



UNIVERSITE NOTRE DAME D'HAÏTI

FACULTE D'AGRONOMIE

(UNDH-FA)

Unité Diocésaine d'Enseignement, de Recherche et de Service

UDERS DES CAYES

Option : Ressources Naturelles et de l'Environnement (RNE)

**Contamination d'Aflatoxine des produits farineux et de poudre de feuilles
de moringa (*Moringa oleifera* L.) commercialisés aux Cayes**

Mémoire de fin d'études agronomiques

Présenté par : AUGUSTIN Dieunis

Pour l'obtention du grade de licencié au titre d'Ingénieur-Agronome

Promotion : 2013-2018

Sous la direction de : ARISTIL Junior, Ph.D

Mars, 2019

Contamination d'Aflatoxine des produits farineux et de poudre de feuilles de moringa (*Moringa oleifera* L.) commercialisés aux Cayes

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire, à tous les membres de ma famille, spécialement à ma mère Mirlande SALOMON et mon père Louimon AUGUSTIN, aux Sœurs les compagnes de Jésus, particulièrement à Sœur Edna Edouard, Sœur Alta EMILE et Sœur Idoline PIERRE LOUIS. A mes amis Anita WITTA et Jimmy DUNN. A mes Modèles professeurs, Junior ARISTIL, Ph.D , Ing.-Agr. Alexandra ALEXANDRE, Ing.-Agr. Sargelin HENRI, Ing.-Agr. Jean Sylvain REGIS, Ing.-Agr. James ORIZA, Ing.-Agr. Jean Wilfrid GILET, Ing.-Agr. J. E. Abel BERNARD, Ing.-Agr. Jean Edouard BONHOMME et tous les autres professeurs de la faculté d'agronomie qui ont également participé à ma formation professionnelle.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est pour moi une expérience particulièrement riche, tant au niveau professionnel que personnel. Il est le point qui atteint le plus haut niveau de mes cinq années et n'aurait pas vu la lumière sans le soutien et la présence de nombreuses personnes que je tiens à remercier. Avant tout, je remercie Dieu, le généreux qui a enseigné l'homme ce qu'il ne savait pas.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma vive gratitude et mon profond remerciement à Junior ARISTIL, Ph.D qui m'a aimablement guidé tout au long de ce travail. Je souhaiterais ici lui témoigner ma sincère reconnaissance pour tous les conseils et les remarques objectives qu'il m'a apportés.

Mes remerciements s'adressent à la communauté des Sœurs les compagnes de Jésus (scdJ) pour sa présence inébranlable dans ma carrière professionnelle et également pour leur disponibilité et leurs conseils.

Je tiens aussi à remercier LAUGENE Cléanta qui est une muse pour moi, qui par son amour inconditionnel, n'a cessé de me supporter moralement, son amour et son soutien m'ont été d'un grand support dans la réalisation de ce mémoire.

Je remercie vivement Sœur Edna EDOUARD, Sœur Alta EMILE, Sœur Idoline PIERRE-LOUIS, Anita WITTA, Jimmy DUNN, Madame Chantal SAUVAGERE et Monsieur Marc DORVIL pour leur encouragement et leur précieux soutien. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance.

J'exprime toute ma reconnaissance et mes sincères remerciements au Vice-Recteur-Exécutif (VREU) de l'UDERS des Cayes, Rev. Père Jean Marcel LOUIS et à tous les responsables du Décanat de la faculté d'agronomie, spécialement Ing.Agr. Alexandra ALEXANDRE (Responsable de laboratoire Agrolab), Madame Christelle Duplessy, Ing.Agr. James ORIZA (Doyen), Ing.Agr. Sargelin HENRI (Secrétaire Académique), Ing.Agr. Jean Marc Aristide FRANÇOIS (Responsable des Affaires Estudiantines), pour tous leurs dévouements.

Ces remerciements seraient bien incomplets si ma famille n’y était pas associée. Merci à mon père Louimon AUGUSTIN et à ma mère Mirlande SALOMON, mes frères et sœurs, tantes et oncles. Qu’ils trouvent ici l’expression de ma sincère reconnaissance pour leurs efforts et leurs sacrifices consentis durant toutes ces années.

Une pensée particulière à tous (tes) mes ami(e)s et particulièrement à Jovania ESTIN et Antony LAPOINTE pour leur précieux soutien tout au long de ce travail.

Enfin, à tous ceux dont le nom m’échappe et que je regretterai de n’avoir pas cités, tous mes remerciements.

TABLE DES MATIERES

DÉDICACE.....	i
REMERCIEMENTS	ii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ANNEXES	ix
LISTES DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS.....	x
RESUME	xiii
CHAPITRE I.....	1
INTRODUCTION.....	1
1.1. Problématique et justification	1
1.2. Objectifs de l'étude.....	3
1.2.1. Objectif général	3
1.2.2. Objectifs opérationnels.....	3
1.3. Intérêt de l'étude.....	3
1.4. Limitation de l'étude	4
CHAPITRE II.....	5
REVUE DE LITTERATURE	5
2.1. Mycotoxines.....	5
2.1.1. Effets des mycotoxines.....	5
2.2. Types de mycotoxines.....	6
2.2.1. Ochratoxines	6
2.2.2. Fumonisines.....	7
2.2.3. Aflatoxines	7

2.2.3.1. Structures chimiques des principales aflatoxines	8
2.2.3.2. Aflatoxines et risques sanitaires	9
2.2.3.4. Législation sur les Aflatoxines	10
2.2.3.4.1. Echelle nationale	10
2.2.3.4.2. Echelle internationale	10
2.2.3.5 Importance économique	11
2.2.3.6. Prévention contre les Aflatoxines	12
2.2.3.7. Bonnes pratiques agricoles et réduction d'Aflatoxine	12
2.2.3.7.1. Au champ et durant la récolte	12
2.2.3.7.2. Conditions de stockage	13
2.2.3.7.3. Hygiène et Aflatoxines	14
CHAPITRE III	15
MATERIELS ET METHODES	15
3.1. Présentation de la zone de l'étude	15
3.1.2. Pluviométrie	16
3.1.3. Température	17
3.3. Test d'Aflatoxines	21
3.4. Analyses statistiques	22
CHAPITRE IV	23
RESULTATS ET DISCUSSIONS	23
4.1. Échantillonnage	23
4.2. Aflatoxines des échantillons	23
4.2.1. Quartiles des substrats	24
4.2.2. Aflatoxines des marchés de la ville des Cayes	25

4.2.3. Aflatoxines des supermarchés et marchés de la ville des Cayes	26
4.2.4. Emballage et aflatoxine des produits.....	27
4.2.5. Aflatoxines de la farine de maïs	28
4.2.6. Aflatoxines de la poudre de feuilles de moringa	29
4.2.7. Aflatoxines de la farine de manioc.....	30
4.3. Analyse en Composantes Multiples	33
CHAPITRE V	35
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	35
5.1. Conclusion.....	35
5.2. Recommandations.....	36
CHAPITRE VI.....	37
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37
ANNEXES.....	I

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Structure de l'Ochratoxine.	6
Figure 2. Structure de la Fuminosine.	7
Figure 3. Champignons d'Aspergillus flavus et Aspergillus parasiticus.	8
Figure 4. Structures chimiques des Aflatoxines (JARD, 2009).	9
Figure 5. Carte présentant la zone d'étude.	16
Figure 6. Produits farineux et poudre de feuilles de moringa collectés.	21
Figure 7. Aflatoxine (ppb) des produits farineux et de poudre de feuilles de moringa des Cayes.....	24
Figure 8. Diagramme de quartiles de contamination d'aflatoxine (ppb) des produits. ..	25
Figure 10. Aflatoxines (ppb) des deux marchés de la ville des Cayes.	26
Figure 11. Aflatoxine (ppb) des marchés et des supermarchés de la ville des Cayes.....	27
Figure 12. Emballage et contamination des produits par aflatoxines (ppb).	28
Figure 13. Aflatoxine (ppb) de la farine de maïs.	29
Figure 14. Aflatoxine (ppb) de la poudre de feuilles de moringa.....	30
Figure 15. Aflatoxine (ppb) de la farine de manioc.....	31
Figure 16. Aflatoxine (ppb) de la farine de riz.....	33
Figure 17. Analyse en composantes Multiples résultant de la provenance (prov) de la matière première, de la zone de commercialisation, de la présence de l'emballage et de l'origine des produits sur la contamination des substrats par les aflatoxines aux Cayes.	34

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 . Teneurs limites en Aflatoxines prévues par la législation de certains pays et organisations.....	11
Tableau 2. Valeurs des précipitations mensuelles de la ville des Cayes.....	17
Tableau 3. Températures en °C de la ville des Cayes	18
Tableau 4. Humidité relative de la ville des Cayes	19

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Formulaire d'enquête sur la Contamination d'Aflatoxine des produits farineux et de poudre de feuilles de moringa commercialisés aux Cayes .	I
Annexe 2. Les produits farineux et de poudre de feuilles de moringa.	III
Annexe 3. Les matériels utilisés au cours de l'expérience.	IV
Annexe 4. Photos lors de la réalisation des tests d'aflatoxines.	V
Annexe 5. Marché en Fer des Cayes.	VI
Annexe 6. Marché Relais des Cayes.	VII

LISTES DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS

A	: Aspergillus
ACM	: Analyse en Composantes Multiples
AF	: Aflatoxine
AFB1	: Aflatoxine B1
AFB2	: Aflatoxine B2
AFG1	: Aflatoxine G1
AFG2	: Aflatoxine G2
AFM1	: Aflatoxine M1
AFM2	: Aflatoxine M2
AFs	: Aflatoxines
Afssa	: Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
ANOVA	: Analyses des variances
CAC	: Commission du Codex Alimentarius
CAST	: Council for Agricultural Science and Technology
CE	: Commission Européenne ou Communauté Européenne
CIRC	: Centre International de Recherche sur le Cancer
FAO	: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FD	: Fonction Discriminatoire
FDA	: Food and Drug Administration

FIC	: Frère de l'Instruction Chrétienne
IBM	: International Business Machines Corporation
IBM	: International Business Machines Corporation
IHSI	: Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique
IITA	: International Institute of Tropical Agriculture
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONU	: Organisation des Nations Unies
OTA	: Ochratoxine A
Ppb	: Partie par billion
PPR	: Pratiques Post Récolte
Prov	: provenance
SNRE	: Service National des Ressources en Eau
SpM₁	: Supermarché 1
SpM₂	: Supermarché 2
SpM₃	: Supermarché 3
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
SPSS	: Statistical Package for the Social Sciences
UNDH	: Université Notre Dame d'Haïti
USA	: United States of America
%	: Pourcentage

°C : Degré Celcius

°F : Degré Fahrenheit

RESUME

Les aflatoxines sont des mycotoxines produites par les souches toxigènes d'*Aspergillus Section Flavi*. Des centaines de millions de personnes à travers le monde souffrent de maladies causées par la contamination des aliments. L'exposition prolongée à de faibles niveaux (intoxication chronique) est suspectée de provoquer le cancer du foie, retard de croissance et kwashiorkor chez les enfants. Le présent travail est porté sur l'évaluation du risque d'aflatoxicoses infantiles aux Cayes. Vingt-cinq échantillons de produits ont été collectés durant la période allant de Février à Mars 2018. Les échantillons collectés ont été de la farine de maïs (n=14), riz (n=4), manioc (n=4) et poudre de feuilles de moringa (n=3). Les tests d'aflatoxine (AF) des échantillons ont été réalisés suivant les techniques Reveal Q+ Neogen. Le logiciel IBM SPSS version 22,0 a été utilisé pour le traitement des données. Les résultats ont démontré que le taux d'AF des substrats varie entre 2,7 et 119 ppb. Le maïs a été plus contaminé que les autres substrats (manioc, moringa et riz). La contamination des AFs dépend de la zone de provenance des produits. Les AFs des produits farineux de Relais et Fer sont respectivement 32,1 et 5,2 ppb. La moyenne d'AF de marché Relais représente près de six fois de celles des marchés en fer. La Contamination des produits commercialisés dans les supermarchés et dans les marchés sont respectivement 6,12 et 23,97 ppb. Ces résultats ont démontré des risques d'exposition de la population infantile des Cayes à l'aflatoxicoses. Le contrôle des Aflatoxines dans les substrats devrait être une nécessité pour les responsables afin de réduire les risques d'aflatoxicoses infantiles. Des études supplémentaires avec plus d'échantillons sont à réaliser pour confirmer ces résultats.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1. Problématique et justification

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires produits par les champignons filamenteux. Ces produits contaminent environ 25% des céréales dans le monde et sont principalement communs aux pays en développement (al-Taher et al., 2017). Les aflatoxines (AFs) sont les mycotoxines les plus évitables et les plus documentés (Huertas-Pérez et coll., 2018).

Les AFs sont produits par *Aspergillus flavus*, et *A. parasiticus*, qui sont répartis dans le monde entier et sont relativement prédominants dans les régions tropicales et subtropicales. D'autres espèces comme *A. nomius*, *A. pseudotamarii* et *A. bombycis* produisent aussi des AFs (Mmongoyo et coll., 2017 ; Norlia et coll., 2018 ; Prencipe et coll., 2017). Les AFs attaquent les céréales (maïs, riz), les noix et autres fruits secs, les graines oléagineuses (moringa), les épices (ail), les racines (manioc) et les légumineuses (arachide). De même les produits dérivés comme la farine de maïs, de riz, de manioc et de poudre de feuilles de moringa (Afssa, 2009). Les AFs sont cancérigènes et immuno-déprimants et pourraient être source de plusieurs maladies infantiles (al-Taher et coll., 2017). La consommation de produits contaminés par l'aflatoxine pourrait réduire l'immunité des nourrissons et le gain de poids (Kachapulula et al., 2017). Les germes pathogènes et les contaminants chimiques présents dans les aliments pèsent de sérieuses menaces sur la santé des consommateurs (Yèhouénou et al., 2010).

Environ 60% des cas mortalités infantiles résultent d'une déshydratation aiguë due à la contamination des produits agricoles par l'AF (ONU, 2002). L'entrée des mycotoxines dans l'alimentation humaine s'effectue soit directement par la consommation de denrées végétales contaminées (arachides, pistaches, amandes), soit indirectement par des produits dérivés à partir desquels sont élaborés les produits finis, comme la farine de céréales.

Des centaines de millions de personnes à travers le monde souffrent de maladies causées par la contamination des aliments. L'exposition aux AFs conduit à l'affaiblissement immunitaire, le cancer du foie, la cirrhose du foie, et les problèmes de nutrition tels que le retard de croissance chez les enfants (Wu et Khlangwiset, 2010 ; Wu et al., 2011). La contamination de produits agricoles et dérivés par les AFs ont été mentionnées dans des travaux en Amérique Latine, dans la Caraïbe et dans d'autres pays tropicaux ou subtropicaux tels le Pakistan, Kenya et Iran (Chavez et al., 2011 ; Charity et al., 2012).

Dans les pays industrialisés, environ un tiers de la population est confrontée chaque année à des maladies d'origines alimentaire (Dorner et Cole, 2002).

Sur le plan commercial, les nouvelles normes imposées par l'Union Européenne sur les concentrations maximales d'aflatoxine tolérées dans les produits alimentaires (arachide, coprah, palmiste, graines de coton, maïs et dérivés) sont fixées à 0,02 mg/kg (Leszkowicz, 2003). Ces normes pénalisent durement l'économie des pays en développement qui repose en grande partie sur l'exportation des produits agricoles.

En Afrique, des expériences de lutte biologique contre les AFs utilisant des souches locales sont en cours au Kenya et au Nigeria, mais à un stade plus avancé dans ce dernier pays, où les cultivateurs de maïs sont parvenus à réduire d'environ 80 % la contamination par les AFs (IITA, 2010).

Dans la Caraïbe, Haïti détient le plus haut taux de cancer du foie. De positives corrélations ont été établies entre la contamination par l'AF et le cancer en Haïti. Des cas de contaminations de produits agricoles haïtiens par les AFs ont été mentionnés par (Castor et al., 1987 ; Schwartzbord et al., 2014 ; Aristil et al., 2017). Elle a le taux le plus élevé d'insuffisance pondérale et d'enfants souffrant de malnutrition (Evans et Bassani, 2018). La plupart de ces cas d'enfants souffrant de malnutrition haïtienne sont traités à l'aide de produits agricoles locaux (Irrarázaval et al., 2018). Les cultures agricoles les plus consommées en Haïti sont les céréales et les produits dérivés. Dans la région des

Caraïbes, Haïti est le deuxième consommateur de maïs après Cuba avec 66 par jour et par personne (Ranum et al., 2014).

En Haïti, les produits dérivés des céréales, des racines et oléagineuses sont très utilisés dans la consommation des enfants. Jusqu'à date aucune étude préliminaire n'a été réalisée pour évaluer la contamination d'Aflatoxine des produits farineux et de poudre de feuilles moringa commercialisés en Haïti. Voilà qui porte à réaliser cette recherche pour évaluer la contamination d'Aflatoxine des produits farineux et de poudre de feuilles de moringa commercialisés aux Cayes.

1.2. Objectifs de l'étude

1.2.1. Objectif général

Evaluer le risque d'aflatoxicoses **infantiles** aux Cayes.

1.2.2. Objectifs opérationnels

- o Quantifier les aflatoxines des produits farineux et de poudre feuilles de moringa commercialisés sur les marchés et supermarchés de la ville des Cayes ;
- o Formuler des recommandations à partir des résultats obtenus.

1.3. Intérêt de l'étude

Cette étude vise à quantifier les aflatoxines des produits farineux et de poudre de feuilles de moringa sur les marchés et supermarchés de la ville des Cayes. Ces différents types de produits sont utilisés dans la consommation de toutes les couches de la population y compris les enfants. Les institutions étatiques comme le ministère du commerce, ministère de l'agriculture, le ministère de la santé peuvent utiliser les résultats de cette étude pour avoir une idée en plus sur l'état sanitaire des produits infantiles commercialisés dans le Sud du pays. Ces résultats peuvent leur faciliter la tâche de la prise de certaines décisions.

1.4. Limitation de l'étude

Seuls les produits locaux commercialisés sur les marchés et supermarchés de la ville des Cayes durant la période allant de Février 2018 à Mars 2018 sont prises en considération dans le cadre de cette étude. Les produits locaux ne sont pas tous pris en considération. Toutes ces choses constituent des limites considérables et significatives dans la réalisation du travail. De même, seule une faible quantité de 25 produits a été quantifiée pour les AFs dans cette étude.

CHAPITRE II

REVUE DE LITTERATURE

2.1. Mycotoxines

Le terme mycotoxine vient du grec «mycos» qui signifie champignon, et du latin «toxicum» qui signifie poison (Yiannikouris et Jouany, 2002). Les mycotoxines sont des métabolites secondaires de nature chimique. Elles sont élaborées par plusieurs souches de champignons à certains stades de leur développement. Les mycotoxines sont des composés très stables durant le stockage mais également au cours des traitements de transformation. Elles sont thermostables et ne sont pas détruites par les procédés technologiques de préparation des aliments comme la cuisson et la stérilisation. Les mycotoxines restent présentes dans l'aliment « fini », même après la disparition des moisissures (CAST, 2003). Elles sont retrouvées dans les céréales de petit déjeuner (Molinié et al., 2005) dans les pâtes (Raiola et al., 2012), dans le café (Tozlovanu et Pfohl-Leszkowicz, 2010). Il existe environ 300 à 400 mycotoxines sont connues (Pamel et al., 2010). Mais seule une trentaine qui possèdent de réelles propriétés toxiques préoccupantes (Freymy et Thomann, 2009). Les mycotoxines sont élaborées par des champignons ou micromycètes lors de quatre processus différents mettant en jeu respectivement le métabolisme secondaire fongique, la bioconversion de composés végétaux (dicoumarol), la réaction de la plante à des agressions, ou l'association plante champignons (cas des champignons endophytes) (Zbib et al., 2014). Parmi les mycotoxines retrouvées dans les aliments, les Ochratoxines, Fumonisines et Aflatoxines sont les plus toxiques et préoccupantes pour la santé humaine (Scudamore et Livesey, 1998 ; CAST 2003).

2.1.1. Effets des mycotoxines

Les mycotoxines constituent un danger imminent qui tire le signal d'alarme, en raison des pertes économiques importantes qui sont liées à leurs effets sur la santé de l'homme, sur la productivité animale et sur le commerce national et international. La FAO estime

que plus de 25 % des récoltes mondiales sont significativement contaminées par des mycotoxines (Krska, 2009).

2.2. Types de mycotoxines

Les mycotoxines les plus préoccupantes sont les Ochratoxines, Fumonisines et les aflatoxines.

2.2.1. Ochratoxines

Les Ochratoxines constituent une famille de toxines contenant une iso coumarine, parfois chlorée, couplée par une liaison amide à une molécule de L-phénylalanine. Parmi les plus toxiques, est retrouvé notamment l'Ochratoxine A (OTA) qui est un métabolite secondaire fongique découvert en 1965 par une équipe Sud-Africaine au cours d'une recherche systémique sur les mycotoxines (Van der Merwe, 1965). Elle a reçu l'attention des chercheurs notamment en raison de son association avec l'activité favorisant le cancer (IARC, 1993). L'OTA est également décrite comme étant un puissant néphrologique, tératogène, avec des propriétés immunologiques (Clark et Snedeker, 2006). Plusieurs maladies humaines sont spéculées ou attribuées à cette mycotoxine, telles que la néphropathie endémique des pays des Balkans (Petrova-Bocharova et al., 1988), les tumeurs du tractus urinaire et rénales observées en Tunisie (Maaroufi et al., 1996) et en Egypte (Waffa et al., 1998). L'OTA est largement documentée en tant que contaminant global d'une grande variété d'aliments y compris les produits à base de céréales, les noix, les épices, le café, les raisins et le vin (Urbano et al., 2001).

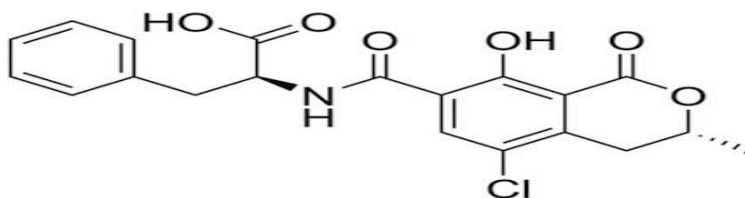


Figure 1. Structure de l'Ochratoxine.

2.2.2. Fumonisin

Les Fumonisin sont des mycotoxines synthétisées par *Fusarium moniliforme*, parasite du maïs de répartition mondiale. L'infestation pouvant être asymptomatique et ces mycotoxines étant thermostables, on les retrouve dans le maïs et de nombreux produits dérivés destinés à la consommation humaine ou animale. Chez l'homme, la présence de Fumonisin dans l'aliment pouvait favoriser la survenue des cancers de l'œsophage et la formation des plaques d'athérosclérose. Les Fumonisin sont synthétisées principalement par plusieurs espèces du genre *Fusarium* y compris *Fusarium verticillioides* et *Fusarium proliferatum* (Chen et al., 1992). Plusieurs Fumonisin sont isolées et caractérisées mais les Fumonisin B1 (FB1), Fumonisin B2 (FB2) et Fumonisin B3 (FB3) sont les plus fréquemment détectées dans les produits alimentaires. L'incidence du cancer œsophagéal dans certains pays est liée à la contamination du maïs par les Fumonisin (Rheeder et al., 1992 ; Chu et Li, 1994). Ces substances ont été prouvées responsables de la promotion du cancer du foie chez plusieurs espèces animales (Marasas et al., 1988 ; Gelderblom et al., 1992).

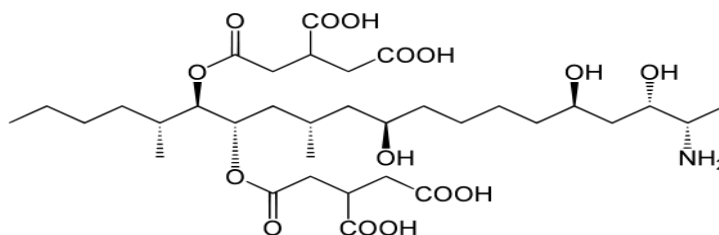


Figure 2. Structure de la Fumonisin.

2.2.3. Aflatoxines

Les Aflatoxines (AFs) sont des mycotoxines produites par les souches toxigènes d'*Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* et *Aspergillus nomius*. Elles ont été détectées dans différents types d'aliment du monde. Elles sont considérées comme de dangereux contaminants des aliments destinés à l'homme et aux animaux. Elle a été découverte en 1960 en Angleterre, suite à l'empoisonnement massif de dindes nourries avec du tourteau d'arachide (Wilson, 1995). Différentes AFs sont produites par des

champignons saprophytes du genre *Aspergillus*, se développant sur de nombreux produits tels que l'arachide, le maïs, le coton, ainsi que divers fruits à coques et fruits séchés et également des produits dérivés. Deux espèces d'*Aspergillus* sont principalement responsables de la production d'aflatoxines en conditions naturelles : *A. flavus* et *A. parasiticus* (Figure 3). Ces deux espèces sont présentes partout dans les régions tropicales et subtropicales. Leur inoculum multiforme (conidies, sclérotes et fragments de mycélium dans les débris végétaux) est abondant dans le sol et dans l'air.

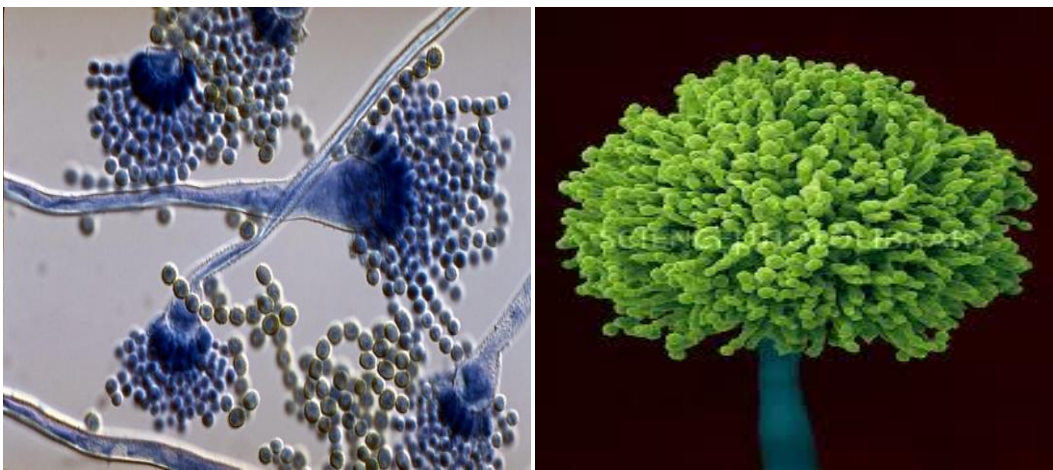


Figure 3. Champignons d'*Aspergillus flavus* et *Aspergillus parasiticus*.

2.2.3.1. Structures chimiques des principales aflatoxines

Quoique 20 aflatoxines aient été identifiées, 6 parmi elles (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2, AFM1 et AFM2) attirent l'attention des chercheurs (Figure 4). Il y a quatre AFs majeures (B1, B2, G1 et G2), les formes B étant 10 à 50 fois plus toxiques que les formes G. L'AFB1 est la plus toxique et la plus cancérigène. Les Aflatoxines M1 et M2 sont des dérivés des aflatoxines B1 et B2 (Wilson, 1995). L'AFM1 se retrouve dans le lait lorsque le régime alimentaire est régulièrement contaminé par l'AFB1 (Coker, 1996).

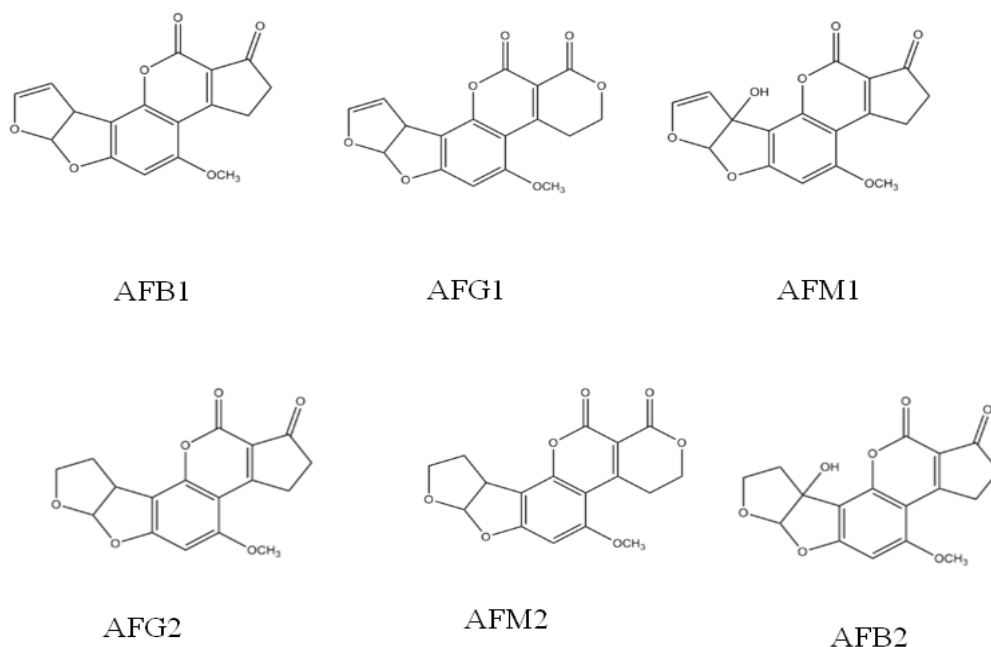


Figure 4. Structures chimiques des Aflatoxines (JARD, 2009).

2.2.3.2. Aflatoxines et risques sanitaires

Pour l'homme, les risques liés aux mycotoxines sont induits par la présence possible de résidus dans les productions issues des animaux de rente exposés à une alimentation contaminée par les mycotoxines (Galtier et al., 2008). Ces résidus correspondent à la toxine elle-même et/ou à des métabolites bio transformés et conservant les propriétés toxiques du composé parental. Les espèces d'élevage peuvent constituer un vecteur de ces toxines ou de leurs métabolites dans leurs productions telles que la viande, le lait ou les œufs et également des produits dérivés comme farine maïs, farine du riz, farine manioc et poudre de feuilles de moringa (Galtier et al., 2006).

2.2.3.3. Malnutrition et troubles du développement infantile

L'altération du système gastro-intestinal est une conséquence possible de l'exposition aux AFs. Des études épidémiologiques ont montré une corrélation entre niveau d'exposition à l'AFB1 et retard du développement chez les enfants (Wu et al., 2014). De plus, les cas de malnutritions fréquents dans les pays en développement peuvent aggraver les effets

des AFs. Une malnutrition protéique induit des perturbations au niveau des oxydases hépatiques favorisant l'accumulation des AFs dans le corps (Enwonwu, 1984). L'exposition des enfants aux AFs retarde leur croissance et provoque la malnutrition chez ces derniers (Ramjee, 1995 ; Hendrickse, 1997).

2.2.3.4. Législation sur les Aflatoxines

2.2.3.4.1. Echelle nationale

Actuellement en Haïti, aucunes normes ou de limites réglementaires n'ont été établies pour fixer les teneurs maximales en Aflatoxine des aliments destinés à la consommation humaine.

2.2.3.4.2. Echelle internationale

Comme les mycotoxines ne peuvent jamais être complètement éliminées des aliments, de nombreux pays ont défini des teneurs maximales, dans les denrées alimentaires, qui ne sont pas susceptibles de provoquer des problèmes de santé et qui sont raisonnablement possibles à atteindre en suivant les bonnes pratiques de culture, de fabrication et de stockage. Plusieurs facteurs peuvent influencer l'élaboration des réglementations concernant les mycotoxines, y compris la disponibilité des données toxicologiques, la disponibilité des données de l'incidence des mycotoxines dans les différents produits, la législation dans d'autres pays avec lesquels des échanges commerciaux existent pour assurer une alimentation suffisante et les caractéristiques socio-économiques des peuples du monde (Van et al., 2007). Selon les directives de la FDA (« Food and Drug Administration ») aux Etats Unis, le niveau total d'aflatoxines dans les aliments destinés à la consommation humaine ne devrait pas dépasser 25 ppb (partie par billion équivalent au µg/kg).

Beaucoup de pays à travers le monde ont établi des normes sur la quantité maximale d'AFs que doit contenir un aliment pour être consommable. La législation européenne, émise en 1998 et modifiée en 2006, a pour objectif de ne pas dépasser une quantité nocive d'AF quotidiennement, soit de 253 à 441 ppb, selon une étude américaine. Par exemple,

elle fixe ainsi réglementairement une limite de 4 à 10 ppb d'AFs dans les céréales et de 4 à 15 ppb (GrosJean, 2006) et pour les graines oléagineuses 4 à 15 ppb (Anses, 2011). Au Canada et aux États-Unis, des normes sont parfois moins sévères mais portant sur toute la nourriture destinée à la consommation humaine. Des normes sont aussi établies sur la quantité d'AFs retrouvées dans la nourriture donnée à du bétail. Celles-ci sont de 20 ppb au Canada, tandis qu'aux États-Unis, elles varient de 20 à 30 ppb (CE, 2006).

Tableau 1 . Teneurs limites en Aflatoxines prévues par la législation de certains pays et organisations

Pays/organisation	Intervalle (µg/kg ou ppb)	Matrice alimentaire
Union Européenne	4 à 10	Céréales et dérivés
	4 à 15	Arachides
	4 à 15	Graines oléagineuses
Etats Unis	20 à 30	Pour toute la nourriture
Canada	20	Pour toute la nourriture

Source : (GrosJean, 2006 ; Anses, 2011 ; CE, 2006)

2..2.3.5 Importance économique

Au niveau mondial, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) estime qu'environ le quart de la production agricole mondiale est contaminé par des mycotoxines. Selon l'Institut International d'Agriculture Tropicale (ITTA, 2013), les pertes annuelles dues aux aflatoxines seules atteignent 1,2 milliards de dollars américains, les pays africains subissant 38% de ces pertes, soit 450 millions de dollars (Marechera, 2015). En outre, il existe aussi des pertes indirectes, plus difficiles à évaluer

et qui sont liées à la diminution de productivité des animaux recevant une alimentation contenant des AFs (CAST, 2003).

2.2.3.6. Prévention contre les Aflatoxines

Compte tenu de l'importance du rôle des facteurs environnementaux sur la présence des moisissures toxigènes dans les récoltes et la production d'Aflatoxine qui est un phénomène naturel, il serait quasiment impossible d'éliminer toute trace d'AF des produits alimentaires. Néanmoins, il est possible de minimiser la contamination en prenant des précautions, avant la récolte, au moment et après la récolte. La réduction des taux des aflatoxines relève à la fois du rôle des agriculteurs, des commerçants et des industriels. Ainsi les bonnes pratiques culturales contribuent efficacement à diminuer l'envahissement par les moisissures (fongicides, lavage, séchage). Après la récolte et pendant le stockage, une inspection rigoureuse des produits alimentaires doit être fréquemment effectuée avant la mise sur le marché (Riley et Norred, 1999).

2.2.3.7. Bonnes pratiques agricoles et réduction d'Aflatoxine

2.2.3.7.1. Au champ et durant la récolte

Le premier point critique pour limiter la contamination par l'AF est d'adopter des pratiques agricoles qui peuvent créer un environnement défavorable pour la prolifération des spores de champignons pouvant être présentes dans le sol. Ces pratiques incluent le labour du sol avant la semence, un désherbage, le respect de la période de semis spécifique à chaque type de culture et du moment optimal de récolte, le fumage, l'amendement et la fertilisation du sol, la gestion de l'irrigation ainsi qu'une rotation des cultures avec des cultures qui sont moins sensibles au développement d'AF.

La période de récolte joue également un rôle essentiel dans la prévention du développement fongique. Il est recommandé de récolter juste après que la maturité physiologique soit atteinte afin de limiter la contamination par les AFs (CAC, 2004). Cependant les denrées récoltées juste à maturité doivent être rapidement et efficacement séchées afin d'atteindre des niveaux d'humidité ne permettant plus la croissance

fongique (10-13% pour les céréales, 8% pour les arachides) et éviter ainsi tout développement fongique éventuel au cours du stockage (Diao et al., 2015). Les conditions climatiques observées dans de nombreux pays en développement et qui combinent souvent un séchage initial insuffisant et un niveau d'humidité atmosphérique élevé contribuent pour beaucoup à la contamination des récoltes et aux niveaux souvent élevés d'AFs observés dans les matières. Malheureusement, la mise en œuvre de ces bonnes pratiques de stockage et un bon séchage sont souvent difficiles à mettre en œuvre par les agriculteurs ayant des petites parcelles et notamment lorsque les conditions climatiques générales sont défavorables (régions tropicales et subtropicales). De plus, l'effet de la rotation de cultures et de la plupart des bonnes pratiques agricoles reste plus limité sur les toxino-gènes que l'impact des facteurs environnementaux (température et humidité) (Diao et al., 2015).

2.2.3.7.2. Conditions de stockage

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 et la production d'AFs, les conditions de stockage constituent des facteurs primordiaux pour limiter l'expansion du développement fongique et éviter la production de toxines pendant cette période, qui peut être prolongée. Il a même été suggéré que les épidémies d'aflatoxicoses en Kenya en 2004 et 2005 ont eu lieu suite à une contamination après la récolte (Amaiike et Keller, 2011). Pour limiter les risques, le stockage des produits 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 de fuites dans les toits des locaux de stockage, d'une mauvaise ventilation des silos générant une condensation d'eau, ou bien d'une humidité initiale trop élevée des produits avant le stockage (Torres et al., 2014). De même, la durée de stockage dans les silos devrait être la plus courte possible. Les taux d'AFs peuvent être multipliés par 10 sur une période de 7 jours dans des conditions d'humidité favorables pendant le stockage (Hell et al., 2008).

Depuis quelques années, l'introduction de la démarche (ACCP « Analyse des dangers point critique pour les maitrises ») se généralise afin de prévenir et limiter les risques associés à ces toxines. Les facteurs influençant la contamination par les aflatoxines aux champs étant difficilement prédictibles et contrôlables, les points critiques de contrôle sont plutôt situés durant la récolte, le séchage et le stockage des produits agricoles (CAC, 2004).

2.2.3.7.3. Hygiène et Aflatoxines

Cette forte contamination des produits par les Aflatoxines peut être due au manque d'hygiène de production ou des équipements utilisés au moment de la fabrication de ces substrats, à la mauvaise qualité microbiologique de l'eau utilisée pour le lavage des ustensiles, ou à des problèmes de conditionnement avant consommation. Bien des études effectuées en Amérique Latine, en Asie, et en Afrique ont montré que le manque d'eau potable, du fait qu'utilisée le nettoyage des ustensiles et de la vaisselle aussi pour l'hygiène du personnel et comme boisson constitue le problème crucial dans le comportement d'AF. Parfois, il y a l'insuffisance de l'hygiène dans le nettoyage des matières premières et des matériels. De ce fait, si l'on suit la filière partant des matières premières jusqu'aux produits finis, réside le problème du respect strict des règles d'hygiène, la conservation des aliments, l'exposition des aliments à la température ambiante favorise la prolifération des germes à l'origine de l'altération et des risques d'intoxication alimentaire (CAC, 1999).

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

3.1. Présentation de la zone de l'étude

L'étude a été réalisée dans la ville des Cayes qui est le chef-lieu du département du Sud (Figure 5). La ville des Cayes est située à 194 Km au Sud de Port-au-Prince. Elle est limitée au nord par la rivière de l'Islet et le bois l'Etal, à l'est par la mer des caraïbes, au sud et à l'ouest par la Ravine du sud et partiellement par des localités des sections de la commune de Torbeck (Boury et Lagaudray) et de la plaine à Jacob. La ville des Cayes couvre une superficie de 259,10 Km². L'institut Haïtien de Statistique et d'informatique (IHSI) a fait sortir un document en 2009 contenant la population estimée. La ville comptait alors 71 236. En 2012, la population de la ville des Cayes a été estimée à 78 972 personnes dont 47% sont des hommes. Cette région a une très grande potentialité dans la production de diverses cultures comme le maïs (*Zea mays*), sorgho (*Sorghum bicolor*), haricot (*Phaseolus vulgaris*) et le riz (*Oriza sativa*) qui est la culture la plus dominante. La ville des Cayes est caractérisée par un climat tropical, avec des précipitations importantes. Même pendant le mois le plus sec il y'a beaucoup de pluie. En moyenne la température des Cayes est de 26,9 °C. Chaque année, les précipitations sont en moyenne de 1719,3 mm. Entre la température la plus basse et la plus élevée de l'année, la différence est de 3,9 °C. Avec une température moyenne de 28,9 °C, le mois de Juillet est le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 25,4 °C à cette période (Tableau 2 et 3).

3.1.1. Marchés et supermarchés des Cayes

La ville des Cayes compte trois marchés principaux (marché Jeudi, en Fer et Relais). Dans le cadre de l'étude, ce sont marché en Fer et Relais qui sont développés (Annexe VI et

VII). Et Plus de trois supermarchés ont été également recensés dans cette ville. Ce sont deux (2) des trois (3) principaux marchés à ciel ouvert de la ville des Cayes.

Ils représentent des sites de rencontre entre l'offre et la demande de divers produits alimentaires et non alimentaires. Les vendeurs se positionnent le plus souvent, aux alentours à la quête de la clientèle. Sur les marchés, les produits alimentaires peuvent être endommagés par des déchets, par de l'eau stagnante ou par l'insuffisance des moyens permettant d'assurer une bonne qualité d'hygiène. Cependant les supermarchés de la ville des Cayes sont les endroits où les produits sont mieux traités et conservés.

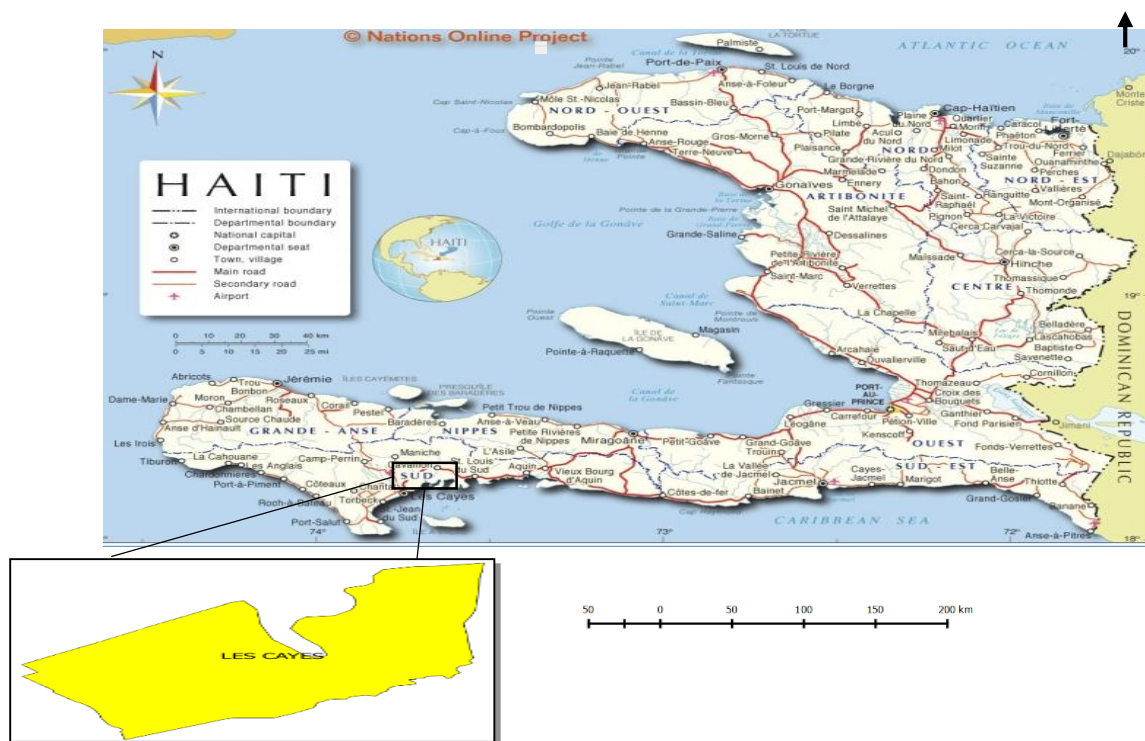


Figure 5. Carte présentant la zone d'étude.

3.1.2. Pluviométrie

La ville des Cayes est caractérisée par deux saisons : l'une de faible pluviosité allant de décembre à mars et l'autre de forte pluviosité allant d'avril à novembre. Les pluviométries des mois de Mai et d'Octobre représentent à elles seules 28,3% du module annuel, plus du tiers de la pluviométrie totale.

Tableau 2. Valeurs des précipitations mensuelles de la ville des Cayes

Mois	P min (mm)	Pmax (mm)	P moy (mm)
Janvier	19,2	179,5	83,1
Février	18,2	242,6	79
Mars	0,0	233,2	85,3
Avril	19,0	157,7	135,9
Mai	65,2	1112,6	241,8
Juin	20,2	677,9	171,4
Juillet	21,1	318,3	120,9
Août	34,4	526,3	172
Septembre	31,7	573,1	196,5
Octobre	37,5	620,9	244,7
Novembre	29,3	357,2	120,7
Décembre	2,0	244,7	68
Total			1719,3

Source : (FIC, 1991)

3.1.3. Température

La température moyenne enregistrée dans la ville des Cayes est 27°C. Les températures moyennes mensuelles sont comprises entre 25°C pour les mois de décembre et février comme minimale et 28.9°C au mois de juillet comme maximale.

Tableau 3. Températures en °C de la ville des Cayes

Mois	Température max (°C)	Température min (°C)	Température moy (°C)
Janvier	29,8	21,0	25,4
Février	29,4	20,5	25
Mars	29,2	21,2	25,2
Avril	29,9	22,7	26,3
Mai	30,6	24,2	27,4
Juin	31,7	25,3	28,5
Juillet	32,2	25,5	28,9
Août	32	25,2	28,4
Septembre	31,9	24,6	28,3
Octobre	31,6	22,7	27,1
Novembre	31,3	23,0	27,1
Décembre	30,4	20,9	25
Moyenne	29,1	23,1	26,9
Annuel			

Source : (FIC, 1991)

3.1.4. Humidité relative

Une importante brise de mer souffle dans la même direction pendant la journée entraînant beaucoup d'humidité dans la ville. Les mois les plus venteux dans cette région vont de Mars à Août avec un pic en juin.

Tableau 4. Humidité relative de la ville des Cayes

Mois	Humidité relative (%)
Janvier	77,0
Février	73,0
Mars	77,0
Avril	74,0
Mai	76,0
Juin	68,0
Juillet	62,0
Août	70,0
Septembre	72,0
Octobre	78,0
Novembre	79,0
Décembre	76,0

Source : (SNRE, 1991)

3.2. Collecte des données

Pour la réalisation de l'étude, 25 échantillons de produits ont été collectés sur les principaux marchés et supermarchés de la ville des Cayes (Figure 6). Les échantillons collectés comprennent les céréales (maïs et riz), des racines (manioc) et des oléagineux (moringa). Parmi les produits collectés figurent, farine de maïs (n=14), riz (n=4), manioc (n=4) et poudre de feuilles de moringa (n=3). Les échantillons collectés ont été estimés à plus de 200 grammes par produit. Un formulaire d'enquête a été élaboré à partir des

questions relatives à la production et conservation des produits collectés. Il a été utilisé pour enregistrer les données relatives à la production et commercialisation de chaque produit. Cette liste a été complétée durant la période de collecte de données. Près de 20 minutes ont été dédiées à la compilation de chaque formulaire. Une copie du formulaire d'enquête a été présentée à l'annexe I. Tous les échantillons de produits testés dans le cadre de cette étude ont été collectés sur les marchés et supermarchés de la ville des Cayes. Les variabilités relatives à l'échantillonnage sont mentionnées dans la base de données. Cette base de données a été préparée à partir de toutes les données collectées sur les 25 produits. Après la collecte des échantillons, ils ont été transportés au laboratoire « Agrolab » de la faculté d'agronomie de l'Université Notre Dame d'Haïti (UNDH) pour la quantification d'Aflatoxine.

Ces produits proviennent de différents sites de fabrication d'Haïti. Ils ont été transportés pour être commercialisés sur les marchés et supermarchés de la ville des Cayes. Les produits collectés sur les marchés sont généralement retrouvés sur les trottoirs, sans aucuns moyens de protection. Au niveau des supermarchés, les produits sont commercialisés dans des conditions plus contrôlées sur des étagères et avec un conditionnement de température tournant autour de 10°C. Les produits ont été collectés dans trois supermarchés. Pour des raisons de respect et d'anonymat propre aux investisseurs de ces supermarchés. Ils ont été désignés par des codes SpM₁, SpM₂ et SpM₃ pour respectivement première, deuxième, et troisième supermarché enquêté. Pour des raisons de sécurité et du respect du domaine privé, il a été impossible de nommer ces supermarchés.



Figure 6. Produits farineux et poudre de feuilles de moringa collectés.

3.3. Test d'Aflatoxines

Les tests d'AF des échantillons ont été réalisés en suivant les techniques et méthodes mises en place par la compagnie (Néogène) fournisseuse des kits. Suivant les recommandations des fournisseurs des kits, les échantillons ont été classés en deux catégories : les produits dérivés des céréales, des racines et des oléagineux. Vingt grammes de chaque échantillon de maïs ont été collectées après avoir été mélangé de manière homogène les échantillons. Cinq grammes de produits ont été prélevées à l'aide d'une balance de marque Fisher. Dans ces 5 grammes de farine ont été ajoutés 25 ml d'éthanol 65%. L'alcool 65% a été préparée suivant la proportion (alcool : eau ; 65 :35 ; volume : volume). La préparation de l'extrait a été faite pour la farine dans une proportion (farine : alcool 65% : volume : volume ; 1 :5) tandis que la poudre de feuilles de moringa et la farine de manioc ont été préparées suivant la dilution de proportion (1 : 3, farine : éthanol 65%) (Gnonlonfin et al., 2007).

Pour chaque 5 grammes de produits de farines de manioc et de poudre de feuilles de moringa ont été ajoutées, 15 ml de solvant. Puis le mélange a été agité manuellement

pendant trois minutes en suivant la méthode mise en ligne par la compagnie. Après la préparation de l'extrait, un prélèvement de 100 µl a été transféré dans un couple d'échantillonnage (récipient) et 500 µl du diluant recommandés. Le test a été inséré dans le mélange formé par l'extrait et le diluant pour l'incubation pendant 6 minutes. La lecture et l'enregistrement des AFs présentes ont été faits grâce à la machine de marque AccuScan Gold. Le test a été réalisé moins d'une semaine après l'échantillonnage. La valeur obtenue pour chaque échantillon a été enregistrée comme l'AF du produit.

3.4. Analyses statistiques

Les données obtenues pour la quantification d'AF des échantillons ainsi que les données collectées lors de l'enquête ont été soumises à des tests statistiques. Le logiciel IBM SPSS version 22,0 a été utilisé pour la réalisation des tests. Les données collectées ont été soumises à des tests de statistiques descriptives. Moyenne arithmétiques, médiane, mode et les quartiles ont été calculées pour tous ces paramètres. Par ailleurs, les AFs contenues dans les échantillons ont été soumis à des tests de statistiques inférentielles. Les échantillons ont été notés comme fixes et les AFs comme randomisées. Toutes ces données ont été soumises à des analyses de variances. Toutes ces analyses ont été réalisées à un niveau de signification de 95%. Les échantillons de farines et de poudre de feuilles de moringa commercialisés sur les marchés et supermarchés ont été soumis à des tests de Student à niveau de confiance de 95% pour voir si la provenance des variétés a un impact sur les AFs. Des tests de Student complémentaires ont été réalisés en cas de besoins. Toutes ces analyses ont été réalisées en considérant les AFs comme fixes et les autres facteurs comme variables. De même, les deux principaux marchés (Relais et Fer) des Cayes ont été considérés comme fixes dans des tests de Student. Les marchés et supermarchés ont également notés comme fixes dans les tests de Student pour évaluer leurs rôles dans la contamination d'AF des produits. Par ailleurs, la provenance, commercialisation (zone), emballage et origines produits ont été utilisés pour réaliser un test d'Analyse en Composantes Multiples (ACM) pour évaluer le rôle de chacun d'eux.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Échantillonnage

Dans le cadre de cette étude, 25 échantillons de substrats ont été collectés. Dix-huit des 25 échantillons collectés ont été des céréales. Le maïs correspond à cinquante-six pourcent (56%) des échantillons et le riz, seize pourcent (16%). Les poudres de feuilles de moringa constituent trois des 25 échantillons soit douze pourcent (12%) et les racines (manioc) représentent quatre des 25 échantillons soit seize pourcent (16%) de la population étudiée. Les poudres de feuilles de moringa ont été les moins documentées parmi les matériels végétaux. L'utilisation de la grande majorité des céréales fait penser à la disponibilité de ces matières dans le régime alimentaire infantile de la ville des Cayes.

4.2. Aflatoxines des échantillons

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude sont présentés sur la (Figure 7). L'AF contenue dans les produits de farines et de poudre de feuilles de moringa varie entre 4 et 19,28 parties par billion (ppb). Les AFs minimales et maximales ont été obtenues respectivement sur les produits de manioc et de maïs. Aucune différence significative n'a été observée entre les substrats ($p=0,08$). Par ailleurs, soixante-quinze pourcent (75%) des substrats ont révélé moins de 15 ppb d'AF. Les racines (manioc) ont été largement inférieures à la contamination des céréales comme le maïs par l'AF. De pareils résultats peuvent être dus à la prolifération de substrats comme le maïs par les champignons et les métabolites secondaires comme l'AF. Les résultats de cette investigation sont en adéquations avec ceux de (Aristil et al., 2017 ; Castor et al., 1987). La contamination de la farine du maïs par les AFs peut être également expliquée par les activités post-récolte. La contamination de maïs par les AFs peut être due à de mauvaises technologies post-récolte (Ahissou, 1987). Des résultats similaires ont été notés dans des pays présentant les mêmes conditions climatiques que d'Haïti (Galtier et al., 2006).

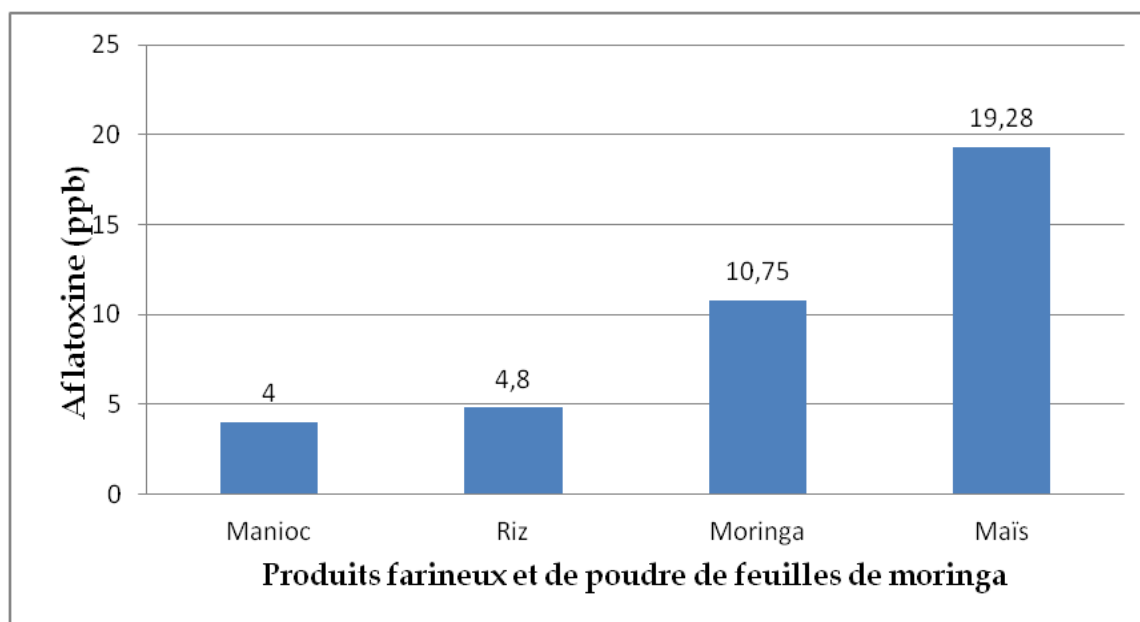


Figure 7. Aflatoxine (ppb) des produits farineux et de poudre de feuilles de moringa des Cayes.

4.2.1. Quartiles des substrats

Ces résultats sont également présentés sous la forme des quartiles (Figure 8). Ces structures ont révélé que la valeur maximale et minimale d'AF des produits sont respectivement 119 et 2,7 ppb. La valeur maximale représente près de 44 fois de celle minimale. L'amplitude de contamination d'AF des produits est de 116,3 ppb. Cette large différence entre les valeurs maximales et minimales laisse sous entendre que les produits sont largement hétérogènes. Cette différence suppose qu'il est nécessaire de prendre en considération tous les aspects de la chaîne de production pour limiter la contamination des produits infantiles du Sud. De plus, 75% des produits ont une contamination d'AF > 9,1 ppb tandis que 25% seulement ont une contamination d'AF < 4,4 ppb. Par contre, 50% des données ont une contamination comprise entre 4,8 et 119 ppb. Ces résultats supposent que les réductions de contamination des produits par les AFs nécessitent une lutte intégrée prenant en considération, les aspects des produits et de toutes les cultures,

céréales, oléagineuses et racines. Ces résultats supportent les travaux de (Dimanche et Kane, 2002).

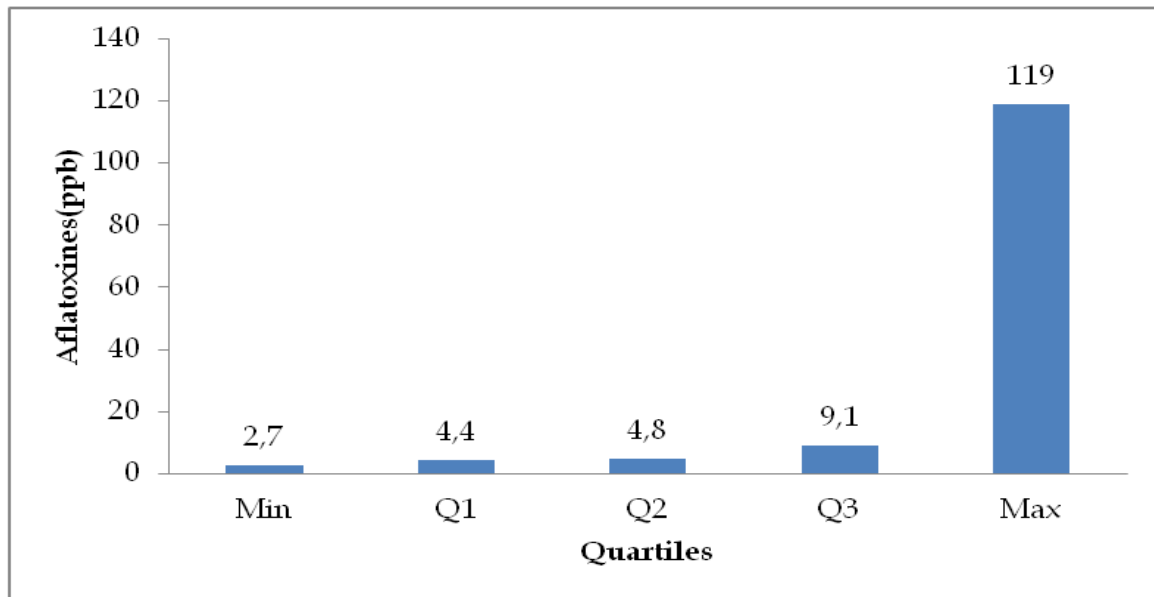


Figure 8. Diagramme de quartiles de contamination d'aflatoxine (ppb) des produits.

Q1, 2 et 3 représentent respectivement, premier, deuxième et troisième quartiles.

4.2.2. Aflatoxines des marchés de la ville des Cayes

Les résultats pour la contamination d'AFs des produits commercialisés sur les marchés des Cayes sont présentés sur la (Figure 9). Les AFs des marchés varient significativement ($p < 0,05$). Les AFs des produits de Relais et Fer sont respectivement 32,1 et 5,2 ppb. La contamination des produits de Relais représente plus de six fois de celle du marché en Fer. Cette différence peut être due à l'infrastructure de Relais et de Fer. Dans le cas de marché en Fer, les produits sont stockés et commercialisés sur des tabourets et autres composantes. Sans aucune protection. Dans le marché en Fer, les commerçants vendent la majorité de leurs produits sur les trottoirs. Toutes ces conditions peuvent favoriser la prolifération des champignons et conséquemment des métabolites secondaires comme les AFs. Les risques de contamination d'AF du marché Relais sont largement supérieurs à ceux de Fer. Des études supplémentaires devraient être réalisées pour confirmer ces résultats.

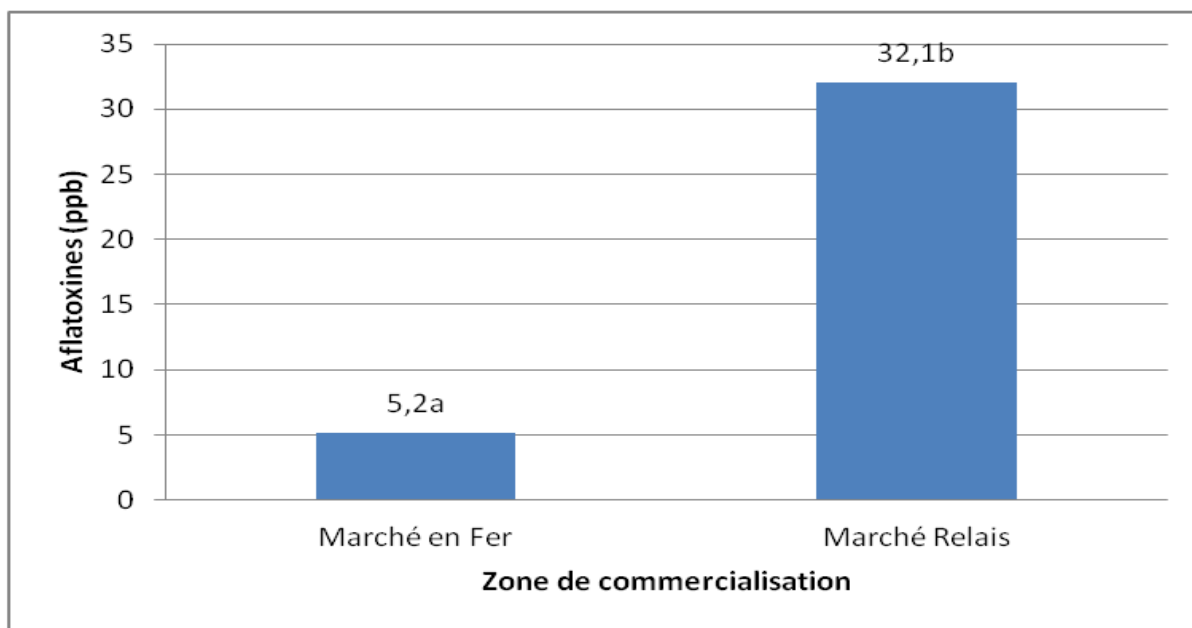


Figure 9. Aflatoxines (ppb) des deux marchés de la ville des Cayes. Les barres de lettres différentes sont statistiquement différentes pour le test t de Student $p < 0,05$.

4.2.3. Aflatoxines des supermarchés et marchés de la ville des Cayes

L'AF des produits a été documentée par rapport à leurs origines : marchés et supermarchés de la ville des Cayes. Les résultats obtenus sont présentés sur la (Figure 10). La Contamination des produits commercialisés dans les supermarchés et dans les marchés sont respectivement (6,12 et 23,97 ppb). Cette différence notée entre les zones de commercialisation des produits sont significativement différents ($p < 0,05$, test de Student). Cette différence peut être due aux conditions de stockage des produits. Les produits commercialisés aux Cayes, dans les marchés sont plus exposés à l'élévation de la température. La condensation des molécules d'eau peut favoriser le développement des champignons. Le rôle de la température dans la contamination et la prolifération des AFs dans les substances ont été largement documentées. Ces résultats supportent ceux de (Torres et al., 2014). Dans les supermarchés, les produits sont dans la grande majorité, stockés dans des conditions de température avoisinante entre 10 degrés Celsius. Le rôle de la température dans la contamination des produits par les AFs a été rapporté (Botton et al., 1990).

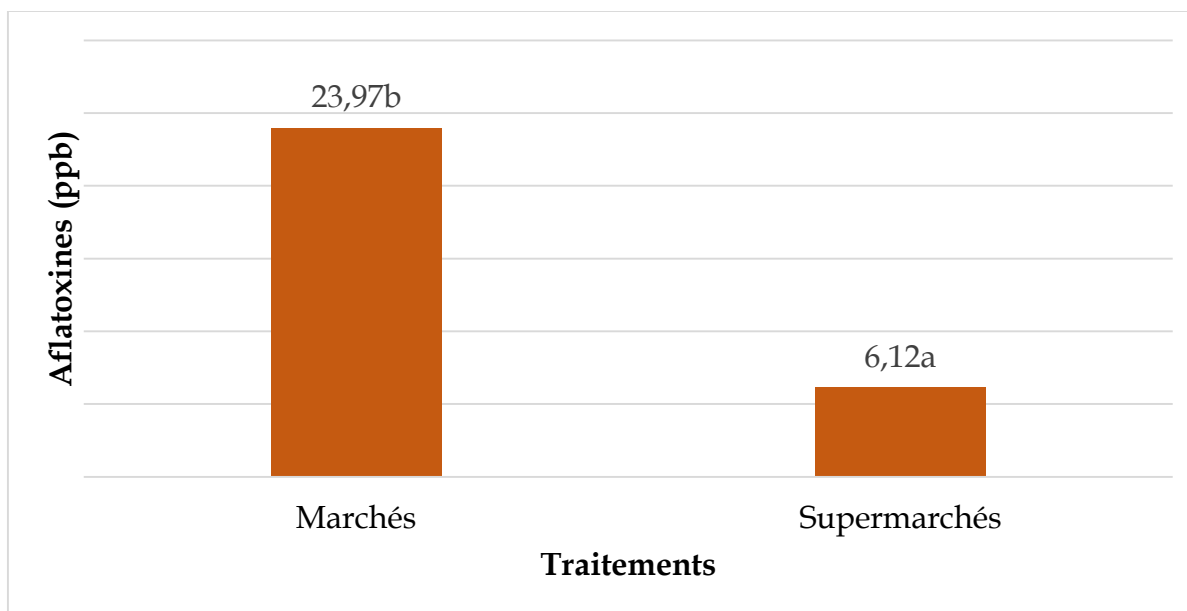


Figure 10. Aflatoxine (ppb) des marchés et des supermarchés de la ville des Cayes. Les barres de lettres différentes sont statistiquement différentes pour le test t de Student $p < 0,05$.

4.2.4. Emballage et aflatoxine des produits

L'emballage est un facteur important dans la protection des produits. Dans le cadre de cette investigation, il a été documenté. La majorité des produits commercialisés en Haïti ne sont pas emballés. Les résultats obtenus pour son rôle de l'emballage dans la contamination des produits sont présentés sur la (Figure 11). Les résultats ont révélé que les produits non emballés sont significativement plus exposés aux AFs que les emballés ($p = 0,03$, test de Student). Les AFs des produits emballés et non emballés ont été respectivement 5,79 et 36,9 ppb. Ce qui représente plus de 31 ppb de différence. Le rôle de la contamination des produits non emballés par les AFs suggère une grande exposition de la masse défavorisée à l'aflatoxicose. La majorité des produits commercialisée dans les marchés sont non emballés et achetés pour la grande majorité (par des gens les moins aisés). Les produits non emballés sont davantage commercialisés dans les rues où les conditions environnementales sont réunies pour la prolifération de champignons et les mycotoxines dont les AFs. Par contre, les produits des supermarchés sont parfois, voire

même dans la majorité des cas, emballés. Des études supplémentaires sont à réaliser pour confirmer ces résultats.

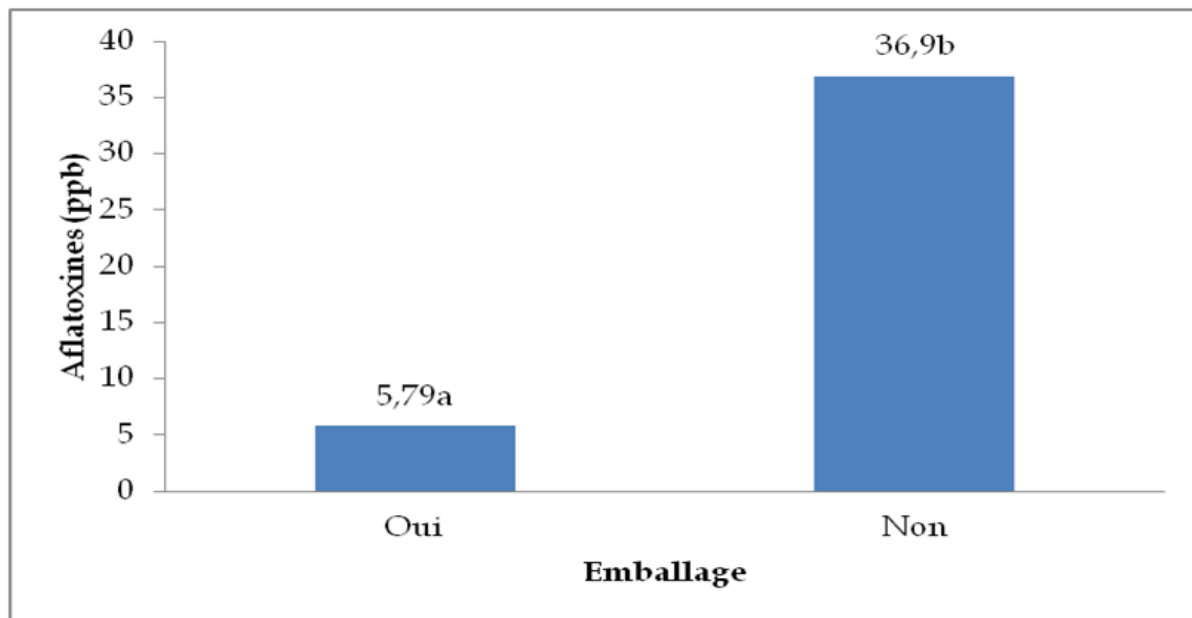


Figure 11. Emballage et contamination des produits par aflatoxines (ppb). Les barres de lettres différentes sont statistiquement différentes pour le test t de Student $p < 0,05$.

4.2.5. Aflatoxines de la farine de maïs

Sur la (Figure 12) sont présentés les résultats obtenus pour la concentration d'AF des produits dérivés du maïs par rapport aux différentes zones de commercialisations des produits. Ces derniers ont révélé que les AFs des échantillons de produits de farine de maïs sur les marchés varient respectivement entre (4,4 et 32,02 ppb). Les AFs minimales et maximales des produits de farine ont été notées respectivement sur le supermarché (SpM₃) et le marché Relais. Les taux de contamination les plus élevés par l'AF se sont enregistrés au niveau du supermarché (SpM₁) et du marché Relais respectivement entre (10,5 et 32,02 ppb). La moyenne de contamination d'AF des produits du marché Relais est largement > 20 ppb fixés par la législation américaine. Ces résultats suggèrent que de tels produits ne pourraient pas être commercialisés sur le marché américain (FDA, 2016). Le supermarché (SpM₁) dépasse les niveaux de contamination des aflatoxines fixés par la Commission européenne (CE) (4 ppb). Le taux total d'AF dans les céréales et les fruits à

coque destinés directement à la consommation humaine devaient être inférieurs à 4 ppb (CE, 2010). Cette forte contamination peut être due au manque d'hygiène de production ou des équipements utilisés au moment de la fabrication de ces substrats. Elle peut être également due à la mauvaise qualité microbiologique de l'eau utilisée pour le lavage des ustensiles, ou à des problèmes de conditionnement avant consommation. Le niveau de la flore totale semble plus élevé dans la farine de maïs que celle des autres céréales (AFSSA, 2006), le maïs subit des attaques microbiennes depuis le champ avec ultérieurement une intensification surtout lorsque les conditions de stockage sont défectueuses. Ces résultats confirment les données de (Ahissou, 1987).

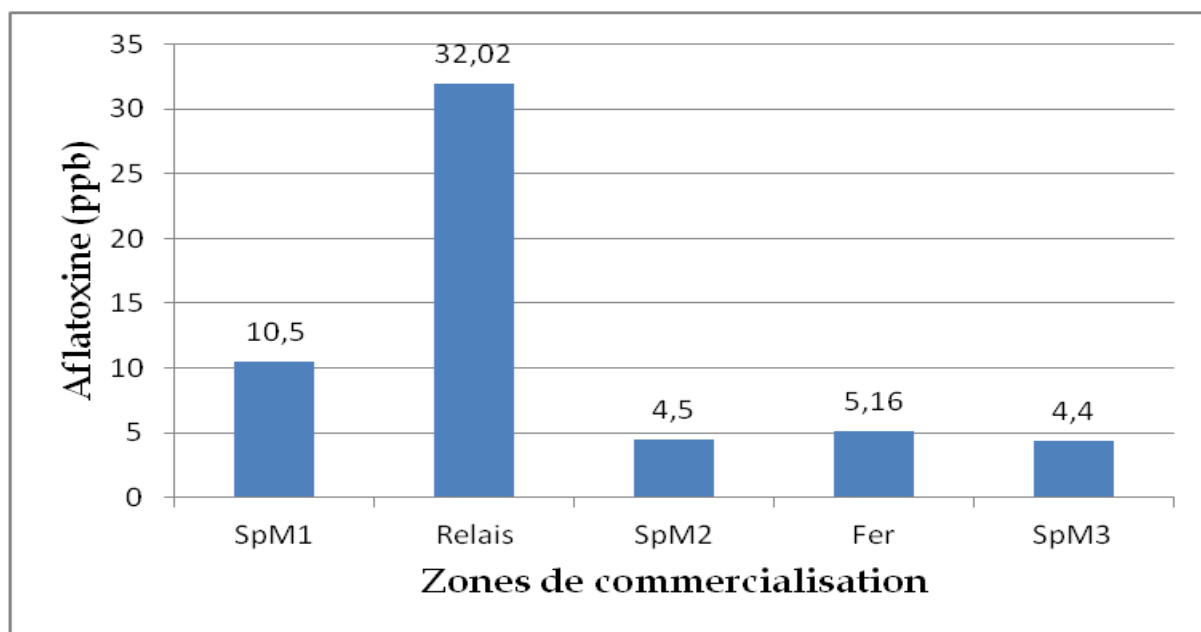


Figure 12. Aflatoxine (ppb) de la farine de maïs.

4.2.6. Aflatoxines de la poudre de feuilles de moringa

Les résultats obtenus et présentés sur la (Figure 13) montrent l'aflatoxine de la poudre feuilles de moringa commercialisée sur les supermarchés. L'AF de la poudre de feuilles de moringa varie entre 9,1 et 12,4 ppb. Un niveau plus élevé de contamination a été observé sur les échantillons de poudre de feuilles de moringa (12,4 ppb) prélevés sur le supermarché de SpM₃. L'AF minimale des échantillons a été notée sur les supermarchés de SpM₁. La contamination des produits de poudre de feuilles de moringa commercialisée

sur les supermarchés peut être liée à la péremption des produits. Le rôle des techniques de préparation dans la contamination des produits par les AFs a été documenté par (Guerre, 2000). Les usines de transformation des feuilles moringa en Haïti sont très limitées. Aucune étude significative n'a encore été réalisée pour vérifier les matériels utilisés, leurs états sanitaires. Les échantillons ne comportent pas de mention de la date du conditionnement, des conditions de stockage, ni la date de limite d'utilisation. Toutes ces choses peuvent avoir des conséquences sur la contamination fongique (Saint Sauveur et Broin, 2010). Ces informations sont contraires aux exigences du CODEX alimentaires en matière d'étiquetage des denrées alimentaires (FAO et OMS, 2001). De plus ces résultats complètent les données avancées par (AISSI A.K. et al., 2013).

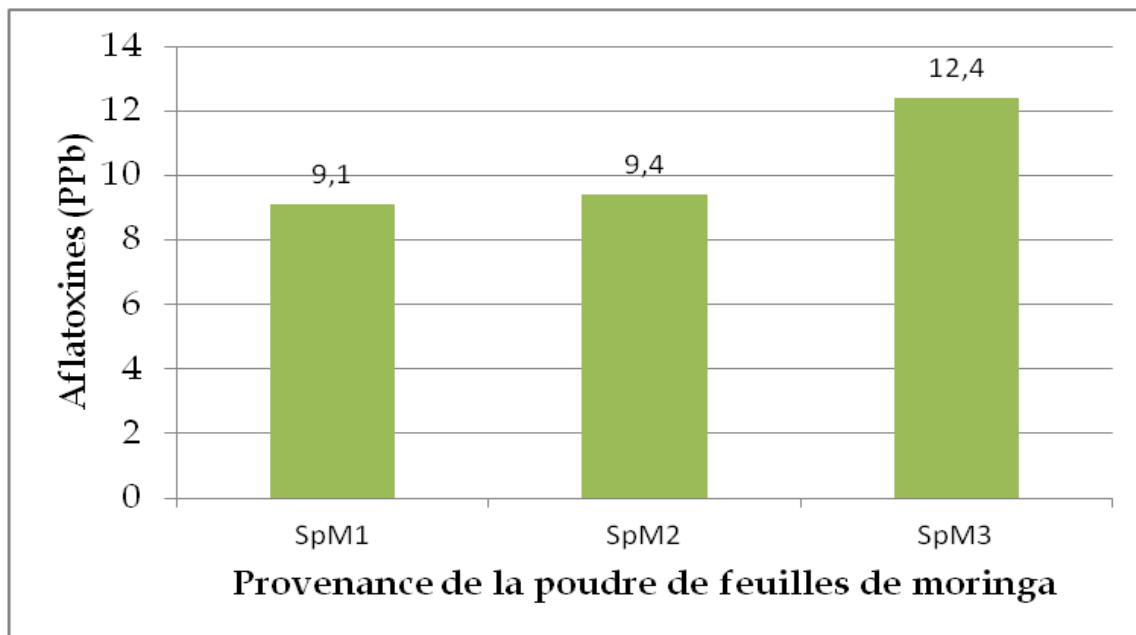


Figure 13. Aflatoxine (ppb) de la poudre de feuilles de moringa.

4.2.7. Aflatoxines de la farine de manioc

Durant la réalisation de cette étude sur l'évaluation de la contamination d'AF des produits farineux et de poudre de feuilles de moringa commercialisés aux Cayes, des échantillons de farine de manioc ont été collectés sur les supermarchés. Les résultats obtenus sont représentés sur la (Figure 14). Ces résultats révèlent qu'une variation considérable d'AF a été observée dans les produits (2,7 et 4,6 ppb). Les valeurs d'AF

minimales et maximales ont été retrouvées sur les supermarchés respectivement SpM₁ et SpM₃. Un niveau de contamination élevé sur les échantillons de manioc prélevés sur le supermarché de SpM₃ avec une moyenne de (4,6 ppb) par l'aflatoxine que sur les échantillons prélevés sur les supermarchés de SpM₁ et SpM₂ respectivement entre (2,7 et 4,1 ppb). Près de 67% d'échantillons de produits de farine manioc sur les supermarchés ont révélés > 4 ppb. La présence des moisissures sur les produits alimentaires dérivés du manioc a été rapportée par (Gnonlonfin et al., 2007). Ces résultats supportent le travail de recherche mené par (Mukandila et al., 2012). La contamination de produits de manioc par les AFs révèle le risque d'aflatoxicose chez les enfants haïtiens du Sud. Le manioc est largement utilisé par les familles les moins nanties pour nourrir leurs bébés. Les bébés et enfants d'Haïti sont les moins développés et possèdent une croissance la plus faible dans la Caraïbe. Le rôle des AFs dans la réduction de croissance infantile a été documentée par (Dieme et al., 2016).

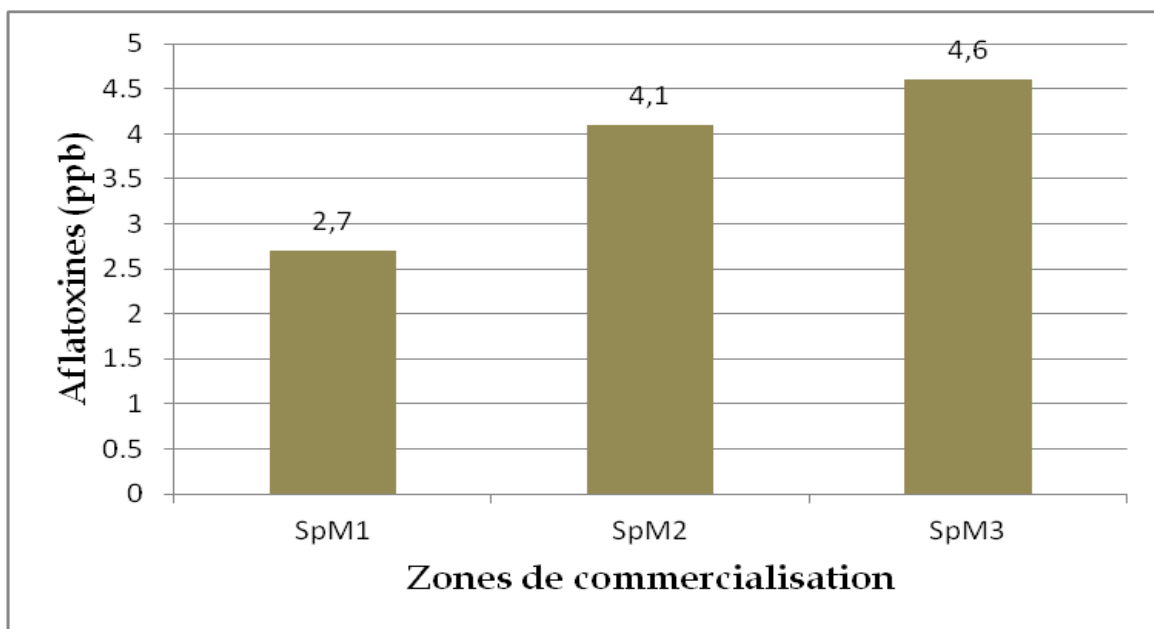


Figure 14. Aflatoxine (ppb) de la farine de manioc.

4.2.8. Aflatoxine de la farine de riz

Des échantillons de farine de riz collectés et testés pour les AFs. Ces résultats sont présentés sur la (Figure 15). Les valeurs d'AF minimales et maximales ont été observées sur les substrats des supermarchés (SpM₁ et SpM₂) avec respectivement 5,3 et 5,4 ppb. Le supermarché de SpM₃ représente le taux de contamination le plus élevé avec 5,4 ppb que les échantillons prélevés sur le supermarché de SpM₂ avec une moyenne 4,45 ppb. Une certaine stabilité a été observée dans la contamination des produits farineux de riz par les AFs. L'amplitude d'AF < 1 ppb. Cette stabilité peut être expliquée par le matériel végétal. Très peu de champignons toxiques producteurs d'AF pourraient être observés dans ces produits. Cette légère différence notée dans les produits à base de riz de la ville des Cayes peut être expliquée par les méthodes qui ne sont que largement différentes. Le riz est l'une des denrées alimentaires la plus cultivée dans le monde après le maïs (FAOSTAT, 2014). Le riz est la première céréale la plus consommée en Haïti (Pressoir et al., 2016). Les moisissures productrices de mycotoxines pourraient contaminer les grains et y produire d'importantes quantités d'AF. Les contaminations des échantillons de céréales dans la présente étude, peuvent être attribuées aux mauvaises pratiques agricoles et post récolte (manipulation lors de la récolte) ou aux conditions de stockage (température, humidité), comme mentionné par les auteurs ayant travaillé sur les mycotoxines (Smith et Moss, 1985). Dans le cadre de cette étude, la faible fréquence et le faible taux de contamination des produits par les AFs peuvent être dus à la réalité de compétition existant entre les champignons producteurs.

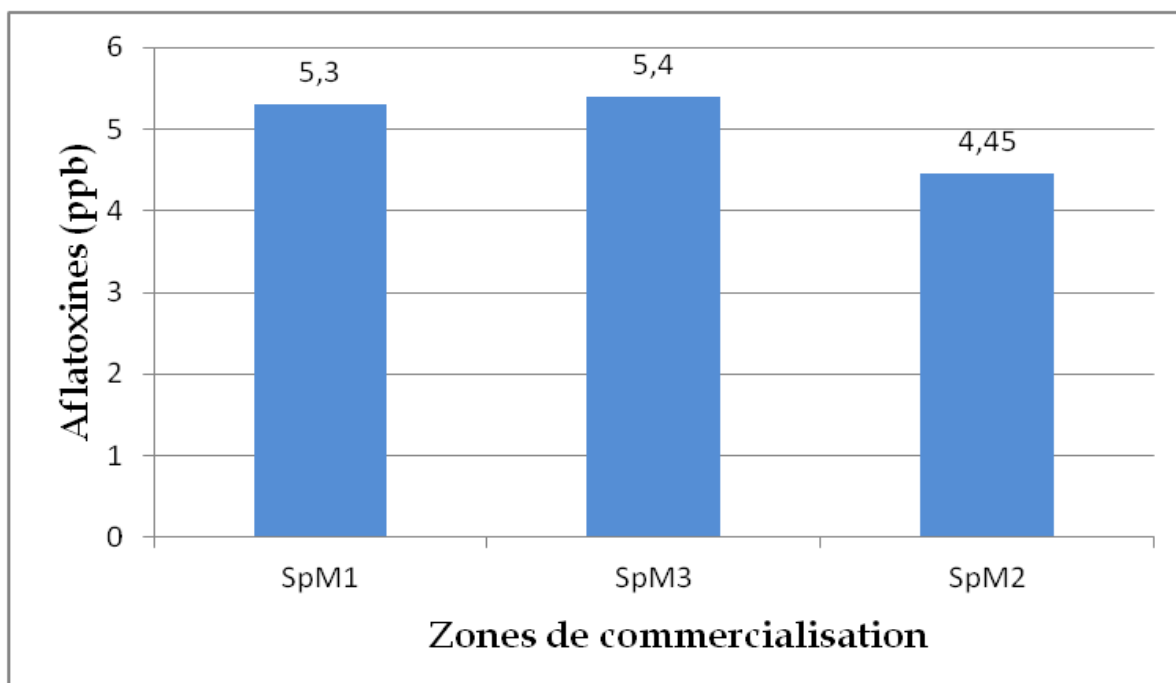


Figure 15. Aflatoxine (ppb) de la farine de riz.

4.3. Analyse en Composantes Multiples

Les résultats des AFs des échantillons ont été soumis à l'Analyse en Composantes Multiples (ACM). L'ACM est une technique utilisée pour évaluer la contribution de divers facteurs sur la contamination des produits par l'AF. Les facteurs utilisés pour ce test ont été la provenance, zone de commercialisation, emballage et origine de la matière première. Les résultats ont été présentés sur la (Figure 16). Les résultats obtenus ont révélé que les facteurs sont classés en 2 groupes. La provenance (Prov) a été listée sur la première catégorie. Zone de commercialisation des produits, origine des produits et emballage ont été classés dans le groupe 2. La provenance a été listée comme étant le facteur le plus important dans la contamination par les AFs. Les autres ont été révélés comme étant possédés les mêmes caractéristiques et rôles dans les AFs des produits. Par ailleurs, tous ces facteurs ont été reliés entre eux pour expliquer la contamination des substrats par les AFs. Des résultats similaires ont été rapportés par (Njeru, 2014). Le rôle de la provenance dans la contamination des produits par les AFs peut être expliqué par les pratiques post récolte (PPR) qui sont différentes d'une zone à d'autres. Les techniques

de gestions du maïs transformés, varient d'une zone à d'autres en Haïti. Ces résultats supportent les données de (Allogni et al., 2010).

Par ailleurs, les résultats de l'étude ont révélé que les deux premières fonctions discriminatoires (FD) sont responsables près de 86% de variation notées entre les produits. La première fonction est responsable de 70% de variabilité. Cette différence de variation entre les paramètres est responsable de 15% de divergence entre les matériels utilisés. La provenance du produit a été largement bien associée aux deux principales fonctions (FD1 et FD2). Ces résultats suggèrent que la meilleure façon de contrôler la contamination des matières par les AFs est de mettre l'accent sur la provenance des produits. La provenance des produits prend en compte le choix du matériel à étudier, les conditions de préparation et d'hygiène. Des études sont à réaliser pour une confirmation de ces résultats.

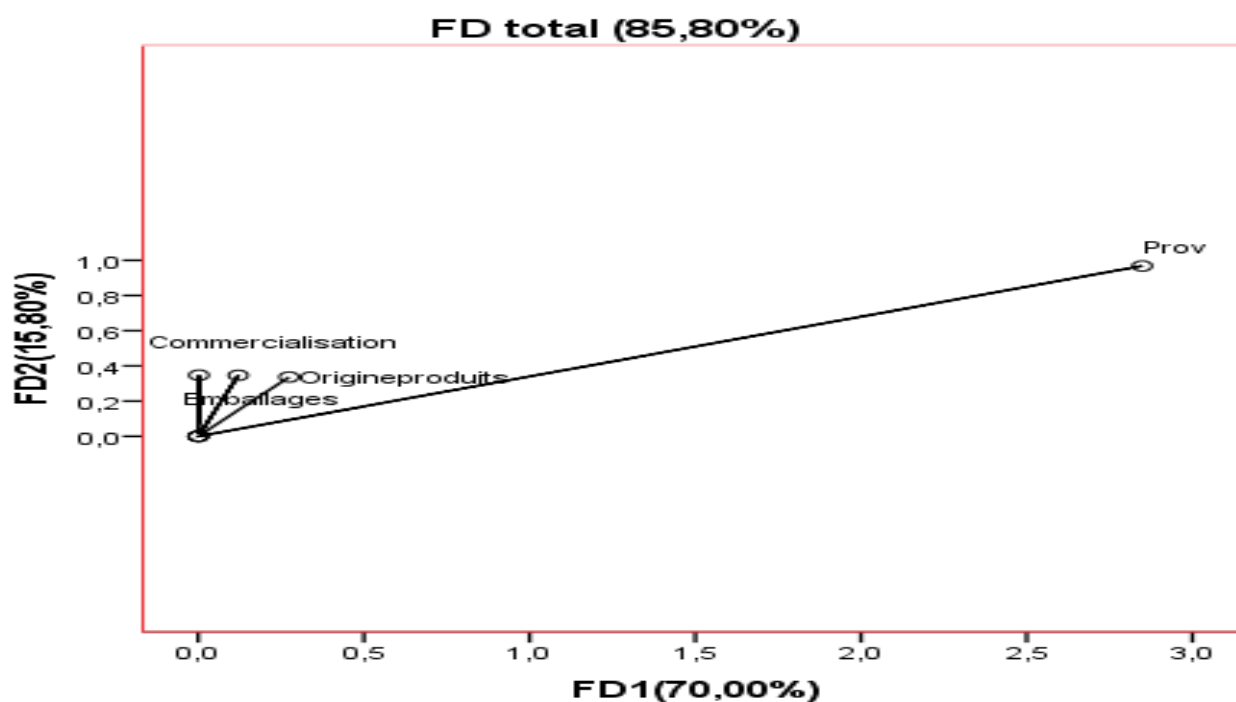


Figure 16. Analyse en composantes Multiples résultant de la provenance (prov) de la matière première, de la zone de commercialisation, de la présence de l'emballage et de l'origine des produits sur la contamination des substrats par les aflatoxines aux Cayes.

CHAPITRE V

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

5.1. Conclusion

Les aflatoxines (AFs) sont des substances cancérigènes pour les tranches d'âge les plus vulnérables dont les enfants. L'exposition aux AFs conduit à l'affaiblissement immunitaire, le cancer du foie, la cirrhose du foie, et les problèmes de nutrition tels que le retard de croissance chez les enfants (Wu et Khlangwiset, 2010 ; Wu et al., 2011). Les aflatoxines peuvent également aggraver les problèmes qui préexistent de santé. Au niveau mondial, il est estimé que les AFs contribuent à entre 4,6 et 28,2 pourcent des cas de cancer du foie. Chaque année, 550,000-600,000 nouveaux cas de cancer du foie sont enregistrés dans le monde, et environ 25,200-155,000 de ces cas sont attribuables à l'exposition aux aflatoxines. En 2008, les AFs représentaient la troisième cause principale des décès liés au cancer dans le monde (WHO, 2008). La contamination de ces aflatoxines dans les produits de farine est préoccupante. En Haïti, très peu de données sont disponibles pour la contamination des produits agricoles et de la chaîne de transformation. Pour répondre aux problèmes de contamination des produits de farine consommés par les enfants tout en préservant leur santé, il a été fixé comme objectif d'évaluer le risque d'aflatoxicoses infantiles aux Cayes.

Pour ce, 25 échantillons de produits ont été collectés sur les marchés et supermarchés de la ville des Cayes. Les supermarchés pris en considération dans l'étude ont été au nombre de trois. Les deux marchés communaux principaux de la ville des Cayes (marché Relais et marché en Fer) ont été également investigués. Les échantillons collectés ont été de la farine maïs (n=14), riz (n=4), manioc (n=4) et poudre de feuilles de moringa (n=3). Ces dernières ont été transportées au laboratoire « Agrolab » de la faculté d'agronomie de l'Université Notre Dame d'Haïti (UNDH) pour la quantification d'Aflatoxine.

L'AF des échantillons a été quantifiée en suivant les techniques mises en place par la compagnie Reveal Q+ Neogen, les fournisseurs.

Le logiciel IBM SPSS version 22,0 a été utilisé pour le traitement des données. Les résultats ont révélé que les AF des substrats varient entre 4 et 119 ppb. Le maïs a été plus contaminé que les autres substrats (manioc, riz et moringa). Les produits achetés sur le marché en Fer ont été plus sains que ceux du marché Relais. De différence significative a été observée entre les produits commercialisés dans les marchés et ceux commercialisés dans les supermarchés. Des résultats de l'ACM ont révélé que la provenance des produits a été notée comme les principaux facteurs responsables de la contamination d'AF dans les produits farineux et de poudre de feuilles de moringa. Ces résultats peuvent être expliqués par le manque d'hygiène de production ou des équipements utilisés au moment de la fabrication de ces substrats, à la mauvaise qualité microbiologique de l'eau utilisée pour le lavage des ustensiles, la non mention de la date du conditionnement, les conditions de stockage et également la date de limite d'utilisation. La contamination des AFs dépend de la zone de provenance des produits. Par ailleurs, la forte prévalence des AF dans les produits supérieurs par rapport au seuil limite développés par les USA suggère une grande et significative exposition de la population infantile du Sud aux risques d'aflatoxicoses.

5.2. Recommandations

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude permettent de formuler les recommandations suivantes :

- Mettre des infrastructures adéquates pour la vente des produits dans le Marché Relais des Cayes ;
- Renforcer la capacité des supermarchés et les marchés de la ville des Cayes pour réduire les risques d'aflatoxicoses ;
- Renforcer la capacité des gens par des campagnes de sensibilisation sur les aflatoxines dans les filières productives du pays ;
- Conduire des études supplémentaires avec plus d'échantillons pour confirmer ces résultats.

CHAPITRE VI

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments). 2009. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale Rapport final. Maisons-Alfort.p: 308.

AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments). 2006. Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale. Rapport synthétique de Décembre 2006. 82 p.

Ahissou J. 1987. Appréciation de la situation hygiénique et alimentaire dans la ville de Cotonou. Actes de l'atelier pour améliorer les pratiques alimentaires hygiéniques au niveau des ménages et vendeuses d'aliments ou de repas dans la rue, Cotonou. p.6

Aïssi KA, Hounto OA, Johnson RC, Kplakatcha S, Dougnon TV, Tchiakpe E, Klotoe JR, Edorh AP, Loko F. 2013. Frequency deficiencies in trace elements and correlations with the degree of immunosuppression in people living with HIV in Cotonou (Benin). *International Journal of Biosciences*, 3(4) : 58-67

Allogni14, W. N., et al., 2010. Liens entre la contamination des produits maïsicoles à l'aflatoxine et la pauvreté au Bénin.

Al-Taher, F., Cappozzo, J., Zweigenbaum, J., Lee, H. J., Jackson, L., & Ryu, D. (2017). Detection and quantitation of mycotoxins in infant cereals in the US market by LC-MS/MS using a stable isotope dilution assay. *Food Control*, 72, 27-35.

Amaike, S. & Keller, N.P. 2011. *Aspergillus flavus*. Annual review of phytopathology, 49, 107-33.

Anses. 2011. Etude nationale de surveillance des expositions alimentaires aux substances chimiques - 2e étude de l'alimentation totale 2006- 2010 (EAT 2). Tome I: Contaminants

inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines et phyto-estrogènes.

Aristil, J., Venturini, G. and Spada, A. 2017. Occurrence of Toxigenic Fungi and Aflatoxin Potential of *Aspergillus* spp. Strains Associated with Subsistence Farmed Crops in Haiti. *Journal of food protection* 80(4): 626-631.

Botton B., Bertron A., Fevere M., Gauthier S., Guph D., Larpent J. P., Reymond P., Sanglier J. J., Vaysser Y., and Veau S. 1990. Moisissures utiles et nuisibles importance industrielle, 2ème Ed Masson collection biotechnologies.p :5-10.

CAC (Commission du Codex Alimentarius). 1999. Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Hygiène alimentaire. Texte de base – Rome : FAO.660P.

CAC (Commission du Codex Alimentarius). 2004. Code of practice for the prevention and reduction of aflatoxin contamination in tree nuts., 1– 14.

CAST (Council for Agricultural Science and Technology). 2003. Council for Agricultural Science and Technology - Task force report.

Castor, L., Mirocha, C., & chang, H. 1987. Aflatoxin occurrence in Maize samples collected in Haitian markets. *Plant Disease*, 71 (11), 52-120.

CE (Commission Européenne). 2006. Fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires-Annexe-Section.

Charity, M., Maina, W., Job, K., Gordon, O., Rosina, W., Kerstin, H. 2012. Incidence of aflatoxin in peanuts Western, Nyanza and Nairobi Province of Kenya and related market traits, 52, 118-187.

Chavez, M. A., Teresa, R.F., Vladimir, D.A., Amado, B. M., Narovis, R.R., Maria, J. A. 2011. Aerobiological dynamics of potentially pathogenic fungi in a rice agroecosystem in la Habana Cuba, 28, 177-183.

Chen, J., Mirocha, C.J., Xie, W., Hogge, L.R., Olson, S.C. 1992. Production of the mycotoxin fumonisin B1 by *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici*. *Applied and Environmental Microbiology* 60, 847-852.

Chu, F. S., Li, G. Y. 1994. Simultaneous occurrence of fumonisin B1 and other mycotoxins in moldy corn collected from the People's Republic of China in regions with high incidences of esophageal cancer. *Applied and Environmental Microbiology* 60, 847- 852.

Clark H. A., Snedeker S. M. 2006. Ochratoxin A: Its cancer risk and potential for exposure. In *Journal of Toxicology and Environmental Health*, vol. 9, 2006, p.265–296.

COKER R. D. 1996. Mycotoxins. In *Groundnuts*, second edition, Pests Control Series, p. 335-348. Nri (ed.), Natural Resources, Chatham, Royaume-Uni.

Commission Européenne (CE). 2010. Règlement (UE) N° 165/2010 de la Commission du 26 février 2010 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires, en ce qui concerne les aflatoxines.

Diao, E., Dong, H., Hou, H., Zhang, Z., Ji, N. & Ma, W. 2015. Factors Influencing Aflatoxin Contamination in Before and After Harvest Peanuts: A Review. *Journal of Food Research*, 4, 148– 154.

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.

Dimanche, P., Kane, A. 2002. Filière arachide de bouche du Sénégal : Enjeux de la maîtrise de l’aflatoxine. In E. Hanak, E.Boutrif, P. Fabre, M. Pineiro *Gestion de la sécurité des aliments dans les pays en développement. Actes de l’atelier international*, CIRAD-FAO, 11-13 décembre 2000, Montpellier, France.

Dorner, J.W. et Cole, R.J. 2002. Effect of application of nontoxigenic strain of *Aspergillus flavus* and *A. parasiticus* on subsequent aflatoxin contamination of peanuts in storage. *Journal of Stored Products Research*, 38, 329-339.

Enwonwu, C. 1984. The Role of Dietary Aflatoxin in the Genesis of Hepatocellular Cancer in Developing Countries. *The Lancet*, 324, 956-958.

Evans, Andrea, and Diego Bassani. "Trends and determinants of childhood malnutrition in Haiti pre-and post-the earthquake." (2018): 533-533.

FAO (Food Agriculture Organization), OMS (Organisation Mondiale de la Santé). 2001. *Etiquetage des denrées alimentaires, Textes complets du Codex Alimentarius, Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires.*

FAOSTAT. 2014. Statistical databases on African countries "food commodities" trade, production, consumption, and utilization. FAO, Rome, Italy, disponible sur:http://www.uneca.org/sites/default/files/uploads/ice17_report_secu_aliment_industrie_fr_ecawa_2014_04_final.pdf.

FDA (Food and Drug Administration). 2016. Guidance for Industry - Ensuring Safety of Animal Feed Maintained and Fed On-Farm #203.

FIC (Frère de l'instruction chrétienne). 1960-1991. Station pluviométrique de la ville des Cayes.

Fremy J-M., Thomann C. 2009. Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale. Agence Française De Sécurité Sanitaire Des Aliments. p 8-10, 13, 14, 23, 47, 79, 127, 149, 179.

Galtier, P., et al., 2008. Le risque mycotoxique: danger et impact sanitaire en productions animales." *INRA Prod. Anim* 21.1: 107-116.

GALTIER, Pierre, et al., 2006. "Toxicologie des mycotoxines : dangers et risques en alimentation humaine et animale.

Gelderblom, W.C., Marasas, W.F., Vleggaar, R., Thiel, P.G., Cawood, M.E. 1992. Fumonisin : isolation, chemical characterization and biological effects. *Mycopathologia* 117, 11-16.

Gnonlonfin, G.J.B., Hell, K., Fandohan, P., Siame, A.B. 2007. Mycoflora and natural occurrence of aflatoxins and fumonisin B1 in cassava and yam chips from Benin, West Africa. *International Journal of Food Microbiology*. pp. 104-109.

Grosjean. 2006. La législation concernant les mycotoxines dans revue « Industries des céréales », n°150, décembre 2006 .

Guerre, P. 2000. Intérêt des traitements des matières premières et de l'usage d'adsorbants lors d'une contamination des aliments du bétail par des mycotoxines. *Revue Méd. Vét*, 151(12), 1095-1106.

Hell, K., Fandohan, P., Bandyopadhyay, R., Kiewnick, S., Sikora, R. & Cotty, P.J. 2008. Pre- and postharvest management of aflatoxin in maize: An African perspective. *Mycotoxins: Detection Methods, Management, Public Health and Agricultural Trade*, 209-218.

Hendrickse, R. G. 1997. Of sick turkeys, kwashiorkor, malaria, perinatal mortality, heroin addicts and food poisoning: research on the influence of aflatoxins on child health in the tropics. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 91: 787 - 794.

IARC Monograph.1993. Aflatoxins. International Agency for Research on Cancer, 56.

IITA (International Institute of Tropical Agriculture). 2010. Making Kenyan maize safe from deadly aflatoxins. 05

Irrázaval, B., Barja, S., Bustos, E., Doiraint, R., Senethmm, G., Guzmán, M. P., & Uauy, R. (2018). Influence of Feeding Practices on Malnutrition in Haitian Infants and Young Children. *Nutrients*, 10(3), 382

Jard, G. 2009. Etude de différents modes d'élimination biologique de la zéaralénone, mycotoxine présente dans les céréales: Adsorption et Biotransformation (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse).

Kachapulula, P. W., Akello, J., Bandyopadhyay, R., & Cotty, P. J. (2017). *Aspergillus* section *Flavi* community structure in Zambia influences aflatoxin contamination of maize and groundnut. *International journal of food microbiology*, 261, 49-56.

Krska R. 2009. Mycotoxins. *Anal Bioanal Chem.* p:1203–1204.

Leszkowicz, A. 2003. Les mycotoxines condition de formation, effet sur la santé et évaluation des risques. Présentation ENSA, Toulouse.

Maaroufi K., Achour A., Zakhama A., Ellouz F., El may M., Creppy E. E., Bacha H. 1996. Human nephropathy related to ochratoxin A in Tunisia. *Journal of Toxicology* 15 : 223–237.

Marasas, W.F., Kellerman, T.S., Gelderblom, W.C., Coetzer, J.A., Thiel, P.G., Van Der Lugt, J.J. 1988. Leukoencephalomalacia in a horse induced by fumonisin B1 isolated from *Fusarium moniliforme*. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 55, 197-203

Miller, J.D. 1994. Diseases in humans with mycotoxins as possible causes. In: Miller JD, Trenholm HL, eds. *Mycotoxins in Grain: Compounds other than Aflatoxin*. St Paul (Minnesota): Eagan Press.

Mmongoyo, J. A., Nair, M. G., Linz, J. E., Wu, F., Mugula, J. K., Dissanayake, A. A., & Strasburg, G. M. (2017). Bioactive compounds in *Diospyros mafiensis* roots inhibit growth, sporulation and aflatoxin production by *Aspergillus flavus* and *Aspergillus parasiticus*. *World Mycotoxin Journal*, 10(3), 237-248.

Molinié, A., Faucet V., Castegnaro, M. & Pfohl-Leszkowicz, A. 2005. Analysis of some breakfast cereals collected on the French market for their content in ochratoxin A, citrinin and fumonisin B1.

Mukandila, K. P., et al. 2012. Qualité des produits dérivés du manioc prélevé au niveau des sites de fabrication et dans les marchés de Kinshasa, RD Congo.

NJERU, Rose W. 2014. Défis en matière de sécurité alimentaire : l'exemple de l'aflatoxine.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé). 2003. Salubrité des Aliments et Santé : Analyse de la situation et perspectives, 2p.

ONU (Organisation des Nations Unies). 2002. Suivi de l'ONU, L'ONU et les droits de l'homme.http://www.unac.org/fr/link_learn/monitoring/susdev_archives_enviro.asp.

Pamel E. V., Vlaemynck G., Heyndrickx M., Herman L., Verbeken A., Daeseleire E. 2010. Mycotoxin production by pure fungal isolates analysed by means of an uhplc-ms/ms multimycotoxin method with possible pitfalls and solutions for patulin-producing isolates. *Mycotox Res.* 1-11.

Petrova-Bocharova T., Chernozemsky I. N., and Castegnaro M. 1988. Ochratoxin A in human blood in relation to Balkan endemic nephropathy and urinary system tumours in Bulgaria, *Food additives and Contaminants* 5, 299-301.

Pressoir et al., 2016. Les filières agricoles Haïtiennes: un marché intérieur à reconquérir <https://agritrop.cirad.fr/580386/1/ID580386.pdf>. Consulté le 08 Mai 2018

Raiola, A., Meca, G., Mañes, J., Ritieni, A. 2012. Bioaccessibility of Deoxynivalenol and its natural cooccurrence with Ochratoxin A and Aflatoxin B in Italian commercial pasta. *Food and Chemical Toxicology* 50(2), 280-287.

Ramjee, G. 1995. Aflatoxin, Kwashiorkor and morbidity. In Cardwell K.F. (ed.), 1996. *Proceedings of the workshop on Mycotoxins in foods in Africa*. November 6-10, 1995, Cotonou, Benin.

- Ranum, P., Peña-Rosas, J. P., & Garcia-Casal, M. N. (2014). Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), 105-112.
- Rheeder, J.P., Marasas, W.F.O., Thiel, P.G., Sydenham, E.W., Shepard, G.S., Van Schalkwyk, D.J. 1992. *Fusarium moniliforme* and fumonisins in corn in relation to human oesophageal cancer in Transkei. *Phytopathology*. 82, 353-357.
- Riley, R.T. & Norred, P. 1999. Mycotoxin prevention and decontamination - a case of study on maize. *Food, Nutrition and Agriculture*, 23, 25-32.
- Saint Sauveur A, Broin M. 2010. Produire et transformer les feuilles de moringa.36 p.http://www.anancy.net/documents/file_fr/moringawebFR.pdf.
- Schwartzbord J. R., Brown, D. L., Pape, J., Verdier, R., Filbert, M. E., & Wang, J. S. 2014. Aflatoxin-lysine adducts in Haitian patients ingesting peanut and maize products. *Journal of Hunger & Environnemental Nutrition*, 9 (2), 244-255.
- Smith J. E. and Moss M. O. 1985. *Mycotoxins: Formation, Analysis and Significance*, Wiley, Chichester, UK.
- SNRE (Service national des ressources en eau)1985-1991. *Etudes des ressources en eau de la plaine des Cayes*, Damien.
- Torres, A.M., Barros, G.G., Palacios, S.A., Chulze, S.N. & Battilani, P. 2014. Review on pre- and postharvest management of peanuts to minimize aflatoxin contamination. *Food Research International*, 62, 11-19.
- Tozlovanu, M., and Pfohl-Leszkowicz, A. 2010. Ochratoxin A in Roasted Coffee from French Supermarkets and Transfer in Coffee Beverages: Comparison of Analysis Methods. *Toxins*, 2(8), 1928-1942.

Urbano, G.R., Taniwaki, M.H., De, F., Leitao, M.F. & Vicentini, M.C. 2001. Occurrence of ochratoxin A-producing fungi in raw Brazilian coffee. *Journal of Food Protection*, 64 (8): 1226-1230.

Van Der Merwe K. J., Steyn P. S., and Fourrie L. 1965. Mycotoxins, Part II. The constitution of ochratoxin A, B and C, metabolite of *Aspergillus ochraceus*, *Nature*, 205, 1112-1113

Van Egmond, H.P., Schothorst, R.C., Jonker, M.A. 2007. Regulations relating to mycotoxins in food: Perspectives in a global and European context. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 389, 147-157.

Waffa E. W., Yahya R. S., Sobh M. A., Eraky I., El Baz M., El Gayar H. A. M., Betbeder, A. M., and Creppy E. E. 1998. Human ochratoxicosis and nephropathy in Egypt: a preliminary study, *Human Experimental Toxicology*, 17,124-129.

WILSON D. M. 1995. Management of mycotoxins in peanut. In *Peanut Health Management*. Plant Health Management Series, p. 87-92. MELOUK H.A. ET SHOKES F.M. (eds.). APS Press, St Paul, Minnesota, Etats-Unis.

Wu F. & Khlangwiset P. 2010. Impacts sur la santé économique et le rapport coût-efficacité des stratégies de réduction de l'aflatoxine en Afrique : études de cas dans les interventions de la lutte biologique et post-récolte, *Food Additives & Contaminants*, 27, 496-509.

Wu F., Narrod C., Tiongco M., & Liu Y. 2011. Economies de la Santé de l'Aflatoxine : Global Burden of Disease . AflaControl, ifRPRi. Working Paper 4. february 2011;

Wu, F., Groopman, J.D. & Pestka, J.J. 2014. Public health impacts of foodborne mycotoxins. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5, 351-372.

Yèhouénou B., Noudogbessi JP., Sessou P., Avlessi F., Sohounhloue D. 2010. Etude chimique et activités antimicrobiennes d'extraits volatils des feuilles et fruits de *Xylopia*

aethiopica (DUNAL) A. Richard contre les pathogènes des denrées alimentaires. J. Soc. Ouest Afr. Chim. 29 : 19-27.

Yiannikouris A., Jouany J-P. 2002. Les mycotoxines dans les aliments des ruminants

Zbib N., Repussard C., Tardieu D., Guerre P. 2014. Toxicité des mycotoxines produites par des champignons endophytes du genre *Neotyphodium*. Revue Méd. Vét., 165 (3-4) : 116-135.

ANNEXES

Annexe 1. Formulaire d'enquête sur la Contamination d'Aflatoxine des produits farineux et de poudre de feuilles de moringa commercialisés aux Cayes .

I-Approche sociale

Quel est le sexe du marchand ?

☐ Homme

☐ Femme

II-approche technique

2.1. Zone de la matière première.....

2.2. Zone de transformation.....

2.3. Nom de l'entreprise.....

2.4. Où est lieu de vente ?

☐ marché ☐ supermarchés

2.5. Comment se fait le traitement ?

☐ Chimique ☐ biologique ☐ séchage

2.6. Quels sont les ingrédients ajoutés au cours de la préparation de la farine de maïs ?

☐ Lait ☐ sucre ☐ sel ☐ autres.....

2.7. Quelle est la durée de disponibilité de la farine ?

R.....

2.8. Comment est le type d'emballage ?

☐ Plastique ☐ verre ☐ autres.....

2.9. Comment se fait la conservation du maïs ?

R.....

2.10. Quelle est la condition de température de conservation du produit ?

R.....

2.11. Comment se fait la vente ?

☐ Table ☐ par terre ☐ sur tréteau

2.12. La durée du produit entre les mains du commerçant.

R.....

2.13. Le dépôt est-il en bon état ?

R.....

Annexe 2. Les produits farineux et de poudre de feuilles de moringa.



Annexe 3. Les matériels utilisés au cours de l'expérience.



Cylindre graduée



Test d'aflatoxine



Chronomètre

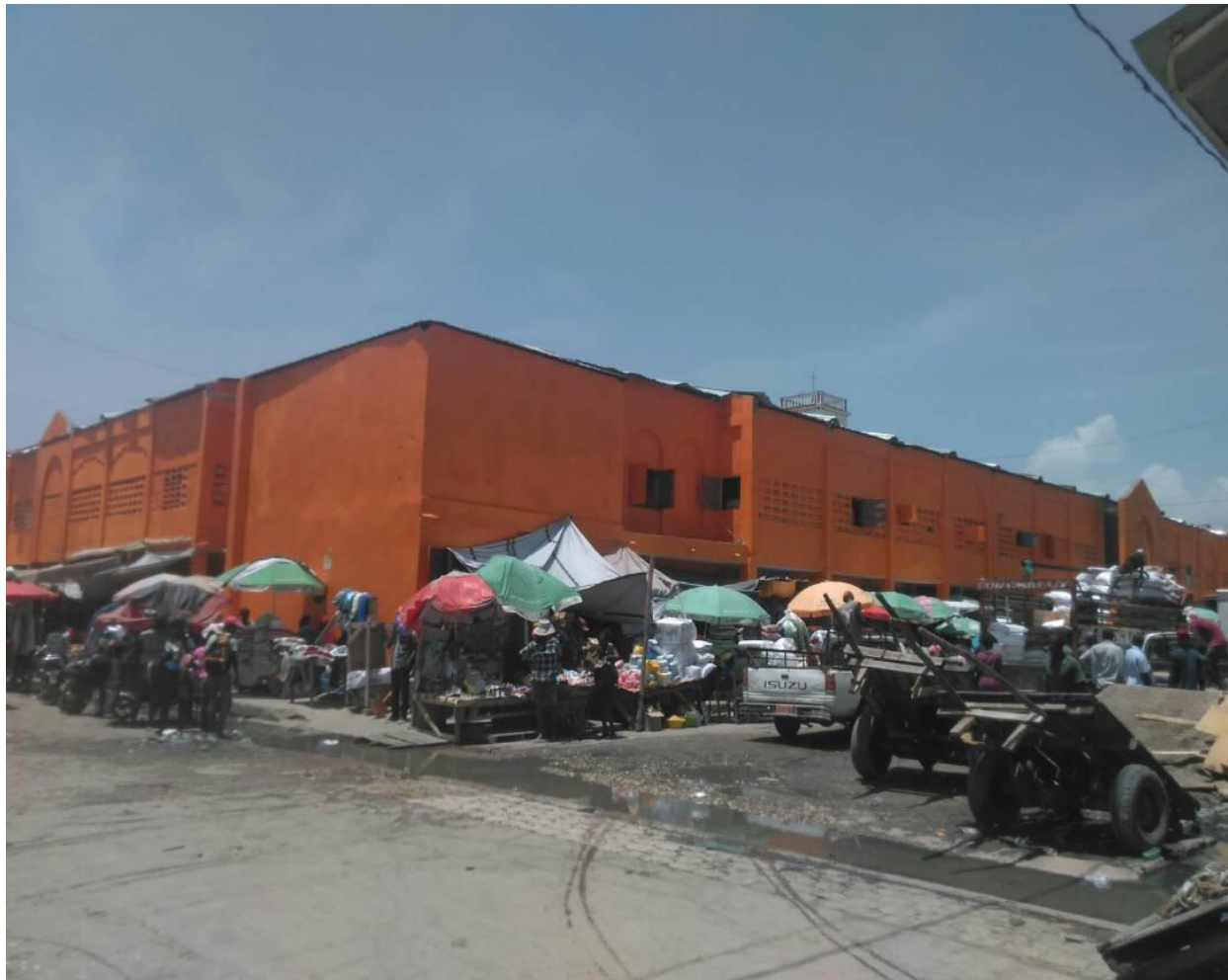


AccuScan Gold

Annexe 4. Photos lors de la réalisation des tests d'aflatoxines.



Annexe 5. Marché en Fer des Cayes.



Annexe 6. Marché Relais des Cayes.

