81	14,18
Imidaclopride	2	1	1	1	1	0	6	0	0	0	0	0	0	2,5	36	6,30

Fper : Facteur tenant compte de la persistance et du potentiel de bioaccumulation chez l'humain ; Gén. : Génotoxicité ; Per. End. : Perturbateur endocrinien ; Repr. : Reproduction ; Dév. : Développement ; canc : cancérogénicité ; Irr. : Irritation ; Sens. : Sensibilisation cutanée ; Tox. : Toxicité ; Inh. : inhalation ; Chron. : chronique ; cut. : cutanée ; ocul. : oculaire ; or. : orale ; aig. : aiguë.

4.2.7.1.2. Toxicité des préparations commerciales utilisées dans la culture de l'anacardier

Les indices des risques de toxicité (IRT_p) et sanitaire ($IRSp$) des pesticides ont été déterminés à partir de la préparation commerciale (Tableau XLVIII) la plus utilisée dans la culture de l'anacardier dans les trois zones d'étude. 15 des préparations commerciales soit 93,75 % ont un risque de toxicité supérieur à leur risque sanitaire.

Parmi les préparations commerciales, les formulations insecticides ont présenté un risque sanitaire assez variable d'un produit à un autre. En effet, pendant que la formulation Lambdacal P 318 EC a présenté les risques les plus élevés pour la santé humaine avec un indice de 1189,81, celle nommée Decis 12,5 EC présentait les plus faibles risques d'impact sur la santé humaine avec un $IRSp$ de 56,7. La formulation fongicide recensée Margouza 50 EC présente un niveau de risque sanitaire de 161,35. Quant aux herbicides (Glyphader ®, Kalach ® et Ladaba ®), ils ont présenté en général des niveaux de risque faibles pour la santé humaine même si l'on a enregistré un $IRSp$ élevé de 432,98 pour les formulations Herbextra ®.

Tableau XLVIII: Indice de risque de toxicité (IRTP) et sanitaire (IRSP) des pesticides les plus utilisées par les producteurs d'anacardiers

Nom du Pesticide	Taux d'utilisation (%)	Matières actives du pesticide	Tox. aig.	Tox. Chron.	FPf	FCP	IRT _P	IRSP
Lambdocal P 318 EC	3,2	Lambda-cyhalothrine + profénofos	46	13	2	1,25	3226,25	1189,81
Doni FTE 672 EC	3,2	Cyperméthrine + profénofos	28	9	2	0,875	2550,25	564,59
Hitcel 440 EC	3,2	Profénofos + cyperméthrine	37	11	2	0,875	2671,25	564,59
Polytrine C 336 EC	9,7	Profénofos + cyperméthrine	46	13	2	0,875	3226,25	564,59
Altes 45 EC	25,8	Acétamipride + profénofos	28	16	2	0,875	2330	467,47
Fanga 500	9,7	Profénofos	46	13	2	0,875	3226,25	446,29
Garant extra 40 EC	6,5	Lambda-cyhalothrine + acétamipride	47	23	2	0,875	4759,25	407,75
Insectido 50 EC	9,7	Lambda-cyhalothrine	19	14	2	0,875	2209	386,58
Herbextra ®	12,3	2,4 D sel d'amine	14	0	2	1,625	196	432,98
Margouza 50 EC	100	Mancozèbe + métalaxyl	21	17	2	0,875	922	161,35
Somon 40 EC	3,2	Cyperméthrine + acétamipride	27	6	2	0,875	797	139,48
Kalach ®	13,5	Glyphosate	14	0	1 à 2	2	196	78,40
Ladaba ®	6,4	Glyphosate et Glyphosate sel d'Isopropylamine	14	0	1 à 2	2	196	78,40
Glyphader ®	14,8	Glyphosate	14	0	1 à 2	2	196	78,40
Dantop 45 SC	3,2	Imidaclopride + deltaméthrine	24	0	2	0,875	360	63,00
Decis 12,5 EC	6,5	Deltaméthrine	18	0	2	0,875	324	56,7

FPf : Facteur de pondération lié au type de formulation ; FCP : Facteur de compensation tenant compte de la concentration de la matière active dans la formulation ainsi que de la dose recommandée à l'hectare.

4.2.7.1.3. Niveau d'exposition des producteurs de noix de cajou des trois zones d'étude

Les résultats des tableaux XLIX et L montrent que les producteurs applicateurs ont été fortement exposés aux herbicides utilisés. Toutes les matières actives appliquées, même aux doses recommandées, ont présenté un risque inacceptable pour l'opérateur avec un niveau d'exposition supérieur aux seuils des limites acceptables ou AOEL (*Acceptable Operator Exposure Level*) pour l'opérateur. Les valeurs d'exposition prédictives les plus élevées lors des opérations de mélange-chargeement et de pulvérisation ont été enregistrées à Mankono. Elles ont été en moyenne de 7,5079 (glyphosate) à 17,5529 (2,4 D sel d'amine) milligramme par kilogramme de poids corporel par jour (mg/kg p.c./j) sans EPI et de 3,08 (glyphosate) à 8,5941 (2,4 D sel d'amine) mg/kg p.c./j avec port d'EPI.

Pour ce qui est des insecticides, les tableaux LI et LII révèlent que certaines matières actives sont sans risques d'utilisation aux doses recommandées d'application. Il s'agit de l'acétamipride, la cyperméthrine, l'imidaclopride et la métalaxyl. La deltaméthrine exige le port d'EPI avant manipulation. La Lambda-cyhalothrine est la molécule présentant une exposition potentielle plus élevée pour les producteurs d'anacardier, elle est plus de 1000 % avec port d'EPI.

En ce qui concerne les fongicides, seule la molécule mancozèbe a présenté un risque de santé réel si celle-ci est manipulée sans protection. En effet, dans cette condition, la molécule présente même à la dose recommandée, un risque d'exposition 21 fois supérieures (0,752 mg/kg p.c./j) au seuil limite acceptable qui est de 0,035 mg/kg p.c./j (Tableau L).

Tableau XLIX: Exposition potentielle dermique aux herbicides des producteurs d'anacarde pour un opérateur sans EPI

Matière active	DL50 dermale (mg/kg p.c./j)	Exposition de l'opérateur (mg/kg p.c./j)				AOEL (mg/kg p.c./j)	Pourcentage de l'AOEL (%j)			
		Dose recommandée	Dose d'application				Dose recommandée	Dose d'application		
			Mankono	Dabakala	Bondoukou			Mankono	Dabakala	Bondoukou
2,4 D sel d'amine	> 1829	2,7318	17,5529	11,1553	6,8902	0,02	13908,9453	87764,4063	55776,4375	34451,125
Glyphosate	> 2000	4,0839	7,5079	4,6522	3,8786	0,1	4176,2579	7507,9146	4652,1708	3878,5556

Tableau L: Exposition potentielle dermique aux herbicides des producteurs d'anacarde pour un opérateur avec EPI

Matière active	DL50 dermale (mg/kg p.c./j)	Exposition de l'opérateur (mg/kg p.c./j)				AOEL (mg/kg p.c./j)	Pourcentage de l'AOEL (%j)			
		Dose recommandée	Dose d'application				Dose recommandée	Dose d'application		
			Mankono	Dabakala	Bondoukou			Mankono	Dabakala	Bondoukou
2,4 D sel d'amine	> 1829	1,3129	8,59415	5,45115	3,35585	0,02	6564,4561	42970,918	27255,8985	16779,2188
Glyphosate	> 2000	1,6692	3,0800	1,9404	1,8890	0,1	1431,5950	3080,0048	1940,4310	1889,0278

Tableau LI: Exposition potentielle dermique aux insecticides et fongicides des producteurs d'anacarde pour un opérateur sans EPI

Matière active	DL50 dermale (mg/kg p.c./j)	Exposition de l'opérateur (mg/kg p.c./j)				AOEL (mg/kg p.c./j)	Pourcentage de l'AOEL (%j)			
		DR	Dose d'application				DR	Dose d'application		
			Mankono	Dabakala	Bondoukou			Mankono	Dabakala	Bondoukou
Lambda-cyhalothrine	632	0,0332	0,0575	0,0696	0,0210	0,0006	5532,2916	9581,4583	11606,0417	3507,7083
Mancozèbe	> 5000	0,752	1,3024	-	-	0,035	2148,5714	3721,1429	-	-
Deltaméthrine	> 800	0,0161	0,0280	0,0339	0,0103	0,0075	215,4167	373,0833	451,9167	136,5833
Acétamipride	> 2000	0,0235	0,0407	0,0493	0,0149	0,025	94	162,8	197,2	59,6
Cyperméthrine	> 4920	0,0494	0,0855	0,1035	0,0313	0,06	82,2500	142,4500	172,5500	52,1500
Imidaclopride	> 5000	0,03525	0,06105	0,07395	0,02235	0,06	58,7499	101,7500	123,2500	37,2500
Métalaxyl	> 3100	0,047	0,0814	-	-	0,08	58,7498	101,75	-	-
Profénofos	472	0,3466	0,6003	0,7272	0,2198	-	-	-	-	-

AOEL : niveau d'exposition acceptable pour l'opérateur ; DL50 : dose létale qui cause la mort de 50 % d'un groupe d'animaux expérimentaux ; (-) = non disponible ; DR = dose recommandée ; mg/kg p.c./j : milligramme par kilogramme de poids corporel par jour

Tableau LII: Exposition potentielle dermique aux insecticides et fongicides des producteurs d'anacarde pour un opérateur avec EPI

Matière active	DL50 dermale (mg/kg p.c./j)	Exposition de l'opérateur (mg/kg p.c./j)				AOEL (mg/kg p.c./j)	Pourcentage de l'AOEL (%j)			
		DR	Dose d'application				DR	Dose d'application		
			Mankono	Dabakala	Bondoukou			Mankono	Dabakala	Bondoukou
Lambda-cyhalothrine	632	0,0150	0,027	0,03297	0,0090	0,0006	2510,1302	4499,4010	5494,0364	1515,4948
Mancozèbe	> 5000	0,3412	0,6116	-	-	0,035	974,8571	1747,4286	-	-
Deltaméthrine	> 800	0,0073	0,0131	0,0160	0,0044	0,0075	97,7396	175,1979	213,9271	59,0104
Acétamipride	> 2000	0,0107	0,0191	0,0233	0,0064	0,025	42,65	76,45	93,35	25,75
Cyperméthrine	> 4920	0,0224	0,0401	0,0490	0,0135	0,06	37,3188	66,8938	81,6813	22,5313
Imidaclopride	> 5000	0,0160	0,0287	0,0350	0,0097	0,06	26,6563	47,7812	58,3438	16,0937
Métalaxyl	> 3100	0,0213	0,0382	-	-	0,08	26,6562	47,7812	-	-
Profénofos	472	0,1571	0,2819	0,3442	0,0949	-	-	-	-	-

AOEL : niveau d'exposition acceptable pour l'opérateur ; DL50 : dose létale qui cause la mort de 50 % d'un groupe d'animaux expérimentaux ; (-) = non disponible ; DR = dose recommandée ; mg/kg p.c./j : milligramme par kilogramme de poids corporel par jour.

4.2.7.2. Risques pour l'environnement des pratiques phytosanitaires des producteurs

4.2.7.2.1. Indicateur de contamination des sols et des eaux par matières actives recensées

Trois classes se distinguent pour les matières actives utilisées en culture d'anacardiers (Tableau LIII). Sur les 10 matières actives recensées, 6 ont un faible potentiel de lessivage (GUS inférieur à 1,8). La deltaméthrine est fortement absorbée au sol (avec Koc > 200000 ml/g) mais se dégrade rapidement (DT50 de 19 jours). Le glyphosate est faiblement persistant dans les sols (DT50 de 14 jours). Il est faiblement mobile dans les sols avec un GUS de 0,18. Il n'est donc pas susceptible de contaminer les eaux souterraines. Trois matières actives ont un potentiel de lessivage moyen (GUS compris entre 1,8 et 2,8). La constante d'absorption de l'imidaclopride sur le carbone organique est peu élevée (Koc de 336,5). Il est donc modérément mobile dans les sols. Sa rémanence dans les sols est importante (41 jours) et, les résidus peuvent donc contaminer les eaux souterraines par lessivage des sols. L'acétamipride et le 2,4 D ont aussi un potentiel de lessivage moyen. Parmi ces 2 matières actives, le 2,4-D est le plus mobile (GUS = 2,71) mais faiblement rémanent dans les sols (DT50 de 17 jours). Il peut donc contaminer les eaux souterraines par lixiviation et les eaux de surface par ruissellement. Le métalaxyl est faiblement absorbée (Koc de 165 ml/g) et son potentiel de lessivage est relativement élevé ; il peut donc contaminer les eaux souterraines par lixiviation.

Tableau LIII: Indicateurs de mobilité des 10 matières actives utilisées dans la culture de l'anacardier

Substances actives	DT ₅₀ sol (jour)	Koc (ml/g)	GUS	Classe
Deltaméthrine	19,2	269587	-1,83602	Faible potentiel de lessivage
Lambdacyhalothrine	36,9	70100	-1,32526	
Cyperméthrine	54,5	20800	-0,55228	
Glyphosate	13,6	6920	0,181246	
Mancozèbe	1,8	283	0,395216	
Profenofos	7	2016	0,587774	
Imidaclopride	41	336,5	2,375655	Potentiel moyen de lessivage
Acétamipride	30	200	2,509585	
2,4 D sel d'amine	16,4	58,1	2,716177	
Métalaxyl	40	165	2,855698	Potentiel de lessivage élevé

DT50 : temps de demi-vie dans le sol ; Koc : coefficient d'adsorption sur le carbone organique ; GUS : Groundwater Ubiquity Score.

4.1.6.2.2. Capacité de contamination des eaux par les pesticides recensés

Sur les 16 préparations commerciales les plus utilisées, 12 (soit 75 %) sont peu mobiles avec un indice GUS inférieur à 1,8 (Tableau LIV). Les préparations Decis 12,5 EC, Insectido 50 EC et LAMBACAL P 318 EC sont immobiles dans les sols avec des indice Gus respectifs de -1,84, -1,33 et -0,74. Elles peuvent donc contaminer fortement les eaux de surface par ruissellement. Deux produits commerciaux (12,5 %) ont un potentiel de lessivage moyen donc modérément mobile dans le sol. Il s'agit de l'insecticide Somon 40 EC (indice GUS = 1,96) et de l'herbicide Herbextra 720 SL (indice GUS = 2,72). Par contre, les deux autres préparations présentes dans 12,5 % des pesticides les plus utilisés sont fortement mobiles dans les sols. Elles ont aussi un potentiel de lessivage élevé avec un indice GUS supérieur à 3. Cela indique qu'elles sont très mobiles dans les sols et présentent un risque important de contamination des eaux souterraines.

Tableau LIV: Capacité de contamination de la nappe phréatique par les pesticides les plus utilisés en culture d'anacardier

Nom commercial du Pesticide	MA ₁	GUS _{MA1}	MA ₂	GUS _{MA2}	GUSp	Classe
Decis 12,5 EC	Deltaméthrine	-1,84			-1,84	
Insectido 50 EC	Lambdacyhalothrine	-1,33			-1,33	
Lambdacal P 318 EC	Lambdacyhalothrine	-1,33	Profenofos	0,59	-0,74	
Polytrine C 336 EC	Profenofos	0,59	Cyperméthrine	-0,55	0,04	
Fanga 500		-0,55		0,59	0,04	
Doni FTE 672 EC	Cyperméthrine	-0,55	Profénofos	0,59	0,04	Faible potentiel de lessivage
Hitcel 440 EC	Profénofos	0,59	Cyperméthrine	-0,55	0,04	
Ladaba 480 SL	Glyphosate sel d'Isopropylamine	0,18*			0,18	
Glyphader 360 SL	Glyphosate	0,18*			0,18	
Kalach	Glyphosate	0,18*			0,18	
Dantop 45 SC	Imidaclopride	2,38	Deltaméthrine	-1,84	0,54	
Garant extra 40 EC	Lambda-cyhalothrine	-1,33	Acétamipride	2,51	1,18	
Somon 40 EC	Cyperméthrine	-0,55	Acétamipride	2,51	1,96	Potentiel moyen de lessivage
Herbextra 720 SL	2,4 D sel d'amine	2,72*			2,72	Potentiel de lessivage élevé
Altes 45 EC	Acétamipride	2,51	Profénofos	0,59	3,10	Potentiel de lessivage élevé
Margouza 50 EC	Mancozèbe	0,40	Métalaxyl	2,86	3,25	Potentiel de lessivage élevé

MA₁ : matière active n°1 présente dans le pesticide ; MA₂ : matière active n°2 présente dans le pesticide ; GUSp : Groundwater Ubiquity Score du pesticide ; * : moyenne des différentes formulations les plus utilisés.

4.2.7.2.2. Indicateur de risque pour l'environnement (IRE) de l'IRPeQ

4.2.7.2.2.1. Risque environnemental des matières actives recensées

Les résultats du tableau LV révèlent que les matières actives comme l'imidaclopride, la cyperméthrine, la lambda-cyhalothrine, la deltaméthrine et le profénofos ont présenté le plus de risque pour les invertébrés terrestres. Leur utilisation peut avoir des conséquences néfastes sur la fertilité des sols. L'acétamipride présentent les risques les plus élevés pour les oiseaux. La majorité des matières actives ont présenté un risque de toxicité élevé pour les organismes aquatiques. Le métalaxyl a révélé un fort potentiel de lessivage tandis que la lambda-cyhalothrine a été la matière active la plus persistante dans le sol. Certaines matières actives comme la cyperméthrine, la lambda-cyhalothrine et la deltaméthrine ont montré un fort potentiel de bioaccumulation. Parmi toutes ces molécules, l'imidaclopride se présente comme la matière active la plus nuisible à l'environnement ($IRE_{MA} = 258$). Il est suivi de la cyperméthrine ($IRE_{MA} = 221,72$), de l'acétamipride ($IRE_{MA} = 204,85$), de la lambda-cyhalothrine ($IRE_{MA} = 197,79$) et de la deltaméthrine ($IRE_{MA} = 196$).

Tableau LV: Toxicités et indices de risques environnementaux pour les matières actives (IRE_{MA}) recensées dans la culture de l'anacardier dans les zones de Mankono, Dabakala et Bondoukou

Matière active	Paramètres écotoxicologiques			Paramètres physicochimiques			IRE_{MA}
	T	O	A	M	P	B	
Glyphosate	2	1	4	0	1	0	89,59
2,4 D sel d'amine	0	0	4	1,81	0,625	0	51,29
Mancozèbe	0	0	4	0	0	0	25,00
Métalaxyl	0		4	2,875	0,875	0	76,56
Imidaclopride	4	1	4	1,4375	0,875	0	258,00
Acétamipride	2	2	4	1,4375	0,875	0	204,85
Cyperméthrine	4	0	4	0	0,875	2	221,27
Lambda-cyhalothrine	4	0	3	0	1,25	2	197,79
Deltaméthrine	4	0	4	0	0	2	196,00
profénofos	4	-	-	0	0	0	64,00

T : Impact sur les invertébrés terrestres ; O : Impact sur les oiseaux ; A : Impact sur les organismes aquatiques ; M : Mobilité de la matière active ; P : Persistance dans le sol ; B : Bioaccumulation ; IRE : Indice de Risque pour l'Environnement.

4.2.7.2.2. Risque environnemental des pesticides les plus utilisés dans la culture de l'anacardiers

Après le calcul des indices, les insecticides en général se sont caractérisés par des IRE élevés. L'insecticide dantop 45 SC a présenté le risque le plus élevé pour l'environnement avec un IRE de 454 (Tableau LVI). Parmi les pesticides à IRE élevé, il y avait aussi la formulation Somon 40 EC composée d'un mélange de cyperméthrine et d'acétamipride (IRE = 426,11), le Garant extra 40 EC, une formulation composée de lambda-cyhalothrine et d'acétamipride (IRE = 397,36), les préparations Doni FTE 672 EC, Hitcel 440 EC et Polytrine C 336 EC, toutes des formulations de cyperméthrine et de profénofos (IRE = 285,27). D'une manière générale, les formulations herbicides ont révélé un faible IRE (< 109). Les formulations herbextra à base de glyphosate ont présenté le plus faible risque pour l'environnement avec un IRE de 51,29. Le fongicide margouza a présenté un risque moyen pour l'environnement (IRE = 101,56). Cependant, c'est le fongicide le plus utilisé par les producteurs (93,8 %). Ceci constitue un danger potentiel pour la biodiversité.

Tableau LVI: Indices de risque pour l'environnement des pesticides recensés

Nom commercial du Pesticide	MA ₁	IRE _{MA1}	MA ₂	IRE _{MA2}	IRE _p
Dantop 45 SC	Imidaclopride	258,00	Deltaméthrine	196,00	454,00
Somon 40 EC	Cyperméthrine	221,27	Acétamipride	204,85	426,11
Garant extra 40 EC	Lambda-cyhalothrine	192,52	Acétamipride	204,85	397,36
Doni FTE 672 EC	Cyperméthrine	221,27	Profénofos	64,00	285,27
Hitcel 440 EC	Profénofos	64,00	Cyperméthrine	221,27	285,27
Polytrine C 336 EC	Profénofos	64,00	Cyperméthrine	221,27	285,27
Altes 45 EC	Acétamipride	204,85	Profénofos	64,00	268,85
Lambdacal P 318 EC	Lambda-cyhalothrine	203,06	Profénofos	64,00	267,06
Decis 12,5 EC	Deltaméthrine	196			196
Insectido 50 EC	Lambda-cyhalothrine	192,52			192,52
Ladaba	Glyphosate sel d'isopropylamine			126,56	108,41
Margouza 50 EC	Mancozèbe	25	Métalaxyl	76,56	101,56
Glyphader	Glyphosate				99,41
Fanga 500	Profénofos	64			64
Kalach	Glyphosate				60,95
Herbextra	2,4 D sel d'amine				51,29

MA₁ : matière active n°1 présente dans le pesticide ; MA₂ : matière active n°2 présente dans le pesticide ;
 IRE_{MA1} : indice de risque environnemental de la matière active n°1 ; IRE_{MA2} : indice de risque environnemental de la matière active n°2.

4.3. Discussion

L'étude expérimentale *in situ* sur les délais de ramassage et les techniques de séchage a été menée à Bondoukou au cours de la période de récolte dans le mois d'avril 2018. Cette période a été marquée par une humidité relative qui a varié entre 40 et 79 % et une température qui a oscillé entre 27 et 38°C. L'étude de la cinétique de séchage a montré qu'il n'existe aucune différence significative ($P > 0,05$) selon que les noix soient ramassées chaque 2, 3 et 7 jours quel que soit le support de séchage utilisé. En effet, de cette étude, il ressort que la teneur en eau des noix a été de 18,08 ; 16,29 et 17,63 % lorsque les noix ont été ramassées respectivement 2, 3 et 7 jours après la chute du fruit de l'anacardier. L'humidité des noix est passée en dessous des 10 % au 5^{ème} jour de séchage pour atteindre 8 % au 6^{ème} jour de séchage quel que soit le séchoir utilisé. Selon Manizan *et al.* (2018), les activités de l'eau (A_w) oscilleraient alors entre 0,8 et 0,9 au ramassage des noix et autour de 0,7 à une teneur en eau de 8 %. Le phénomène de l'altération fongique est essentiellement lié à la teneur en eau des aliments. En effet, les moisissures se développant au champ nécessitent une forte humidité pour leur croissance (20 à 25 %), alors que les moisissures de stockage sont capables de croître sur des substrats contenant 10 à 18 % d'humidité avec un optimum compris entre 11 et 13 %, situation peu probable avec un bon séchage (Nesrine & Hadjer, 2015). Malheureusement, la plupart des paysans notamment ceux de Bondoukou arrête le séchage des noix après 2 jours créant ainsi les conditions favorables à la prolifération des moisissures. En effet, après 2 ou 3 jours de séchage, la teneur en eau des noix reste encore élevée se situant entre les 10 à 18 %. Selon la commission du Codex Alimentarius (2005) et Kouakou *et al.* (2013), la teneur en eau supérieure à 10 % est favorable au développement des moisissures et à la production des mycotoxines. Dans notre étude expérimentale, il a fallu un délai de 6 jours pour obtenir une teneur en eau avoisinant les 8 %. Ce qui pourrait expliquer la forte contamination fongique prédominée par le genre *Aspergillus* (80,37 %) des noix issues des différentes zones d'investigation.

La contamination par les aflatoxines a également été constatée avec des teneurs de 0,21 et 0,34 $\mu\text{g.kg}^{-1}$ chez les noix qui ont été ramassées tous les 3 et 7 jours respectivement. Celles ramassées 2 jours après la chute du fruit n'ont présenté aucune trace d'aflatoxine. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que les *Aspergilli* et particulièrement *Aspergillus flavus* (*Aspergillus flavus* ou *A.xérophilus*) sont xérophiles et peuvent se développer dans les fruits secs comme la noix de cajou ; ce qui justifierait leur absence à des A_w trop élevées (Abdellaoui & Guellal, 2016). De plus, il est à noter que les conditions favorisant la prolifération des moisissures ne sont pas toujours les mêmes que celles de la sécrétion des mycotoxines par celles-ci. Selon Astoreca *et al.* (2014) et Sanchis & Magan (2004), l' A_w optimale pour la

croissance des moisissures est de 0,95 tandis que celle de la production des aflatoxines est comprise entre 0,98 et 0,99. La densité d'*A. flavus* isolée a été de 0,76, 3,05 et 1,53 % respectivement au niveau des noix collectées 2, 3 et 7 jours après la chute du fruit. Cependant, la teneur en aflatoxine la plus élevée était enregistrée dans le lot des noix collectées chaque 7 jours. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que la plupart des souches isolées ne seraient pas productrices d'aflatoxine ou encore, une compétition entre les souches atoxinogènes et les souches toxigènes aurait empêché ces derniers de produire les aflatoxines. C'est ce qui explique les travaux de Ehrlich *et al.* (2015) et Mauro *et al.* (2015) qui ont montré que la contamination par des souches atoxinogènes de *A. flavus* réduirait la prolifération des souches toxigènes et donc la production des aflatoxines. Par ailleurs, un délai de récolte prolongée au champ pourrait augmenter l'exposition des noix aux attaques des différents nuisibles et pourrait ainsi entraîner des pertes plus grandes durant le stockage (Borgemeister *et al.*, 1998 ; Hell & Mutegi, 2011). C'est ce qui pourrait expliquer le taux de perte (11,03 %) significativement important pour les noix ramassées à 7 jours. Il ressort que l'étape du ramassage des noix au champ constituerait non seulement un point à risque de contamination du circuit post- récolte de la noix de cajou par les aflatoxines, mais aussi de perte de la qualité des noix. Bien que la contamination des noix par les aflatoxines soit dépendante du délai de ramassage, il ressort aussi de cette étude qu'elle peut être amplifiée par le type de séchoir utilisé. En effet, des niveaux de contamination en AFB1 plus élevés ($0,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$) ont été déterminés dans les échantillons de noix séchées sur la bêche. Ce résultat est similaire à celui de Dano *et al.*, 2013 qui rapportaient des contaminations élevées par la mycotoxine ochratoxine A lorsqu'on utilisait la bêche comme séchoir. Au regard des différents résultats obtenus, il apparaît que les échantillons de noix les plus contaminés par les aflatoxines sont ceux collectés à 7 jours après la chute du fruit et séchés sur les bêches.

Par ailleurs, la culture de l'anacardier emploie une population de différentes catégories d'âge. Et l'étude a montré que même si la moyenne d'âge des producteurs est de 45 ans, des personnes âgées de plus de 50 ans (7,5 %) continuent de pratiquer la culture de l'anacardier. Or, une main d'œuvre vieillissante pour une activité aussi vigoureuse que l'agriculture susciterait le recours systématique aux herbicides pour la maîtrise des mauvaises herbes. Pourtant, ces personnes sont plus sensibles aux effets des pesticides. En effet, la capacité fonctionnelle de certains organes vitaux baisse avec l'âge (les reins par exemple). La conséquence est alors l'augmentation des risques sanitaires liés à leur exposition, car avec l'âge, l'organisme devient moins apte à éliminer les xénobiotiques après contamination (Ouedraogo

et al., 2016). Face à cette situation, on mesure alors l'ampleur des risques à moyen et long terme que courent les producteurs applicateurs en culture d'anacardiens. L'essentiel des domaines d'activité des producteurs recensés ne serait non plus un atout pour réduire les risques d'utilisation des pesticides. En effet, les étiquettes des produits non homologués (40 %) en culture d'anacardiens en Côte d'Ivoire sont naturellement en anglais et parfois en chinois. Ainsi, les informations portées sur ces étiquettes ne seront pas assimilées par la grande majorité des producteurs applicateurs. Ce qui ne permet pas une utilisation en toute sécurité comme recommandé par le code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides (CCIGP, 2018). De plus, la majeure partie des producteurs d'anacarde (67,6 %) n'avaient reçu aucune formation sur les risques professionnels liés à l'utilisation des pesticides. Malgré cela, plus de 68 % des producteurs font usage des produits phytosanitaires dans leur verger. Cela est contraire à la loi sur les pesticides en Côte d'Ivoire, qui stipule selon le décret n°89-02 du 04 janvier 1989, que tout applicateur doit « justifier de connaissances générales et pratiques sur les spécificités et l'utilisation des pesticides soit par voie de stage auprès des firmes spécialisées soit par formation ou expérience professionnelle ». Malheureusement, ce facteur "manque de formation" favorise généralement l'utilisation abusive des produits phytosanitaires en milieu agricole comme l'ont révélé plusieurs études au Bénin (Ahouangninou *et al.*, 2013), au Burkina Faso (Naré *et al.*, 2015 ; Son *et al.*, 2017), en Côte d'Ivoire (Wognin *et al.*, 2013), au Sénégal (Badiane, 2004) et au Togo (Kanda *et al.*, 2013). En plus, le taux de 68,90 % renseigne sur l'ampleur de l'usage des produits phytosanitaires dans la culture d'anacardier en Côte d'Ivoire. Il est plus marqué dans le département de Mankono où plus de 33 % des producteurs ont une ancienneté de plus de 6 ans dans l'utilisation des produits phytosanitaires mais qui compte la majorité des producteurs applicateurs non formés (22,4 %) à l'usage des produits phytosanitaires. Cette ampleur dans l'utilisation des pesticides dans la culture d'anacardier pourrait s'expliquer par l'augmentation des nuisibles due au changement climatique (Gagnon *et al.*, 2011). Parmi les produits phytosanitaires recensés, on remarque une nette dominance des herbicides (87,20 %). En effet, selon Gagnon *et al.* (2011), les hausses de concentration de CO₂ atmosphérique altèrent la compétition interspécifique entre la culture et les mauvaises herbes (Gagnon *et al.*, 2011). Ce qui favorise l'enherbement et l'avènement de ravageurs de plus en plus spécifiques dans les cultures. Les enquêtes ont révélé que la culture d'anacardiens utiliserait 11 molécules actives. Parmi elles, 10 sont inscrites sur la liste des pesticides homologués et autorisés en Côte d'Ivoire depuis le 16 décembre 2014 et une le « paraquat » que l'on retrouve dans la formulation Gramoxone n'y figure pas (Yao *et al.*, 2020). Malgré l'interdiction et le retrait du Gramoxone sur le marché ivoirien depuis le 21 juin 2004,

il était utilisé dans les plantations d'anacardier du pays. Aussi, la présence de produits non homologués (40 % des cas) et la méconnaissance de produits phytosanitaires (n=32) utilisés en plantation par les producteurs rend vulnérable ces derniers aux intoxications (Melvin, 2000). Selon ces producteurs, le choix des pesticides à appliquer reposerait, la plupart du temps, sur l'approbation obtenue auprès d'un producteur l'ayant déjà utilisé, sur les informations apportées par les marchands ambulants de pesticides et plus rarement sur des spots publicitaires. Ce faisant, ils expérimentent différents produits phytosanitaires dans la lutte contre les nuisibles de l'anacardier. Cela confirme les résultats selon lesquels plus de 63 % des utilisateurs de pesticides se baseraient sur des informations obtenues auprès de leurs collègues (Diop, 2013).

Parmi les pesticides recensés au cours de cette étude figurent 4 types de familles : herbicides, insecticides, fongicides et fongicides/engrais. Selon la classification de l'OMS en termes de toxicité, l'utilisation de produits phytosanitaires ne présenterait pas de danger dans les conditions normales d'utilisation. Or, le très faible niveau d'instruction avec en moyenne 64,5 % de producteurs illettrés et le manque de formation des producteurs d'anacardier sont des facteurs limitants à la compréhension et à l'application des données de sécurité inscrites sur les étiquettes des pesticides. Ce qui conduit à un réel non-respect des doses prescrites des pesticides à appliquer par hectare par les producteurs de noix de cajou des zones de Mankono, Dabakala et Bondoukou. Une utilisation abusive des produits phytosanitaire couramment constatée chez les paysans, comme l'ont montré d'autres études menées au Bénin (Gouda *et al.*, 2018), au Burkina Faso (Son *et al.*, 2018), en Côte d'Ivoire (Wognin *et al.*, 2013) ou au Togo (Kanda *et al.*, 2013).

D'une manière générale, les pratiques phytosanitaires des producteurs de noix de cajou dans les zones d'étude révèlent qu'ils adoptent une attitude non respectueuse de l'environnement et de la santé humaine. En effet, la gestion des emballages vides de pesticides n'était pas sans risques sanitaires. Les emballages des produits phytosanitaires étaient généralement abandonnés dans la nature, enfouie ou incinérés comme initialement observé dans certaines études (Muliele *et al.*, 2017 ; Tarnagda *et al.*, 2017). Les résultats montrent que 61,70 % des applicateurs abandonnaient les emballages des pesticides dans la nature en les jetant au champ ou en les jetant dans des endroits non sécurisés (trou, bas-fond). Ce qui augmente les risques de contamination de l'environnement (Camard & Magdelaine, 2010). Ceux-ci étaient récupérés et très souvent recyclés pour servir d'emballages ou de récipients de second usage dans les ménages. Ainsi, 14,40 % des producteurs applicateurs les utilisaient comme gourde destinée à emporter de l'eau ou récipients de conservation de sel, d'huile, de lait ; exposant ainsi les membres de la famille à un danger réel d'intoxication eu égard aux résidus de pesticides

difficiles à éliminer (Camard & Magdelaine, 2010 ; Diop, 2013). De même, l'enfouissement des emballages pratiqué à 15,30 % par les applicateurs pourrait constituer un risque de contamination par le glyphosate des nappes phréatiques des zones d'étude (Aïkpo *et al.*, 2015). L'incinération des emballages rapportés à 6,80 % n'est pas aussi sans risque pour le producteur. En effet, pendant la combustion, certains pesticides produisent des fumées hautement toxiques dont l'inhalation ou le contact serait nocif pour la santé de l'homme et des animaux (Congo, 2013). Cette pratique peut également conduire à la synthèse d'autres substances toxiques comme les hydrocarbures aromatiques (HAP) ou les polychlorobiphényle (PCB).

Ainsi, l'étude des pratiques phytosanitaires des producteurs d'anacarde dans les départements de Mankono, Dabakala et Bondoukou a révélé des comportements qui ne sont pas sans conséquence pour le milieu naturel et les producteurs. Pour aider à la prise de décision pertinente dans la promotion d'une culture durable de l'anacardier dans ces trois grandes zones de production de cajou, une évaluation de risques résultant des pratiques phytosanitaires sur la santé de l'utilisateur et sur l'environnement a été menée. Celle-ci a révélé un IFT total moyen de 2,35 sur l'ensemble des parcelles d'anacardières soit entre 2 et 3 traitements à la dose homologuée de pesticides par année agricole. Cette valeur est plus forte que la valeur moyenne calculée de 1,98 de l'IFT de référence des parcelles d'anacardier et même celle de l'IFT moyen dans la culture de tomate au Burkina Faso (Son *et al.*, 2018). Les adventices restent un problème récurrent et peuvent nécessiter jusqu'à environ 4 traitements herbicides par année agricole au niveau des parcelles d'anacardier de Mankono (l'IFT_H = 3,28). Une quantité d'herbicide appliquée déjà supérieure à celle rapportées en France par Mamy *et al.* (2008) qui étaient de 2,9 dans la culture du maïs. Au niveau des zones de Dabakala et Bondoukou, les parcelles reçoivent respectivement 2 (IFT_H = 1,32) et 1 (IFT_H = 0,97) traitements herbicides par année agricole. Il a été ainsi pulvérisé pour la période de 2018, en moyenne 216,46 kg m.a. ha⁻¹ d'herbicide dans les vergers d'anacardier de ces trois zones d'étude. Les traitements de type insecticides sont les moins utilisés dans la culture d'anacardier dans les zones d'étude. Cependant, ils sont majoritairement associés aux traitements phytosanitaires dans la région de Dabakala avec une valeur moyenne d'IFT_I de 1,72 soit trois fois plus qu'à Bondoukou.

Cette pression phytosanitaire peut constituer un frein au développement durable de cette nouvelle spéculation de rente, à travers son impact sur la santé du producteur et l'environnement. A cet effet, l'analyse des risques des matières actives utilisées a montré que les risques sur la santé diffèrent selon les valeurs des indicateurs de toxicité. Certaines matières actives présentent des risques de toxicité aiguë plus importants comme le profénofos et le 2,4-D, pendant que d'autres comme le mancozèbe et la Lambda-cyhalothrine sont caractérisées par

des risques plus élevés pour la santé à long terme. Cependant, les résultats indiquent que les risques toxicologique et sanitaire lié à l'emploi du profénofos ($IRT_{MA} = 2550,25$ et $IRS_{MA} = 637,56$), de la Lambda-cyhalothrine ($IRT = 2209$ et $IRS_{MA} = 552,25$) et du 2,4-D ($IRT = 1332,25$ et $IRS_{MA} = 432,98$) sont généralement élevés. Les résultats observés dans cette étude sont similaires à ceux d'Ahouangninou (2013) et Son *et al.* (2018). Les calculs des impacts sur la santé de l'opérateur des pesticides (IRS_p) recensés montrent que ces derniers sont aussi proportionnels à la toxicité des matières actives qu'ils contiennent. Ainsi, les formulations insecticides (Lambdocal P 318 EC et Doni FTE 672 EC) et herbicides (Herbextra ®) présentent des indicateurs de risque sanitaire autant élevés que les indicateurs de risques des matières actives qu'ils contiennent sont élevés.

Par ailleurs, l'évaluation de l'exposition des producteurs de Mankono, Dabakala et Bondoukou aux produits phytosanitaires utilisés montre que ceux-ci sont plus exposés aux herbicides appliqués qu'aux insecticide et fongicide utilisés. Les valeurs prédictives de l'exposition montrent que toutes les substances actives herbicides sont facilement absorbées au cours des traitements au niveau de la peau, et cela avec port d'équipement de protection individuel. Cela s'explique par le fait que même aux doses recommandées, le pourcentage de l'AOEL varie de 1431,6 à 4176,3 pour le glyphosate et de 6564,5 à 13908,9 pour le 2,4-D selon que le producteur ait porté ou non son équipement de protection individuel. C'est sans doute pour cette raison que Bouagga *et al.* (2016), ont pu confirmer que les herbicides à base de glyphosate pouvaient être hautement toxique pour la santé des producteurs. L'estimation du niveau d'exposition des producteurs d'anacardiens des zones de Mankono, Dabakala et Bondoukou montrent que ceux-ci sont naturellement exposés aux effets nocifs de certains insecticide et fongicide dont les pourcentages de l'AOEL varient entre 215,42 et 5532,30. Les risques sont critiques par ordre d'importance, pour la lambda-cyhalothrine, le mancozèbe et la deltaméthrine. Un ordre de risque similaire à celui retrouvé au Bénin dans la culture du coton (Gouda *et al.*, 2018). Pour les molécules à faible toxicité sans équipement comme l'acétamipride (l'exposition est de 94 % de l'AOEL), la cyperméthrine (l'exposition est de 82,25 % de l'AOEL), l'imidaclopride et le métalaxyl (l'exposition est de 58,75 % de l'AOEL), les pratiques phytosanitaires des producteurs ont fait passer les expositions à plus de 100 % de l'AOEL. Cela signifie que chaque année, les paysans au niveau de Mankono (l'exposition à l'acétamipride et la cyperméthrine est respectivement de 0,04 et 0,08 mg/kg p.c./j soit 162,8 et 142,4 % de l'AOEL), et Dabakala (l'exposition à l'acétamipride, la cyperméthrine et l'Imidaclopride est respectivement de 0,05 ; 0,10 et 0,07mg/kg p.c./j soit 197,2 ; 172,5 et 123,2 % de l'AOEL) s'exposent à un empoisonnement par ces molécules au cours des traitements

phytosanitaires sans protection adéquate. Ce sont des comportements à risques de paysans qui ont été aussi relevés au Niger par Illyassou *et al.* (2017) au niveau des producteurs de la vallée du fleuve Niger et au Burkina Faso par Son *et al.* (2018) au niveau des producteurs de tomates.

Les malaises ressentis par environ 38 % des producteurs interrogés en culture d'anacardier (affections oculaires et cutanées, troubles respiratoires, douleurs abdominales, toux, céphalées, nausées et vertiges) pourraient s'expliquer par le niveau d'exposition des producteurs et le caractère toxique et de ces substances actives. Les mêmes affections ont été rapportées par Gouda *et al.* (2018) et Son *et al.* (2018) respectivement chez des producteurs de coton au Bénin et de cultures maraîchères au Burkina Faso. La santé des producteurs est ainsi menacée du fait de l'absence du port d'équipements de protection individuelle lors de la préparation et de la pulvérisation des produits phytosanitaires. Selon Ouedraogo *et al.* (2016), les producteurs feraient les traitements sans porter les EPI sous prétexte qu'elles ne craignent pas les dangers liés aux pesticides. Ainsi, peu de producteurs interrogés se conforment aux règles d'hygiène au cours de l'utilisation des pesticides. Ce constat est conforme à celui fait par Tyagi *et al.* (2015) en Inde et par Belhadi *et al.* (2016) en Algérie. Or, les produits utilisés, inhalés même à des doses faibles peuvent avoir des effets sur la santé (Richard *et al.*, 2014). Les risques d'intoxication de l'applicateur dépendent en partie des conditions d'utilisation des produits phytosanitaires, notamment l'absence des équipements de protection individuelle (Diop, 2013). Si nous supposons que pour une bonne protection adaptée à l'applicateur, il faut l'utilisation conjointe de gants appropriés, de bottes et une combinaison de masque à cartouche filtrante et de lunettes, il ressort qu'aucun producteur ne peut prétendre à cette protection recommandée. Ceux qui estimaient être protégés, soit 0,4 % de l'ensemble des personnes enquêtées, le sont par des masques antipoussières (cache nez), des bottes, une combinaison et des lunettes et des gants. Des alternatives à l'utilisation des EPI conventionnels existent mais les matériels employés demeurent souvent rudimentaires : utilisation de vieux habits souvent troués et délabrés en lieu et place de tenues de travail. Ces moyens précaires de substitutions sont loin de garantir une sécurité d'emploi des pesticides, mais exposent potentiellement le producteur à un problème de santé (Rainaud, 2013), en raison de la quantité de produit qui atteint l'Homme et de la charge de matière active sur le lieu de travail (Gouda *et al.*, 2018). Au regard de ces critères, le risque potentiel d'exposition serait fréquent pour la santé des producteurs de noix de cajou dans notre zone d'étude par voie d'absorption dermale.

Pour la santé de la population rurale, il faut aussi tenir compte des données de mobilité des matières actives, car les eaux de surface ou des puisards sont utilisées quotidiennement par les villageois pour l'alimentation. Le calcul de la mobilité des matières actives permet de

déterminer leurs devenir dans les eaux de surface ou souterraines, que ce soit par ruissellement ou par lixiviation. Selon nos résultats, les risques de contamination de la nappe phréatiques dans les différentes zones d'étude sont beaucoup plus critiques pour le métalaxyl (GUS = 2,86 ; M = 2,87) et le 2,4-D (GUS = 2,72 ; M = 1,81). Outre cela, les indices de risques écotoxicologiques calculés pour toutes les matières actives identifiées chez les producteurs de noix de cajou présentent un risque de toxicité élevé pour les organismes aquatiques. Seuls le mancozèbe et le métalaxyl sont connus pour leur innocuité concomitante sur les invertébrés terrestres et les oiseaux.

D'après le calcul de l'IRE, le glyphosate et l'imidaclopride des préparations commerciales recensées dans la culture de l'anacardier, présentent respectivement les impacts environnementaux les plus faibles (IRE = 89,59) et les plus élevés (IRE = 258). Ils sont pourtant potentiellement écotoxiques pour tous les organismes sentinelles. Même si son IRE est faible, la rémanence du glyphosate due à son immobilité et sa persistance dans le sol constitue un risque pour la fertilité des sols car des études portant sur des lombrics exposés au glyphosate ont indiqué une réduction du rythme de leur croissance et une tendance de ces animaux à éviter les endroits traités à cet herbicide (Brack *et al.*, 2010). Là encore, Calvet (2003) a montré que l'utilisation du glyphosate pourrait engendrer une phytotoxicité sur la nouvelle culture généralement associée dans les vergers d'anacardier ou porter atteinte à la rhizosphère de la plante (Huber *et al.*, 2005).

L'utilisation des produits phytosanitaires pour combattre les bioagresseurs dans la culture de l'anacardier a comme corollaire leur présence inévitable dans l'environnement. Celle-ci peut conduire à la détérioration de façon durable de la qualité des eaux souterraines ou superficielles et des produits agricoles. Selon les résultats dans cette étude, on note, une utilisation dominante des substances actives de la classe III (Glyphosate) et de la classe II (2,4-D) dans la culture de l'anacardier. Celles de la classe II, c'est-à-dire modérément dangereux nécessitent une formation et le respect des précautions prescrites. Une situation préoccupante lorsqu'on sait que 83,10 % des producteurs applicateurs d'anacarde n'ont jamais été formés à la bonne utilisation des produits phytosanitaires. Cette réalité de terrain soutient des résultats antérieurs qui rapportaient que la majeure partie des utilisateurs de produits phytosanitaires en milieu agricole n'avait jamais reçu de formation à cet effet (Melvin, 2000).

Conclusion partielle

L'évaluation des délais de ramassage a révélé que les noix sont contaminées par les espèces fongiques aflatoxinogènes et les aflatoxines pendant la récolte des noix au champ. Certes, les teneurs des noix en aflatoxines sont toutes inférieures à la limite (4 µg/ kg) fixée par l'UE. Cependant, les noix les plus contaminées ont été celles ramassées 7 jours après la chute du fruit et les noix ayant été séchées sur bâche. En plus des aflatoxines, les souches fongiques dominées par le genre *Aspergillus* ont été isolées.

Par ailleurs, il ressort que les producteurs de noix de cajou sont très peu informés sur les risques liés à l'utilisation des pesticides. Cependant, la pression phytosanitaire dans la culture d'anacardier dans les zones d'étude demeure faible. Toutefois, les pratiques phytosanitaires dans les conditions réelles de travail ont révélé de hauts risques d'exposition aux pesticides pour la santé des producteurs et de l'environnement, lors des opérations de préparations de bouillie et de pulvérisation.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

Cette étude a caractérisé l'activité de production des noix de cajou dans trois principales zones de production de la Côte d'Ivoire à savoir Mankono, Dabakala et Bondoukou et identifié les contraintes qui y sont associées. La production des noix de cajou constitue l'une des activités principales génératrice de revenu pour la grande majorité des producteurs des zones d'étude. Cette étude avait pour objectif d'évaluer l'impact des pratiques culturales sur la qualité des noix produites en Côte d'Ivoire et le risque agrototoxicologique lié à l'usage des pesticides. Les hypothèses posées au début de ce travail ont été confirmées. En effet, les caractéristiques marchandes, nutritives et sanitaires des noix de cajou ont différées selon les zones agroécologiques. De plus, le risque agrototoxicologique est réel consécutivement à l'usage des intrants chimiques.

Cette étude est la première en Côte d'Ivoire à fournir des données sur les pratiques culturales des producteurs de différentes zones agroécologiques dans l'anacardier et leur impact sur la qualité. Les pratiques culturales diffèrent d'une région à l'autre. Les fréquences de ramassage des noix sont de 2, 3 et 7 jours en moyenne respectivement dans les zones de Bondoukou, Dabakala et Mankono. Le séchage des noix de cajou se fait généralement pendant 2 jours sur différents supports que sont les bâches, la claie et l'aire cimentée. Au total, 148 souches fongiques ont été isolées mais les teneurs en aflatoxines des noix ont toutes été inférieures à la limite fixée par l'UE même après 6 mois de conservation des noix de cajou dans les conditions habituelles de stockage des producteurs. Cependant, la teneur en aflatoxine des noix varie selon la fréquence de ramassage.

Par ailleurs, l'utilisation parfois inappropriée des pesticides entraîne la présence de résidus de ces intrants chimiques qui restent encore présents dans les noix même après 6 mois de conservation. Toutefois, des efforts de sensibilisation des producteurs sur les risques inhérents à l'utilisation des pesticides chimiques ainsi que le port d'équipements de protection individuelle lors de la préparation et l'épandage de ces produits doivent être multipliés à cause des risques de toxicité des pesticides et d'exposition élevés constatés au cours de cette étude.

Perspectives

Cette étude a permis de mettre en évidence la qualité intrinsèque des noix de cajou, des risques agrotoxicologiques liés à la production de cette spéculatation dans les principales zones de la Côte d'Ivoire. Cependant, pour mieux aborder ces aspects à l'échelle nationale, Il serait important de :

- évaluer la qualité marchande et sanitaire à différentes saisons climatiques ;
- Constituer une base de données agrotoxicologiques dans la filière cajou ;
- élargir notre recherche sur d'autres mycotoxines et résidus de pesticides afin d'avoir plus d'informations sur la qualité sanitaire des noix de cajou ivoirienne ;
- rechercher des contaminants néoformés au cours du process de transformation ;
- sensibiliser les producteurs aux bonnes pratiques de production des noix de cajou ;
- étendre l'étude à d'autres régions de production de noix en Côte d'Ivoire afin d'évaluer la durabilité de cette spéculatation à l'échelle nationale.



REFERENCES

- Abdellaoui M. & Guellal C. (2016). Isolement et identification des espèces d'*Aspergillus* section *Flavi* aflatoxinogènes contaminant les amandes commercialisées en Algérie. Mémoire de Master en Science de la Nature et de la Vie, UFR Science Biologique, Université Blida 1, Algérie, 127 p.
- Abot N. (2017). Suivis de trois sels nutritifs (nitrate, silicate, phosphate) dans 8 rivières finistériennes, et zoom sur le Quillimadec. Rapport de stage, Génie Biologique option Génie de l'environnement, Institut Universitaire Européen de la Mer (Plouzané, France), 32 p.
- Aboudou K., Aissi M.V., Tchobo F.P., Adankpo M. & Medenouvo M. (2017). Propriétés physiques et mécaniques des fruits séchés et amandes de deux morphotypes de *Terminalia catappa* provenant de trois types de sols. *Afrique SCIENCE*, 13(5) : 289-303.
- ACi (African Cashew Initiative) (2008). Apprécier la qualité des noix de cajou brutes. *Rongead*, 25 p.
- Adaman S. & N'dri K.A. (2016). Impacts socio-économiques de la culture de l'anacarde dans la sous-préfecture d'Odienné (Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 12(32) : 369- 383.
- Adeigbe O., Adewale D., Abimbola M., Olasupo F., Olaniyi O., Adenuga O., A W. & Aliyu O. (2016). Quantitative descriptors of cashew nut categories in nigeria : providing indices for superior nut selection. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 11 : 142-148.
- Adetunji C., Aroyeun S., Osho M., Sulyok M., Krska R. & Mwanza M. (2019). Fungal metabolite and mycotoxins profile of cashew nut from selected locations in two African countries. *Food Additives & Contaminants : Part A*, 36 : 1–13.
- Adetunji M.C., Aliko O.P., Awa N.P., Atanda O.O. & Mwanza M. (2018). Microbiological Quality and Risk Assessment for Aflatoxins in Groundnuts and Roasted Cashew Nuts Meant for Human Consumption. *Journal of Toxicology* : 1-11.
- Adou M. (2014). « Caractérisation physico chimique et toxicologique et étude de la stabilité des jus de différentes variétés de pommes d'anacarde (*Anacardium occidentale* L.) issues de trois zones écologiques de Côte d'Ivoire ». Thèse de Doctorat, UFR Sciences

- et Technologies des Aliments, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 141 p.
- Adouko A. A-O. (2013). Etude de quelques propriétés biochimiques et de la digestibilité in vitro de différentes préparations de farines de l'amande de cajou (*Anacardium occidentale*). Mémoire du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Sciences et Technologie des Aliments, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 40p.
- AFNOR (Association Française de Normalisation) (1974). Produits dérivés des fruits et légumes - Détermination de l'acidité titrable. Association Française de Normalisation, Paris, NF V 05-101, 1-4.
- AFNOR (Association Française de Normalisation) (1991). Recueil de normes françaises d'agro-alimentaire : Détermination de degré de Brix. La défense, Paris, 159 p.
- Afssa (Agence française de sécurité sanitaire des aliments) (2009). Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale. Rapport final, 308 p. https://www.anses.fr/fr/system/files/RCCP-Ra-Mycotoxines_2009.pdf. Consulté le 08/02/2021.
- Agboton B.V., Salifu D., Seguni Z., Sijaona M.E., Shomari S., Ekesi S. & Maniania N.K. (2013). Bioecology of some key cashew insect pests and diseases in divers habitats and landscapes in Tanzania. *Journal of Applied Entomology*, 137(10) : 782-789.
- Ahmadou A. (2019). Réduction de la mycotoxicité dans l'agriculture malienne à partir de l'utilisation de biochar obtenu des sous-produits de la filière cajou. Thèse De Doctorat, UFR Sciences et techniques de l'agriculture, Université Montpellier (France), 170 p.
- Ahmadou A., Napoli A., Durand N. & Montet D. (2019). High physical properties of cashew nut shell biochars in the adsorption of mycotoxins. *International Journal of Food Research*, 6(1) : 18–28.
- Ahouangninou C.C.A. (2013). Durabilité de la production maraichère au sud-Bénin : un essai de l'approche écosystémique. Thèse de Doctorat, École Doctorale Pluridisciplinaire « Espaces, Cultures et Développement », Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 287 p.
- Aïkpo H., Chabi B., Ayi V., Koumolou L., Houssou C. & Edoh P. (2015). Evaluation de la contamination des eaux du fleuve Couffo dans la zone cotonnière de Djidja (Bénin) par

- les pesticides. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3) : 1725-1732.
- Ajouz S. (2009). Estimation du potentiel de résistance de *Botrytis cinerea* à des biofongicides. Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences agricoles, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, France, 213p.
- Akpo S.K., Coulibaly L.S., Coulibaly L. & Issiaka S. (2016). Evolution Temporelle de l'utilisation des pesticides en agriculture tropicale dans le bassin versant de la Marahoué, Côte d'Ivoire. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 14 (1) : 121-131.
- Alademeyin J.O. & Arawande J.O. (2016). Physicochemical properties and fatty acid composition of crude and processed *Adenopus breviflorus* Benth seed oil. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 51(3) : 159-166.
- Alae-Carew C., Nicoleau S., Bird F.A., Hawkins P., Tuomisto H.L., Haines A., Dangour A.D. & Scheelbeek P.F.D. (2020). The impact of environmental changes on the yield and nutritional quality of fruits, nuts and seeds: a systematic review. *Environmental Research Letters*, 15(2) : 2-14.
- Amiard J-C. (2017). Méthodes d'évaluation et impact sur les organismes. *In* : Les risques chimiques environnementaux. 2ème édition, Lavoisier, Paris, 712 p.
- Anonyme 1. (2021). La Côte d'Ivoire veut conquérir le marché américain de noix de cajou. Publié le 25/05/2021 par *Africanews*. <https://fr.africanews.com/2021/05/25/la-cote-d-ivoire-veut-conquerir-le-marche-americain-de-noix-de-cajou/>. Consulté le 13 juillet 2021.
- Anonyme 2. (2018). Documents internes du Conseil du Coton et de l'Anacarde (CCA) de Côte d'Ivoire. Achat des noix de cajou par entité administrative au 31/12/2017, 3 p.
- AOAC (1995). Official methods of analytical chemist (5th ed.). Washington, DC : Association of Official Analytical Chemist.
- AOAC, 1990. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists: 981.12 Arlington, USA, 15(2), 910– 928.

- Arlène A. & Broutin C.G. (2009). Normes de qualité pour les produits agroalimentaires en Afrique de l’Ouest. Imprimé en France par Ferréol (Lyon), ISSN 1763 – 6183. 229p.
- Asao T., Buchi G., Abdel-Kader M.M., Chang S.B., Wick E.L. & Wogan G.N. (1963). Aflatoxins B and G. *Journal of the American Chemical Society*, 85(11) : 1706–1707.
- Asao T., Buechi G., Abdel-Kader M.M., Chang S.B., Wick E.L. & Wogan G.N. (1965). The structures of aflatoxins B and G. *Journal of the American Chemical Society*, 87 : 882–886.
- Assunção R. & Mercadante A. (2003). Carotenoids and ascorbic acid from cashew apple (*Anacardium occidentale L.*) : Variety and geographic effects. *Food Chemistry - FOOD CHEM*, 81 : 495–502.
- Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S. & Savini I. V.M. (2005). Agriculture et environnement. Réduire l’utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref, France, 64 p.
- Autentika Global (2021). Pénétrer le marché européen des noix de cajou. Document, 12 p. https://www.cbi.eu/sites/default/files/market_information/researches/2020%20-2019%20CBI%20ME%20PFS%20Cashew%20Nuts%20update%20-%20FR.pdf. Consulté le 12 juillet 2021.
- Awuah R.T., Fialor S.C., Binns A.D., Kagochi J. & Jolly C.M. (2009). Factors Influencing Market Participants Decision to Sort Groundnuts along the Marketing Chain in Ghana. *Peanut Science*, 36(1) : 68–76.
- Azandjeme C.S. (2015). Exposition aux pesticides et risque de diabète de type 2 : une étude au nord du Bénin (Afrique de l’Ouest). Thèse de Doctorat, Faculté de Médecine, Université de Montréal (Canada), 256 p.
- Badiane M. 2004. Utilisation des pesticides dans le système maraîcher périurbain : variations annuelle et impacts sur la santé des populations. Thèse de Doctorat, Médecine Vétérinaire, Dakar (Sénégal), EISMV, 125 p.
- Bagal M. & Vittori M. (2010). Les indications géographiques en Côte d’Ivoire, produits potentiels et cadre juridique pertinent. ACP regional workshops on Geographical Indications, 43 p.

- Balasubramanian D. (2001). PH—Postharvest Technology : Physical Properties of Raw Cashew Nut. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(3) : 291-297.
- Baldi I., Lebailly P., Jean S., Rougetet L., Dulaurent S. & Marquet P. (2006). Pesticide contamination of workers in vineyards in France. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 16(2) : 115-124.
- Balgude D. & Sabnis A. (2014). CNSL : An environment friendly alternative for the modern coating industry. *Journal of Coatings Technology and Research*, 11 : 15 p.
- Bama J. W. (2014). Typologie des systemes agroforestiers a manguier et anacardier dans le terroir de kotoudeni (kenedougou) : impact sur la production agricole. Master en gestion et aménagement des écosystèmes forestiers, Université polytechnique de bobo-dioulasso (Burkina Faso), 56 p.
- Bamba B.S.B. (2007). Etude des rendements et du coût de production des unités de décorticage de noix de cajou de COPABO. Département Génie Chimique et Agro-Alimentaire. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (Yamoussoukro, Côte d'Ivoire), 54 p.
- Barnett H.L. & Hunter L. (1998). Illustrated general of imperfection fungi, Burgess publishing company. Minnesota (USA): fourth edition. *Minneapolis, Burgess Publishing Company*, 241 p.
- Battilani P., Camardo Leggieri M., Rossi V. & Giorni P. (2013). AFLA-maize, a mechanistic model for *Aspergillus flavus* infection and aflatoxin B1 contamination in maize. *Computers and Electronics in Agriculture*, 94 : 38–46.
- Bbosa G.S., Kitya D., Odida J. & Ogwal-Okeng J. (2013). Aflatoxins metabolism, effects on epigenetic mechanisms and their role in carcinogenesis. *Health*, 5(10) : 14-34.
- Becker-Algeri T.A., Castagnaro D., de Bortoli K., de Souza C., Drunkler D.A. & Badiale-Furlong E. (2016). Mycotoxins in Bovine Milk and Dairy Products. *Journal of Food Science*, 81(3) : 544-552.
- Belhadi A., Mehenni M., Reguieg L. & Yakhlef H. (2016). Pratiques phytosanitaires des serristes maraichers de trois localités de l'est des Ziban et leur impact potentiel sur la santé humaine et l'environnement. *Revue Agriculture*, 1 : 9-16.

- Benido C.D.B. (2017). Analyse des déterminants de l'adoption des bonnes pratiques de production de l'anacarde au Burkina Faso. Maitrise en Agroforesterie, université de LAVAL, Quebec (Canada), 61 p.
- Bhat R., Rai R.V. & Karim A.A. (2010). Mycotoxins in Food and Feed: Present Status and Future Concerns. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(1): 57–81.
- Blanc M. (2001). Qualité sanitaire des aliments et développement : nouvelles exigences en matière de sécurité sanitaire dans le commerce international des produits agricoles et agro-alimentaires. Incidences pour les pays d'Afrique exportateurs de produits oléagineux. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 8(3) : 246–250.
- Borgemeister C., Adda C., Sétamou M., Hell K., Djomamou B., Markham R.H. & Cardwell K.F. (1998). Timing of harvest in maize: effects on post harvest losses due to insects and fungi in central Benin, with particular reference to *Prostephanus truncatus* (Horn) (Coleoptera: Bostrichidae). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 69(3): 233-242.
- Boschetto G., 2013- Evaluation de la pertinence de l'utilisation des herbicides en lien avec le développement durable. Mémoire de Maitrise en environnement, Université de Sherbrooke, Québec, Canada, 86 p.
- Botton B, Bretton A, Fevre M.P. (1990). Moisissures utiles et nuisibles, Importance industrielle. Collection biotechnologies. 2^e édition, Masson Paris, 498 P.
- Bouagga A., Chaabane H., Bahrouni H. & Hassine K. (2016). The use of IRPeQModel as indicator to estimate the risk of some pesticides on human health and environment. *Tunisian Journal of Plant Protection* 11(1), 133-141.
- Boudra H., Barnouin J., Dragacci S. & Morgavi D. (2007). Aflatoxin M1 and Ochratoxin A in Raw Bulk Milk from French Dairy Herds. *Journal of dairy science*, 90 : 3197-3201.
- Bourais I. & Amine A. (2006). Aflatoxines toxiques redoutables dans nos aliments. *Les technologies de laboratoire*, 4-8.
- Bourais I. & Amine A. (2006). Aflatoxines toxiques redoutables dans nos aliments. *Technologies de Laboratoire*, 0 : 4-8.

- Brack P., Antoniou M., Carrasco A., Fagan J., Habib M., Leifert C. & Pengue W. (2010). Le Soja OGM Durable ? Responsable ? *ARGE Gentechnik-frei* (Arbeitsgemeinschaft für Gentechnik-frei erzeugte Lebensmittel), Bochum, Germany, 30-36.
- Brahmi M. & Zahi N. (2016). Recherche des champignons aflatoxinogènes du genre *Aspergillus* dans l'aliment de volaille et détection d'aflatoxine. Mémoire de Master en Science de la Nature et de la Vie, UFR Science Biologique, Université Saad Dahlab-Blida, Algérie, 97 p.
- Brito de Figueirêdo M.C., Potting J., Lopes Serrano L.A., Bezerra M.A., da Silva Barros V., Gondim R.S. & Nemecek T. (2016). Environmental assessment of tropical perennial crops: the case of the Brazilian cashew. *Journal of Cleaner Production*, 112 : 131-140.
- Brou K., Ehounou J.-N., Kassin K.E., Dekoula C.S., Yao G.F., N'goran E.K., Kouakou B.J., Koné B. & Soro N. (2018). Caractérisation Des Paramètres Agroclimatiques Clés De La Saison Culturelle En Zone De Contact ForêtSavane De Côte-d'Ivoire. *European Scientific Journal*, 14(36) : 243-243.
- Brou Y.T. (2005). Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 332 p.
- Bugaud C., Ocrisse G., Salmon F. & Rinaldo D. (2014). Bruise susceptibility of banana peel in relation to genotype and post-climacteric storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 87 : 113-119.
- Calvet R. (2003). Le sol propriétés et fonctions constitution et structure, phénomènes aux interfaces, Tome 1, *Edition France Agricole*, Paris, France, 82-90.
- Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P. & Coquet Y. (2005). Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. *Éditions France Agricole, Paris*.
- Camard J.P. & Magdelaine C. (2010). Produits phytosanitaires risques pour l'environnement et la santé ; Connaissances des usages en zone non agricole. Île-de-France : IAU et ORS Île-de-France, 61 p.

- CCIGP (Code de conduite international sur la gestion des pesticides) (2018). Directives sur les pesticides extrêmement dangereux. Rome, Italie, 52 p.
- Cesar J. & Gouro A. (2001). Productions fourragères en zone tropicale. Les légumineuses fourragères herbacées. *CIRDES*, 8 p.
- Chabasse D., Bouchara J-P. ; De gentile L., Brun S., Cimmon B., Penn P. (2002). Les moisissures d'intérêt médicale. *Cahier de formation Bioforma*, 25 : 161 p.
- Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F., Byng J.W., Judd W.S., Soltis D.E., Mabberley D.J., Sennikov A.N., Soltis P.S. & Stevens P.F. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants : APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1) : 1–20.
- Christenhusz M.J.M. & Byng J.W. (2016). The number of known plants species in the world and its annual increase. *Phytotaxa* 261 (3) : 201-217.
- Cole R.J. & Cox R.H. (1981). Handbook of toxic fungal metabolites. *Academic Press edition*, New York, 1 : 1-66.
- Combrink N.K., Labuschagne M.T. & Bijzet Z. (2013). Variation of fruit size and shape in Kiyomi tangor families. *Scientia Horticulturae*, 162 : 357–364.
- Commission du Codex Alimentarius, 2005. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires comite du codex sur les additifs alimentaires et les contaminants. Trente-septième session ; la Haye, Pays-Bas, 25 - 29 avril 2005.
- Commission du Codex Alimentarius, 2021. Programme mixte FAO/OMS sur les résidus de pesticides : limites maximales des résidus de pesticides dans l'alimentation humaine et pour l'alimentation animale. Cinquante deuxième session (virtuelle), juillet 2021.
- Congo A.K. (2013). Risques sanitaires associés à l'utilisation de pesticides autour de petites retenues : cas du barrage de Loumbila. Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2iE, Ouagadougou, Burkina Faso, 68 p.
- Coulibaly A. (2018). Evolution récente de la filière anacarde Côte d'Ivoire. *Salon International des Equipements et des Technologie de Transformation de l'Anacarde (SIETTA)*, 8 au 10 novembre 2018, Abidjan, Côte d'Ivoire, 11 p.

- Crespo S. (1986). Cacao Beans Today: With Sliced and Whole Beans and Farm Illustrations. *Wilbur Chocolate Company*, 118 p.
- Cui A., Hua H., Shao T., Song P., Kong Q., Luo T. & Jiang Y. (2015). Aflatoxin B1 induces Src phosphorylation and stimulates lung cancer cell migration. *Tumor Biology*, 36(8) : 6507-6513.
- Danebe K.A., Djeumako B., Beda T. & Samon J.B. (2019). Propriétés Physiques et Mécaniques des Graines et Amandes de *Jatropha curcas* L. *European Scientific Journal*, 15(36) : 81-105.
- Dano S.D., Manda P., Dembélé A., Abla A.M.-J.K., Bibaud J.H., Gouet J.Z. & Sika C.B.Z.M. (2013). Influence of Fermentation and Drying Materials on the Contamination of Cocoa Beans by Ochratoxin A. *Toxins*, 5 : 2311-2323.
- Danso J.K., Osekre E., Manu N., Opit G., Armstrong P., Arthur F., Campbell J.F. & Mbata G. (2017). Moisture content, insect pests and mycotoxin levels of maize at harvest and post-harvest in the Middle Belt of Ghana.
- Darwish W. S., Ikenaka Y., Nakayama S. M. M. & Ishizuka M. (2014). An Overview on Mycotoxin Contamination of Foods in Africa. *Journal of veterinary medical science*, 76(6) : 789-797.
- Decreux Y. & Rinderknecht, L. (2013). Évaluation du potentiel à l'exportation des noix de cajou : Côte d'Ivoire. Document technique N°. EC-10-174.E, Centre du commerce international (ITC), Genève, 54 p.
- Dedehou E., Dossou J. & Soumanou M.M. (2015). Etude diagnostique des technologies de transformation de la pomme de cajou en jus au Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(1) : 371-387.
- Dendena B. & Corsi S. (2014). Cashew, from seed to market: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34 : 753-772.
- Denys S. & Marot F. (2007). Guide d'échantillonnage des plantes potagères dans le cadre des diagnostics environnementaux. Guide de travail de l'ADEME et l'INERIS, 47 p.

- Diao E., Dong H., Hou H., Zhang Z., Ji N. & Ma W. (2014). Factors Influencing Aflatoxin Contamination in Before and After Harvest Peanuts : A Review. *Journal of Food Research*, 4(1) : 148-154.
- Didier C. (2001). La culture de l'anacardier. *Fruitrop (Ed. Française)*, (81), suppl. : 2-4.
- Dieme E., Fall R., Sarr I., Sarr F., Traore D. & Seydi M. (2016). Contamination des céréales par l'aflatoxine en Afrique : revue des méthodes de lutte existantes. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(5) : 2285-2299.
- Diop A. (2013). Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Sénégal). Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, France, 190 p.
- Dir K., Boumaza K. & Benslama O. (2018). Etude mycologique et mycotoxicologique des fruits secs (à coque) commercialisés au niveau de la région d'OUM EL-BOUAGHI. Mémoire de Master en Biologie, Faculté des sciences exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie. Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, Algérie, 51 p.
- Djaha J-B., N'daadopo A.A., Koffi E.K., Ballo C.K. & Coulibaly M. (2012). Croissance et aptitude au greffage de deux génotypes d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) élites utilisées comme porte-greffe en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(4) : 1453-1466.
- Dongmo G.Z., Djeugap J.F., Fenohi N., Kenfack N.D., Takuete R. & Teguefouet P. (2017). Contribution à l'identification des champignons de postrécolte associés aux amandes de *Ricinodendron heudelotii* et *Garcinia kola* collectées dans les Hauts Plateaux de l'Ouest Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Science*, 11 (4) : 1840-18.
- Dorner J.W. (2008). Management and prevention of mycotoxins in peanuts. *Food Additives and Contaminants : Part A*, 25(2) : 203-208.
- Doumbia, M. & Kwadjo, K. E. (2009). Pratiques d'utilisation et de gestion des pesticides par les maraîchers en Côte d'Ivoire : Cas de la ville d'Abidjan et deux de ses banlieues (Dabou et Anyama). *Journal of Applied Biosciences*, 18 : 992-1002.

- DuBois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. & Smith F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28(3) : 350–356.
- Ducroquet H., Tillie P., Elouhichi K. & Gomez Y.P.S. (2017). L’agriculture de la Côte d’Ivoire à la loupe : Etat des lieux des filières de production végétales et animales et revue des politiques agricoles (EUR—Scientific and Technical Research Reports). *Publications Office of the European Union*, Luxembourg, 244 p.
- Ehrlich K.C., Moore G.G., Mellon J.E. & Bhatnagar D. (2015). Challenges facing the biological control strategy for eliminating aflatoxin contamination. *World Mycotoxin Journal*, 8(2) : 225–233.
- El himer N. & GHERRAS S. (2017). Etude mycologique et identification des souches fongique toxigènes isolée des amandes et arachides. Mémoire de MASTER, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l’Univers ; UNIVERSITE de TLEMCEN, Algérie, 58 p.
- El khoury R. (2016). Maîtrise du risque aflatoxique : utilisation d’extraits naturels et mise en évidence de leurs mécanismes d’action. Thèse de Doctorat. Unité de recherche de Toxicologie Alimentaire, Université de Toulouse (France), 185 p.
- El-Aissaoui A. (2015). Les bases de l’application rationnelle des produits phytosanitaires. Guide pratique pour les opérateurs agricoles, *INRA*, Settat, Maroc, 32 p.
- Estela H.C. (2017). Évaluation du risque sanitaire pour la population de Veracruz lié à la contamination des fromages frais et Oaxaca par des organochlorés et des aflatoxines. Thèse de Doctorat, UFR Sciences et Techniques, Université de Bretagne occidentale, France, 111p.
- FAO & OIT (2013). Protégeons nos enfants des pesticides : Guide visuel d’animation, 72 p. Disponible sur <http://www.fao.org/docrep/019/i3527f/i3527f.pdf>.
- FAO (2001). Directives sur les exigences minimales relatives au matériel agricole d’application des pesticides, 25 p.
- FAOSTAT (2019). FAOSTAT of the United Nations. Données issues de l’archive originale du 7 janvier 2019. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Consulté le 12 juillet 2021.

- Fenske R. & Edgar J. (2005). Assessment of Exposure for Pesticide Handlers in Agricultural, Residential and Institutional Environments. *In: Occupational and Residential Exposure Assessment for Pesticides*, John Wiley & Sons, Ltd, Hoboken, New Jersey (États-Unis) : 11-43.
- FIRCA (Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles) (2018). La filière du progrès : la filière anacarde acte 20, 2^{ème} semestre 2018. Magazine d'information, 56 p.
- Firmin S. (2011). Efficacité de détoxification de l'aflatoxine B1 et de l'ochratoxine A par un adsorbant organique : évaluation par la balance d'excrétion et les paramètres toxicocinétiques chez le rat et la brebis laitière. Sciences agricoles, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, France, 171 p.
- Flores A., Ga B., Ea H., A Z. & Jm M. (2011). Pesticide risk assessment in flower greenhouses in Argentina : the importance of manipulating concentrated products. *Journal of Hazardous Materials*, 189(1-2) : 222-228.
- Fofana-Diomande A., Kouakou K.J.-M., Aka-Diemeleou C., Traore K.S. & Dembele A. (2019). Exposition alimentaire aux mycotoxines cancérigènes dans le département de Séguéla (Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire) : cas de l'aflatoxine B1. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(2) : 937-949.
- Forouhi N.G., Misra A., Mohan V., Taylor R. & Yancy W. (2018). Dietary and nutritional approaches for prevention and management of type 2 diabetes. *BMJ (Clinical research ed.)*, 361 : 1-9.
- Frelka J. & Harris L. (2015). Evaluation of microbial loads and the effects of antimicrobial sprays in postharvest handling of California walnuts. *Food Microbiology*, 48 : 133-142
- Frisvad J.C., Hubka V., Ezekiel C.N., Hong S.-B., Nováková A., Chen A.J., Arzanlou M., Larsen T.O., Sklenář F., Mahakarnchanakul W., Samson R.A. & Houbraken J. (2019). Taxonomy of *Aspergillus* section Flavi and their production of aflatoxins, ochratoxins and other mycotoxins. *Studies in Mycology*, 93 : 1-63.
- Gabriel P.-L., Nuria V., Abderrazak E.A. & Simón N. (2018). Environmental Risk of Groundwater Pollution by Pesticide Leaching through the Soil Profile. *Intechopen*, 27 p.

- Gadi O. (2012). Identification des Espèces de Moisissures Toxinogène dans l'Alimentation du Bétail et Détection des Aflatoxines et l'Ochratoxine A. Mémoire de Magister, UFR des sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Abou Bekr Belkaid, Algérie, 67 p.
- Gagnon AE, Roy M & Roy A. (2011). Impacts directs et indirects des changements climatiques sur les ennemis de culture. Quebec, Canada, 79 p.
- Gil Y., Sinfort C., Guillaume S., Brunet Y. & Palagos B. (2008). Influence of Micrometeorological Factors on Pesticide Loss to the Air during Vine Spraying: Data Analysis with Statistical and Fuzzy Inference Models. *Biosystems Engineering*, 100 : 184-197.
- Gilleo J., Jassey K. & Sallah J.A.Y. (2011). Les bases de la filière cajou. Projet d'amélioration de la chaîne de valeurs du cajou dans le Bassin du fleuve Gambie (CEP). *International relief & Development (IRD)*, 36p.
- Gong Y.Y., Watson S. & Routledge M.N. (2016). Aflatoxin Exposure and Associated Human Health Effects, a Review of Epidemiological Studies. *Food Safety (Tokyo, Japan)*, 4(1) : 14–27.
- Gouda A.-I., Toko I.I., Salami S.-D., Richert M., Scippo M.-L., Kestemont P. & Schiffers B. (2018). Pratiques phytosanitaires et niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du nord du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 27(6) : 1-9.
- Goujon P., Lefèbvre A., Leturcq P., Marcellesi A.P. & Praloran J.C. (1973). Etudes sur l'anacardier. I. Régions écologiques favorables à la culture de l'anacardier en Afrique francophone de l'Ouest. *Fruits*, 28(3), 217-225.
- Gruber-Dorninger C., Jenkins T. & Schatzmayr G. (2019). Global Mycotoxin Occurrence in Fed : A Ten-Year Survey. *Toxins*, 11(7) : 25 p.
- Gutierrez N.L. & Agnew D.J. (2013). MSC objection process improves fishery certification assessments: A comment to Christian et al. (2013). *Biological Conservation*, 165 : 212-213.
- Gyedu-Akoto E., Lowor S.T., Assuah M., Kumi W. & Dwomoh E.A. (2014). Assessment of Post-harvest Handling Effects on Quality of Cashew Nuts and Kernels in Ghana. *Journal of Scientific Research & Reports*, 3(7) : 953-965.

- Heit S. (2015). Identification de Fusarium et détection des mycotoxines associées par MALDI-TOF. Thèse de Doctorat, Faculté de pharmacie, Université de lorraine, France, 116p.
- Hell K. & Mutegi C. (2011). Aflatoxin control and prevention strategies in key crops of Sub-Saharan Africa. *African Journal of Microbiology Research*, 5(5) : 459-466.
- Hell K., Cardwell K., Setamou M. & Schulthess F. (2000). Influence of insect infestation on aflatoxin contamination of stored maize in four agroecological regions in Benin. *African Entomology*, 8 : 169–177.
- Huber D.M., Cheng M.W. & Winsor B.A. (2005). Association of severe *Corynespora* root rot of soybean with glyphosate-killed giant ragweed. *Journal of Phytopathology*, 95, 1-45.
- Hyo-Wook G., Jae-Seok P., Sang-Ho P. & Sae-Yong H. (2013). Effect of intravenous lipid emulsion in patients with acute glyphosate intoxication. *Clinical Toxicology*, 51 :8, 767-771.
- Ilyassou K.M., Adamou R. & Schiffers B. (2017). Risk assessment for small farmers exposed to plant protection products in the Niger river valley. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 81, 1–13.
- Irene S.B., Huesob J.J. & Cuevasa J. (2019). Fruit growth model, thermal requirements and fruit size determinants in papaya cultivars grown under subtropical conditions. *Scientia Horticulturae*, 246 : 1022-1027.
- Issaka D.K. (2019). Production de noix de cajou au Bénin : état des lieux et perspectives pour 2019. *World Cashew Convention & exhibition*, 24-26 janvier 2019, Abu Dhabi, Émirats arabes unis, 22 p.
- Jalali M., Karamizadeh M., Ferns G.A., Zare M., Moosavian S.P. & Akbarzadeh M. (2020). The effects of cashew nut intake on lipid profile and blood pressure: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 50(1) : 1–7.
- Jaquet J., Lafont J. & Lafont P. (1982). La contamination du lait par les aflatoxines. *Revue laitière française.*, 42 : 63-67.
- Kagot V., Okoth S., Boevre M. & Saeger S. (2019). Biocontrol of *Aspergillus* and *Fusarium* Mycotoxins in Africa: Benefits and Limitations. *Toxins*, 11 : 109.

- Kaman P. (2013). Gouvernance du risque et diagnostic de vulnérabilité de la Côte d'Ivoire. Rapport sur l'analyse des vulnérabilités aux catastrophes et des capacités de réponse en Côte d'Ivoire, 58 p.
- Kanda M., Djaneye-boundjou G., Wala K., Gnandi K., Batawila K. & Sanni A. (2013). Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo. *VertigO - la Revue électronique en Science de l'environnement* 13(1), 1-17.
- Kanga K.H.M. (2017). Sècheresse et vulnérabilité socio-spatiale dans le quart nord-est de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, Université Alassane Ouattara (Bouaké, Côte d'Ivoire), 347 p.
- Kelly B.A. (2005). Impact des Pratiques Humaines sur la Dynamique des Populations et sur la Diversité Génétique de *Vitellaria paradoxa* (Karité) dans les Systèmes Agro Forestiers au sud Mali. Thèse de Doctorat. Institut supérieur de formation et recherche appliquée, Mali, 243 p.
- Kilanko O. (2018). Design and performance evaluation of centrifugal cashew nut sheller. *Agricultural Engineering International : CIGR Journal*, 20(1) : 162-170.
- Kim S-H., Lee C-H., Kim K-H. & Jeong S-H. (2016). Comparative estimation of exposure level and health risk assessment of highly produced pesticides to agriculture operators by using default dermal absorption rate or actual measurement values. *Biomedical Science Letters*, 22(4), 199–206.
- Koffi Y. S. & Oura K.R. (2019). Les facteurs de l'adoption de l'anacarde dans le bassin cotonnier de Côte d'Ivoire. *Cahiers Agricultures*, 28 (24) : 1-8.
- Kolia Y.P.M. (2015). Analyse des résidus de pesticides dans les produits maraichers sur le site du barrage de Loumbila au Burkina Faso : Évaluation des risques pour la santé. Mémoire de Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement : Option eau et assainissement. Institut international de l'eau et de l'environnement (2iE), Burkina Faso, 51p.
- Konan J. (2021). Côte d'Ivoire : Les exportations de cajou ont généré 488 milliards FCFA en 2020. En ligne, document publié par *SIKA finance* le 04/07/2021. <https://www.sikafinance.com/marches/cote-divoire-les-exportations-de-cajou-ont-generé-487-683-milliards-fcfa-en->

2020_29056#:~:text=Bien%20qu%27elle%20ne%20jouisse,soit%20une%20hausse%20de%2013%25. Consulté le 12 juillet 2021.

- Kouadio A.K.A., Aw S., Assidjo N.E. & Kouame L.P. (2015). Study of physicochemical and mycologic quality of Theobroma Cocoa product in Yamoussoukro and Soubré (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 13(1) : 330-340.
- Kouakou B.J., Irie B.Z., Dick E., Nemlin G. & Bomisso L.E. (2013). Caractérisation des techniques de séchage du cacao dans les principales zones de production en Côte d'Ivoire et détermination de leur influence sur la qualité des fèves commercialisées. *Journal of Applied Biosciences*, 64 : 4797-4812.
- Kouamé K.J.F. (2017). Evaluation du comportement au champ de trois génotypes d'*Anacardium occidentale* L. à Séman. Licence Professionnelle en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nanguy Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 33 p.
- Kujbida P., Maia P.P., Araújo A.N. de, Mendes L.D., Oliveira M.L. de, Silva-Rocha W.P., Brito G.Q. de, Chaves G.M. & Martins I. (2019). Risk assessment of the occurrence of aflatoxin and fungi in peanuts and cashew nuts. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 55 : 1-10.
- Kyriacou M.C., Leskovar D.I., Colla G. & Rouphael Y. (2018). Watermelon and melon fruit quality: The genotypic and agro-environmental factors implicated. *Scientia Horticulturae*, 234 : 393-408.
- Lacey J. & Magan N. (1991). Fungi in cereal grains : their occurrence and water and temperature relationships. *In* : Cereal grain : mycotoxins, fungi and quality in drying and storage, ed. Chelowski J., Elsevier, Amsterdam, 77-118.
- Lahouar A. (2016). Mycotoxines et champignons mycotoxinogènes dans les grains de sorgho commercialisé en Tunisie : Incidence et profils écophysiologiques. Thèse de doctorat, Département de technologie d'aliments, Université de Lleida, Tunisie, 224 p.
- Lamboni Y., Nielsen K.F., Linnemann A.R., Gezgin Y., Hell K., Nout M.J.R., Smid E.J., Tamo M., Boekel M.A.J.S. van, Hoof J.B. & Frisvad J.C. (2016). Diversity in Secondary Metabolites Including Mycotoxins from Strains of *Aspergillus* Section *Nigri* Isolated from Raw Cashew Nuts from Benin, West Africa. *PLOS ONE*, 11(10) : e0164310.

- Lath E. (2018). Côte d'Ivoire/ production agricole : la filière anacarde en crise. <http://www.linfodrome.com/economie/43635-cote-d-ivoire-production-agricole-la-filiere-anacarde-en-crise>. Consulté le 16 juillet 2019.
- Lautié E., Dornier M., Filho M. de S. & Reynes M. (2001). Les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruits*, 56(4), 235–248.
- Lebailly P., Bouchart V., Baldi I., Lecluse Y., Heutte N., Gislard A. & Malas J.-P. (2009). Exposure to pesticides in open-field farming in France. *The Annals of Occupational Hygiene*, 53(1) : 69-81.
- Lebailly P., Lynn S. & Seri H. (2012). Etude pour la préparation d'une stratégie pour le développement de la filière anacarde en Côte d'Ivoire. Rapport final, Union Européenne, 143 p. <http://hdl.handle.net/2268/131062>.
- Lecellier A. (2013). Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle. Thèse de Doctorat, Ecole doctorale sciences technologie santé, Université de Reims Champagne-ardenne (Reims, France), 194 p.
- Machado-Neto J.G. (2001). Determination of Safe Work Time and Exposure Control Need for Pesticide Applicators. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(1) : 20-26.
- Magan N. & Aldred D. (2007). Post-harvest control strategies : minimizing mycotoxins in the food chain. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2) : 131-139.
- Magoha H, Kimanya M, De Meulenaer B, Roberfroid D, Lachat C & Kolsteren P., (2014). Association between aflatoxin M1 exposure through breast milk and growth impairment in infants from Northern Tanzania. *World Mycotoxin Journal*, 7(3) :277–284.
- Mahuku G., Nzioki H.S., Mutegi C., Kanampiu F., Narrod C. & Makumbi D. (2019). Pre-harvest management is a critical practice for minimizing aflatoxin contamination of maize. *Food Control*, 96 : 219-226.
- Mamy L., Barriuso E., Gabrielle B. (2008). Impacts sur l'environnement des herbicides utilisés dans les cultures génétiquement modifiées. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 60 : 15-24.
- Manizan A.L., Akaki D., Piro-Metayer I., Montet D., Brabet C. & Koffi-Nevry R. (2018). Évaluation des pratiques post récoltes favorables à la contamination de l'arachide par

- les mycotoxines dans trois régions de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 124 : 12446-12454.
- Maranghi F., De Angelis S., Tassinari R., Chiarotti F., Lorenzetti S., Moracci G., Marcoccia D., Gilardi E., Di Virgilio A., Eusepi A., Mantovani A. & Olivieri A. (2013). Reproductive toxicity and thyroid effects in Sprague Dawley rats exposed to low doses of ethylenethiourea. *Food and Chemical Toxicology : An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 59 : 261–271.
- Marc A., Kouassi D., Tetchi F.A. & Amani N. (2012). Phenolic profile of cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L) from Yamoussoukro and Korhogo (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*, 49 : 3331-3338.
- Marin S., Ramos A.J., Cano-Sancho G. & Sanchis V. (2013). Mycotoxins : Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60 : 218-237.
- Matimelo M. (2017). Harvesting and drying of cashew nuts. *Plantwise*, 1 p.
- Mauro A., Battilani P. & Cotty P.J. (2015). Atoxigenic *Aspergillus flavus* endemic to Italy for biocontrol of aflatoxins in maize. *BioControl*, 60(1) : 125–134.
- McMillan A., Renaud J.B., Burgess K.M.N., Orimadegun A.E., Akinyinka O.O., Allen S.J., Miller J.D., Reid G. & Sumarah M.W. (2018). Aflatoxin exposure in Nigerian children with severe acute malnutrition. *Food and Chemical Toxicology*, 111 : 356-362.
- Melvin L.M. (2000). L'agriculture et les secteurs connexes. In : Encyclopédie de Sécurité et Santé au Travail, 3^e édition, *Bureau International du Travail*, Genève (Suisse), 3(64) :2-69. <http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo064.htm>.
- Mieu B. (2018). Noix de cajou : la Côte d'Ivoire peine à vendre sa production. Document publié par *jeune Afrique* le 24/05/2018. <https://www.jeuneafrique.com/562012/economie/noix-de-cajou-la-cote-divoire-peine-a-vendre-sa-production/>. Consulté le 23 septembre 2018.
- Milhome M.A.L., Lima C.G., de Lima L.K., Lima F.A.F., Sousa D.O.B. & Nascimento R.F. (2014). Occurrence of aflatoxins in cashew nuts produced in northeastern Brazil. *Food Control*, 42 : 34-37.

- MINAGRI (Ministère de l'Agriculture et Du développement rural) & MININDU (Ministère de l'Industrie et des Mines) (2017). Projet d'appui à la compétitivité de la chaîne de valeur de l'anacarde en Côte d'Ivoire : Cadre de Politique de Réinstallation. Document, 105 p.
- Mirzabe A.H., Khazaei J., Chegini G.R. & Nejad M.H.A.P.R. (2013). Determination of some physical properties of virgin olive fruits. *Agricultural Engineering International : CIGR Journal*, 15(1) : 201-210.
- Mitchell J.D. & Mori S.A. (1987). The cashew and its relatives (*Anacardium: Anacardiaceae*). *Memoirs NY Bot. Garden*, 42, 1-76.
- Morel R., 2004. Le climat et l'implantation des hommes : le cas de la Côte d'Ivoire. *Annale de l'Association Internationale de Climatologie*. 1 : 117-132.
- Muliele T.M., Manzenza C.M., Ekuke L.W., Diaka P.C., Ndikubwayo D.M. & Olivier M. (2017). Utilisation et gestion des pesticides en cultures maraîchères : cas de la zone de Nkolo dans la province du Kongo Central, République démocratique du Congo. *Journal of Applied Biosciences*; 119(1): 11954-11972.
- N'depo O.R., Cherif M., Johnson F., Kassi K.F.J.-M., N'guessan A.C., Silue N., Akesse E.N., Kone D. & N'goran O.M. (2017). Inventaire des insectes ravageurs du verger anacardier dans les régions de Bounkani, Gontougo et Indénie-Djablun au Nord-Est en Côte d'Ivoire. *Afrique SCIENCE*, 13(2) : 333-343.
- Naili F. (2014). Evaluation de la rémanence de l'herbicide glyphosate dans les cultures maraîchères de la wilaya de Jijel. Mémoire de Master en Biologie appliquée, Faculté des sciences de la Nature et de la Vie, Université Constantine 1, Jijel, Algérie, 113 p.
- Nair K.P.P. (2010). Cashew Nut (*Anacardium occidentale* L.). In : The Agronomy and Economy of Important Tree Crops of the Developing world. *Elsevier insights*, 1^{ère} édition, New Delhi (India) : 21-66.
- Naré R.W.A., Savadogo P.W., Gnankambary Z. & Nacro H.B.S.M.P. 2015. Analyzing Risks Related to the Use of Pesticides in Vegetable Gardens in Burkina Faso. *Agricultural For Fish*, 4(4) : 165–172.
- Ndiaye S., Charahabil M.M. & Diatta M. (2017). Caractérisation des Plantations à base d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans le Balantacounda : cas des communes

- de Kaour, Goudomp et Djibanar (Casamance/Sénégal). *European Scientific Journal*, 13(12) : 242-257.
- Ndiaye S., Charahabil M.M. & Diatta M. (2020). Evaluation De La Qualité Des Noix Brutes D'anacarde En Casamance (Sénégal). *European Scientific Journal, ESJ*, 16(6) : 374-374.
- Nesrine M. & Hadjer M. (2015). Etude des moisissures potentiellement productrices de mycotoxines isolées à partir des grains de blé dur (traités et non traités). Mémoire de Master en Sciences de la Nature et de la Vie, Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie, 107 p.
- Nganoah V.S. (2009). Etude des risques environnementaux et sanitaires liés à l'utilisation des pesticides chimiques de synthèse dans la culture du coton à l'Ouest du Burkina Faso. Mémoire de de Master d'ingénierie de l'eau et l'environnement : Option environnement. Institut international de l'eau et de l'environnement (2iE), Burkina Faso, 72p.
- Nimaga D. (2015). Influence des traitements post-récoltes sur la qualité biochimique et organoleptique de la noix de cola (*Cola nitida*) au cours de sa conservation. Thèse de Doctorat, UFR des Sciences des Aliments, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 162 p.
- Norme CEE-ONU DDP-17 (2012). Norme CEE-ONU DDP-17 concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des Noix de Cajou. Soixante-huitième session., Nations Unies, New York et Genève, édition 2012, 7 p. Consultable sur internet : https://unece.org/fileadmin/DAM/trade/agr/standard/dry/Recommendations/Archives/Recommendation_17F_CashewKernels_2012.pdf
- Nugawela P., Balde A. & Poublanc C. (2006). La chaîne de valeurs anacarde au Sénégal, analyse et cadre stratégique d'initiatives pour la croissance de la filière. Programme USAID/ croissance économique, 78 p.
- Nuyttens D., Braekman P., Windey S. & Sonck B. (2009). Potential dermal exposure affected by greenhouse spray application technique. *Pest management science*, 65 : 781-90.

- Ogunbenle N.H. & Afolayan F.M. (2015). Physical and Chemical Characterization of Roasted Cashew Nut (*Anacardium occidentale*) Flour and Oil. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*, 5(1) : 1–7.
- Ogunwolu S.O., Yahaya L.E., Mokwunye F.C., Ogunjobi M.A.K. & Olalekan-Adeniran M.A. (2016). Evaluation of Quality of Raw Cashew (*Anacardium occidentale*, L) Nut from Major Cashew Producing Areas of Nigeria. *American Journal of Food Science and Technology*, 4(6) : 178-181.
- Okwelogu T.N. & Mackay P.J. (1969). Cashewnut moisture relations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20(12) : 697-702.
- Omara T., Nassazi W., Omute T., Awath A., Laker F., Kalukusu R., Musau B., Nakabuye B.V., Kagoya S., Otim G. & Adupa E. (2020). Aflatoxins in Uganda : An Encyclopedic Review of the Etiology, Epidemiology, Detection, Quantification, Exposure Assessment, Reduction, and Control. *International Journal of Microbiology*, 2020 : 1-18.
- OMS (2001). Déoxynivalenol and fumonisines in Safety Evaluation of certain Mycotoxins in Food. WHO Food Additives Series 47, FAO, *Food and Nutrition Geneva* (74): 286-555.
- OMS (2018). Generic Risk Assessment Model for Indoor and Outdoor Space Spraying of Insecticides. second edition. World Health Organization; 2018, Geneva (Switzerland), 72 p.
- OMS (2019). Classification OMS recommandée des pesticides en fonction des dangers qu'ils présentent et Lignes directrices pour la classification, édition 2019. Genève : Organisation mondiale de la Santé ; 2020, Genève (Suisse), 104 p.
- Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R. & Anthony S. (2010). Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0. World Agroforestry Centre, Kenya World Agroforestry Centre (ICRAF), CD-ROM.
- Ouedraogo J. B., Ouedraogo R., Ilboudo S., Bayili B., Pare T., Kekele A. & Sawadogo B. (2016). Utilisation des pesticides dans trois régions à l'Ouest du Burkina Faso et évaluation de leur impact sur la santé et l'environnement : cas des Régions de la Boucle

- du Mouhoun, des Cascades et des hauts-Bassins. Rapport final, IRSS-DRO / convention de Rotterdam, 100 p.
- Ouedraogo R., Toé A.M., Ilboudo S. & Guissou P.I. (2014). Risk of workers exposure to pesticides during mixing/loading and supervision of the application in sugarcane cultivation in Burkina Faso. *International Journal of Environmental Science and Toxicology*, 2(7) : 143–151.
- PACCVA (projet d'appui à la compétitivité de la chaîne de valeur de l'anacarde en Côte d'Ivoire) (2017). Plan de gestion des pestes, 168 p.
- Pantaya D., Morgavi D-P., Silberberg M., Martin C., Suryahadi., Wiryawan K-G. & Boudra H. (2014). Low pH Enhances Rumen Absorption of Aflatoxin B1 and Ochratoxin A in Sheep. *Global Veterinaria*, 13 (2) : 227-232.
- Passannet A.S., Aghofack-Nguemezi J. & Gatsing D. (2018). Variabilité des caractéristiques physiques des mangues cultivées au Tchad : caractérisation de la diversité fonctionnelle. *Journal of Applied Biosciences*, 128 : 12932-12942.
- Pauwels J., Van R.E., Verloo M. & Mvondo Z.A. (1992). Manuel de Laboratoire de Pédologie - méthodes d'analyses de sols et de plantes ; equipment et gestion des stocks de verrerie et de produits chimiques. Publications Agricoles nr. 28, A.G.C.D., Bruxelles (Belgium), 180 p.
- Pazikowska-Sapota G., Galer-Tatarowicz K., Dembska G., Wojtkiewicz M., Duljas E., Pietrzak S. & Dzierzbicka-Glowacka L.A. (2020). The impact of pesticides used at the agricultural land of the Puck commune on the environment of the Puck Bay. *PeerJ*, 21 p.
- Pelosi C., Barot S., Capowiez Y., Hedde M. & Vandenbulcke F. (2014). Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(1) : 199–228.
- Pesce S., Bouchez A. & Montuelle B. (2011). Effects of Organic Herbicides on Phototrophic Microbial Communities in Freshwater Ecosystems. In : *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, ed. Whitacre D.M., Springer, pp. 87–124.
- Pfliegler W., Tünde P. & Pócsi I. (2015). Mycotoxins – prevention and decontamination by yeasts. *Journal of Basic Microbiology*, 54 : 1–14.

- Pfohl-Leszkowicz A. (1999). Les mycotoxines dans l'alimentation : évaluation et gestion du risque. Conseil supérieur d'hygiène publique de France, section de l'alimentation et de la nutrition. *Edition : Tec & Doc*, 478 p.
- Pildain M.B., Frisvad J.C., Vaamonde G., Cabral D., Varga J. & Samson R.A. (2008). Two novel aflatoxin-producing *Aspergillus* species from Argentinean peanuts. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(3) : 725-735.
- Pitt J.I. & Hocking A.D. (1997). Fungi and food spoilage. Academic press 2nd edition, London, 593 p.
- Prandini A., Sigolo S., Filippi L., Battilani P. & Piva G. (2009). Review of predictive models for *Fusarium* head blight and related mycotoxin contamination in wheat. *Food and Chemical Toxicology*, 47(5) : 927–931.
- Priyashantha A.K., hasith, K.K. & Chand M. (2020). Pre and Post - Harvest Losses of Cashew (*Anacardium occidentale* L.) In Batticaloa District, Sri Lanka ; Preliminary Investigation of the Causes. *International Journal of Research Publications*, 43(1) : 1-11.
- Probst épouse Vignal C. (1993). A propos de la toxicologie de sept pesticides utilisés en arboriculture. Thèse de Doctorat, département de Pharmacie. Université de Limoges, France, 110 p.
- PSAC (Projet d'appui au Secteur Agricole en Côte d'Ivoire) (2017). Projet d'appui à la compétitivité de la chaîne de valeur. Termes de références, Evaluation Environnementale et Sociale Stratégique (EESS) de la zone agro-industrielle de Korhogo de l'anacarde en Côte d'Ivoire, 13p.
- Purseglove J.W. (1988). *Anacardiaceae*. In : Tropical Crops—Dicotyledons. English Language Book Society Longman London UK, 18-32.
- Rabany C., Rullier N. & Ricau P. (2015). African Cashew sector in 2015 : General trends and country profiles. Analysis of cashew production, processing and trade in Africa. *Rongead*, 37 p.
- Rainaud P.L. (2013). Evaluation des risques à long terme des herbicides à base de glyphosate sur la santé humaine. Thèse de Doctorat. Faculté de pharmacie, Université de Limoges (Limoges, France), 178 p.

- Raper K. & Fennell D.J. (1965). The genus *Aspergillus* (Baltimore : Williams & Wilkins). 686 p.
- R-Biopharm Rhone Ltd (2012) Easi-extract aflatoxin. Guía de uso para el usuario. RP71RP70N/V12/28.06.12. pp 3-12. Block 10 Todd Campus, West of Scotland Science Park. Acre Road, Glasgow G20 0XA. UK.
- Redouane-salah S. (2016). Caractérisation mycologique des fourrages pour ruminants et recherche d'Aflatoxine M1 dans le lait cru de vache : étude comparative aux laits pasteurisé et lyophilisé. Thèse de Doctorat, département de microbiologie, Université des Frères Mentouri-Constantine, Algérie, 150 p.
- Rey J-Y. (1998). La noix de cajou en Côte d'Ivoire en forte progression, *FruiTrop*, 51 : 12–13.
- RGPH, 2014a. Répertoire des localités. Institut national de statistique, région du Béré. (INS), 29p.
- RGPH, 2014b. Répertoire des localités. Institut national de statistique, région du Gontougo. (INS), 50p.
- Ricau P. (2013). Connaître et Comprendre le marché international de l'anacarde. : 49 p.
- Richard O., Toé A.M., Ilboudo S. & Guissou PI. (2014). Risk of workers exposure to pesticides during mixing/loading and supervision of the application in sugarcane cultivation in Burkina Faso. *International Journal of Environmental Science and Toxicology Research*, 2(7) : 143-151.
- Rico R., Bulló M. & Salas-Salvadó J. (2016). Nutritional composition of raw fresh cashew (*Anacardium occidentale* L.) kernels from different origin. *Food Science & Nutrition*, 4(2) : 329-338.
- Rodrigues I. & Naehrer K. (2012). A three-year survey on the worldwide occurrence of mycotoxins in feed stuffs and feed. *Toxins*, 4, 663–75.
- Rongead (2014). Etude sur les mesures incitatives et de protection de l'industrie de l'anacarde en Côte d'Ivoire. Résumé – Atelier 11 et 12 février 2014, 22 p.
- Rougerie G. (1978). L'encyclopédie générale de Côte d'Ivoire : le milieu et l'histoire, Nouvelle édition africaine, Abidjan, Paris, p 33-104.

- Ruf F., Kone S. & Bebo B. (2019). Le boom de l'anacarde en Côte d'Ivoire : transition écologique et sociale des systèmes à base de coton et de cacao. *Cahiers Agricultures*, 28(21) : 1-12.
- Ruf F., Salvan M., Kouamé J. & Duplan T. (2020). Qui sont les planteurs de cacao de Côte d'Ivoire ? *Papiers de recherche*, 1–111.
- Saleh N.L. (2008). Prevention and Control of Fungi Contaminated Stored Pistachio Nuts Imported to Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 15(1) : 105-112.
- Saltini R., Akkerman R. & Frosch S. (2013). Optimizing chocolate production through traceability: A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29: 167-187.
- Samuel O., Dion S., St-laurent L. & April M.-H. (2012). Indicateur de risque des pesticides du Québec – IRPeQ – Santé et environnement. Québec : ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation/ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs/Institut national de santé publique du Québec, 48 p. Consultable sur Internet : <<http://www.mapaq.gouv.qc.ca>>, <<http://www.mddep.gouv.qc.ca>> et <<http://www.inspq.qc.ca>>.
- Schiffers B. & Samb B. (2011). Analyse des risques et autocontrôle en production, Manuel n° 3 : COLEACP/PIP Press. Bruxelles / Belgique : Programme PIP/COLEACP, 154 p.
- Seck M. (2004). Noix de cajou : menace sur la filière africaine. <http://hubrural.org/nois-de-cajou-menace-sur-la.htm> lan (23/05/2017).
- Serra A.-A., Alberto D., Sulmon C., Gouesbet G. & Couée I. (2016). Implications des communautés végétales péri-agricoles dans la dynamique environnementale des pollutions par les pesticides. *Revue d'Ecologie*, 71 : 203–221.
- Simon-Delso N., Martin G.S., Bruneau E., Minsart L.-A., Mouret C. & Hautier L. (2014). Honeybee Colony Disorder in Crop Areas : The Role of Pesticides and Viruses. *PLOS ONE*, 9(7) : 1–16.
- Sirma A.-J. (2013). Sources and levels of human exposure to aflatoxins in nandi country, Kenya. Thèse de Doctorat, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Nairobi, Kenya, 141 p.

- Son D., Somda I., Legreve A. & Schiffers B. (2017). Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement. *Cahiers Agricultures*, 26(2) : 1-6.
- Son D., Zerbo F.K.B., Bonzi S., Legreve A., Somda I. & Schiffers B. (2018). Assessment of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Producers' Exposure Level to Pesticides, in Kouka and Toussiana (Burkina Faso). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2) : 1-17.
- Soro D. (2012). Couplage des procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pommes de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits. Thèse de Doctorat, École doctorale : Sciences des Procédés-Sciences des Aliments, Université de Montpellier, SupAgro (Montpellier, France), 135 p.
- Suleiman R. A., Rosentrater K. A. & B B. (2017). Understanding postharvest practices, knowledge, and actual mycotoxin levels in maize in three agro-ecological zones in Tanzania. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 8(7) : 73–84.
- Sundh I. & Goettel M. (2013). Regulating biocontrol agents : A historical perspective and a critical examination comparing microbial and macrobial agents. *BioControl*, 58 :575-593.
- Tabuc C. (2007). Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Vétérinaire, Institut National Polytechnique de Toulouse et Université de Bucarest, France, 190 p.
- Tarnagda B., Tankoano A., Tapsoba F., Sourabié P.B., Abdoullahi H. O. & Djbrine A. O. (2017). Évaluation des pratiques agricoles des légumes feuilles : le cas des utilisations des pesticides et des intrants chimiques sur les sites maraîchers de Ouagadougou, Burkina Faso. *Journal of Applied Biosciences*, (117) : 11658-68.
- Telascrea M., Leao A., Ferreira M., Pupo H., Cherian B. & Narine S. (2014). Use of a Cashew Nut Shell Liquid Resin as a Potential Replacement for Phenolic Resins in the Preparation of Panels – A Review. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 604 : 222–232.
- Tola M. & Kebede B. (2016). Occurrence, importance and control of mycotoxins: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1) : 1191103.

- Tomenson J.A. & Matthews G.A. (2009). Causes and types of health effects during the use of crop protection chemicals: data from a survey of over 6,300 smallholder applicators in 24 different countries. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82(8) : 935-949.
- Torres A.M., Barros G.G., Palacios S.A., Chulze S.N. & Battilani P. (2014). Review on pre- and post-harvest management of peanuts to minimize aflatoxin contamination. *Food Research International*, 62 : 11-19.
- Touré M., Faye E., Malou G., Diatta M., Arona S., Samba N. & Gassama Y. (2018). Traits morphométriques et germination des noix de *Anacarde occidentale* L. au Sénégal. *Afrique SCIENCE* 14(2) : 215-226.
- Tournas V., Niazi N. & Kohn J. (2015). Fungal Presence in Selected Tree Nuts and Dried Fruits. *Microbiology Insights*, 1-6.
- Trabelsi M. (2017). Comment mesurer la performance agroécologique d'une exploitation agricole pour l'accompagner dans son processus de transition ? Thèse De Doctorat, Université Paul Valéry - Montpellier III (Montpellier, France), 248 p.
- Trox J., Vadivel V., Vetter W., Stuetz W., Scherbaum V., Gola U., Nohr D. and H.K. Biesalski. 2010. Bioactive compounds in cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) kernels : effect of different shelling methods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58(9) : 5341–5346.
- Tyagi H., Gautam T. & Prashar P. (2015). Survey of pesticide use patterns and farmers' perceptions : A case study from cauliflower and tomato cultivating areas of district Faridabad, Haryana. *Indian International Journal MediPharm Research*. 1(3), 139-146.
- Udomkun P., Wiredu A.N., Nagle M., Müller J., Vanlauwe B. & Bandyopadhyay R. (2017). Innovative technologies to manage aflatoxins in foods and feeds and the profitability of application - A review. *Food Control*, 76 : 127-138.
- Varga J., Baranyi N., Chandrasekaran M. & Vágvölgyi C. (2015). Mycotoxin producers in the *Aspergillus* genus: an update. *Acta Biologica Szegediensis*, 59, 151-167.
- Velmurugan P., Iydroose M., Lee S.-M., Cho M., Park J.-H., Balachandar V. & Oh B.-T. (2014). Synthesis of Silver and Gold Nanoparticles Using Cashew Nut Shell Liquid and

- Its Antibacterial Activity Against Fish Pathogens. *Indian Journal of Microbiology*, 54(2) : 196–202.
- Visalakshi M., Jawaharlal M. & Ganga M. (2015). Intercropping in cashew orchards. *Acta Horticulturae*, (1080) : 295-298.
- Vitali M., Protano C., Del Monte A., Ensabella F. & Guidotti G. (2009). Operative modalities and exposure to pesticides during open field treatments among a group of agricultural subcontractors. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 57(1) : 193-202.
- Waliyar F., Osiru M., Sudini H. & Njoroge S.M.C. (2013). Reducing Aflatoxins in Groundnuts through Integrated Management and Biocontrol. *In : Aflatoxins - finding solutions for improved food safety, International Food Policy Research Institute*, 1-2.
- Wall K.D. (2011). The kaplan and garrick definition of risk and its application to managerial decision problems 15 p.
- Wallis N.Z., Bagnan M.A., Akossou A.Y.J. & Kanlindogbe C.B. (2016). Caractérisation morphologique d'une collection de fruits d'anacardier provenant de la commune de Parakou (Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(6) : 2413-2422.
- Wognin A.S., Ouffoue S.K., Assemam E.F. & Tano K. (2013). Perception des risques sanitaires dans le maraîchage à Abidjan, Côte d'Ivoire. *International Journal of Biology and Chemical Sciences* 7(5), 1829–1837.
- Wu J., Zhang Y. & Mu Z. (2014). Predicting Nucleosome Positioning Based on Geometrically Transformed Tsallis Entropy. *PLOS ONE*, 9(11) : 16.
- Xuehua A., Liu X., Jiang J., Lv L., Wang F., Wu S. & Zhao X. (2020). Exposure risks to pesticide applicators posed by the use of electric backpack sprayers and stretcher-mounted sprayers in orchards. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 26(8): 2288-2301.
- Yao K.S.A., Kimse M., Soro D. & Fantodji A. (2013). Effet de l'incorporation de la noix de cajou dans les rations alimentaires sur les performances de croissance des porcs : phases post-sevrage et de croissance. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(2) : 479-488.

- Yao S.K., Kouadio J.H., Yéboué-kouamé B., Soya J. & Assanvo J.E. (2020). Study of pesticides use conditions in cashew production in Côte d'Ivoire. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, 12(1) : 1-9.
- Yasmin S. & D'Souza D. (2010). Effects of Pesticides on the Growth and Reproduction of Earthworm : A Review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2010 : 1–10.
- Yiannikouris A. & Jouany J-P. (2002). Les mycotoxines dans les aliments des ruminants, leur devenir et leurs effets chez l'animal, *INRA Productions Animales*, 15(1) : 3–16.
- Yılmaz I. & Aluc M. (2014). Determination of aflatoxin levels in cashews on turkish markets. *Foodbalt 2014*, short communication, 1-4.
- Zhu W., Schmehl D.R., Mullin C.A. & Frazier J.L. (2014). Four Common Pesticides, Their Mixtures and a Formulation Solvent in the Hive Environment Have High Oral Toxicity to Honey Bee Larvae. *PLOS ONE*, 9(1) : 1–10.

ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire d'enquête

Janvier-mars 2018 - UJLoG

Questionnaire élaboré en vue de comprendre l'impact des pratiques pré et post-récoltes sur la qualité des noix de cajou brutes produites en Côte d'Ivoire.

I. EN-TÊTE

1. Date	<input type="text"/>
2. Nom de l'enquêteur	<input type="text"/> <input type="text"/>
3. Contact	<input type="text"/>
4. Région	<input type="checkbox"/> 1. Béré <input type="checkbox"/> 2. Hambol <input type="checkbox"/> 3. Gontougo
5. Département	<input type="text"/>
6. Sous-préfecture	<input type="text"/>
7. Village	<input type="text"/>

II. IDENTIFICATION DEL'ENQUÊTÉ

8. Contact enquêté	<input type="text"/>
9. Age	<input type="text"/>
10. Sexe	<input type="checkbox"/> 1. Masculin <input type="checkbox"/> 2. Féminin
11. Profession	<input type="text"/> <input type="text"/>
12. Niveau d'instruction	<input type="checkbox"/> 1. Aucun <input type="checkbox"/> 2. primaire <input type="checkbox"/> 3. Secondaire <input type="checkbox"/> 4. Bac et + <input type="checkbox"/> 5. Ecole coranique
13. Langue d'alphabétisation	<input type="checkbox"/> 1. Français <input type="checkbox"/> 2. Langue locale
14. Quelle est la population totale de l'exploitation ?	<input type="text"/>
15. Quel est le nombre des hommes actifs dans l'exploitation?	<input type="text"/>
16. Quel est l'age des hommes actifs	<input type="text"/> <input type="text"/>
17. Quel est le nombre des femmes actives dans l'exploitation?	<input type="text"/>
18. Quel est l'age des femmes actives	<input type="text"/> <input type="text"/>
19. Quel est le nombre des enfants actifs dans l'exploitation?	<input type="text"/>

20. Quel est l'age des enfants actifs	
21. Utilisez-vous une main d'œuvre extérieure?	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. non
22. Quel est le nombre moyen de la main d'oeuvre extérieure?	<input type="text"/>
23. Quelle est l'origine de la main d'œuvre extérieure?	<input type="checkbox"/> 1. Autochtone <input type="checkbox"/> 2. Allochtone (origine étrangère)
24. À quel groupe ethnique appartiennent-ils ? (Autochtone)	
25. À quel groupe ethnique appartiennent-ils ? (Allochtone)	

III. QUESTIONNAIRE I (PRATIQUES PHYTOSANITAIRES)

26. Comment faites-vous l'entretien de votre champ?	<input type="checkbox"/> 1. Désherbage mécanique régulier <input type="checkbox"/> 2. Traitement par produits phytosanitaire
27. quels sont les mois dans lesquels vous faites les traitements herbicides ?	<input type="checkbox"/> 1. janv <input type="checkbox"/> 2. févr <input type="checkbox"/> 3. mars <input type="checkbox"/> 4. avril <input type="checkbox"/> 5. mai <input type="checkbox"/> 6. juin <input type="checkbox"/> 7. juil <input type="checkbox"/> 8. août <input type="checkbox"/> 9. sept <input type="checkbox"/> 10. octobre <input type="checkbox"/> 11. nov <input type="checkbox"/> 12. déc
28. quels sont les mois dans lesquels vous faites les traitements insecticides ?	<input type="checkbox"/> 1. janv <input type="checkbox"/> 2. févr <input type="checkbox"/> 3. mars <input type="checkbox"/> 4. avril <input type="checkbox"/> 5. mai <input type="checkbox"/> 6. juin <input type="checkbox"/> 7. juil <input type="checkbox"/> 8. août <input type="checkbox"/> 9. sept <input type="checkbox"/> 10. octobre <input type="checkbox"/> 11. nov <input type="checkbox"/> 12. déc
29. quels sont les mois dans lesquels vous faites les traitements fongicides?	<input type="checkbox"/> 1. janv <input type="checkbox"/> 2. févr <input type="checkbox"/> 3. mars <input type="checkbox"/> 4. avril <input type="checkbox"/> 5. mai <input type="checkbox"/> 6. juin <input type="checkbox"/> 7. juil <input type="checkbox"/> 8. août <input type="checkbox"/> 9. sept <input type="checkbox"/> 10. octobre <input type="checkbox"/> 11. nov <input type="checkbox"/> 12. déc
30. Quelles sont les fongicides utilisés dans l'exploitation ? .	
31. Quelles sont les insecticides utilisés dans l'exploitation ?	
32. Quelles sont les herbicides utilisés dans l'exploitation ? .	
33. Quelle quantité de fongicide utilisez-vous au cours d'une saison agricole?	
34. Quelle quantité d'insecticide utilisez-vous au cours d'une saison agricole?	
35. Quelle quantité d'herbicide utilisez-vous au cours d'une saison agricole?	
36. Quel est l'état physique des fongicides respectifs que vous utilisez au cours d'une saison agricole?	<input type="checkbox"/> 1. granulé <input type="checkbox"/> 2. liquide <input type="checkbox"/> 3. poudre
37. Quel est l'état physique des insecticides respectifs que vous utilisez au cours d'une saison agricole?	<input type="checkbox"/> 1. granulé <input type="checkbox"/> 2. liquide <input type="checkbox"/> 3. poudre
38. Quel est l'état physique des herbicides que vous utilisez au cours d'une saison agricole?	<input type="checkbox"/> 1. granulé <input type="checkbox"/> 2. liquide <input type="checkbox"/> 3. poudre

61. Combien de traitements insecticide faites-vous par saison agricole	<input type="text"/>
62. Combien de traitements herbicide faites-vous par saison agricole	<input type="text"/>
63. A quel moment traitez-vous en général votre plantation ?	<input type="checkbox"/> 1. Après une pluie <input type="checkbox"/> 2. Avant une pluie <input type="checkbox"/> 3. Le soir <input type="checkbox"/> 4. le matin <input type="checkbox"/> 5. Temps ensoleillé <input type="checkbox"/> 6. Temps nuageux <input type="checkbox"/> 7. temps pluvieux <input type="checkbox"/> 8. Temps venteux <input type="checkbox"/> 9. À tout moment
64. Préciser s'il a lieu, le lieu de lavage de l'équipement porté pour pulvériser	<input type="checkbox"/> 1. Au champ <input type="checkbox"/> 2. Dans un point d'eau <input type="checkbox"/> 3. À la maison
65. Si dans un point d'eau, préciser la nature du point d'eau .	<input type="text"/>
66. Si dans un point d'eau, préciser la distance qui sépare le point d'eau du champ.	<input type="text"/>
67. Que faites-vous des emballages vides ?	<input type="text"/>
68. Avez-vous eu des problèmes de santé liés à l'utilisation des pesticides ?	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. Non
69. Si Oui quel type de problème avez-vous eu ?	<input type="text"/>
70. Quelles ont été les circonstances de survenue ?	<input type="checkbox"/> 1. Eclaboussure <input type="checkbox"/> 2. Déversement <input type="checkbox"/> 3. Epannage

IV. QUESTIONNAIRE II (PRATIQUES CULTURALES)

71. Quelle(s) est (sont) le(s) variété(s) que vous cultivez? ..	<input type="checkbox"/> 1. Jaune <input type="checkbox"/> 2. Rouge <input type="checkbox"/> 3. Mixte(jaune+ rouge) <input type="checkbox"/> 4. Violet <input type="checkbox"/> 5. Orange
72. Faites un classement de préférence de ces différentes variétés de cajou sur une échelle de 5.	<input type="checkbox"/> 1. Rouge <input type="checkbox"/> 2. Mixte(jaune+rouge) <input type="checkbox"/> 3. Violet <input type="checkbox"/> 4. Orange <input type="checkbox"/> 5. Jaune
73. Quelle culture annuelle associez-vous régulièrement à votre plantation d'anacarde ?	<input type="text"/>
74. Quel mode semis aviez-vous adopté pour la mise en place de votre plantation ?	<input type="checkbox"/> 1. Pépinière <input type="checkbox"/> 2. Semis direct
75. Où vous procurez-vous les semences?	<input type="checkbox"/> 1. CNRA <input type="checkbox"/> 2. ANADER <input type="checkbox"/> 3. Sélection de noix sur des vergers existants
76. Quelle est votre méthode de récolte?	<input type="checkbox"/> 1. Ramassage de fruits (pomme + noix) complètement mûres et tombés des arbres <input type="checkbox"/> 2. Ramassage de fruits immatures ou présentant des défauts et tombés des arbres <input type="checkbox"/> 3. Mélange de fruit (variété différentes) dans le contenant pendant le ramassage
77. Quelle est votre fréquence de ramassage des noix de cajou?	<input type="text"/>
78. Quel pratique avez-vous au ramassage des fruits (pomme + noix)?	<input type="checkbox"/> 1. Mise en tas des fruits ramassés avant la collecte des noix (de séparer la noix de la pomme) <input type="checkbox"/> 2. Séparation immédiate de la noix de la pomme pendant le ramassage.

79. Si mise en tas, combien de temps met le tas avant de passer à la collecte (séparation des noix de la pomme) ?	_____
80. Quelle technique appliquez-vous pour séparer la noix de la pomme ?	<input type="checkbox"/> 1. Par torsion (séparation en tournant la pomme et la noix dans le sens contraire) <input type="checkbox"/> 2. Par la technique de fil en nylon autour du point d'attache de la noix à la pomme.
81. Après la séparation de la noix de la pomme, réalisez-vous une opération de triage et de nettoyage des noix?	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. Non
82. pourquoi réalisez-vous cette opération ?	_____
83. Sechez-vous les noix après la récolte des noix ?	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. Non
84. Si oui, quelle(s) aire(s) de séchage utilisez-vous ? ...	_____
85. Pendant combien de temps dure le séchage ?	_____
86. Les noix de cajou se trouvant à différents stades de séchage sont-elles mélangées ?	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. Non
87. Réalisez-vous un triage pendant le séchage ?	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. non
88. Réalisez-vous des brassages pendant le séchage ?	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. Non
89. Comment reconnaissez-vous des noix bien sèches ? ...	<input type="checkbox"/> 1. En fonction du nombre de jour d'exposition des noix <input type="checkbox"/> 2. En appuyant fermement la noix avec le pouce. S'il n'y a pas de défoncement, alors la noix est totalement sèche <input type="checkbox"/> 3. Lorsqu'on secoue la noix séchée, cela doit produire un bruit de grelot <input type="checkbox"/> 4. La couleur de la noix paraîtra grise ou marron-léger pour la récolte de la saison sèche et marron-foncé pour la récolte de la saison pluvieuse <input type="checkbox"/> 5. aucune suggestion
90. Si 'autre critère de reconnaissance, précisez :	_____
91. Conditionnez-vous (mise en sac) souvent les noix avant la vente chez les acheteurs	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. Non
92. Comment sont stockés les sacs au magasin ?	<input type="checkbox"/> 1. Par lot <input type="checkbox"/> 2. Par origine <input type="checkbox"/> 3. Par variété <input type="checkbox"/> 4. Sur des palettes <input type="checkbox"/> 5. aucune suggestion
93. Combien de temps peut durée (en mois) le stockage avant la vente	<input style="width: 100px; height: 20px;" type="text"/>
94. Pendant le stockage, il vous arrive souvent de ressécher les noix brutes contenues dans les sacs ?	<input type="checkbox"/> 1. Oui <input type="checkbox"/> 2. Non <input type="checkbox"/> 3. Ne sait pas
95. Si oui, combien de fois le faites-vous dans le mois ? ...	<input type="checkbox"/> 1. 1fois <input type="checkbox"/> 2. 2fois <input type="checkbox"/> 3. 3fois <input type="checkbox"/> 4. 4fois <input type="checkbox"/> 5. souvent

Annexe 2 : Caractéristiques du matériel chromatographique utilisé pour le dosage des acides gras

Tableau 1 : Caractéristiques du matériel chromatographique utilisé pour le dosage des acides gras

Appareil GC- FID : modèle HP 6890

Gaz vecteur : hydrogène, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO

Colonne : colonne capillaire HP-INNOWax ; PEG réticulé ; 30,0 m de longueur, 0,32 mm de diamètre intérieur et 0,50 μm d'épaisseur de film

Supelco SP-2560, 100 m, 0.25 mm diamètre intérieur, 0.2 μm épaisseur du film,

Logiciel HP Chemstation Rev.09.01 : acquisition, stockage et traitement des données informatiques

Annexe 3 : Caractéristique de matériel chromatographique et extraction du glyphosate et du 2,4-D

2. Caractéristiques du matériel chromatographique utilisé pour le dosage des résidus de pesticides (glyphosate et 2,4-D)

Appareil HPLC : modèle Shimadzu *PROMINENCE* (Kyoto, Japon) ;

Interface appareil-ordinateur : modèle DGU-20A ; traduisant les instructions de l'ordinateur en langage machine

Four : type CTO-20A ; fixant la température d'analyse et contenant la colonne qui sépare les composés

Réservoir : réservoir TRAY

Dégazeur : modèle DGU-20A5

Injecteur : injecteur automatique des échantillons SIL-20A

Pompe : pompe 20-AT ; faisant circuler les phases mobiles

Colonne : type VP C18

Détecteur : Détecteur UV SPD-20A et fluorimétrique RF-10AXL

Longueur d'onde (λ) : 254 nm (glyphosate), 228 nm (2,4-D)

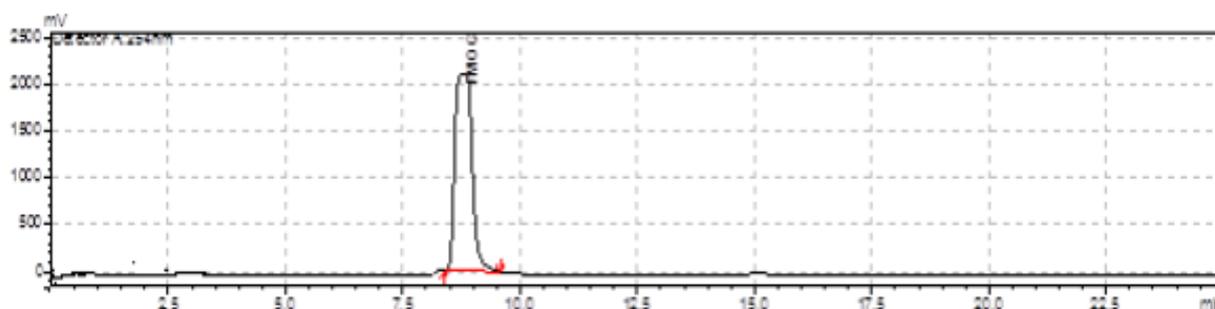
Logiciel LC-SOLUTIONS : acquisition, stockage et traitement des données informatiques

3. Détermination des teneurs en résidus de pesticides

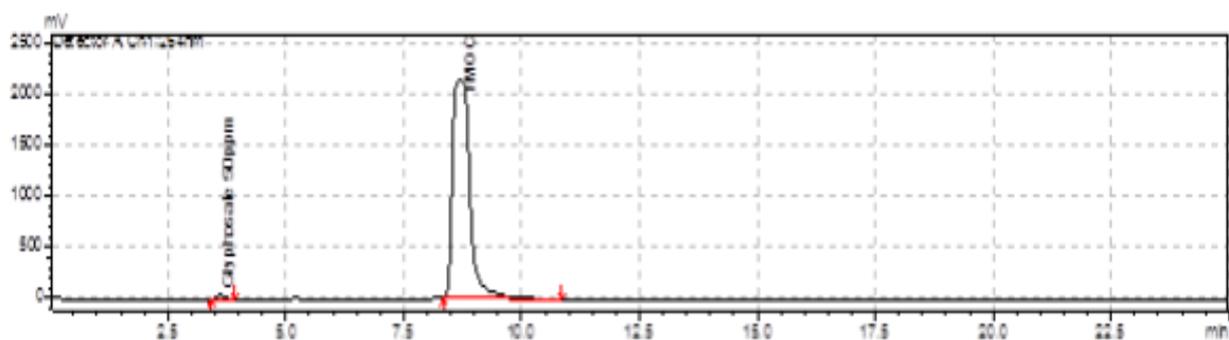
3.1. Cas du glyphosate

3.1.1. Etalonnage

3.1.1.1. Identification du pic

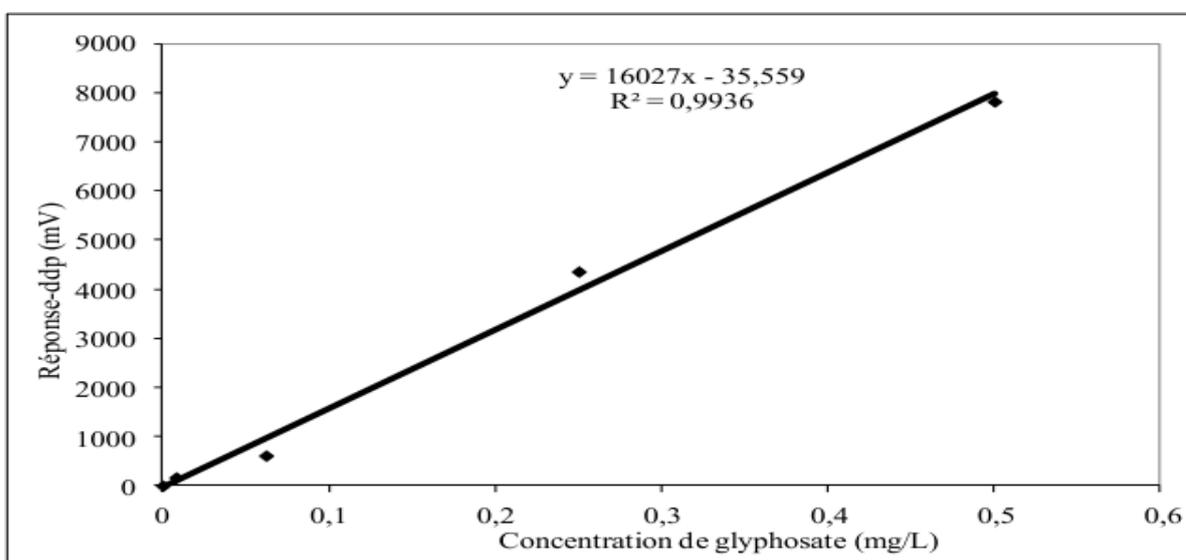


Pics d'identification du glyphosate (solution du blanc)



Etalon du glyphosate 16,67 ppm (mg/l)

3.1.1.2. Droite d'étalonnage (Niveaux 0,00 ; 0,016 ; 0,25 ; 0,5 et 1 ppm)

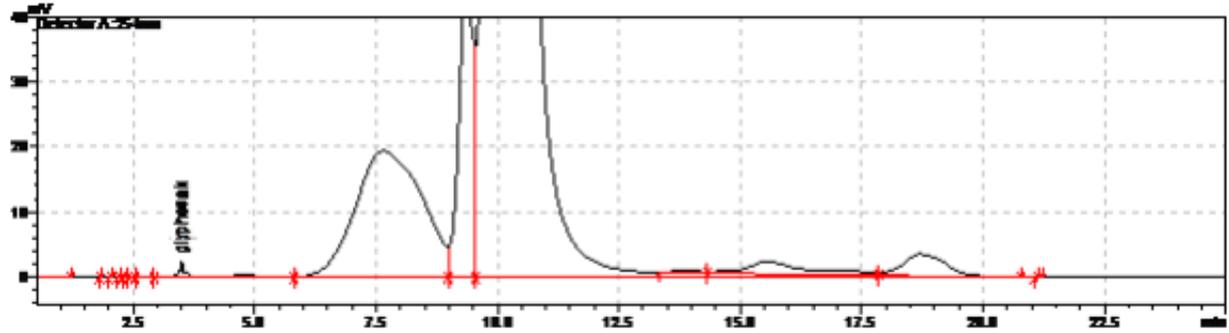


3.1.2. Analyse des 9 échantillons (LQ=0.097 mg/Kg ; LMR = 0,1ppm Codex Alimentarius)

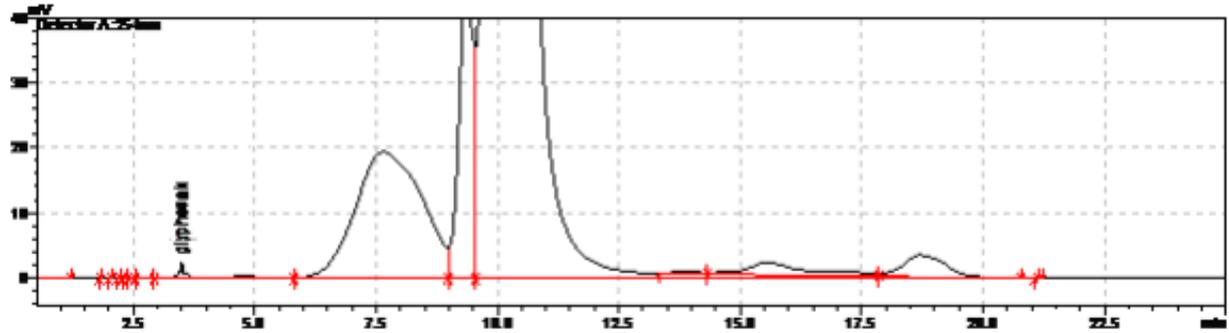
Echantillon	Surface Y	Équation de la droite	Concentration lue C ₀ (µg/ml)	Concentration finale C _{finale} (mg/Kg)
BK1	92,716	Y = 16027 × C ₀ -35,5	0,005	0,05
BK2	60,662	Y = 16027 × C ₀ -35,5	0,006	0,06
BK3	0	Y = 16027 × C ₀ -35,5	ND	ND
DK1	76,689	Y = 16027 × C ₀ -35,5	0,007	0,07
DK2	92,716	Y = 16027 × C ₀ -35,5	0,008	0,08
DK3	108,743	Y = 16027 × C ₀ -35,5	0,009	0,09
MK1	44,635	Y = 16027 × C ₀ -35,5	0,008	0,08
MK2	60,662	Y = 16027 × C ₀ -35,5	0,006	0,06
MK3	76,689	Y = 16027 × C ₀ -35,5	0,007	0,07

3.1.3. Les chromatogrammes

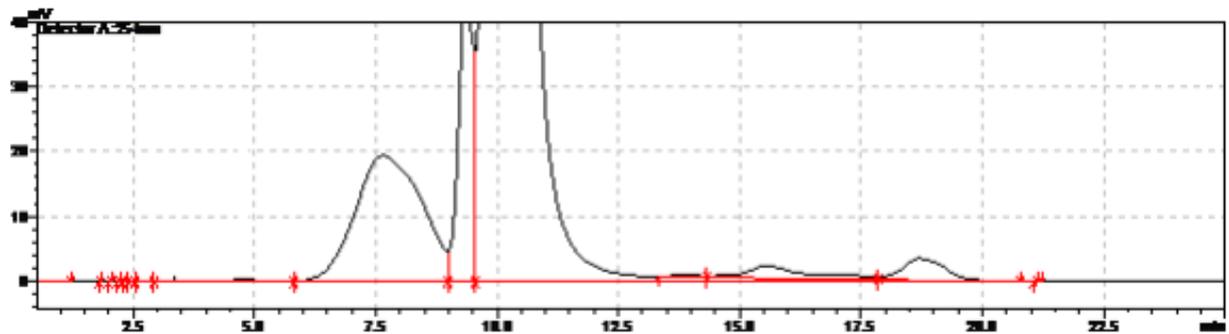
BK1



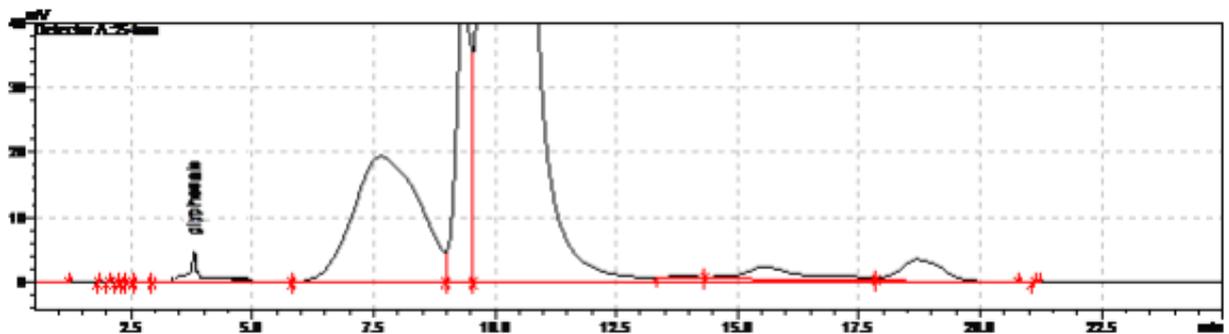
BK2



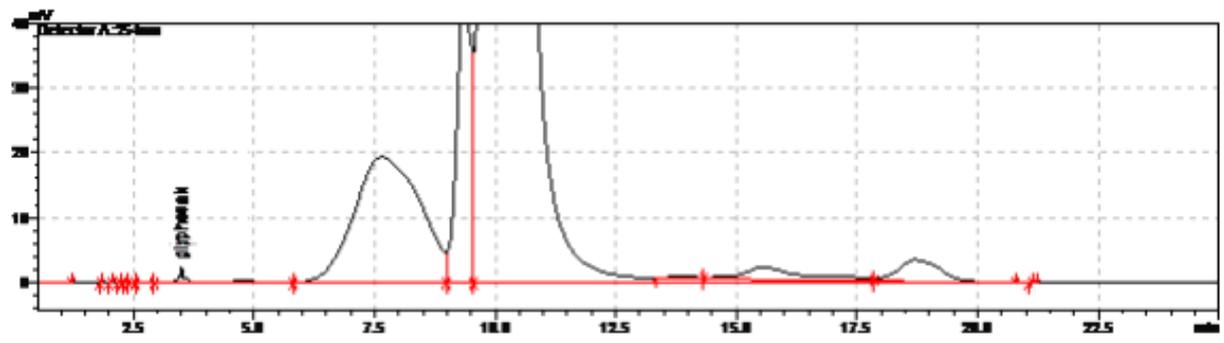
BK3



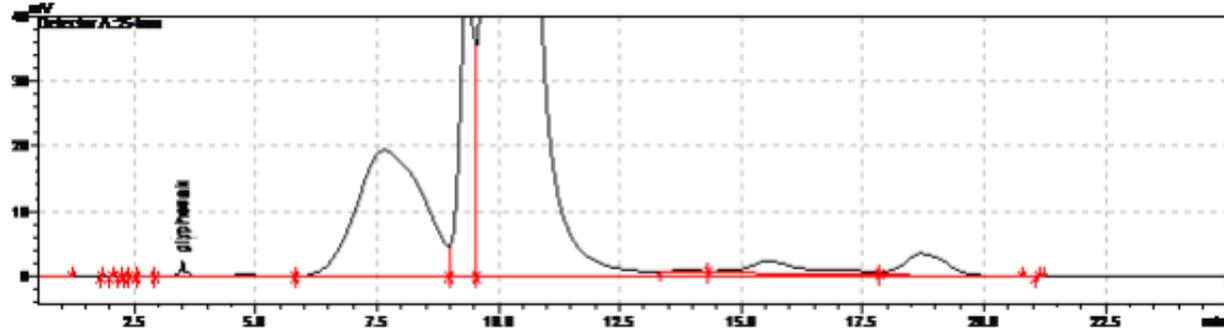
MK1



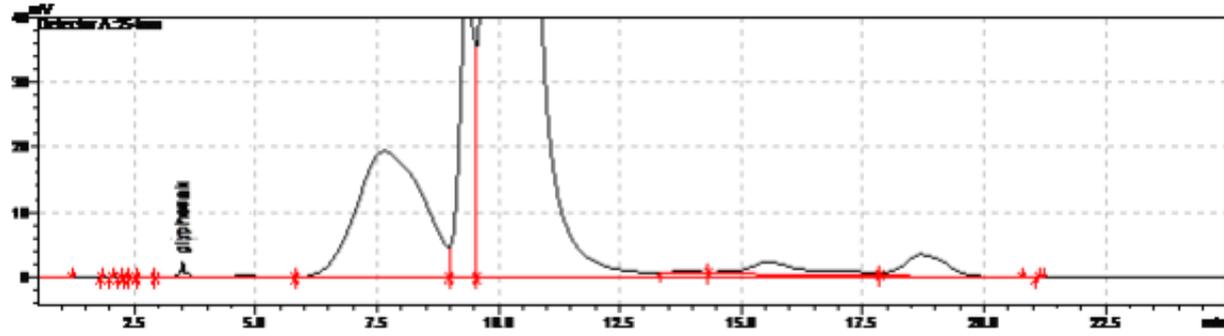
MK2



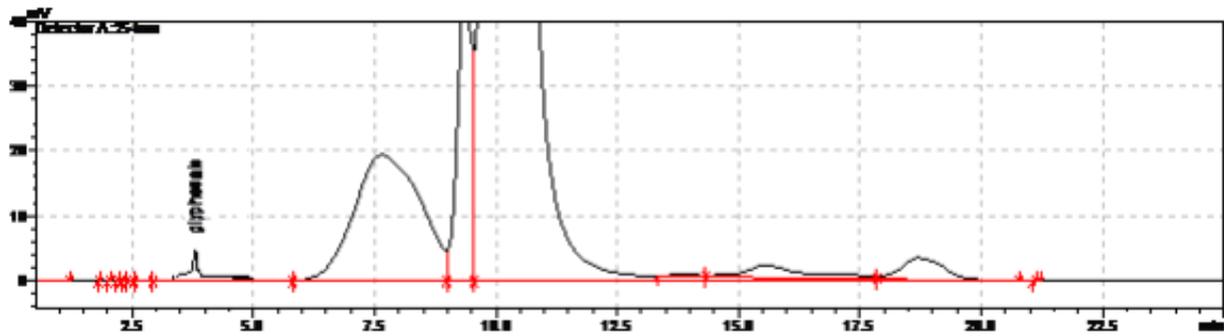
MK3



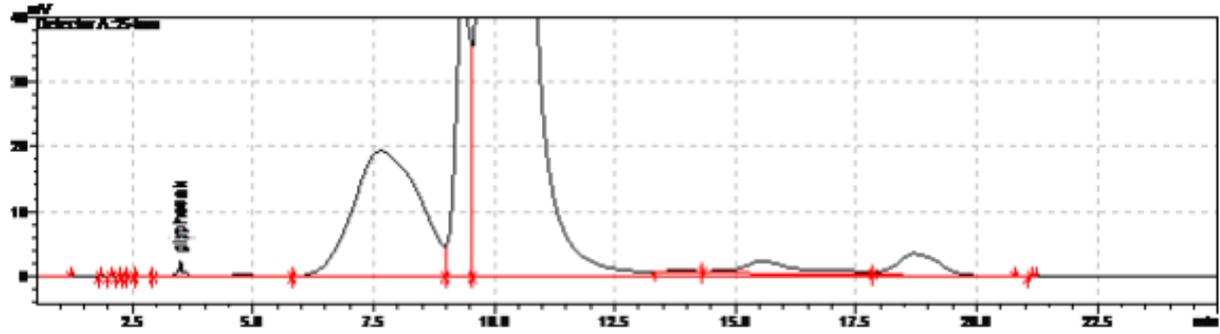
DK1



DK2



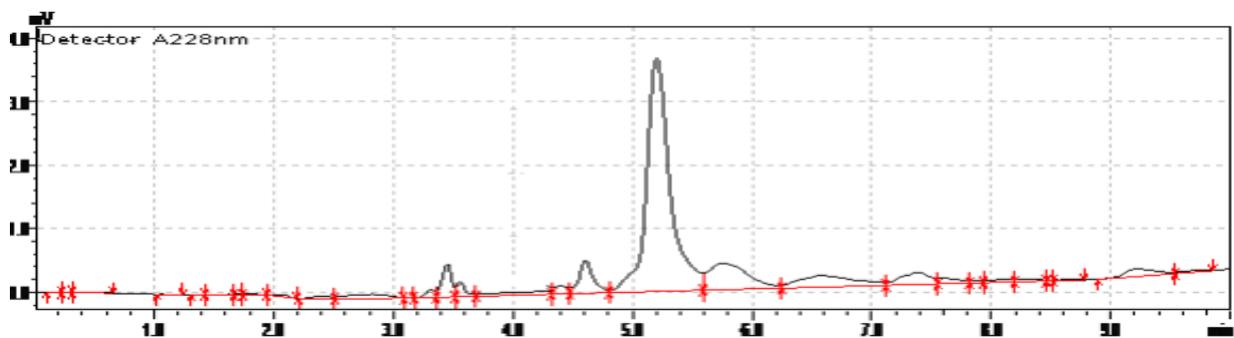
DK3



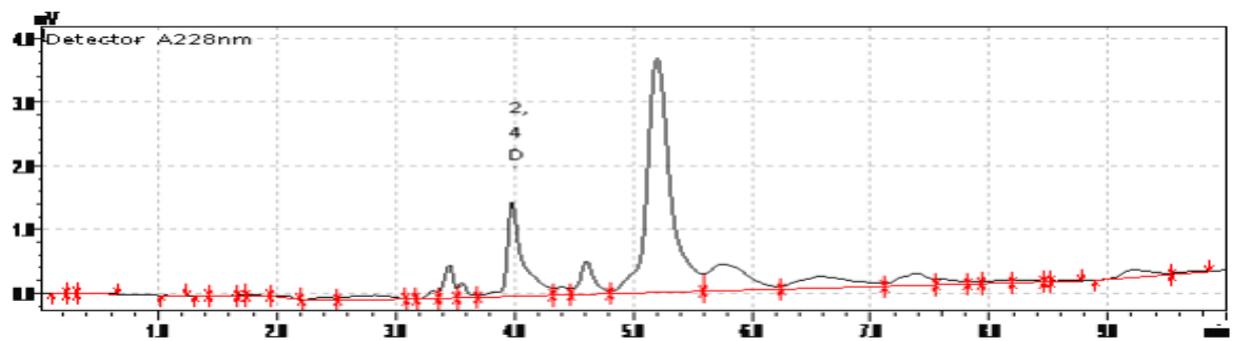
3.2. Cas du 2,4-D

3.2.1. Étalonnage

3.2.1.1. Identification du pic

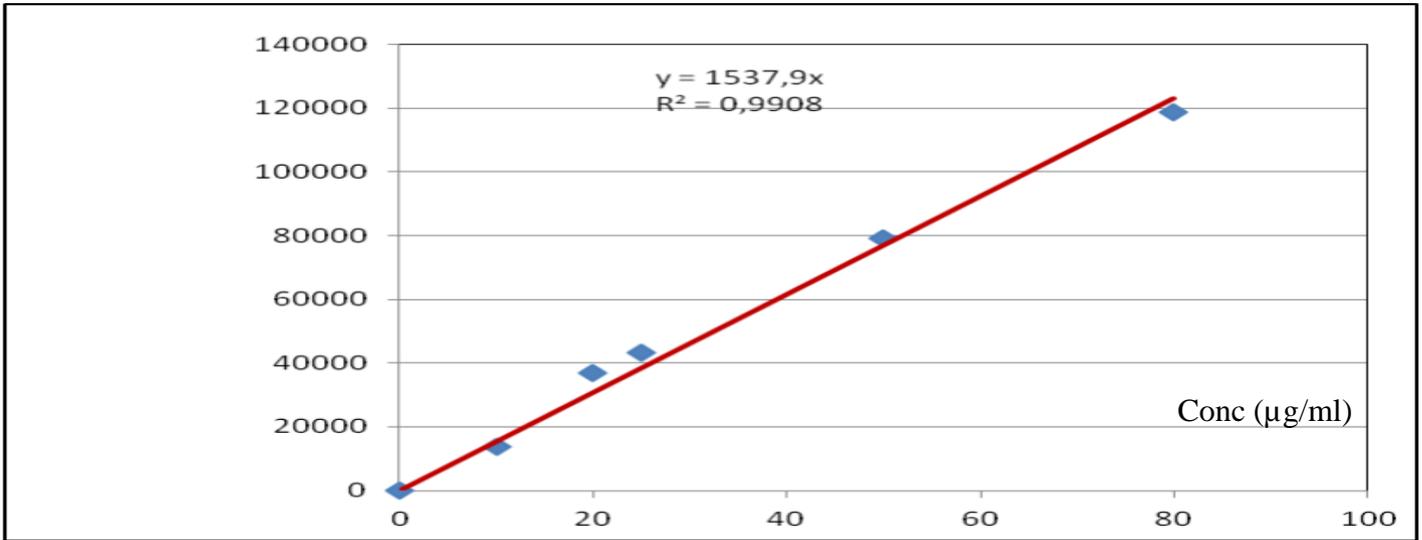


Pic du blanc (ACN)



Pic de l'étalon du 2,4D 25 ppm

3.2.1.2. La droite de calibration (Niveaux : 0,00 ; 10 ; 20 ; 25 ; 50 et 80 µg/ml)

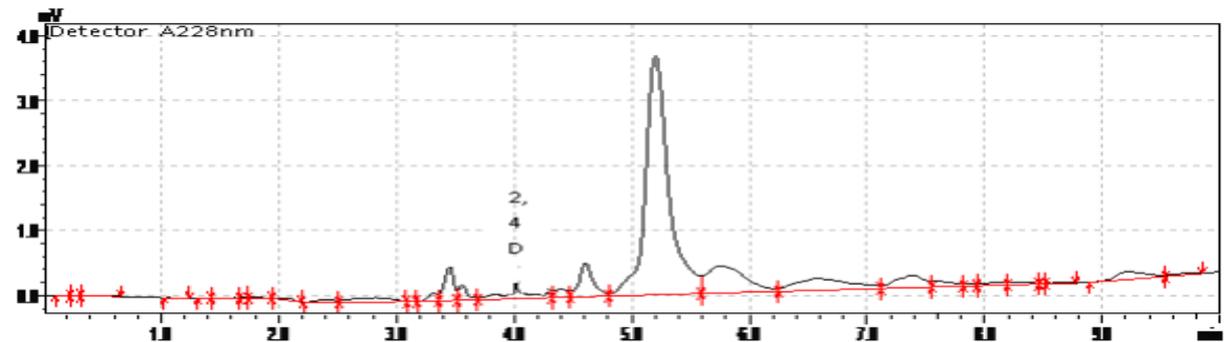


3.2.2. Analyse des 9 échantillons (LQ=0,097 mg/Kg ; LMR = 0,2ppm Codex Alimentarius)

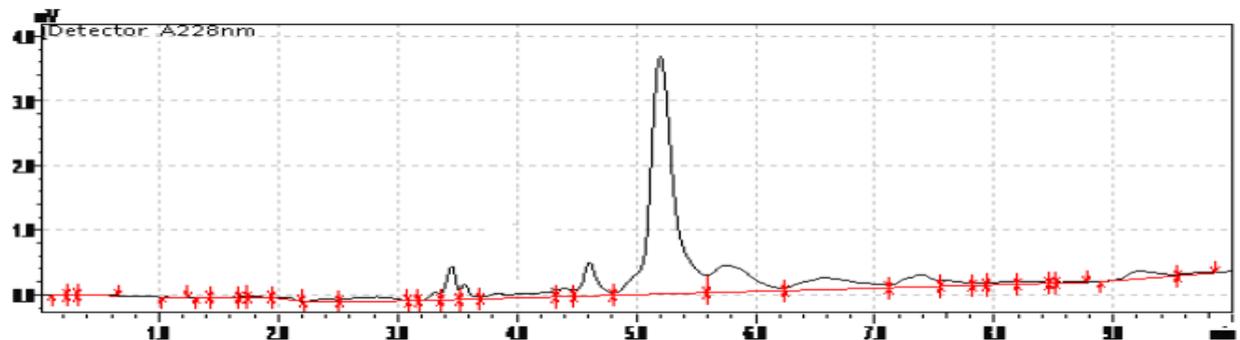
Echantillon	Surface Y	Équation de la droite	Concentration lue $C_0(\mu\text{g/ml})$	Concentration finale $C_{\text{finale}}(\text{mg/Kg})$
BK1	76,895	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,030	0,06
BK2	0,000	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,000	0,00
BK3	53,8265	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,035	0,07
DK1	61,516	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,040	0,08
DK2	76,895	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,050	0,10
DK3	61,516	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,040	0,08
MK1	46,137	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,030	0,06
MK2	53,8265	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,035	0,07
MK3	76,895	$Y = 1537,9 \times C_0$	0,050	0,10

3.2.3. Les chromatogrammes

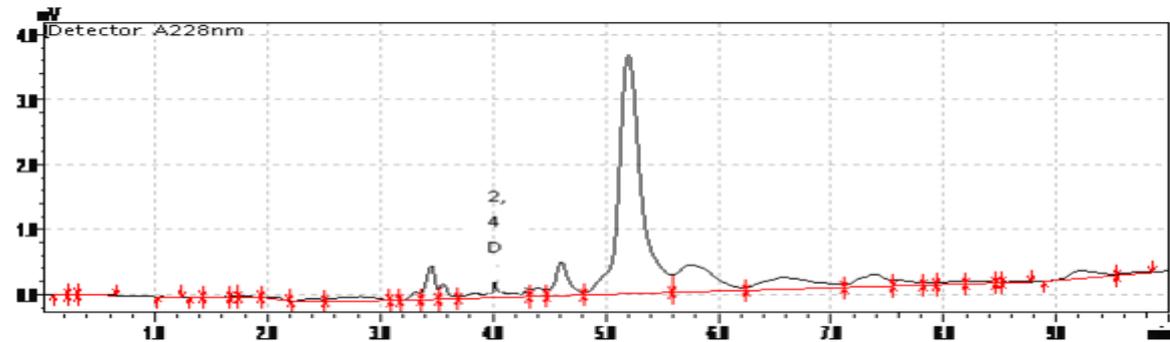
BK1



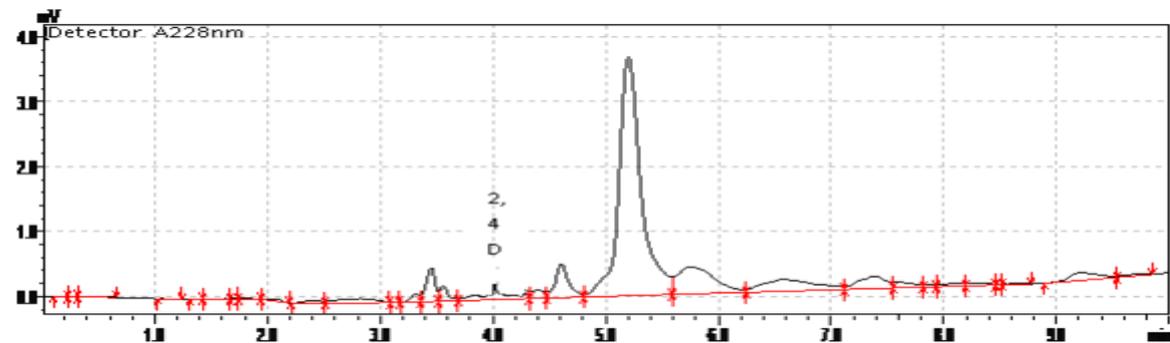
BK2



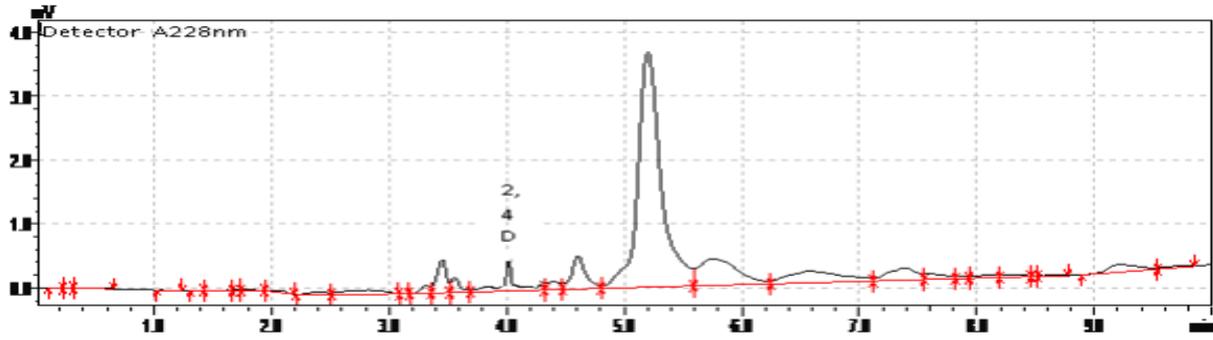
BK3



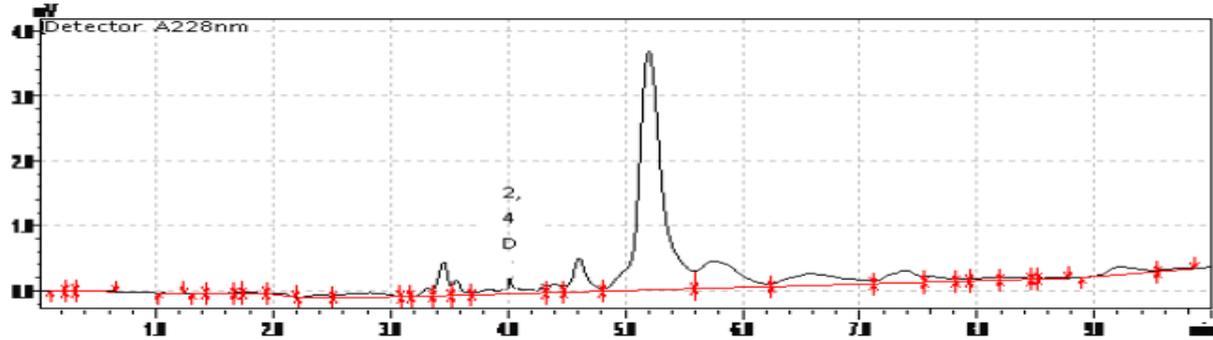
DK1



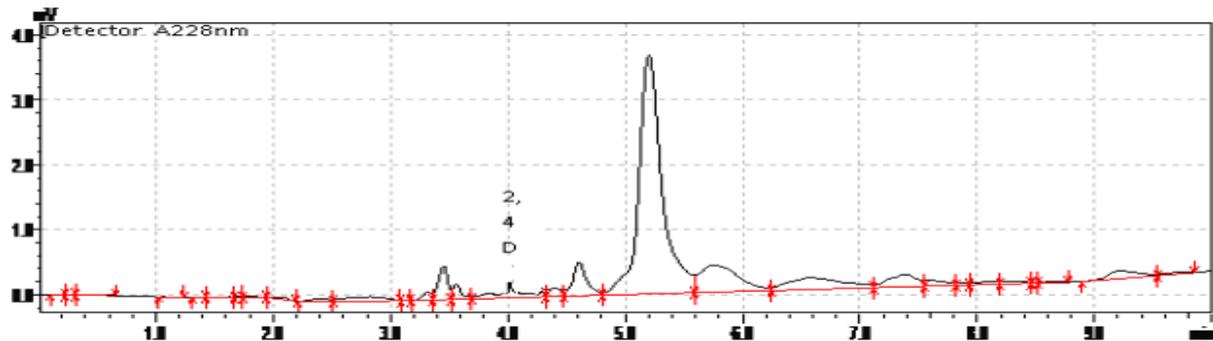
DK2



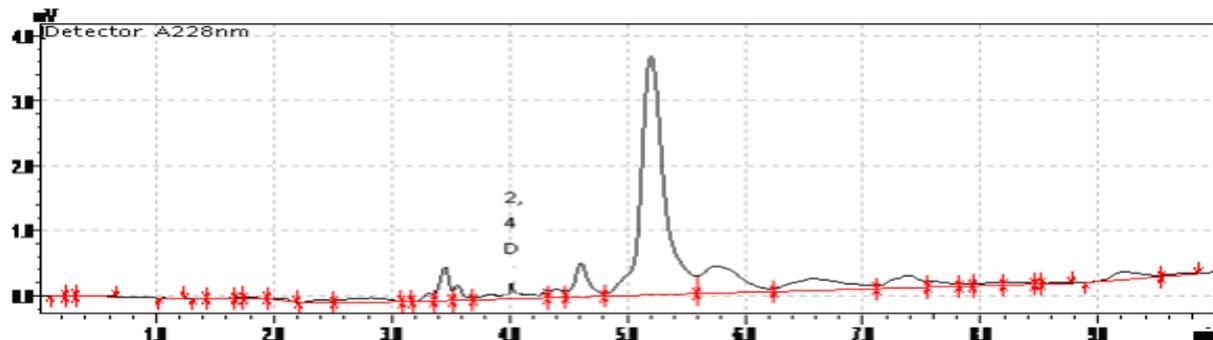
DK3



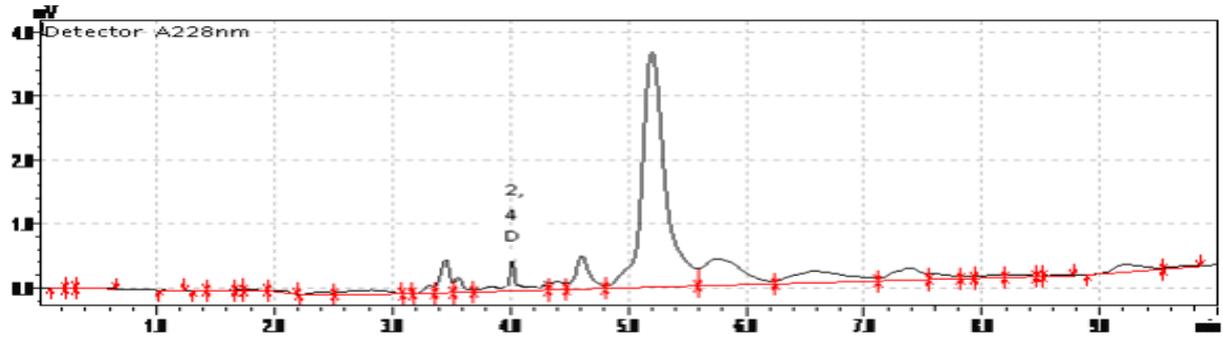
MK1



MK2



MK3



Annexe 4 : Visualisation des teneurs en aflatoxine avec le lecteur Vicam



Figure 1 : Impression des teneurs en aflatoxine des noix de cajou par l'appareil Vicam

Annexe 5 : Extraction des aflatoxines par CLHP

1. Solvants

Les solvants utilisés sont surtout :

- Acetonitrile grade HPLC utilisé comme phase mobile (MERCK) ;
- Méthanol grade HPLC utilisé comme solvant (MERCK).

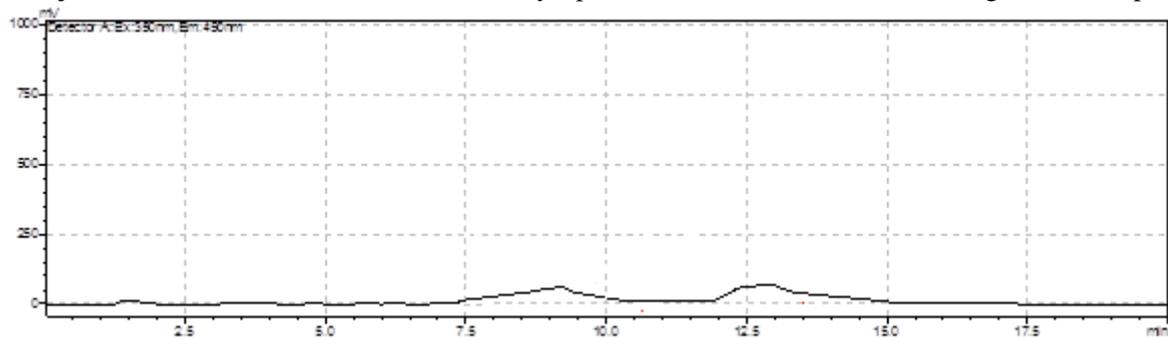
2. Réactifs

Les réactifs utilisés sont surtout :

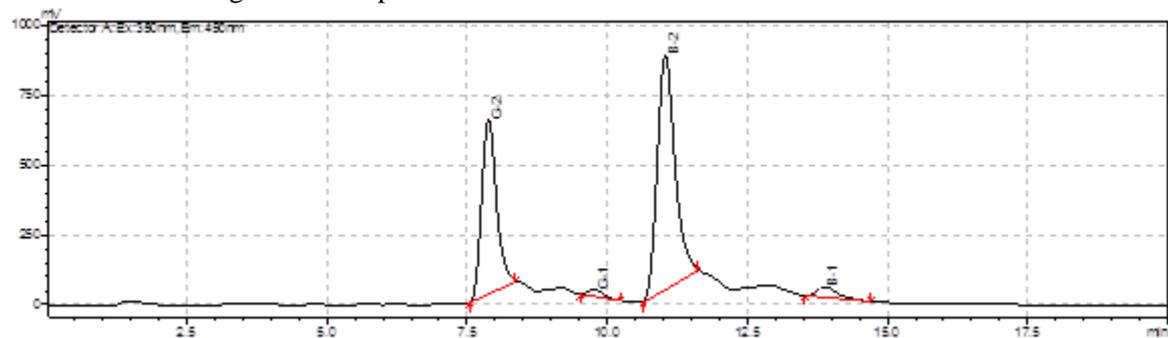
- Standard des Aflatoxines G1, G2, B1 et B2 (98 % de pureté), (Dr. Ehrenstorfer GmbH) ;
- Sulfate anhydre de sodium (Dr. Ehrenstorfer GmbH) ;
- Chlorure de sodium (99 %) (Dr. Ehrenstorfer GmbH) ;
- Acide acétique (Sigma Bioblock Scientific, France),
- Phosphate de potassium dihydrogéné (Fulka, France),
- Hydrogénocarbonate de sodium (Fulka, France)

3. Identification des pics

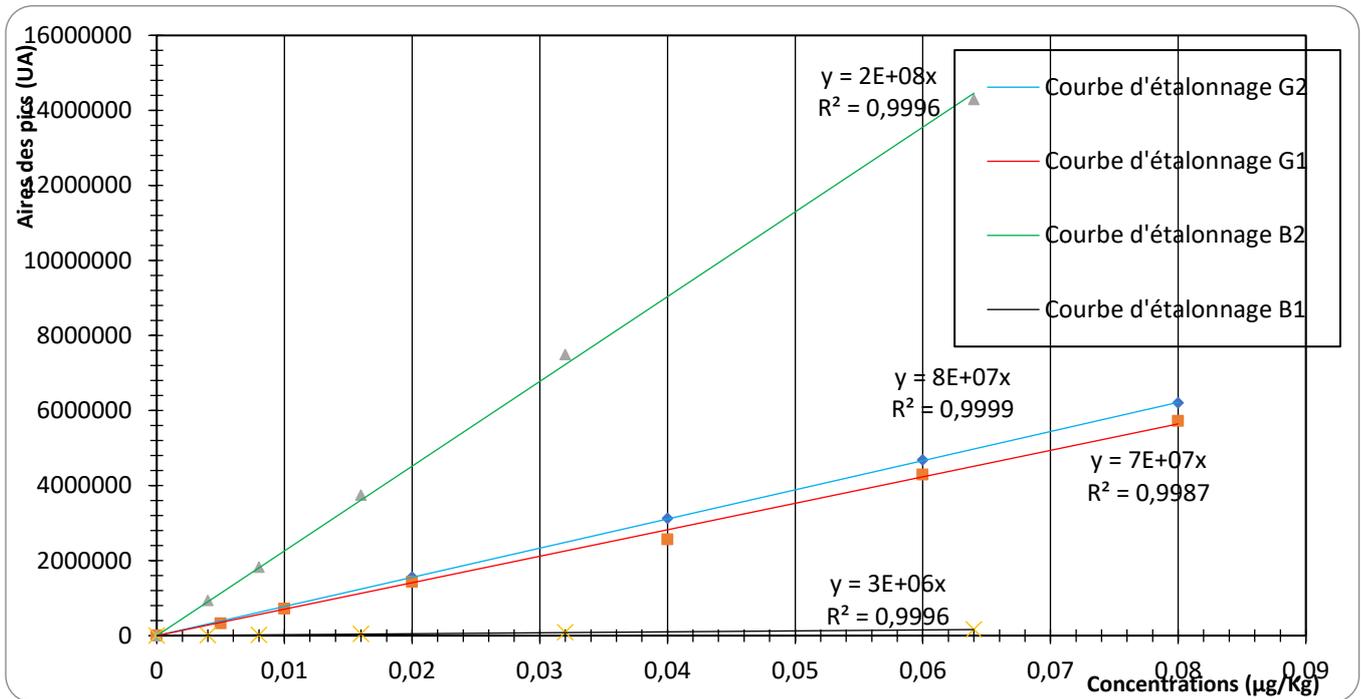
L'injection du blanc dans les conditions analytiques ci-dessus a donné le chromatogramme ci-après.



De même, l'injection de l'étalon mixte de 2,256 µg/Kg dans les conditions analytiques ci-dessus a donné le chromatogramme ci-après.

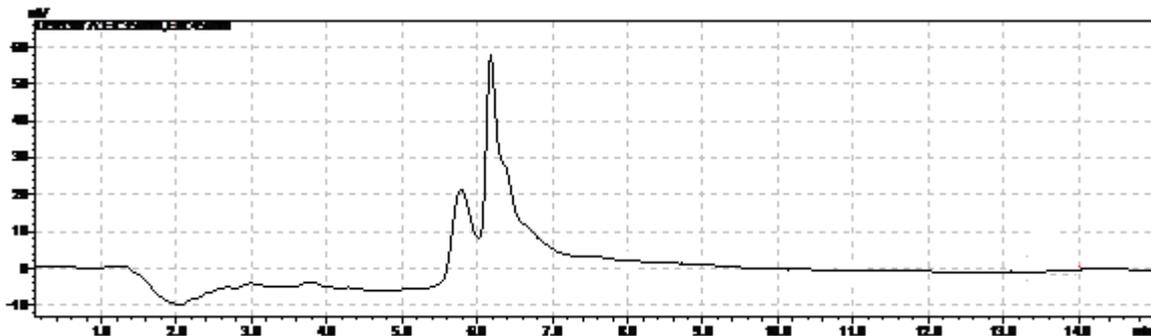


4. Courbes d'étalonnage des aflatoxines

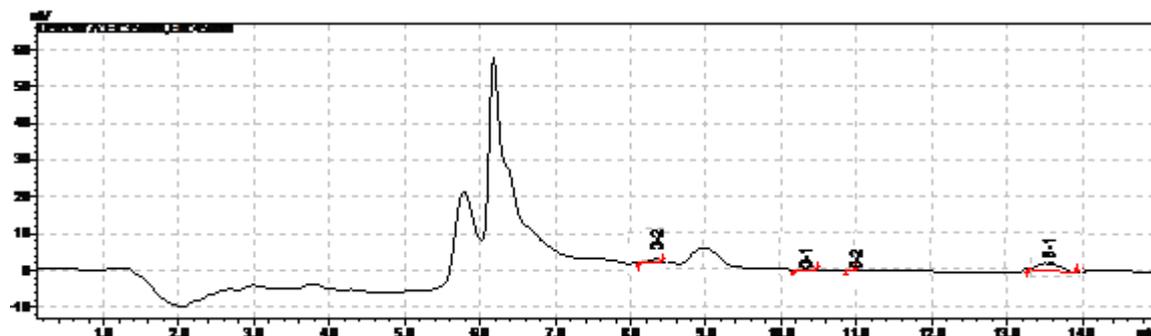


5. Les chromatogrammes

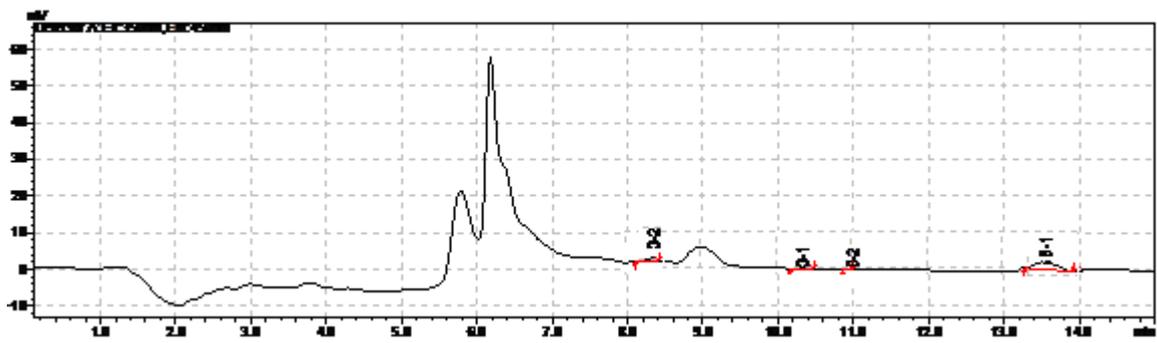
Claie



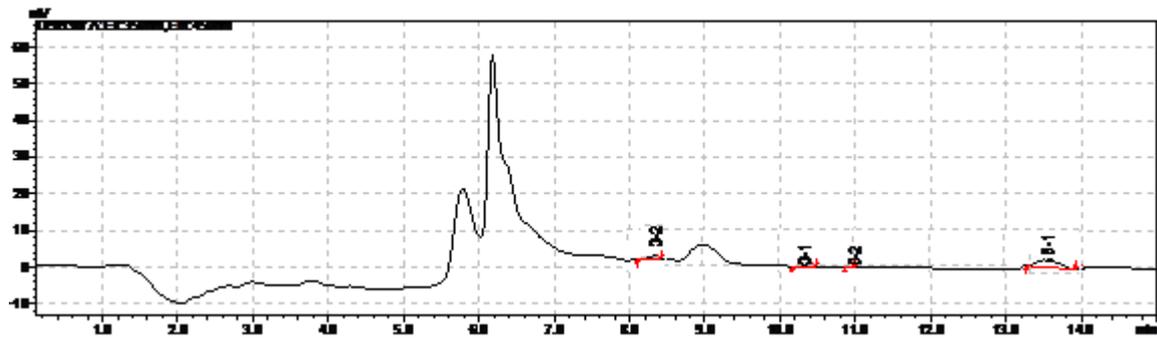
Bâche



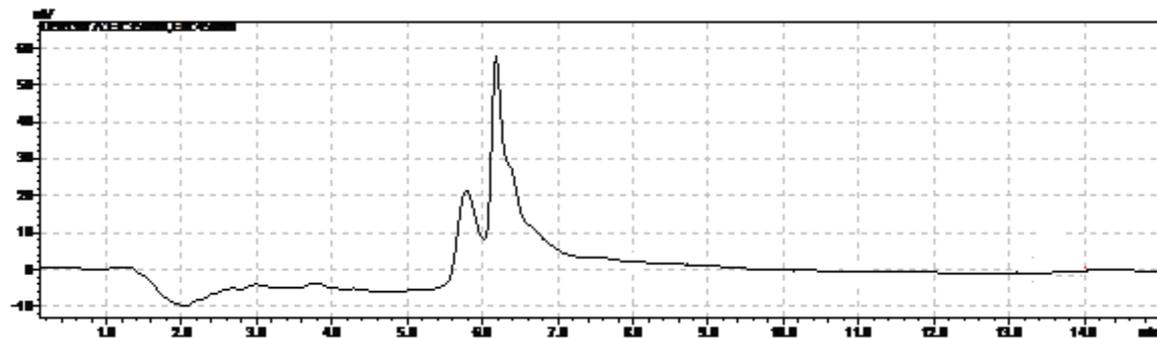
Sachet noir



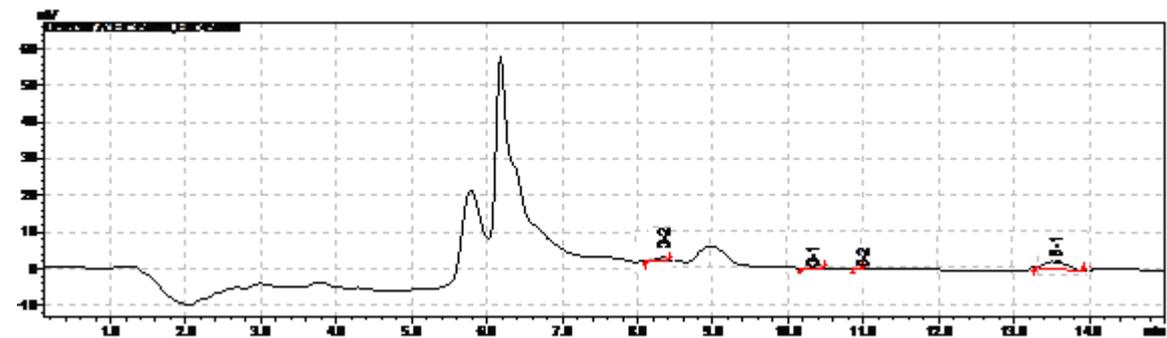
Aire cimentée



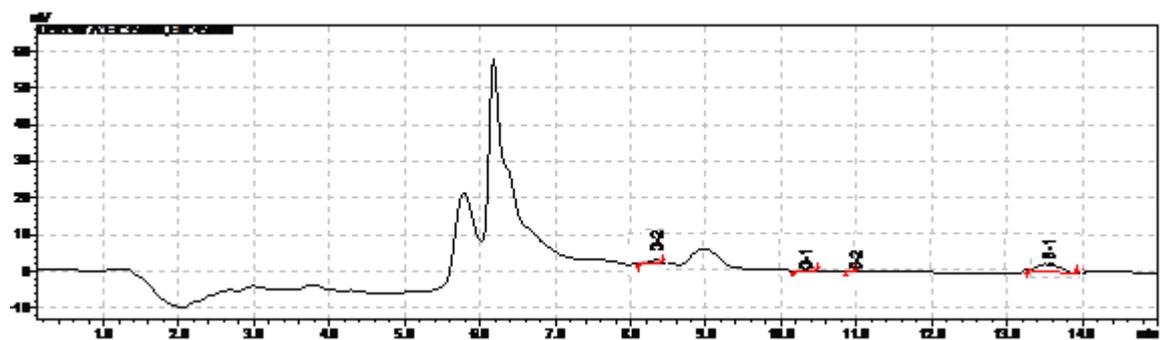
2 Jours



3 Jours



7-Jours



Annexe 6 : Détermination des indicateurs de risque des pesticides du Québec (IRPeQ)

L'indicateur de risque des pesticides du Québec « IRPeQ », est un outil qui permet de caractériser les matières actives et les préparations commerciales conçu pour optimiser la gestion des pesticides.

1. Démarche à suivre pour évaluer l'indicateur de risque des pesticides pour la santé (IRPeQ-santé)

L'IRPeQ-santé calcule un indice de risque pour la santé (IRS). Cet indice représente le risque potentiel d'une matière active contenue dans une préparation commerciale donnée et selon son utilisation. Une matière active n'a donc pas nécessairement le même IRS d'une préparation commerciale à une autre. En effet, il tient compte de certaines particularités des préparations commerciales et des techniques d'application, tout en considérant les quantités utilisées lors de la détermination du risque des pesticides. De plus, l'IRPeQ-santé tient compte des principaux critères de toxicité aiguë et de toxicité chronique des matières actives ainsi que du potentiel de persistance dans l'environnement et de bioaccumulation dans l'organisme humain.

➤ Détermination de l'indice de risque toxicologique de la matière active (IRT)

L'IRT est déterminé par la sommation des points alloués en fonction des différents critères retenus de toxicité aiguë et de toxicité chronique (tableaux 1 et 2). La somme des risques chroniques est ensuite multipliée par un facteur en lien avec la persistance (FPer) et le potentiel de bioaccumulation chez l'humain. Ce facteur est attribué selon les critères présentés au tableau 3.

Tableau 1 : Critères de toxicité aiguë des matières actives

Toxicité aiguë	Gravité de l'effet				
	Points alloués				
	8	4	2	1	0
Valeur de l'indicateur					
DL ₅₀ orale (mg/kg)	≤ 50	> 50-300	> 300-2000	> 2000	
DL ₅₀ cutanée (mg/kg)	≤ 200	> 200-1000	> 1000-2000	> 2000	
CL ₅₀ inhalation (mg/l)	≤ 0,5	> 0,5-1	> 1-5	> 5	
Irritation cutanée	Sévèrement à extrêmement	Modérément	Légèrement	Très peu ou pas	
Irritation oculaire	Sévèrement à extrêmement	Modérément	Légèrement	Très peu ou pas	
Sensibilisation	Oui	Possible			Non

Tableau 2 : Critères de toxicité chronique des matières actives

Toxicité chronique	Gravité de l'effet					
	Points alloués					
	16	8	4	2	1	0
Valeur de l'indicateur						
cancérogénécité	Cancérogène pour l'humain	Cancérogène probable chez l'humain	Cancérogène possible chez l'humain	Données inadéquates pour l'évaluation du potentiel cancérogène chez l'humain		Cancérogène peu probable chez l'humain
Génotoxicité		Génotoxique chez l'humain	Potentiel génotoxique chez l'humain		Données inexistantes ou insuffisantes	Non génotoxique chez l'humain
Perturbation endocrinienne		Perturbateur endocrinien évident	Perturbateur endocrinien potentiel		Données inexistantes ou insuffisantes	Effets endocriniens peu probables
Reproduction	Effets confirmés chez l'humain	Effets suspectés chez l'humain	Effets confirmés chez l'animal	Effets suspectés Chez l'animal	Données inexistantes ou insuffisantes	Aucun effet rapporté
Développement	Effets confirmés chez l'humain	Effets suspectés chez l'humain	Effets confirmés chez l'animal	Effets suspectés Chez l'animal	Données inexistantes ou insuffisantes	Aucun effet rapporté

Tableau 3 : Facteur tenant compte de la persistance environnementale et du potentiel de bioaccumulation chez l'humain

Classification du potentiel de persistance environnementale et de Bioaccumulation	FPer
Demi-vie au sol > 60 jours ou BCF* \geq 1000	2,5
Demi-vie au sol > 30-60 jours ou $100 \leq$ BCF < 1000	2
Demi-vie au sol \geq 15-30 jours ou $30 \leq$ BCF < 100	1,5
Demi-vie au sol < 15 jours et BCF < 30	1,0

*BCF = $10^{\log BCF}$ où $\log BCF = (0,79 \times \log P_{oe}) - 0,4$

BCF = Facteur de bioaccumulation

P_{oe} = Coefficient de partage octanol-eau.

➤ **Détermination du facteur de pondération pour le type de formulation (FPf) et du facteur de compensation pour tenir compte de la concentration de la matière active dans la préparation commerciale ainsi que de la dose appliquée (FCP)**

Le type de formulation et la concentration de la matière active dans la préparation commerciale ainsi que la dose appliquée représentent des éléments importants de modulation du niveau de risque d'exposition. Il est donc proposé d'introduire un facteur de pondération (FPf) (tableau 4) et de compensation (FCP) (tableau 5) qui tiennent compte de ces variables dans le calcul du risque pour une préparation commerciale. Le facteur (FCP) est déterminé à partir de la dose repère appliquée (DRA) et permet de comparer les produits entre eux sur une base uniforme. La dose repère appliquée (DRA) est d'autant plus important que les étiquettes des différentes préparations commerciales ayant une matière active commune n'ont pas nécessairement toutes les mêmes prescriptions en matière de dose d'application. Elle est déterminée pour chacune des matières actives à partir de l'étiquette de la préparation commerciale. A l'échelle de l'entreprise, la DRA est par défaut la dose maximale pour une préparation commerciale dans une culture donnée. La DRA est exprimée en ml/ha ou g/ha.

❖ *La DRA est celle qui, homologuée dans une culture donnée, donne les valeurs IRS et IRE les plus élevées.*

Tableau 4 : Facteur de pondération lié au type de formulation

Facteur de pondération en fonction du type de formulation (FPf)*	
Pointage alloué en fonction du risque d'exposition	
Faible = 1	Élevé = 2
<ul style="list-style-type: none"> • Comprimé (TA) • Générateur à décharge lente (SR) • Granulés (GR) • Granulés dispersables dans l'eau (WD) • Granulés mouillables (WG) • Granulés solubles (SG) • Organisme vivant (LO) • Particules (PT) • Pâte (PA) • Pâte granulée (DF) • Solide (SO) • Suspension en microcapsules (MS) • Tissu imprégné (IF) • Pastille (PE) 	<ul style="list-style-type: none"> • Concentré émulsifiable ou émulsion (EC) • Liquide (LI) • Poudre (DU) • Poudre mouillable (WP) • Poudre soluble (SP) • Produit sous pression (PP) • Solution (SN) • Suspension (SU)

*Les formulations en sachet hydrosoluble (SH) se verront attribuer un pointage de 1 en raison de leur présentation qui atténue le niveau de risque. Les formulations, liquides ou solides, qui sont conçues pour être libérées sous forme de gaz (GAZ) recevront un pointage de 2.

Tableau 5 : Valeur de FCP en fonction de la DRA

DRA (g ou ml m.a./ha)	
< 2000	≥ 2000
FCP = 0,00075 (DRA) + 0,5	FCP = 2

2. Démarche à suivre pour évaluer l'indicateur de risque des pesticides pour l'environnement (IRPeQ-environnement)

L'IRPeQ-environnement calcule un indice de risque pour l'environnement (IRE) en tenant compte de propriétés physicochimiques et écotoxicologiques des matières actives ainsi que de certaines caractéristiques liées à l'utilisation des préparations commerciales. L'IRPeQ-environnement considère dans le calcul de l'IRE, le facteur d'interception lors de l'application des pesticides, leur potentiel de lessivage et de dérive, etc. Cet indice représente le risque potentiel d'une matière active composant une préparation commerciale donnée en considérant son utilisation. Une matière active n'a donc pas nécessairement le même IRE d'une préparation commerciale à l'une autre. Également, selon le type d'utilisation, l'IRE d'une matière active

pour une même préparation commerciale peut varier. Les organismes retenus pour le calcul de l'indice sont ceux régulièrement utilisés comme espèces sentinelles lors des évaluations de risques écotoxicologiques. L'IRE est issu de six variables : trois variables écotoxicologiques (T : impact sur les invertébrés terrestres, O : impact sur les oiseaux, A : impact sur les organismes aquatiques) et trois variables physicochimiques (M : mobilité, P : persistance dans le sol, B : bioaccumulation).

➤ **Détermination de l'impact de la matière active sur les invertébrés terrestres (T)**

L'impact sur les invertébrés terrestres est représenté par la variable T. Les invertébrés terrestres retenus sont les vers de terre et les abeilles. Le pointage accordé à la variable T est donc égal à celui le plus élevé des deux variables soit T_{vt} (impact sur les vers de terre) ou $T_{abeille}$ (impact sur les abeilles).

• Impact sur les vers de terre (T_{vt})

Le pointage de la variable T_{vt} est déterminé à partir d'un ratio toxicité/exposition (RTE)

RTE = Toxicité / $CIPE_{sol}$ où

Toxicité = **CL₅₀** exposition de 14 jours pour des vers de terre

$CIPE_{sol}$ = Concentration initiale prévue dans l'environnement
= $DRA * (1 - f_{int}) / (100 * Profondeur * densité)$

f_{int} = Facteur d'interception par la couverture végétale

Profondeur = Profondeur de pénétration du pesticide dans le sol (valeur par défaut de 5 cm)

Densité = Densité du sol (valeur par défaut de 1,2 g/cm³).

Le facteur d'interception des cultures influence la quantité de pesticide qui se retrouvera au sol. Ce facteur est modulé par le type de culture et la densité de la végétation. Une densité du couvert végétal plus faible est considérée pour les herbicides car, à l'étape de ce type de traitement, la croissance des végétaux débute généralement. Lors de l'utilisation des insecticides, des fongicides et des régulateurs de croissance, une densité du couvert végétal plus élevée est supposée en raison du niveau de croissance normalement atteint par les végétaux. Les stérilisants de sol, quant à eux, sont généralement utilisés sur un sol nu, sans interception. Les valeurs des facteurs d'interception sont présentées au tableau 6.

Tableau 6 : Facteur d'interception (f_{int}) de la culture en fonction du type de pesticide

Type de culture	Facteur d'interception			
	Herbicide	Insecticide Fongicide	Régulateur de croissance	Stérilisant de sol
Culture basse (≤ 50 cm)	0,10	0,5	0,5	0
Buisson ($> 50-200$ cm)	0,20	0,5	0,5	0
Arbre fruitier (> 200 cm)	0,25	0,4	0,4	0

Le pointage attribué à la variable T_{vt} est déterminé selon le tableau 7.

Tableau 7 : Valeur de t_{vt} en fonction du ratio toxicité/exposition basé sur la CL_{50} exposition de 14 jours

RTE	T_{vt}
> 100	0
$> 10-100$	2
≤ 10	4

• Impact sur les abeilles ($T_{abeille}$)

Le pointage de $T_{abeille}$ est déterminé à partir des quotients d'exposition orale (Q_{eo}) ou d'exposition par contact (Q_{ec}) pour les abeilles.

$$Q_{eo} \text{ ou } Q_{ec} = \text{DRA} / \text{Toxicité}$$

où Toxicité = DL_{50} oral ou par contact ($\mu\text{g}/\text{abeille}$).

Le tableau 8 présente la distribution des points alloués selon les intervalles des quotients.

Tableau 8 : Valeur de $T_{abeille}$ en fonction du quotient d'exposition orale (Q_{eo}) ou d'exposition par contact (Q_{ec}) pour les abeilles.

Q_{eo} ou Q_{ec}	$T_{abeille}$
< 50	0
$\geq 50-1000$	2
≥ 1000	4

➤ Détermination de l'impact de la matière active sur les oiseaux (O)

L'impact potentiel sur les oiseaux est déterminé en utilisant un critère de toxicité aiguë (DL_{50}) pour le canard colvert et, le cas échéant, le colin de Virginie. La variable **O** est déterminée à partir d'un ratio toxicité/exposition (RTE).

RTE = toxicité / QPI

DL₅₀ (mg/kg de poids corporel du canard colvert ou du colin de virginie)

QPI= Quantité de pesticides ingérée quotidiennement par jour (mg/kg de poids corporel)

Pour le canard colvert, QPI = 0,528*142*DRA/ 1000

Pour le colin de virginie QPI = 0,865*87*DRA /1000

Le Tableau 9 présente la distribution des points selon la RTE.

Tableau 9 : Valeur de **O** en fonction du ratio toxicité/exposition pour les oiseaux

Qeo ou Qec	Tabelle
> 10	0
> 5-10	1
> 1-5	2
> 0,1-1	3
≤ 0,1	4

➤ **Détermination de l'impact de la matière active sur les organismes aquatiques (A)**

L'impact sur les organismes aquatiques est représenté par la variable **A** dans le calcul de l'IRE d'une matière active. Le ratio toxicité/exposition (RTE) détermine le pointage alloué à cette variable.

RTE = Toxicité/ CPE_{max}

Toxicité = CL₅₀ ou CE₅₀ Pour algues, plantes aquatiques, daphnies ou poissons

CPE_{max} = Concentration maximale prévue dans l'environnement observée après 4 jours

La méthode de calcul de la CPE_{max} est expliquée dans le document du groupe de travail de la CE (Focus, 2002).

Le pointage alloué à la variable **A** (tableau 10) a été fixé à partir de valeurs limites (CE, 2002).

Le RTE est calculé pour les poissons et les daphnies ainsi que les algues et les plantes aquatiques en utilisant la CPE_{max}. Le ratio dont la valeur est la plus petite est retenu pour déterminer le pointage de la variable **A**. Ainsi, l'indicateur peut générer un résultat pour cette dernière malgré l'absence de valeurs pour une ou des espèces aquatiques mentionnées précédemment.

Tableau 10 : Valeur de **A** en fonction du ratio toxicité/exposition pour les organismes aquatiques

RTE pour poissons et daphnies	RTE pour algues et plantes aquatiques	A
> 100	> 10	0
> 10-100	> 1-10	1
> 1-10	> 0,1-1	2
> 0,1-1	> 0,01-0,1	3
≤ 0,1	≤ 0,01	4

➤ **Détermination de la mobilité (M) de la matière active**

La mobilité d'une matière active est représentée par la variable **M** et est déterminée à partir de son potentiel de lessivage. L'indice **GUS** (Groundwater Ubiquity Score ; Gustavson, 1989) est utilisé pour calculer le potentiel d'un pesticide à contaminer l'eau souterraine par lessivage et l'eau de surface par l'infiltration via les systèmes de drainage. Le GUS se base sur deux propriétés physico-chimiques d'un composé : le coefficient d'adsorption sur le carbone organique (**K_{oc}**) et le temps de demi-vie dans le sol en condition aérobie (**TD₅₀**).

$$GUS = \log [(TD_{50}) \times (4 - \log(K_{oc}))]$$

- GUS < 1,8 Potentiel faible de lessivage
 GuS ≥ 1,8-2,8 Potentiel moyen de lessivage
 GuS ≥ 2,8 Potentiel élevé de lessivage

La dose d'application est mise en relation avec l'indice GUS afin de déterminer un risque potentiel de contamination par lessivage ou encore par infiltration par les systèmes de drainage. Le tableau 11 présente une matrice donnant les pointages de la variable m en fonction de l'indice GUS et de la dose repère appliquée (DRA).

Tableau 11 : Valeur de **M** en fonction de l'indice GUS et de la DRA

GUS	DRA (g ou ml m.a./ha)	
	< 2000	≥ 2000
GUS < 1,8	0	0
GUS ≥ 1,8-2,8	M = 0,000375 (DRA) + 1,25	2
GUS ≥ 2,8	M = 0,00075 (DRA) + 2,5	4

➤ **Détermination de la Persistance (P) de la matière active dans le sol**

La persistance dans le sol est représentée par **P**. Le temps de demi-vie dans le sol est en condition aérobie **TD₅₀** et la DRA sont utilisés pour déterminer la valeur de la variable P (tableau 12).

Tableau 12 : Valeur de P en fonction de la demi-vie et de la DRA

TD ₅₀ (jours)	DRA (g ou ml m.a./ha)	
	< 2000	≥ 2000
< 10	0	0
≥ 10-30	P = 0,00075 (DRA) - 0,5*	1
≥ 30-60	P = 0,00075 (DRA) + 0,5	2
≥ 60-90	P = 0,00075 (DRA) + 1,5	3
≥ 90-180	P = 0,00075 (DRA) + 2,5	4
≥ 180	4	

* Une valeur de 0 est attribuée pour les résultats négatifs.

➤ **Détermination de la Bioaccumulation (B) de la matière active dans le sol**

Le potentiel de bioaccumulation est représenté par la variable **B**. Le temps de demi-vie dans le sol en condition aérobie (**TD₅₀**) et le logarithme du coefficient de partage octanol-eau (**Log P_{oe}**) sont utilisés pour déterminer le pointage attribué à la variable B (tableau 13).

Tableau 13 : Valeur de b en fonction de la demi-vie et du log P_{oe}

TD ₅₀ (jours)	Coefficient de partage octanol-eau (log P _{oe})		
	< 3	3-4	> 4
< 10	0	0	1
≥ 10-90	0	0	2
≥ 90-180	0	1	3
≥ 180	0	2	4

3. Exemple de calcul de l'IRS et l'IRE pour le glyphosate utilisé en culture d'anacardier

• Risques aigus (point alloué)

DL₅₀ oral : > 2000 mg/kg (1)

DL₅₀ cutanée : > 2000 mg/kg (1)

CL₅₀ inhalation : 1,3 mg/l (2)

Irritation cutanée : légèrement irritant (2)

Irritation oculaire : lésion oculaire grave (8)

Sensibilisation : non (0)

∑ Risques aigus = 14

• Risque chroniques (point alloué)

Cancérogénicité : peu probable (0)

Génotoxicité : peu probable (0)

Perturbation endocrinienne : effets endocriniens peu probables (0)

Effet sur la reproduction : aucun effet rapporté (0)

Effet sur le développement : aucun effet rapporté (0) **∑ Risques chroniques = 0**

• FPer = 1 (TD₅₀ = 13,60, BCF < 11,80.10⁻⁴)

IRT = 196

• FPf = 2 (LI)

• FCP = 2 (DRA maximum = 10000 ml/ha)

IRS = 78,4

• Impact sur les invertébrés terrestres (T)

T = 4 (CL₅₀ = 5000, CIPE_{sol} = 400 **→** T_{vt} = 0)

DL₅₀ abeille > 100, DRA = 10000 ml/ha, Qeo > 100) **→** T_{abeille} = 2

• Impact sur les oiseaux (O)

O = 1 (DL₅₀ (colin de virginie) = 3851 mg/kg, QPI = 752,55, RTE = 5,12)

• Impact sur les organismes aquatiques (A)

A = 4 (CL₅₀ (plantes aquatiques) = 25000, CPE_{max} = 3,41.10¹⁴ µg/l, RTE = 7,33.10⁻¹¹)

• Mobilité (M)

$M = 0$ ($TD_{50} = 13,6$, $K_{oc} = 6920$, $DRA = 10000$ ml/ha)

• Persistance dans le sol (P)

$P = 1$ ($TD_{50} = 13,6$, $DRA = 10000$ ml/ha)

• Bioaccumulation (B)

$B = 0$ ($\log p_{oc} = -3,2$, $TD_{50} = 13,6$)

IRE = 126,56

Annexe 7 : Interface du logiciel UK-POEM

THE UK PREDICTIVE OPERATOR EXPOSURE MODEL (POEM)

3 Application method	Hand-held sprayer (15 l tank): hydraulic nozzles. Outdoor, low level target		
4 Product	LADABA®	Active substance	glyphosate sel d'Isopropyl
5 Formulation type	water-based	a.s. concentration	480 mg/ml
6 Dermal absorption from product	10 %	Dermal absorption from spray	10 %
7 Container	1 litre any closure		
8 PPE during mix/loading	None	PPE during application	None
9 Dose	8 l/ha	Work rate/day	1 ha
10 Application volume	64 l/ha	Duration of spraying	6h

EXPOSURE DURING MIXING AND LOADING

14 Container size	1 litres
15 Hand contamination/operation	0,01 ml
16 Application dose	8 litres product/ha
17 Work rate	1 ha/day
18 Number of operations	5 /day
19 Hand contamination	0,05 ml/day
20 Protective clothing	None
21 Transmission to skin	100 %
22 Dermal exposure to formulation	0,05 ml/day

DERMAL EXPOSURE DURING SPRAY APPLICATION

25 Application technique	Hand-held sprayer (15 l tank): hydraulic nozzles. Outdoor, low level target		
26 Application volume	64 spray/ha		
27 Volume of surface contamination	50 ml/h		
28 Distribution	Hands	Trunk	Legs
29	25%	25%	50%
30 Clothing	None	Permeable	Permeable

Operating instructions | **Liquid concentrate formulations** | Solid concentrate formulations

Figure 2 : Interface du logiciel POEM

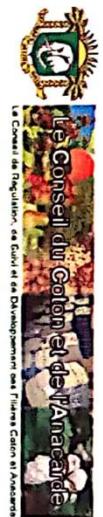
Annexe 8 : Liste des productions scientifiques

1- Articles publiés

- Yao S.K., Kouadio J.H., Yéboué-kouamé B., Soya J. & Assanvo J.E. (2020). Study of pesticides use conditions in cashew production in Côte d'Ivoire. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, 12(1) : 1-9.
- Koffi Y.S., Kouadio J.H. & Nindjin C. (2020). Comparative Study of Physical Properties of Cashew Nuts from Three Main Production Areas in Côte d'Ivoire. *Agricultural Sciences*, 11 : 1232–1249.
- Koffi Y.S. & Kouadio J.H. (2021). Study of the influence of picking frequency and drying materials on moulds and aflatoxins occurrence in cashew nuts from Côte d'Ivoire. *Proceedings (MDPI)*, 7p.

2- Communications scientifiques

- Conditions d'utilisation des pesticides chimiques dans l'anacardier en Côte d'Ivoire. Colloque International d'Echanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA), du 26 au 28 septembre 2017, Grand Bassam (Côte d'Ivoire).
- Étude comparative de quelques paramètres physico-chimiques des noix de cajou issues des trois grandes zones de production en côte d'ivoire. 2eme Journées Scientifiques de Nutrition et des Sciences des Aliments du 1^{er} au 2 août 2018, Université Jean Lorougnon Guédé (Côte d'Ivoire).
- Produits phytosanitaires dans la production de noix de cajou : cas des trois (3) grandes zones de production en côte d'ivoire (Mankono, Dabakala, Bondoukou). Première conférence entomologique de Côte d'Ivoire du 13 au 14 décembre 2018, Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire).



ATTESTATION DE PARTICIPATION

Je soussigné Dr Adama COULIBALY, Directeur Général du Conseil du Coton et de l'Anacarde, certifie que :

KOFFI YAO STEPHANE, a participé

au *Colloque International d'Echanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA)*, du 26 au 28 Septembre 2017 à Afrikland Hôtel de Grand Bassam (Côte d'Ivoire). Thème : « Intensification agro-écologique de la production et de transformation du cajou en Afrique : Problématique – Acquis scientifiques et technologiques - Perspectives ». En foi de quoi, nous lui délivrons la présente attestation pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Abidjan le 28 Septembre 2017

Dr Adama COULIBALY
Directeur Général du Conseil

du Coton et de l'Anacarde
Conseil du Coton et
de l'Anacarde

27 BP 604 ABIDJAN
Tél : 22 20 70 30
Fax : 22 20 70 29





UNIVERSITE
JEAN LOROUNGNON GUEDE

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



ATTESTATION DE COMMUNICATION

Décernée à:

Monsieur KOFFI YAO STEPHANE,

Au cours des deuxièmes Journées Scientifiques de Nutrition et des Sciences des Aliments, tenues à l'Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, les 1^{er} et 2 Août 2018, pour la communication orale sur le thème: **Étude comparative de quelques paramètres physico-chimiques des noix de cajou issues des trois grandes zones de production en Côte d'Ivoire.**

En foi de quoi, la présente attestation est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Daloa, le 02 Août 2018

Vice-Président,

Président Jean Lorougnon Guédé

Prof. KONÉ TIDIANI



Président du Comité Scientifique
B
Directeur
LABORATOIRE DE NUTRITION ET DES SCIENCES DES ALIMENTS
JEAN LOROUNGNON GUEDE DALO A
PRÉSIDENT DU COMITÉ SCIENTIFIQUE
GRAH AVIT MAXWELL



ATTESTATION DE PARTICIPATION

La Société Entomologique de Côte d'Ivoire atteste que
KOFFI YA O STEPHANE a participé à
la première conférence entomologique de Côte d'Ivoire
du 13 au 14 décembre 2018

à l'Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire).
Thème : « **Insectes et développement durable** »

Fait à Abidjan, le 14 décembre 2018

Prof. KOUASSI K. Philippe

Président du comité scientifique

Prof. Philippe K-KOUASSI
Docteur d'Etat en Sciences
Professeur Titulaire
UMR Biosciences / UFHB

Prof. KOUA Kouakou Hervé

Président de la SECI

