UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Contribution à l'étude de la qualité du sorgho blanc au Burundi : Evaluation de la contamination par les aflatoxines

Niyuhire, Bélyse; Sous la direction : Pro Pascal Kakana

2023
UB, FABI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1555

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE D'AGRONOMIE ET DE BIO-INGENIERIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA QUALITE DU SORGHO BLANC AU BURUNDI :

EVALUATION DE LA CONTAMINATION PAR LES AFLATOXINES

Par

NIYUHIRE Bélyse

Mémoire présenté et défendu en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Sciences et Technologie des Aliments

Option : Technologie post-récolte

Sous la direction :

Professeur Pascal KAKANA

BUJUMBURA FEVRIER, 2023

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Dr. Ir. NIYOYANKANA Bonaventure: Président

Dr. Ir. NIYUKURI Jonathan: Secrétaire

Prof. KAKANA Pascal: Directeur de mémoire

DEDICACE

A mon cher époux NZEYIMANA Kim Kévin

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour et l'affection que j'ai toujours eue pour toi. Tes conseils, ta bienveillance et tes encouragements m'ont permis de dépasser toutes les difficultés.

Je te dédie ce travail en gage de mon amour et de mon estime les plus profonds

A mes très chers parents

A qui je dois tout, et pour qui aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et la reconnaissance pour l'ampleur des sacrifices que vous avez endurés pour nous éduquer.

Pour vos immenses sacrifices, vos encouragements et vos dévouements pour le bonheur et le succès de notre foyer et de notre famille.

Je n'ai été guidé que par le désir de vous honorer.

J'espère qu'aujourd'hui vous êtes fier de moi.

Que ce travail soit le témoignage de ma gratitude et de toute mon affection.

Vous méritez sans conteste qu'on vous décerne le prix 'parents exemplaires', je vous aime…

Que Dieu vous garde et vous procure longue vie, santé et bonheur, afin que vous demeuriez le soleil qui illumine notre vie.

A vous, je dois ce que je suis.

Je suis fier et content de réaliser une partie de ce que vous avez tant espéré et attendu de moi.

A mes chers fils INTWARI Kim Smain Elvany et INTUNGANE Kim Baruch Alvy

Les êtres les plus chers dans ma vie,

Vous êtes mes anti-stress .je vous aime

A Mes chers frères et sœurs

En témoignage de toute l'affection et des profonds sentiments fraternels que je vous porte et de l'attachement qui nous unit. Je vous souhaite du bonheur et du succès dans toute votre vie.

REMERCIEMENTS

Le travail que nous présentons dans ce mémoire est le fruit de plusieurs collaborations. Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Mes premiers et sincères remerciements vont à l'endroit du Tout puissant qui m'a prêté vie et santé sans lesquelles ce travail n'aurait pas pu voir le jour. DIEU, Seigneur Tout Puissant, durant toutes ces années d'études, Tu m'as accompagné et m'as gardé dans ta grâce. Je Te remercie pour tout ce que Tu m'as donné et me donneras encore dans cette vie. Je trouve aussi une occasion agréable pour exprimer ma sincère gratitude à toute personne morale ou physique qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à remercier plus particulièrement Pr. KAKANA Pascal, Directeur de ce mémoire, pour avoir dirigé ce travail malgré ses multiples occupations. Cher directeur, votre simplicité, vos riches conseils, vos encouragements, votre disponibilité, votre expérience et vos compétences m'ont été d'un grand intérêt. Pour tout ce que vous m'avez fait, soyez assuré de ma sincère gratitude et ma profonde reconnaissance.

Que toutes les personnes qui m'ont enseigné depuis l'école primaire jusqu'au niveau de master à l'Université du Burundi et spécialement les enseignants du département de sciences et technologie des aliments (STA), trouvent dans ce travail le fruit de leurs efforts.

Ma respectueuse gratitude et mes sincères remerciements vont également aux chefs des départements d'Assurance Qualité à la Brarudi et de ressources humaines au sein de laquelle nous avons effectué nos travaux de recherche dans leur laboratoire; chers chefs, je vous remercie pour vos conseils, vos orientations et vos encouragements que vous m'avez apportés. J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble des employés du département d'Assurance Qualité et ceux du projet sorgho de la Brarudi qui m'ont reçu et ont donnés de leur temps pour répondre à mes questions et ainsi contribuer au recueil des informations présentées ici.

A Tous mes collègues et amis étudiants, reçoivent aussi mes sincères remerciements à leur aide d'une manière ou d'une autre.

RESUME

Les aflatoxines sont des mycotoxines secrétées par certains Aspergillus et présentent des effets nocifs sur la santé humaine ou animale. Elles se développent sur une large variété des denrées alimentaires dont les arachides, les céréales, les épices, les fruits secs, la viande et les produits laitiers. La présence de moisissures et de toxines dans les aliments est devenue un sujet de préoccupation pour les professionnels de la santé, ainsi que pour le commerce mondial. Les populations Africaines sont exposées aux aflatoxines même avant leur naissance**.** Elle représente donc des défis majeurs pour les systèmes mondiaux de sécurité alimentaire, de la santé, de la nutrition, et les économies car elles sont produites tant au cours de la production agricole, de la récolte, du transport, du stockage ainsi que de la transformation des aliments. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif global de notre travail qui est d'évaluer les niveaux de contamination du sorgho blanc par les aflatoxines à travers sa chaine de valeur au Burundi.

Quarante-cinq (45) échantillons ont été soumis aux analyses du taux d'humidité et de la teneur en aflatoxines. Parmi eux, 15 échantillons de sorgho blanc ont été obtenus auprès des producteurs dont 5 échantillons à Cibitoke, 5 échantillons à Bubanza et 5 échantillons à Cankuzo. Ensuite, 15 autres échantillons du produit ont été collectés au niveau des CCS. Et enfin, une quinzaine dans les marchés urbains de Bujumbura dont 5 échantillons dans le marché de COTEBU, 5 dans le marché de Ngagara et 5 dans le marché de Kinama. L'échantillonnage et analyse du taux d'humidité et de la teneur en aflatoxines ont été effectués selon la méthode d'analyse de l'HMESC.

Sur 45échantillons analysés au niveau des différents acteurs, 11 échantillons soit 24 ,4% avaient une teneur en aflatoxines supérieure aux standards internationaux (4ppb). La teneur en aflatoxines variait dans l'intervalle de 1,07ppb-122,2ppb. Les résultats obtenus dans cette étude constitueront une base de données pour les autres chercheurs qui pourraient mener leurs études en matière de la contamination des aliments par les mycotoxines.

Mots clés : Mycotoxines, aflatoxines, Sorgho blanc

ABSTRACT

Aflatoxins are mycotoxins secreted by some Aspergillus and have harmful effects on human or animal health. They are developed on a wide variety of foodstuffs including peanuts, cereals, spices, dried fruits, meat and dairy products. The presence of mold and toxins in food has become a concern for health professionals, as well as for global trade.

African populations are exposed to aflatoxins even before they are born. It therefore represents major challenges for global food security, health, nutrition, and economies because they are produced during agricultural production, harvesting, transport, storage and food processing. It is in this context that the overall objective of our work is to assess the levels of aflatoxin contamination of white sorghum through its value chain in Burundi.

Forty-five (45) samples were tested for moisture and aflatoxin content. Among them, 15 samples of white sorghum were obtained from producers including 5 samples in Cibitoke, 5 samples in Bubanza and 5 samples in Cankuzo. Then, another 15 samples of the product were collected at the CCS level. And finally, about fifteen in the urban markets of Bujumbura including 5 samples in the market of COTEBU, 5 in Ngagara market and 5 in Kinama market. Sampling and analysis of moisture and aflatoxin content were performed using the HMESC method of analysis.

Out of 45 samples analyzed at the level of the different actors, 11 samples or 24.4% had an aflatoxin content higher than international standards (4ppb). The aflatoxin content varied in the range of 1.07ppb-122.2ppb. The results obtained in this study will provide a database for other researchers who may conduct their studies on mycotoxin contamination of food.

Keywords: Mycotoxins, aflatoxins, White sorghum

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY i

DEDICACE ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

TABLE DES MATIERES vi

LISTE DES TABLEAUX viii

LISTE DES FIGURES ix

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS x

AVANT-PROPOS xii

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : GENERALITES 3

I.1. Généralités sur les aflatoxines 3

I.1.1. Introduction 3

I.1.2. Les mycotoxines 3

I.1.3. Les aflatoxines 4

I.1.3.1. Définition 4

I.2.1. Introduction 11

I.2.2. Le sorgho et les grandes céréales mondiales 12

I.2.3. Caractérisation de la zone de production du sorgho blanc au Burundi 12

I.2.4. La structure physique des grains de sorgho 12

I.2.5. La composition chimique des grains 13

I.2.6. Récolte et post-récolte du sorgho 13

I.2.6.1. La récolte 13

DEUXIEME PARTIE : EXPERIMENTATION 21

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES 21

II.1. Procédure de contrôle 21

II.1.1. Échantillonnage 21

II.1.2. Matériel 22

II.1.3. Méthodes 22

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 24

III.1. Taux d'humidité et niveaux de contamination par aflatoxines des échantillons 24

III.2. Détermination du taux moyen d'humidité et de la teneur moyenne en aflatoxines du sorgho en fonction des sites d'échantillonnage 27

III.3. Taux moyen d'humidité et teneur moyenne en aflatoxines 28

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS 31

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition biochimique du sorgho comparée à celle d'autres céréales. 13
Tableau 2: Humidité des grains de sorgho blanc mesuré au niveau des différents acteurs 24
Tableau 3 : Niveaux de contamination des échantillons (sorgho blanc) par aflatoxines.....25
Tableau 4 : Taux moyen d'humidité et teneur moyenne en aflatoxines du sorgho en fonction des sites d'échantillonnage.....27
Tableau 5 : Taux moyen d'humidité et teneur moyenne en aflatoxine du sorgho en fonction des acteurs. 28

LISTE DES FIGURES

Figure 1: séchage du sorgho sur bâche avant battage 15
Figure 2 : Séchage du sorgho après battage sur les bâches.....16
Figure 3 : Sorgho après battage auprès des producteurs en attente de l'acheteur (BRARUDI) 18
Figure 4 : Sorgho stocké dans les Centres de Collecte du Sorgho (Mishiha).....18
Figure 5: Silos métallique de stockage de la Brarudi.....19

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Af: *Aspergillus flavus*

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

ADN : Acide désoxyribonucléique

AFB1: Aflatoxine B1

AFG1: Aflatoxine G1

AFM1: Aflatoxine M1

AFs: Aflatoxines totales

ALARA: As Low As Reasonably Achievable

Aw: Activité de l'eau

BRARUDI: Brasserie et Limonaderie du Burundi

CCM: chromatographie sur couche mince

CCS: centre de collecte du sorgho

CIRC: Centre International de la recherche sur le Cancer

CNTA: Centre National de Technologie Alimentaire

CPPS : Coordonnateurs provinciaux pour la promotion de la santé,

DON: Déoxynivalénol

EC: Echantillon contaminé

FAO: Food and Agriculture Organisation

FDA: Food and Drug Administration

HCC: Carcinome hépatocellulaire

HMESC: Heineken Materials & Equipment Standards and Code

ISABU: Institut des sciences agronomiques du Burundi

JECFA: Joint Expert Committee on Food Additives

MS: matière sèche

MINAGRIE: Ministère de l'Environnement, de l'Agriculture et de l'Elevage

NE : Nombre d'échantillon

OTA: Ochratoxine A

PAT: Patuline

Ppb: partie par billion

UV: ultra-violet

VHB: Virus de l'hépatite B

ZEN: Zéaralenone

AVANT-PROPOS

Le présent mémoire entre dans le cadre de l'obtention d'un diplôme de master en Sciences et Technologies des Aliments, option de Post-récolte. L'idée de cette étude est venue du fait que Les aflatoxines sont des mycotoxines secrétées par certains Aspergillus et présentent des effets nocifs sur la santé humaine ou animale. Elles se développent sur une large variété des denrées alimentaires dont les céréales en général et plus particulièrement le sorgho.

La présente étude vise à d'établir la corrélation entre le taux d'humidité et la contamination du sorgho blanc par les aflatoxines synonymes de l'efficacité d'un bon séchage et stockage sur la qualité du sorgho.

C'est pourquoi le sujet est intitulé « **Contribution à l'étude de la qualité du sorgho blanc au Burundi : Evaluation de la contamination par les aflatoxines »**

Des difficultés n'ont pas manqué au cours de cette étude surtout ceux liés aux moyens financiers qui étaient insuffisants, le manque du matériel de laboratoire spécialisé pour des analyses qualitatives permettant de pouvoir distinguer les types d'aflatoxines B1, B2, G1, G2, M1et M2 et la présente étude n'a été effectuée que dans quatre provinces dont Cibitoke, Bubanza, Cankuzo et dans la Mairie de Bujumbura et les types d'aflatoxines n'ont pas été déterminées.

INTRODUCTION GENERALE

La sécurité des aliments pour l'homme et l'animal devrait être une priorité en ce qui concerne la réglementation des industries agricoles et alimentaires. Etant donné qu'en Afrique subsaharienne, 70% de la population est impliquée dans l'agriculture, les produits alimentaires sont les principaux articles du commerce africain tout comme le commerce international (Conway et Toenniessen, 2003).

La qualité et la sécurité des aliments sont importantes pour que les marchés ne soient pas compromis par la vente de produits alimentaires dangereux. Pour la sécurité de l'alimentation humaine, les bactéries d'origine alimentaire constituent le plus grand danger, suivies des mycotoxines. Par contre, en matière d'aliments du bétail, ce sont les mycotoxines qui représentent la plus grande menace. Les mycotoxines sont des composés de faibles poids moléculaire qui ne produisent pas les symptômes immédiats, contrairement aux toxines bactériennes qui sont des protéines macromoléculaires qui produisent des symptômes dans seulement quelques heures après ingestion (Bankole & Adebanjo, 2003).

Les céréales sont des aliments de base de l'alimentation humaine et animale. Les aspects qualitatifs et sanitaires sont très importants. La présence de moisissures et de toxines dans les aliments est devenue un sujet de préoccupation pour les professionnels de la santé, ainsi que pour le commerce mondial (Nguyen, 2007 ; Eskola et *al.*, 2020; Claeys et *al*., 2020).

La contamination des aliments par les aflatoxines peut affecter la production du secteur agricole, en général, et chacun des quatre piliers de la sécurité alimentaire (disponibilité, accès, qualité de l'alimentation et régularité), en particulier. En Afrique, ces substances toxiques pour l'homme posent un réel problème de santé publique. La population africaine est exposée aux aflatoxines même avant leur naissance (Williams et *al*., 2004)**.** Elle représente donc des défis majeurs pour les systèmes mondiaux de sécurité alimentaire, de la santé, de la nutrition, et les économies car elles sont produites tant au cours de la production agricole, de la récolte, du transport, du stockage ainsi que de la transformation des aliments (Murphy et al., 2006 ; Dieme et *al.*, 2017).

Au niveau africain, la contamination des céréales par cette toxine a des conséquences économiques, alimentaires et surtout sanitaires (Wagacha & Muthomi, 2008 ; Dieme et *al*., 2017). Pour lutter contre la présence des aflatoxines dans des céréales en Afrique, des méthodes chimiques, physiques et biologiques sont employées, bien qu'elles soient limitées (Dieme et al., 2017)**.**

Cependant, les méthodes utilisées pour minimiser la contamination des céréales par les aflatoxines dans les pays développés ne peuvent pas être utilisés de manière réaliste dans les pays en développement, en raison des caractéristiques des systèmes alimentaires et de l'infrastructure technologique de ces pays ; par conséquent, les aflatoxines sont incontrôlables dans ces situations. Donc, toutes les précautions prises pour prévenir la présence des aflatoxines dans les aliments, des accidents surviennent encore car il est impossible de garantir un risque zéro en matière de sécurité alimentaire (Williams et al., 2004)**.** Il convient de rappeler que la contamination par aflatoxines des principaux aliments de consommation courante, à savoir le maïs, le riz et le sorgho, peut atteindre des niveaux inacceptables pour la santé dans de nombreux pays d'Afrique.

Devant cette problématique grandissante de la contamination des aliments par aflatoxines et l'émergence d'un sentiment d'insécurité alimentaire faisant appel à de nouvelles stratégies préventives visant à limiter la contamination des céréales par les aflatoxines, il est nécessaire de réduire voire empêcher la production des mycotoxines.

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif global de notre travail qui est d'évaluer les niveaux de contamination du sorgho blanc par les aflatoxines à travers sa chaine de valeur au Burundi.

L'analyse du sorgho blanc a été réalisée dans le but spécifique d'établir la corrélation entre le taux d'humidité et la contamination du sorgho blanc par les aflatoxines synonyme de l'efficacité d'un bon séchage et stockage sur la qualité du sorgho.

PREMIERE PARTIE: REVUE DE LA LITTERATURE

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1. Généralités sur les aflatoxines

I.1.1. Introduction

Les aflatoxines sont des mycotoxines produites principalement par les moisissures du genre *Aspergillus* comme *Aspergillus flavus, Aspergillus nomius* et *Aspergillus parasiticus* capables de provoquer des maladies graves (comme cancer du foie) et des pertes économiques (Udomkun et *al*., 2018 ; Hussain et *al*., 2008)**.**

Trois espèces d'*Aspergillus* sont connues pour leur capacité à synthétiser des aflatoxines : *A. flavus* produit principalement l'aflatoxine B1 et l'aflatoxine B2, *A. parasiticus* produit les 4 aflatoxines (B1 ; B2, G1, G2) et *A. nomius*, une souche rare, proche de *A. flavus*, capable de produire aussi des aflatoxines (Delphine et *al*., 2021 ; Eskola et *al*., 2020).

I.1.2. Les mycotoxines

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires toxiques produits par des champignons et qui contaminent divers produits agricoles soit avant la récolte, soit dans des conditions post-récolte. Les mycotoxines sont reconnues pour leurs caractères cancérogènes, immunosuppresseurs, œstrogènes, tératogènes, etc (Royer et Tap, 2004 ; Eskola et *al.*, 2020).

Les mycotoxines peuvent être à la base d'énormes pertes économiques à l'agriculture et aux industries agroalimentaires (Royer et Tap, 2004 ; Bhat Vashanti, 1999; Claeys et *al*., 2020 ; Marin et *al*., 2013).

Il existe plusieurs classes de mycotoxines dont les plus nocives pour la santé humaine sont les aflatoxines et particulièrement l'aflatoxine B1 (AFB1) considérée comme cancérogène par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC). Les aflatoxines (produites par des *Aspergillus sp*.) et, en climat tempéré, les ochratoxines mais aussi d'autres mycotoxines comme la zéaralénone (ZEN) et les fumonisimes (produites par des *Fusarium sp*.) sont aussi toxiques pour les animaux et particulièrement les porcs, les volailles ou les équidés. Comme sous les tropiques, *Fusarium* et *Aspergillus* sont parmi les genres de champignons les plus fréquentes sur les grains (Eskola et *al.*, 2020).

D'où la nécessité de porter une attention toute particulière à la présence de mycotoxines dans les récoltes stockées**.**

I.1.3. Les aflatoxines

I.1.3.1. Définition

Les aflatoxines sont des toxines naturelles toxiques pour les êtres humains et les animaux (Van Egmond et *al*., 2007 **;** Williams et *al*., 2004). L'intoxication se produit principalement par la consommation de produits végétaux et animaux contaminés, mais aussi par inhalation et absorption cutanée (Wagacha & Muthomi, 2008).

Les aflatoxines sont donc des contaminants couramment rencontrés dans les aliments et plus particulièrement les céréales (Dieme et *al*., 2017) alors que ces dernières constituent une alimentation de base dans de nombreux pays en développement**.** Ces toxines sont produites par l'action fongique pendant la production, la récolte, le stockage et la transformation des aliments (Williams et *al*., 2004 **;** Kimatu et *al.*, 2012).

Les aflatoxines sont aussi des carcinogènes naturellement présents et qui ont été associés à une incidence élevée du cancer du foie dans certaines parties du monde où les aliments sont fréquemment contaminés par les aflatoxines (Bankole & Adebanjo, 2003)**.** Les aflatoxines sont essentiellement des hépatotoxines et des hépato carcinogènes qui ont été responsables de la mort de 125 personnes au Kenya à cause de l'ingestion de maïs contaminé de fortes concentrations de l'AFB1 (> 1000ppb) (Lewis et *al*., 2005)**.** La Tanzanie a connu également les premiers cas d'aflatoxicose aiguë en 2016, lorsque 68 personnes ont été hospitalisées après avoir consommé du maïs contaminé et 20 ont perdu la vie (Kamala et *al*., 2018).

I.1.3.2. Facteurs favorisant la contamination des céréales par les aflatoxines

Parmi les facteurs qui exacerbent la contamination des céréales par les *Aspergillus* puis par les aflatoxines en Afrique, on peut noter les récoltes prématurés ou surmaturités, le séchage retardé, le stockage des grains endommagés pendant l'égrainage, l'entreposage des grains dont la teneur en humidité est >12,5% (Chantereau et *al*., 2013) et le stockage prolongé des grains dans des installations inadéquates (Kimatu et *al.*, 2012). L'étendue de la croissance fongique et de la production d'aflatoxines dans les céréales dépendent aussi de la température et du type du sol (Dieme et *al.*, 2017)**.**

De même, la pratique inappropriée consistant à mélanger les grains de grades différentes pour améliorer la qualité des grains contaminés, quand certains d'entre eux contiennent un grand nombre de spores fongiques, sera source d'inoculum pour les grains de bonne qualité et contamineront probablement les grains exemptés de toxines (Wagacha & Muthomi, 2008).

Selon Alakonya et *al. (*2009)**,** il est essentiel de réduire la contamination des cultures au champ, car le développement des champignons et la production d'aflatoxines se poursuivent à un rythme plus rapide lors des étapes post-récolte et de stockage.

I.1.3.3. Caractéristiques biochimiques des aflatoxines

Les aflatoxines sont des toxines produites par des moisissures (mycotoxines) appartenant essentiellement à deux espèces parmi les 10 espèces identifiées du genre *Aspergillus* (*Aspergillus*

flavus et *Aspergillus parasiticus*), champignons pouvant se développer facilement dans les régions chaudes et humides. Les aflatoxines constituent un groupe de 18 composés de structures proches (1 molécule de coumarine et 3 de furannes). Les principales aflatoxines rencontrées dans les produits végétaux sont : B1, B2, G1 et G2 ; la plus fréquente et la plus toxique c'est l'aflatoxine B1 qui possède des propriétés tératogènes, génotoxiques et cancérogènes (Lamani et Mahdi, 2021)**.**

Les aflatoxines sont des cristaux incolores ou jaunes pâle fluorescents de façon très intense sous lumière ultraviolette. Eclairées à 365 nm, les aflatoxines B1 et B2 émettent une fluorescence bleue et les aflatoxines G1, G2, une fluorescence vert jaune. Ces couleurs de fluorescence sont à l'origine du nom des mycotoxines (B pour Blue et G pour green), et permettent leur détection et leur dosage après séparation par chromatographie sur couche mince (CCM) (Bennett & Klich, 2003).

Le groupement hydroxyle formé rend l'AFM1 plus soluble dans l'eau et donc rapidement excrétée dans le lait, l'urine, la bile et les fèces des mammifères. L'AFM1 doit d'ailleurs son nom à sa présence dans le lait des animaux consommant une alimentation contaminée par l'AFB1 (Lamani et Mahdi, 2021). Elles sont thermostables, ne présentant une dégradation appréciable qu'à partir de 150°, c'est-à-dire qu'elles résistent aux procédés de cuisson et de stérilisation (Marin et *al*., 2013).

Elles sont également stables au cours d'un stockage prolongé, et les produits contaminés conservent leurs contaminations intactes pendant plusieurs années (Kimatu et *al.*, 2012). En outre, les aflatoxines sont instables sous lumière ultraviolette en présence d'oxygène, à pH extrêmes (pH < 3 ou pH > 10) et en présence d'oxydants (Souhaili et *al.*, 2004).

I.1.3.4. Propriétés biologiques et mode d'action de l'aflatoxine

Une multitude de mycotoxines, dont certaines sont significatives en matière de santé publique, sont produites par les champignons du genre *Aspergillus*. Le carcinome hépatocellulaire (HCC) est une maladie chronique qui est devenue un problème de santé public majeur dans le monde, responsable de plus de 600.000 cas par an et qui représente plus de 70% des carcinomes du foie.

En Afrique et en Asie, l'agent promoteur de ce cancer est vraisemblablement AFB1, il a été estimé qu'AFB1 pourrait être l'agent causal dans 4,6-28,2% de l'ensemble des cas de HCC dans le monde qui est le principal carcinome dans le cas de régions où l'hépatite et l'aflatoxines sont présentes.(Alimata et *al.*, 2019 ; Kimatu et *al.*, 2012).

Les chercheurs ont également montré que l'aflatoxine augmente le niveau du virus du Sida de 40% dans le sang **(**Lane, 2005) parce qu'elle inhibe la production des substances résistives humorales non spécifiques (notamment de C4 et Interféron), et freine la phagocytose, la croissance du thymus et l'immunité à médiation cellulaire (Strosnider et al., 2006 ; Lamani et Mahdi, 2021).

I.1.3.5. L'absorption et élimination des aflatoxines

L'absorption des aflatoxines peut avoir lieu par voie orale et trachéale**;** elle est rapide et s'effectue au niveau de l'intestin grêle dans sa partie duodénale. Les aflatoxines rejoignent le foie par la veine porte ; sa distribution à partir du plasma dans les hépatocytes est réalisée par diffusion passive à travers les membranes (Brochard et Le Bacle, 2009 ; Kabak et *al*., 2006)

Une partie de l'AFB1 est éliminée dans la bile après biotransformation sous forme conjuguée au glutathion, à l'acide glucuronique et au sulfate. Cette sécrétion biliaire représente environ 50 % de la dose excrétée chez la plupart des espèces animales. 15 à 25 % de la dose ingérée sont éliminés par voie urinaire sous forme de dérivés conjugués ou sous forme inchangée **(**Yiannikouris and Jouany, 2011; Pfohl-Leszkowicz et *al.*, 2002).

I.1.3.6. Impacts des aflatoxines

Dans les pays d'Afrique, d'Asie du Sud et d'Amérique du Sud où le climat est chaud et humide, la contamination des céréales par les aflatoxines est plus fréquente. Dans la plupart des pays africains, près de la moitié de la production céréalière a une teneur en aflatoxine supérieure aux standards internationaux (Dieme et *al.*, 2017). Par rapport à la réglementation internationale sur les aflatoxines, la contamination des céréales par ces toxines a des conséquences économiques, alimentaires et sanitaires (Liu & Wu, 2010; Wu & Khlangwis, 2010; Puri et *al.*, 2019).

I.1.3.6.1. Impacts sanitaires des aflatoxines

La toxicité des aflatoxines 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. (Lamani et Mahdi, 2021).

En Afrique, les impacts sanitaires sont prépondérants puisque la culture céréalière étant l'apanage de petits agriculteurs (cultures familiales), la production est généralement destinée à l'autoconsommation. Les céréales tels que le maïs, le riz et le sorgho sont à la base du système alimentaire de la quasi-totalité des pays d'Afrique (Dieme et *al.*, 2017).
Les aflatoxines sont des poisons implacables et cumulatifs qui s'accumulent dans les organismes tant que les populations continuent à manger et à boire des aliments contaminés. Le problème est tel que dans certains pays, les études montrent que l'organisme de presque tous les enfants de moins de cinq ans (plus de 95 %) contient des aflatoxines, indiquant une forte exposition aux aflatoxines, même à cet âge précoce ; Williams et *al.*, 2004).

A l'exception de la forme aiguë d'intoxication par les aflatoxines, beaucoup de maladies et de troubles sont associés à l'ingestion chronique de ces toxines (Gong et *al*., 2002). L'étude la plus préoccupante en Afrique de l'Ouest est celle qui a montré une corrélation importante entre l'exposition aux aflatoxines dans les aliments et la croissance ralentie des enfants qui sont exposés à des toxines dès la période néo-natale. Un niveau élevé d'exposition à l'aflatoxine au moment du sevrage a affecté la croissance des enfants dans la République du Bénin et au Togo (Gong et *al.*, 2003 ; Gong et *al.*, 2004). Une forte corrélation négative a été montrée entre les niveaux d'aflatoxine et le poids de naissance chez les nourrissons dans les Emirats Arabes Unis (Abdulrazzaq et *al*., 2004).

Du fait que les aflatoxines sont génotoxiques et peuvent traverser la barrière placentaire, ils peuvent engendrer des anomalies génétiques pendant la période fœtale (Maxwell et *al.*, 1987). L'exposition prolongée à de faibles niveaux (intoxication chronique) est suspectée de provoquer le cancer du foie, un retard de croissance et le kwashiorkor (malnutrition protéique) chez les enfants (Okoth, S. A., & Ohingo, 2004) ainsi qu'une baisse de la capacité à lutter contre l'invasion par d'autres agents pathogènes (Okoth, S. A., & Ohingo, 2004).

I.1.3.6.2. Impacts économiques des aflatoxines

Les agriculteurs et autres acteurs subissent aussi de lourdes pertes financières. Par exemple, en 2010, 2,3 millions de sacs de maïs de 90 kg ont été déclarés impropres à l'alimentation humaine et animale en raison de leur contamination par les aflatoxines (Wu & Khlangwiset, 2010). Selon l'institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides**,** les pertes annuelles mondiales de grains alimentaires dues aux mycotoxines surtout les aflatoxines sont estimées à 16 millions de tonnes pour le maïs, 12 millions de tonnes pour le riz, 1,8 millions de tonnes pour les arachides, 378,000 tonnes pour le sorgho & le millet, 3,7 millions de tonnes pour le coprah, 2,3

millions de tonnes pour le soja. Une part importante de ces pertes se produit dans les pays en voie de développement d'Asie et d'Afrique (Mahalakshmi & Bidinger, 2002 ; Wu & Khlangwiset, 2010)

En Afrique, environ 40 % des produits sur les marchés dépassent les taux maximums d'aflatoxines autorisés. Au niveau du commerce extérieur, l'Afrique perd jusqu'à 670 millions de dollars par an en termes de possibilités d'exportation (IITA, 2018).

I.1.3.7. Prévention de la contamination des aliments par les mycotoxines et décontamination

Compte tenu de l'importance du rôle des facteurs environnementaux sur la présence des moisissures toxinogènes dans les récoltes et la production de mycotoxines qui est un phénomène naturel, il serait quasiment impossible d'éliminer toute trace de mycotoxines dans les produits alimentaires. Il est possible de minimiser la contamination en prenant des précautions, avant la récolte, au moment de la récolte et après récolte (Toffa, 2015).

La réduction des taux des mycotoxines relève à la fois du rôle des agriculteurs, des commerçants et des industriels. Ainsi les bonnes pratiques culturales contribuent efficacement à diminuer les lésions des plantes, à lutter contre les infestations d'insectes (insecticides), à réduire 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 (Norred et *al*., 1999)

Parmi les méthodes identifiées de lutte contre la contamination des récoltes par les mycotoxines on peut citer les méthodes physiques, les méthodes chimiques et les méthodes biologiques

I.1.3.7.1. Méthodes physiques

Les méthodes physiques sont des techniques très diverses, allant du simple tri, élimination des grains qui ont des défauts, lavage et séparation mécanique jusqu'à des méthodes plus drastiques comme le traitement thermique à haute température, la torréfaction, l'irradiation par UV, rayon X ou microondes (Ruppol et *al.,* 2004) et adsorption qui constitue une méthode de décontamination de plus en plus utilisée quand les mycotoxines sont présentes dans les aliments. Cette technique peut se révéler très performante pour certaines toxines, sous la réservation du choix approprié de l'adsorbant ou ligand inorganique (Jouany, 2007). Les mycotoxines sont en général thermostables et elles résistent à tous les procédés utilisés pour l'élimination des aflatoxines (chauffage et stérilisation) (Marin et *al*., 2013).

I.1.3.7.2. Méthodes chimiques

Les méthodes chimiques sont effectuées par une variété d'agents chimiques tels que les acides, les bases comme l'ammoniaque (NH_4OH) et la soude (NaOH), des agents oxydants tel que le peroxyde d'hydrogène, des agents réducteurs (bisulfites), des agents chlorés et des formaldéhydes sont utilisés pour dégrader ou bio-transformer les mycotoxines, de nombreux travaux indiquent l'apparition des résistances des moisissures vis-à-vis de ces substances chimiques, qui causent à la fois des problèmes toxicologiques et écologique (Yiannikouris et Jouany, 2011).

I.1.3.7.3. Les méthodes biologiques

Il est important d'orienter la recherche vers des nouvelles méthodes biologiques telles que l'utilisation des micro-organismes capables de dégrader enzymatiquement ou biotransformer les mycotoxines (Niderkorn, 2012). De nombreux travaux confirment la capacité des bactéries lactiques à inhiber le développement des moisissures pathogènes ainsi que leurs toxines. Ainsi, des auteurs comme Karunaratne et *al* (1990) ont mis en évidence l'inhibition de la croissance d'*Aspergillus flavus,* de la production de toxines en milieu liquide par *Lactobacillus.* Gourama (1991) quant à lui a constaté, dans son travail, qu'un mélange de *Lactobacillus spp*. empêche la germination des spores d'*Aspergillus flavus.*

D'autres méthodes biologiques consistent à l'utilisation des fibres capables d'adsorber et d'immobiliser les mycotoxines dans le tractus gastro-intestinal (Niderkorn, 2012).

En plus de ça, des méthodes de réduction de la flore fongique et ses toxines prise en compte consistent à l'utilisation des nouvelles substances antifongiques provenant des ressources naturelles notamment les plantes médicinales et aromatiques, plusieurs laboratoires à travers le monde sont orientés vers la recherche de ces substances et leurs valorisations (Sam et *al*., 2008 ; Meziti, 2008).

I.1.3.8. Critères pour la validation des procédés de décontamination des mycotoxines dans les aliments

Outre les méthodes de prévention contre la contamination des aliments par les mycotoxines, il faut également élaborer des stratégies pour décontaminer les matières premières en cas de contamination. La réduction du taux de mycotoxines peut s'effectuer pendant le procédé de fabrication de l'aliment (Bullerman & Bianchini, 2007) ou par ajout d'additifs dans l'aliment qui éliminent ou désactivent les mycotoxines dans l'organisme.

Dans le cadre de la décontamination, des auteurs comme Park et *al.* (1988) ont proposé des critères spécifiques pour la validation des procédés de décontamination des mycotoxines dans les denrées alimentaires. Pour être considéré efficace, ce procédé doit répondre aux exigences suivantes :

- Il doit inactiver, détruire ou éliminer la toxine;
- Il ne doit pas générer ou laisser de résidu toxique dans le produit;
- Il doit maintenir la qualité nutritive de l'aliment et doit être acceptable pour l'alimentation humaine et animale;
- Il ne doit pas modifier de façon significative les propriétés technologiques du produit;
- Il doit si possible détruire les spores et les moisissures.

I.1.4.Réglementations

En mars 1999, la FAO en collaboration avec l'OMS, a parrainé la troisième conférence mondiale sur les mycotoxines. Cette conférence a été organisée pour sensibiliser les décideurs aux risques sanitaires et aux conséquences économiques potentiels de la contamination des denrées alimentaires et des produits d'alimentation animale par les mycotoxine (Toffa, 2015).

Compte tenu de la toxicité des aflatoxines (agent génotoxique et cancérigène), le JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), n'a pas fixé une dose maximale tolérable de consommation quotidienne d'aflatoxines. Selon ce comité, pour protéger les consommateurs des effets délétères des aflatoxines, l'objectif doit être de réduire l'exposition aux aflatoxines au plus faible niveau possible : c'est la règle ALARA (« As Low As Reasonably Achievable »). Le principe ALARA est appliqué quand une substance ne peut être éliminée d'un aliment sans le rejet entier de ce dernier ou sans compromettre sévèrement la disponibilité de ses réserves nutritives majeures (Hymery et *al*., 2014). Selon les directives de la FDA (« Food and Drug Administration »), les limites maximales tolérables d'aflatoxines dans les aliments destinés à la consommation humaine varient selon les pays (Zinedine & Idrissi, 2007). Les limites maximales tolérables actuelles pour les aflatoxines dans les aliments de consommation humaines dans l'UE, la Communauté de l'Afrique de l'Est (CAE) et les États-Unis sont respectivement de 4, 10 et 20 µg/ kg (Delphine et *al*., 2021; Mitchell et *al*., 2016 ; Boni et *al*., 2021).

Pour protéger les consommateurs contre les risques liés aux mycotoxines, un grand nombre de pays dont 15 pays africains ont légiféré sur certaines mycotoxines notamment les aflatoxines. Les limites tolérables maximales pour les aflatoxines dans les aliments de consommation humaine en Afrique varient de 5 à 20 ppb alors que pour les aliments de consommation animale, elles varient de 5 à 300

ppb. La réglementation est plus sévère pour les aliments pour nourrissons (0-10 ppb). L'élaboration de ces législations pour lutter contre les aflatoxines dans un aliment révèle la volonté des pouvoirs publics d'un pays de protéger la population à ces toxines. Cette volonté est souvent stimulée par l'ampleur du niveau de contamination en aflatoxine d'un aliment de consommation de base comme le cas des céréales en Afrique (Dieme et *al*., 2017).

Cependant, il y a des facteurs qui freinent l'application de la réglementation sur les aflatoxines dans les pays en voie de développement dont la pauvreté et l'ignorance de l'existence des aflatoxines dans les aliments.

I.2. Généralités sur la culture du sorgho

I.2.1. Introduction

Le sorgho est une céréale d'origine africaine d'importance qui occupe la 5ème position au monde après le maïs, le riz, le blé et l'orge (FAOSTAT, 2016). Le Rôle de la culture du sorgho est également intéressant pour fournir différents types de services agroécologiques et environnementaux : amélioration et conservation des sols, limitation et remédiation des pesticides, détoxification des sols pollués, etc.

Les utilisations du sorgho sont aussi très diverses. C'est d'abord une culture vivrière de base importante dans les zones arides et subarides. Ses utilisations pour l'alimentation humaine sont diverses (farine, semoules, bière et autres aliments). Le sorgho est la base de boissons fermentées très appréciés dans certains pays tropicaux dont le Burundi où la boisson issue des sorghos est appelée **Impeke.** Le sorgho blanc sert dans l'industrie de la bière, la BRARUDI, notamment la bière « Nyongera ». Cette culture est appuyée par la BRARUDI par l'encadrement technique (services agronomiques) et la fourniture d'intrants (semences, engrais) sous forme d'avances payables en nature à la récolte.

En raison de sa diffusion mondiale et de son acclimatation à une grande diversité d'environnements, le sorgho a de considérables bioagresseurs de tous types : virus, bactéries, champignons, nématodes, insectes, plantes parasites et oiseaux.(Chantereau et *al*., 2013). De nombreux microorganismes sont à l'origine de la contamination du sorgho par les aflatoxines dont *Fusarium sp* et *Aspargillus* dans les zones tempérées, tropicales et subtropicales.

I.2.2. Le sorgho et les grandes céréales mondiales

Les céréales telles que le sorgho, le maïs, le blé, le riz et le millet sont des aliments de base pour la majorité de la population**.** En 2016, la production mondiale de sorgho était estimée à peu près 64 millions de tonnes, la plaçant ainsi au cinquième rang des productions céréalières après le maïs, le riz, le blé et l'orge. Le sorgho est cultivé sur 45 millions d'hectares dans le monde. Les principaux pays producteurs sont les Etats-Unis d'Amérique (plus de 19%d de la production mondiale), le Nigéria, le Mexique, l'Ethiopie, l'Inde, l'Argentine et le Brésil (FAOSTAT, 2016).

Au Burundi depuis 2016, il y a une croissante très remarquable des surfaces cultivables du sorgho sous l'appui de la BRARUDI qui encouragent d'une façon exceptionnelle les cultivateurs du sorgho blanc parce que cette entreprise utilise ce produit dans la fabrication de la Bière Nyongera (Kakana, 2021)**.**

Le sorgho fait état de plus de dynamisme avec une augmentation du rendement qui est associé le plus souvent à une augmentation de surface. La situation particulière du sorgho est grandement liée à son statut de culture de subsistance pour le petit paysannat des zones tropicales à faible pluviométrie. Les contraintes environnementales et socioéconomiques qui s'y exercent n'y favorisent pas l'intensification agricole.

I.2.3. Caractérisation de la zone de production du sorgho blanc au Burundi

Au Burundi, la culture de sorgho (blanc et rouge) est surtout pratiquée dans les régions naturelles de l'Imbo, du Bugesera et du Mosso. D'après le MINEAGRIE (2019) au niveau national, la superficie totale emblavée par le sorgho (blanc et rouge) est estimée à plus de 30.000 ha. La plus grande partie est retrouvée dans les provinces de Muyinga et Kirundo qui totalisent seules près de 42%. Pour le sorgho blanc, ce sont les provinces de Bubanza, Cankuzo, Cibitoke, Makamba, Rumonge et Ruyigi qui s'illustrent dans cette culture. Au Burundi, on produit 3 variétés de sorgho blanc : US 35, Gambella et URUBERE. Le sorgho blanc (US 35 et Gambella) est cultivé par semis en saison A et en saison B. L'humidité suffisante du sol est requise pour semer le sorgho afin d'assurer une bonne germination (Kakana, 2021)**.**

I.2.4. La structure physique des grains de sorgho

D' après Miche (1980), comme les autres céréales, le grain de sorgho est formé de trois parties : l'albumen, le germe et les enveloppes. Les enveloppes comprennent :

- Le péricarpe qui correspond aux téguments du « fruit » dérivé de la paroi de l'ovaire et qui représente environ 8% du grain ;

- Une couche cellulaire correspondant au tégument de la graine proprement dite et appelée « testa ». Pour de nombreuses variétés, cette testa est fortement pigmentée et contient des tannins.

Une fois éliminées, les enveloppes constituent une partie du son, riche en fibres, protéines et en minéraux.

Le germe est formé d'un embryon et d'un cotylédon (ou scutellum) et représente 10 à 12% du grain. L'embryon ou plantule est une véritable plante miniature alors que le scutellum est un organe de réserve, riche en protéines, en lipides, en minéraux et en vitamines pour la jeune plantule. Une fois éliminé, le germe constitue une autre partie du son.

L'albumen, qui correspond à 80-85% du grain, constitue l'amande. La première assise constitutive de l'albumen est l'assise protéique ou couche à aleurone, couche unicellulaire riche en protéines, en lipides et en minéraux. On distingue ensuite l'albumen périphérique puis l'albumen vitreux à structure dense et compacte et enfin l'albumen farineux à la structure beaucoup plus lâche.

I.2.5. La composition chimique des grains

Pour ses principaux constituants biochimiques, le tableau 1 nous montre la composition du sorgho qui est comparable à celle des autres céréales nues (Fliedel et *al*., 2004) :

Tableau 1 : Composition biochimique du sorgho comparée à celle d'autres céréales (Serna et Rooney, 1995).

Céréales	Glucides(% matière sèche)	Lipides % Matière sèche	Protéines % Matière sèche	Matières minérales (% Matière sèche)
Sorgho	84	3.5	11	1.2
Mil	83	4.0	12	1.2
Fonio décortiqué	85	3.5	10	1.1
Maïs	83	4.5	11	1.3
Riz cargo	86	2.5	10	1.4

I.2.6. Récolte et post-récolte du sorgho

Le système post récolte regroupe l'ensemble des activités techniques mises en œuvre entre le moment de la récolte d'un produit agricole et celui de sa transformation primaire.

I.2.6.1. La récolte

Cette première phase du système est importante car elle influence directement sur la qualité de la conservation ultérieure des grains. La récolte peut être effectuée dès que les grains ont atteint leur maturité ou après un temps plus ou moins long de séchage « sur pied » au champ.

Selon les variétés, la maturité est atteinte 3 à 6 mois après le semis et quelles que soient les zones climatiques, les producteurs choisissent des variétés qui arrivent à maturité en fin de saison des pluies. Une récolte trop hâtive est à proscrire car on obtiendrait alors de nombreux grains encore immatures ou trop humides. À l'inverse, une récolte trop tardive peut être la cause de nombreuses pertes par l'égrenage spontané des panicules ou par les dégâts de ravageurs (insectes, rongeurs, oiseaux,).

Au Burundi, la récolte du sorgho se fait à maturité du grain et intervient 2,5 mois à 6 mois, selon la variété, après le semis. Après la récolte, qui se fait manuellement, les panicules sont séchées sur le sol mais pour les agriculteurs encadrés par la Brarudi, le séchage se fait sur des bâches propres et non sur le sol pour éviter les contaminations avant le battage et le vannage. Les grains de sorgho sont mis en sacs immédiatement après vannage et les sacs sont empilés sur palettes pour améliorer l'aération. Les sacs sont alors transportés aux CCS pour la livraison à la BRARUDI.

Le sorgho blanc doit répondre aux normes de qualité exigées par l'acheteur exclusif (BRARUDI) aux risques de le rejeter. Pour la variété Gambella, ces normes sont entre autres (Kakana, 2021) :

- Taux d'humidité : ≤ 11,0%;
- Pureté variétale : ≥ 90%;
- Impuretés (semences/éléments étrangers) : ≤ 1%;
- Couleur : blanchâtre et uniforme ;
- Taux de brisures : ≤ 1%;
- Cailloux: absents**.**

I.2.7. Séchage

Le séchage du sorgho est nécessaire pour éviter les risques d'altération par les microorganismes au cours du stockage. Dans des conditions tropicales caractérisées par des températures supérieures à 25 °C, les grains de sorgho doivent être séchés jusqu'à une humidité de sauvegarde inférieure ou égale à 12,5% **(**Codex Alimentarius, 2013). Il existe deux types de séchage **(**naturel et artificiel).

I.2.7.1. Séchage naturel

Après la récolte, les panicules de sorgho sont souvent transportées près des habitations pour être séchées au soleil sur des aires naturelles ou aménagées. Au Burundi, comme dans la plupart des régions traditionnelles de culture (comme les zones soudano-sahéliennes), le séchage naturel ne présente pas de difficultés particulières car la récolte a souvent lieu en début de saison sèche.

Après battage, le séchage naturel des grains peut néanmoins être amélioré en réalisant des aires de séchage en terre battue ou cimentées ou encore des claies sur lesquelles les grains seront étalés en couche mince. Ces pratiques restent bien adaptées aux agricultures familiales qui gèrent des quantités de grains relativement modestes. Pour les producteurs encadrés par la Brarudi, le séchage se fait sur des bâches propres comme les figures 1 et 2 le montrent.



Figure 1: séchage du sorgho sur bâche avant battage

Une fois les panicules sont bien séchés l'étape qui suit c'est le battage. La figure 2 indique le séchage des grains de sorgho après battage.



Figure 2 : Séchage du sorgho après battage sur les bâches

I.2.7.2. Séchage artificiel

Dans le cas des agricultures mécanisées qui produisent des quantités plus importantes de grains souvent plus humides, il est généralement nécessaire de recourir au séchage artificiel.

I.2.7.3. Les séchoirs statiques

Ces séchoirs sont généralement des séchoirs à cases où les grains sont séchés par lots successifs. De conception simple et facile à réaliser, ces séchoirs sont construits en métal, en bois, en briques ou en parpaings avec un fond, horizontal ou incliné, en tôle perforée. Le principal investissement est celui du générateur d'air chaud qui fonctionne le plus souvent au fuel.

Pour diminuer l'hétérogénéité de séchage dans la masse de grains, il est souvent recommandé de limiter l'épaisseur de la couche de grains à un maximum de 50 cm (Cruz et al. 1988).

I.2.8. Le stockage

Le stockage des grains est essentiel car il permet de réaliser des réserves pour l'alimentation humaine ou animale, de conserver des semences pour les campagnes agricoles futures et de constituer des stocks en vue d'une possible commercialisation (Nzigamasabo, 2021). En agriculture familiale traditionnelle et en agriculture mécanisée moderne, les techniques de stockage sont différentes même si les principes de base de la conservation des grains sont semblables : il s'agit de conserver des grains

bien secs à une température aussi basse que possible et à l'abri des risques de réhumidification et des attaques des déprédateurs (Chantereau et al., 2013).

I.2.8.1. Le stockage villageois

La production de sorgho des petits paysans, pour l'essentiel destinée à l'autoconsommation, est généralement conservée au village selon des pratiques ancestrales propres à chaque communauté. Beaucoup de paysans africains considèrent que le sorgho, comme le mil, se conserve mal en grains battus et préfèrent alors le stocker en panicules dans des greniers traditionnels.

Les structures traditionnelles de stockage varient selon les zones climatiques et les populations mais elles sont toutes construites avec des matériaux disponibles localement comme la terre, la pierre, les fibres végétales et le bois.

Dans les zones sèches ou arides, le modèle traditionnel du grenier paysan est une structure, souvent cylindrique, en terre stabilisée ou banco, de 2 à 4m de diamètre et de 1,5 à 2,0m de hauteur. L'argile utilisée est mélangée à la paille de graminées pour la rendre plus résistante. La base de la structure est constituée de rondins de bois reposant sur des grosses pierres qui empêchent les remontées d'humidité. Un toit de chaume recouvre le corps du grenier et protège l'ouverture de remplissage placée en partie supérieure ou sur le côté. Certains greniers sont divisés en plusieurs compartiments pour stocker différents grains.

Dans les zones plus humides, les greniers sont constitués de fibres végétales tressées et réunies en une sorte de grand panier posé sur une plateforme de rondins de bois, l'ensemble est recouvert d'un toit de chaume. Ces greniers sont dits « aérés » car leurs parois tressées permettent une libre circulation de l'air ; ce qui facilite le séchage résiduel des épis (Cruz et al. 1988).

I.2.8.2. Le stockage communautaire ou commercial

Par opposition au stockage familial villageois, le stockage communautaire ou commercial concerne des quantités de grains plus importantes pouvant atteindre plusieurs dizaines à plusieurs centaines de tonnes. Le stockage communautaire permet de conserver des stocks destinés à la commercialisation ou à l'autoconsommation. Le type de stockage utilisé est le plus souvent le stockage en sacs dans des entrepôts (Nzigamasabo, 2021).

I.2.8.2.1. Le stockage en sacs

Au Burundi, le stockage en sacs (**Figure 3**) est la technique la plus simple et la plus répandue car le sac est l'unité de base du commerce des grains. Les centres de stockage, les magasins et les moyens de transport comme de manutention sont souvent adaptés à ce mode de conditionnement.

L'état de propreté général du magasin doit être minutieusement vérifié avant la mise en place des stocks. Lors de l'édification de piles de sacs sur des palettes (**Figure 4**), il est souvent préférable de constituer différents lots séparés par des allées pour permettre la manutention, le contrôle et le traitement éventuel des sacs. En général, on réserve une allée de 1m de large entre les murs et les piles de sacs et des couloirs de manutention de 2 à 3 m de large entre les différents lots (Nzigamasabo, 2021).



Figure 3 : Sorgho après battage auprès des producteurs en attente de l'acheteur (BRARUDI) (Kwiranda)



Figure 4 : Sorgho stocké dans les Centres de Collecte du Sorgho (Mishiha)

La capacité du magasin dépend du volume offert, de la taille des allées et du volume spécifique de la denrée entreposée en sacs. Pour le sorgho, ce volume spécifique est de 1,8m^3/t.

I.2.8.2.2. Le stockage en vrac

Le stockage en vrac est encore assez peu répandu dans les pays du Sud. Mais l'évolution des modes de production et le développement de la mécanisation dans certains de ces pays conduisent les opérateurs de la filière à gérer de plus grandes quantités de grains. Le système vrac est alors le plus opérant pour améliorer la qualité de la matière première et diminuer les pertes. Ce mode de stockage nécessite néanmoins un système de manutention approprié et représente un investissement important qui en limite souvent l'emploi aux grandes entreprises céréalières (coopératives, négociants, …) ou aux grandes industries de transformation.

Les plus petites installations sont constituées de quelques cellules souvent en plaques de tôle boulonnées (type « cellules fermières ») d'une capacité unitaire de plusieurs dizaines de tonnes reliées entre elles par un système de manutention mécanique **(figure 5)** (Chantereau et *al*., 2013).

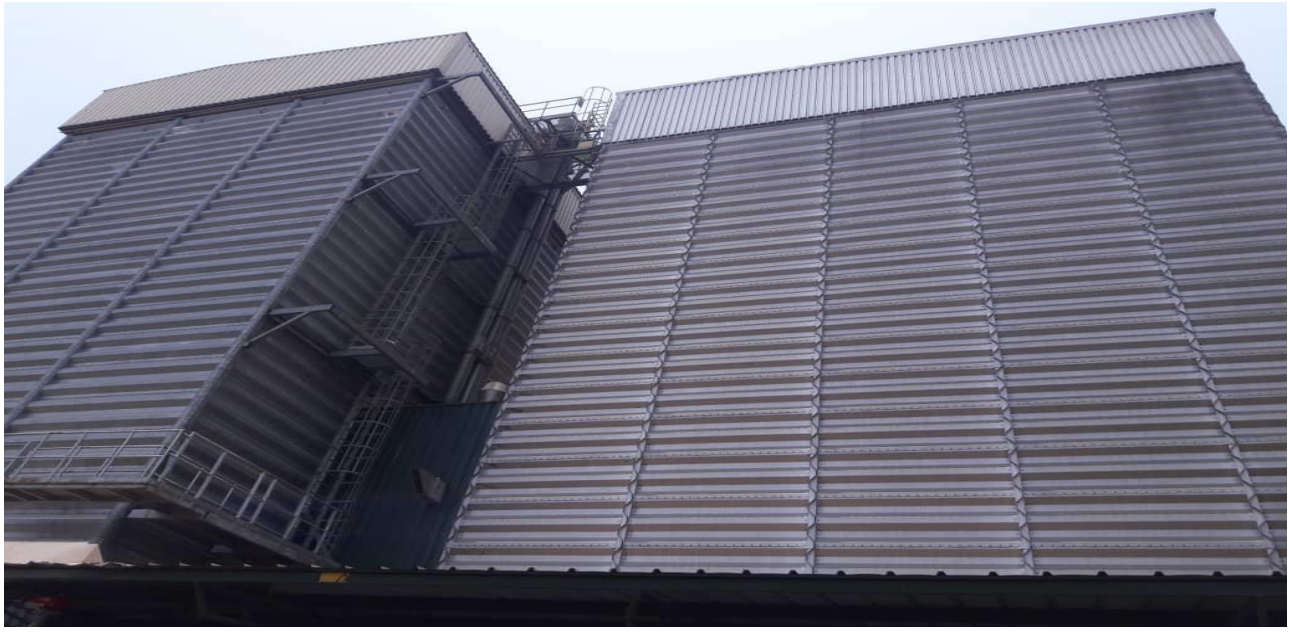


Figure 5: Silos métallique de stockage de la Brarudi

Avec les silos métalliques, des effets de « paroi froide » peuvent se produire notamment dans les zones à climat contrasté comme au Sahel. Les transferts de chaleur et d'humidité par convection dans la masse des grains stockés peuvent conduire à des condensations sur les parties froides du silo généralement en partie supérieure de la cellule.

Un stockage de grains bien secs et une évacuation fréquente de l'air chaud et chargé en humidité qui peut s'accumuler en haut de cellule permet de réduire ce phénomène. Les plus grandes installations, notamment dans les zones portuaires, sont constituées, le plus souvent, de silos verticaux en béton armé.

Ces silos sont équipés de systèmes de ventilation et d'une manutention mécanique permettant le remplissage et la vidange des cellules à des débits importants atteignant plusieurs dizaines de tonnes de grains à l'heure. Le béton est un matériau durable, souvent disponible localement, et qui résiste bien aux atmosphères marines corrosives. Il assure également une certaine isolation thermique favorisant la bonne conservation des grains en diminuant les risques de condensation en paroi que l'on observe parfois dans les cellules métalliques.

I.2.9. Contamination de sorgho par aflatoxines

Les grains sont toujours porteurs d'un grand nombre de microorganismes (moisissures, levures, bactéries) susceptibles de se développer s'ils sont placés dans des conditions d'humidité et de température favorables. Certaines moisissures comme Fusarium spp. sont prépondérantes au champ alors que d'autres comme *Aspergillus* et *Penicillium* se développent au cours de la conservation des céréales et sont qualifiées de « flore de stockage ».(Boudra, 2009 ; Lubulwa et Davis, 1994)**.** Leur prolifération altère fortement la qualité des grains mais risque surtout d'entraîner des problèmes sanitaires par la production de mycotoxines, substances toxiques pour l'homme et les animaux (Bhat et Vashanti, 1999)**.**

Cependant, Si les grains sont convenablement séchés à environ 12,5% d'humidité aussitôt après la récolte, les moisissures ne peuvent pas se développer et donc les mycotoxines ne peuvent pas être produites. Ensuite, au cours du stockage, il faut veiller à ce que cette humidité de 12,5% ne soit pas dépassée (Chantereau et *al.*, 2013).

La présence d'*Aspergillus flavus* dans les céréales se manifeste par une couleur vert-olive ou vert-gris sur les grains. Cependant il n'est pas possible de détecter à l'œil nu des céréales infectées par les aflatoxines. Toutes les céréales moisies ne sont pas infectées par les aflatoxines, mais le risque de contamination par les aflatoxines est plus élevé sur les céréales gâtées et moisies que sur des grains présentant peu de moisissure (Toffa, 2015). On estime à plus de 130 millions de dollars les pertes économiques annuelles du sorgho dues aux moisissures en Asie et en Afrique (Hall et *al.*, 2000).

DEUXIEME PARTIE : EXPERIMENTATION

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Procédure de contrôle

II.1.1. Échantillonnage

L'une des étapes cruciales pour la détermination qualitative ou quantitative de différentes mycotoxines est le prélèvement et la préparation d'échantillons. Si l'on ne prend pas suffisamment soin de procéder à un échantillonnage représentatif, la concentration de mycotoxines dans un lot inspecté peut donc être facilement l'objet d'erreurs d'estimation. La conception de procédures d'échantillonnage fait l'objet d'études internationales depuis plusieurs années (Commission du Codex Alimentarius, 1988).

Dans cette étude, les analyses sur la problématique de la contamination du sorgho, des tests d'aflatoxines et d'humidité ont été réalisés sur un ensemble de 45 échantillons de sorgho blanc. Les différents lots de 1 kg d'échantillons ont été prélevés de façon aléatoire chez les acteurs dans les différents maillons de la chaine. Cela étant, chaque élément d'échantillon a la même probabilité d'être choisi que tous les autres éléments de la population visée.

Les échantillons des grains ont été récoltés dans les localités susceptibles d'y avoir une production et commercialisation à grande échelle du sorgho blanc par rapport à d'autres localités. La population visée était :

- Les producteurs encadrés par les services de la Brarudi ;
- Les centres de collectes du sorgho ;
- Les commerçants des marchés urbains de Bujumbura.

Cela a conduit à repérer les principales localités à travers le pays à savoir :

- Bubanza
- Bujumbura
- Cankuzo
- Cibitoke

II.1.2. Matériel

Le matériel utilisé a été constitué de matériel de collecte des échantillons, de laboratoire et d'un appareil téléphonique (pour la prise des photos). Dans la saisi et analyse des données, nous nous sommes servis des logiciels adaptés Excel Stata15.

Le matériel de laboratoire étaient constitués par:

- Humidimètre
- AccuScan Gold Reader : Appareil utilisé pour l'analyse des aflatoxine totales
- Kit Reveal Q+MAX art.8088 :
- Moulin
- Eprouvette graduée de 100 ml et de l'eau distillée.
- Agitateur.
- Cuvette en plastique ou en verre avec couvercle.
- Micropipette 0-100 µL et Chronomètre
- Balance semi analytique de 0,1g
- Papier filtre Whatman de 320 mm de diamètre

II.1.3. Méthodes

Notre étude s'est attelée à l'investigation sur le taux d'humidité et la teneur en aflatoxines dans le sorgho blanc en fonction des sites d'échantillonnage et auprès des différents acteurs impliqués dans la chaine de valeur sorgho. Quarante-cinq (45) échantillons ont été soumis aux analyses du taux d'humidité et de la teneur en aflatoxines.

Parmi eux, 15 échantillons de sorgho blanc ont été obtenus auprès des producteurs dont 5 échantillons à Cibitoke, 5 échantillons à Bubanza et 5 échantillons à Cankuzo. Ensuite, 15 autres échantillons du produit ont été collectés au niveau des Centres de collectes du Sorgho.

Et enfin, une quinzaine dans les marchés urbains de Bujumbura dont 5 échantillons dans le marché de COTEBU, 5 dans le marché de Ngagara et 5 dans le marché de Kinama.

II.2. Analyse des échantillons

Le protocole de **l'HMESC 02.30.03.102** a été utilisé pour l'analyse des échantillons. Le transport des échantillons a été effectué dans des sachets propres et les tests visant à déterminer le taux d'humidité et la teneur en aflatoxines ont eu lieu assez rapidement, soit dans un délai maximum de 72 heures,

afin de minimiser les risques de production d'aflatoxines et l'accumulation de l'humidité entre le temps de collecte et le moment de la réalisation des tests.

Les analyses de ces échantillons ont été réalisées au laboratoire physico-chimique de la Brarudi. Le taux d'humidité des échantillons a été déterminé avant de les soumettre aux tests d'aflatoxines.

II.2.1. Analyse de l'humidité

L'humidité représente la quantité d'eau que contient le grain. Le taux d'humidité est exprimé en pourcentage. L'humidité des grains a été analysée à l'aide de l'appareil appelé «**moisture Tester**» communément appelé **Humidimètre.**

II.2.2. Analyse des aflatoxines

Au cours de ce travail, les analyses quantitatives des aflatoxines totales ont été effectuées dans le laboratoire physico-chimique de la BRARUDI.

1. Préparation de l'échantillon

- 500 g de grains de sorgho ont été moulus à l'aide du moulin
- 10 g de l'échantillon de grains (sorgho) moulus ont été mis dans la cuvette d'extraction.
- Ajouter un sachet de MAX 1 dans la cuvette d'extraction.
- Ajouter 50 ml d'eau distillée dans la cuvette d'extraction.
- Agiter vigoureusement à l'aide d'un agitateur magnétique pendant 3 minutes.
- Laisser reposer et filtrer sur papier filtre Whatman.

2. Procédure de test

- Pipeter 100 µl du réactif de dilution de l'échantillon (reveal Q+Max Aflatoxine) et les mettre dans la petite cuvette rouge
- Pipeter 100 µl de l'échantillon filtré et les ajouter dans la cuvette *rouge.*
- Mélanger en pipetant de haut en bas avec la micropipette.
- Transférer 100 µl du mélange d'extraction dans la petite cuvette *claire.*
- Placer un test strip dans ce mélange se trouvant dans la cuvette claire et démarrer le chronomètre pour 3 minutes.
- Sélectionner sur AccuScan Reader ; Catégorie : Mycotoxin Q+MAX ;
- Scanner la valeur code de l'AccuScan Gold Reader
- Test : Q+M Afla

CHAPITRE III : PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Taux d'humidité et niveaux de contamination par aflatoxines des échantillons

Le tableau 2 présente les résultats d'analyses d'humidité et le tableau 3 indique les niveaux de contamination du sorgho par les aflatoxines.

Tableau 2: Humidité des grains de sorgho blanc mesuré au niveau des différents acteurs

Acteurs	NE humidité ≤ **12.5%**	NE humidité ≥ 12.5**%**	**Taux d'humidité %**	
			Min	**Max**
Producteurs	12	3	8.8	14
CCS	14	1	8.5	12.8
Commerçants	9	6	9	20.2

Spécification pour humidité : ≤ 12.5% selon les normes internationales

NE : Nombre d'échantillons

CCS : Centre de Collecte du Sorgho

Sur base des résultats du tableau 2, les taux d'humidité variaient entre 8,5 % et 20,2%.

Tableau 3 : Niveaux de contamination des échantillons (sorgho blanc) par aflatoxines

Acteurs	**Site de collecte**	**NE**	**EC**	**Teneur en Aflatoxines (ppb)**		**Spécification pour aflatoxines totales**
				Min	**Max**	
Producteurs	Cibitoke	5	1	1,13	5,5	**≤ 4ppb**
Producteurs	Bubanza	5	1	1,86	10,3	
Producteurs	Cankuzo	5	0	1,3	3,7	
CCS	Kwiranda	5	0	1,19	3,5	
CCS	Rugombo	5	1	1,1	4,2	
CCS	Mishiha	5	0	1,07	2	
Commerçants	Marché cotebu	5	3	1,50	50,3	
Commerçants	Marché Ngagara	5	2	2,00	41,9	
Commerçants	Marché Kinama	5	3	2,08	122,2	
NET		45	11			

CCS: Centre de collecte du sorgho ; NE: Nombre d'échantillons ; EC: Echantillons contaminés ; NET : Nombre d'échantillons total

Spécification pour aflatoxines totales : **≤ 4ppb (CE, 2006)**

Dans cette étude, sur les 45 échantillons analysés, 11 échantillons sont contaminés par les aflatoxines à des niveaux supérieurs au standard, soit 24,4 %, ce qui montre qu'il y a l'existence d'aflatoxines dans le sorgho au Burundi. Cela a été affirmé par les résultats des recherches réalisées par ISABU,(2016) sur le maïs et l'arachide qui ont montré que les aflatoxines existent au Burundi et surtout dans les régions de basse altitude où les conditions climatiques sont favorables au développement du champignon responsable de la production des aflatoxines, ce qui constitue un réel danger pour les consommateurs (Barantwaririje et Bizimana, 2019).

L'existence d'aflatoxines dans le sorgho au Burundi a été également confirmée par Udomkun et *al*. (2018) au cours de leur travaux où la teneur maximale d'aflatoxines était de 117ppb.

En effet, 2 sur 15 échantillons collectés auprès des producteurs encadrés par les services de la Brarudi (soit 13,3%), avaient des teneurs en aflatoxines supérieures aux standards internationaux (4ppb) tandis que 8 sur 15 échantillons c'est-à-dire plus de 53% des échantillons collectés auprès des commerçants avaient des teneurs en aflatoxines supérieurs à 4 ppb qui est la limite maximale de la teneur en aflatoxines (Wu & Khlangwiset, 2010)**.** C'est dans l'un des échantillons de ces commerçants que nous avons même obtenu une teneur exceptionnelle de 122.2 ppb. Cette contamination du sorgho chez les commerçants pourrait être due à l'humidité élevée car les commerçants achètent les sorghos chez n'importe qui sans tenir compte des méthodes de séchage utilisées ni les moyens de stockages aussi.

En plus de ça, l'entreposage de cette céréale chez les commerçants permet aux moisissures de se développer car le problème de la prolifération des aflatoxines peut se poser pendant le stockage. Ces résultats corroborent avec ceux de Wagacha & Muthomi (2008)**,** qui montraient que les conditions d'entreposage pourraient favoriser la croissance des moisissures qui sont à l'origine des aflatoxines.

Ainsi donc, les résultats obtenus ont montré que 9 échantillons sur 45, soit 20%, ont affiché un taux d'humidités supérieures à la norme. L'humidité mesurée dans les échantillons en provenance des producteurs encadrés par les services de la Brarudi variait de 8,8 à 14% dont 2 échantillons (soit 13, 3%) ont affiché un taux d'humidité supérieur à la norme.

Dans les CCS, l'humidité mesurée variait de 8,5 à 12.8 % dont 1 échantillon (soit 6,6 %) avait le taux d'humidité supérieur à la norme, tandis qu'auprès des commerçants, les données ont montré que 6 échantillons, soit 40 %, ont affiché un taux d'humidité supérieur à la norme. L'humidité mesurée variait de 9,00 à 20,2 %.

Le séchage insuffisant après la récolte pourrait être sûrement avancé comme une cause explicative des taux d'humidités élevés constatés auprès des producteurs et des centres de collectes mais également la mauvaise conservation car le sorgho était exposé à l'air libre et stocké sur la terre d'où la réhumidification chez les commerçants. Ainsi donc, beaucoup de sorgho en vente dans les marchés urbains de Bujumbura se retrouvaient avec un taux d'humidité (≥ 12.5**%**) qui favorise le développement des *Aspergillus* et finalement la contamination par les aflatoxines.

Cependant, dans le cas des échantillons prélevés chez les centres de collecte, le taux d'humidité était réduit à un niveau adéquat puisque le sorgho était séché à nouveau sur des bâches propres avant

l'entreposage et stockés dans des sacs sur les palettes pour éviter la réhumidification pendant la conservation car le seul acheteur Brarudi a des exigences en humidité et en aflatoxines.

III.2. Détermination du taux moyen d'humidité et de la teneur moyenne en aflatoxines du sorgho en fonction des sites d'échantillonnage

Le tableau 4 présente les taux moyens d'humidité et les teneurs moyennes en aflatoxines du sorgho échantillonné à différents sites.

Tableau 4 : Taux moyen d'humidité et teneur moyenne en aflatoxines du sorgho en fonction des sites d'échantillonnage

Site de collecte	Taux d'humidité (%)	Teneur en aflatoxine (ppb)
Cibitoke (Producteurs)	10,28±1,36	2,806 ±1,07
Bubanza (Producteurs)	11,96±0,99	4,224±2,42
Cankuzo (Producteurs)	10,44±1,42	2,28±0,75
Randa (CCS)	8,96±0,42	2,404±1,03
Rugombo (CCS)	10,96±1,15	2,118±0,45
Mishiha (CCS)	9,56±0,87	1,888±0,1
Marché COTEBU (Commerçants)	13,66±2,43	12,592±15,08
Marché Ngagara (Commerçants)	12,26±1,52	11,684±12,08
Marché Kinama (Commerçants)	12,8±2,963	31,304±36,35

Les résultats sur le taux moyen en humidité en fonction des sites d'échantillonnage présentés dans le tableau 4 montrent que d'une manière générale le taux d'humidité varie d'un site à un autre. Le taux d'humidité le plus élevé a été observé dans les échantillons en provenance du marché de COTEBU (13,66±2,43%) et le plus bas a été observé dans les échantillons en provenance du Centre de collecte du sorgho blanc de Randa (8,96±0,42%).

Les valeurs du taux d'humidité moyen enregistrées auprès des échantillons analysés sont inférieures à la norme (≤ 12,5%) à l'exception de celles enregistrées dans des échantillons en provenance des marchés de COTEBU et Kinama (≥12,5%).

En ce qui est des aflatoxines, les résultats sur la teneur moyenne en fonction des sites d'échantillonnage montrent que la contamination du sorgho blanc par les aflatoxines varie suivant les localités, donc d'une manière générale, les teneurs moyennes en aflatoxines varient d'un site d'échantillonnage à un autre. Ainsi, les résultats enregistrés à Bubanza (chez les producteurs), aux Marchés de COTEBU, Ngagara et Kinama sont supérieures à la limite acceptable en aflatoxines selon l'UE (≤ 4ppb). Par contre, ceux enregistrés à Cibitoke (chez les producteurs), Cankuzo (chez les producteurs), Rugombo (dans les CCS), Mishiha (dans les CCS) sont inférieures à la norme (≤ 4ppb).

III.3. Taux moyen d'humidité et teneur moyenne en aflatoxines

Les résultats du taux moyen d'humidité et de la teneur moyenne en aflatoxines totales du sorgho blanc en fonction des acteurs intervenant dans la chaine de valeur du sorgho sont présentés dans le tableau 5**.**

Tableau 5 : Taux moyen d'humidité et teneur moyenne en aflatoxine du sorgho en fonction des acteurs.

Acteurs	**Taux moyen d'humidité**	**Teneur moyenne en aflatoxines**
Producteurs	10,82±1,49	2,64 ±0,94
CCS	9,82±1,02	2,21±0,54
Commerçants	12,90±2,30	18,83±21,64

Les taux moyens d'humidité des échantillons variaient de 9,82±1,02 à 12,90±2,30%. La moyenne du taux d'humidité pour les échantillons de sorgho blanc en provenance des producteurs est de 10.82±1.49% et la moyenne du taux d'humidité pour les échantillons de sorgho blanc en provenance des CCS est de 9,82±1.02% tandis que la moyenne du taux d'humidité pour les échantillons de sorgho blanc en provenance des commerçants est de 12,90±2,30%.

Les teneurs moyennes en aflatoxines des échantillons variaient de 2,21±0,54 à 18,83±21,64ppb. La teneur moyenne en aflatoxines la plus élevée s'est observée dans les échantillons en provenance des

commerçants (18,83±21,64ppb) tandis que la plus basse a été observée dans échantillons en provenance des centres de collectes de sorgho (2,21±0,54ppb). Quant aux échantillons en provenance des producteurs, leur teneur moyenne en aflatoxines est de 2,64 ± 0,94ppb.

Selon le BBN, au Burundi comme dans d'autres pays de l'Afrique de l'Est, les limites tolérables maximales pour l'AFB1 et les aflatoxines totales sont respectivement de 5 et 10 µg/kg. Des niveaux de contamination supérieurs à ces limites maximales tolérables ont été observés dans certains échantillons du sorgho blanc analysés. Ainsi, toutes valeurs sont inférieures aux valeurs enregistrées par July & Gieseker (2004 **)** dans le maïs et dans le sorgho au Kenya et l'analyse des différents résultats obtenus montrent que la contamination par les aflatoxines varie suivant les localités mais également selon les acteurs. La contamination du sorgho blanc s'intensifie donc pendant la commercialisation. De telles valeurs similaires ont été confirmées par Dieme et *al*. (2017). Des niveaux alarmants de contamination du sorgho par les aflatoxines sont aussi notés dans d'autres pays d'Afrique.

En effet, l'estimation de la quantité d'aflatoxines dans le sorgho, révélé par Africa AIMS et C-SAAP en 2016, a donnée des intervalles variants entre 25ppb et 514 ppb avec 65- 100% d'échantillons dépassant la limite maximale. La contamination des céréales (maïs, sorgho) par les aflatoxines est donc répandue en Afrique et a été étudié dans plusieurs pays. Dans la plupart de ces pays, près de la moitié de la production céréalière a une teneur en aflatoxines supérieure aux standards internationaux. Par exemple au Kenya sur un total de 342 échantillons de maïs, 182 (53,2%) avaient un plus grand niveau que celui du Département de l'Agriculture Américain (USDA) et celui de l'OMS dont le niveau acceptable est 20 parties par milliard (ppb) d'aflatoxines (July & Gieseker, 2004). Les aflatoxines ayant des concentrations jusqu'au 1,020 ppb ont été signalées dans les grains au Malawi (Moss, 2008). Les valeurs moyennes de la contamination des céréales par l'aflatoxine B1 (FB1) au Nigéria sont 257,82 ppm pour le maïs, 2587,47±78,23 ppm pour le millet et 82,5±16,9 ppm pour le riz avec une incidence très forte dans le cas du millet et du maïs (Atehnkeng et *al.*, 2008; Hussaini et *al*., 2007).

Dans tous les cas, la contamination par les aflatoxines est généralement très élevée partout en Afrique. Cette présence d'aflatoxines à des concentrations élevées dans les céréales est le principal caractère qui ternit la qualité de la production céréalière dans le continent.

Au Burundi , deux ateliers de sensibilisation sur la problématique et la gestion des aflatoxines en 2016 ont été organisés à deux niveaux : (i) à l'endroit des décideurs politiques et des gestionnaires des projets de développement/ONGs et (ii) à l'endroit des représentants «de l'administration

provinciale (conseillers économiques des gouverneurs), des DPAEs, les CPPS/Coordonnateurs provinciaux pour la promotion de la santé, des commerçants grossistes et des coopératives agricoles» des différentes provinces du Burundi. La séance introductive a montré que peu de participants (<10% en moyenne) avaient peu des informations sur les aflatoxines (Barantwaririje et Bizimana, 2019). Bien plus, une enquête organisée par OLAB (organisation de lutte contre aflatoxine au Burundi) auprès des producteurs sur les connaissances au sujet de la contamination des céréales par les aflatoxines ont montré que les producteurs n'ont aucune information sur les aflatoxines **(**www.olab.bi).

Des résultats similaires ont été rapportés en Tanzanie là où le niveau de sensibilisation à l'aflatoxine parmi les parties prenantes interrogées variait de 5 à 95 %, avec une moyenne de 75 % des personnes interrogées qui n'étaient pas au courant des aflatoxines. La plupart des agriculteurs interrogés n'étaient pas au courant des aflatoxines, des effets sur la santé de la consommation d'aliments contaminés par les aflatoxines et des stratégies visant à minimiser la contamination (Kimanya et al., 2014 ; Magembe et *al.*, 2016). Ces stratégies comprennent de bonnes pratiques agricoles (telles que l'utilisation de semences améliorées, l'utilisation d'Aflasafe (lutte biologique), l'utilisation d'engrais, de bonnes procédures de récolte et de manutention, le stockage du grain correctement séché et l'évitement du contact du grain avec le sol), l'utilisation de structures de stockage améliorées, comme les sacs hermétiques et en diversifiant le régime alimentaire pour minimiser la consommation de cultures très sujettes à la contamination par l'aflatoxine (Hell et *al*., 2000).

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSIONS

Il est reconnu que les études expérimentales des différentes méthodes de lutte contre la présence d'aflatoxines dans les céréales ont donné des résultats efficaces.

La présente étude porte sur la contamination du sorgho blanc par aflatoxines totales au Burundi. Les résultats ont montré des niveaux de contamination assez inquiétants d'aflatoxines au Burundi. Les résultats ont montré que la situation mérite plus de précaution au niveau des producteurs et des commerçants ; tout en sachant que la situation est très alarmante vis-à-vis des résultats obtenus auprès des échantillons en provenance des commerçants et que le sorgho et ses produits dérivés entrent dans l'alimentation humaine et dans les différentes applications technologiques.

Le séchage insuffisant après la récolte est surement avancé comme une cause explicative des taux d'humidités élevés constatés auprès des producteurs et les centres de collecte mais aussi la mauvaise conservation au niveau des commerçants dans les marchés urbains car beaucoup d'échantillons collectés du sorgho blanc en vente dans les marchés urbains de Bujumbura se retrouvent avec un taux d'humidité élevé (≥12,5%), ce qui favorise le développement de l'*Aspergillus* et par conséquent la contamination par les aflatoxines.

En perspectives, il serait nécessaire de :

- Mener des analyses qualitatives pour aller en profondeur afin de distinguer les types d'aflatoxines B1, B2, G1, G2, M1et M2 par utilisation d'une chromatographie en phase liquide à haute performance ;
- Elargir la gamme des aliments à analyser ;
- Etudier le degré d'exposition de la population burundaise aux mycotoxines en analysant ces toxines dans les produits biologiques en particulier dans le sérum et le lait maternel d'une population cible.

RECOMMANDATIONS

Des recherches approfondies dans l'optique de réduire significativement voire éradiquer la contamination du sorgho par les aflatoxines pourraient être menées. Les pouvoirs publics devront montrer une réelle volonté de lutter contre cette contamination, qui reste un problème de santé publique, en allouant un budget plus conséquent pour la recherche et la sensibilisation de la population sur l'existence des mycotoxines surtout les aflatoxines en insistant sur leurs effets néfastes sur la santé humaine et animale.

Au gouvernement notamment BBN:

- Mettre en place la réglementation relative aux normes sur les aflatoxines surtout sur le sorgho ;
- Créer une émission radiotélévisée sur les aflatoxines ;
- Mettre en place une plateforme pour assurer une gestion rigoureuse des aflatoxines ;
- Organiser le renforcement des capacités des commerçants par des formations sur les techniques de contrôle d'humidité et de température ;

Aux commerçants :

- D'acheter un humidimètre et un thermomètre pour contrôler l'humidité relative à l'achat et en stock et la température dans les entrepôts ;
- Contrôler le taux d'humidité des marchandises en stock chez les collecteurs avant d'acheter pour éviter les pertes dues aux contaminations par les aflatoxines (destruction des produits contaminés/perte de marché) ou au séchage après achat (diminution du poids) et les conflits.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdulrazzaq, Y. M., Osman, N., Yousif, Z. M., & Trad, O. (2004). Morbidity in neonates of mothers who have ingested aflatoxins. *Annals of Tropical Paediatrics*, *24*(2), 145–151. https://doi.org/10.1179/027249304225013420

Alakonya A.E., E. O. M. and S. A. (2009). Fumonisin b1 and aflatoxin b1 levels in Kenyan maize. *Journal of Plant Patology*, *91*(2), 459–464. http://www.jstor.org/stable/41998643 .

Alexandros Yiannikouris and Jean-Pierre JOUANY. (2011). Technical note : design of a large variable temperature chamber for heat stress studies in rabbits rabbit meat production has traditionally been typical of Mediterranean countries located in. *Anim. Res.*, *51*, 81–99. https://doi.org/10.1051/animres

Alimata Fofana-Diomande, Konan Jean-Marie Kouakou, Chantal Aka -Diemeleou, K. S. T. et A. D. (2019). Exposition alimentaire aux mycotoxines cancérogènes dans le département de Séguéla (Nord-Ouest de la Cote d'Ivoire): cas de l'aflatoxine B1. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *13*(2), 937. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.29

Atehnkeng, J., Ojiambo, P. S., Donner, M., Ikotun, T., Sikora, R. A., Cotty, P. J., & Bandyopadhyay, R. (2008). Distribution and toxigenicity of Aspergillus species isolated from maize kernels from three agro-ecological zones in Nigeria. *International Journal of Food Microbiology*, *122*(1–2), 74–84. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.11.062

Bankole, S. A., & Adebanjo, A. (2003). Mycotoxins in food in West Africa: Current situation and possibilities of controlling it. *African Journal of Biotechnology*, *2*(9), 254–274. https://doi.org/10.5897/ajb2003.000-1053

Barantwaririje Carine et Bizimana Syldie. (2019). Ateliers de sensibilisation sur la problématique et la gestion des aflatoxines au Burundi. *BULLETIN DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE AU BURUNDI*, *11*, 14.

Bennett, J. W., & Klich, M. (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology*, *16*(3), 497–516. https://doi.org/10.1128/CMR.16.3.497

Bhat RV, V. s. (1999). Occurrence of aflatoxin and its economic impact on human nutrition and animal feed Natural occurrence. *Agriculture et Développement*, *23*, 54–56.

Boni, S. B., Beed, F., Kimanya, M. E., Koyano, E., Mponda, O., Mamiro, D., Kaoneka, B., & Bandyopadhyay, R. (2021). *Aflatoxin contamination in Tanzania : quantifying the problem in maize and groundnuts from rural households Abstract*. *14*(4), 553–564. https://doi.org/10.3920/WMJ2020.2646

Boudra, H. (2009). Les mycotoxines dans les fourrages : un facteur limitant insidieusement la qualité des fourrages et les performances des ruminants To cite this version : HAL Id : hal-02655830 Les mycotoxines dans les fourrages : un facteur limitant insidieusement la qual. *Fourrages*, *199*, 265–280.

Brochard, G et Le Bacle, C. (2009). Mycotoxines en milieu de travail. Documents pour le Médecin du Travail. *Revue Travail et Sécurité*, *1*(119), 299–323. http://www.hst-prevention.info/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/DMT_TC 128/$File/TC128.pdf

Bullerman, L. B., & Bianchini, A. (2007). Stability of mycotoxins during food processing. *International Journal of Food Microbiology*, *119*(1–2), 140–146. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.035

Chantereau Jacques, Jean-François Cruz, Alain Ratnadass et Gilles Trouche. (2013). *Le sorgho* (Éditions Q).

Claeys, L., Romano, C., De Ruyck, K., Wilson, H., Fervers, B., Korenjak, M., Zavadil, J., Gunter, M. J., De Saeger, S., De Boevre, M., & Huybrechts, I. (2020). Mycotoxin exposure and human cancer risk: A systematic review of epidemiological studies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *19*(4), 1449–1464. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12567

Commission du Codex Alimentarius. (1988). Rapport du comité du codex sur les méthodes d'analyse et d'échantillonnage. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 79. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22376-7

Conway Gordon and Gary Toenniessen. (2003). Agriculture: Science for African Food Security. *Science*, *299*(5610), 1187–1188. https://doi.org/doi:10.1126/science.1081978

Delphine Payrosa, Marion Garofaloa,b, Alix Pierronb, Laura Soler-Vascob, Carine Al- 4 Ayoubib, Viviane M. Maruob, Imourana Alassane-Kpembid, Philippe Pintonb, I. P. et O. b. (2021). Les mycotoxines en alimentation humaine : un défi pour la recherche. *Elsevier*.

Dieme, E., Fall, R., Sarr, I., Sarr, F., Traore, D., & Seydi, M. (2017). 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. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.27

Duodu, K. G., & Dowell, F. E. (2018). Sorghum and millets: Quality management systems. *Sorghum and Millets: Chemistry, Technology, and Nutritional Attributes*, 421–442. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811527-5.00014-9

Eskola, M., Kos, G., Elliott, C. T., Hajšlová, J., Mayar, S., & Krska, R. (2020). Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25%. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*(16), 2773–2789. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1658570

Gong, Y. Y., Egal, S., Hounsa, A., Turner, P. C., Hall, A. J., & Cardwell, K. F., Wild, C. P. (2002). Dietary aflatoxin exposure and impaired growth in young children from Benin and Togo: Cross sectional study. *British Medical Journal*, *325*(7354), 20–21. https://doi.org/10.1136/bmj.325.7354.20

Gong, Y. Y., Egal, S., Hounsa, A., Turner, P. C., Hall, A. J., & Cardwell, K. F., Wild, C. P. (2004). Postweaning exposure to aflatoxin results in impaired child growth: A longitudinal study in Benin, West Africa. *Environmental Health Perspectives*, *112*(13), 1334–1338. https://doi.org/10.1289/ehp.6954

Gong, Y. Y., Egal, S., Hounsa, A., Turner, P. C., Hall, A. J., Cardwell, K. F., & Wild, C. P. (2003). Determinants of aflatoxin exposure in young children from Benin and Togo, West Africa: The critical role of weaning. *International Journal of Epidemiology*, *32*(4), 556–562. https://doi.org/10.1093/ije/dyg109

Gourama, H. (1991). *Growth and aflatoxin production of Aspergillus flavus in the presence of Lactobacillus species*.

Hall, A. J., Bandyopadhyay, R., Chandrashekar, A., & Shewry, P. R. (2000). Technical and Institutional Options for Sorghum Grain Mold Management and the Potential for Impact on the Poor : Overview and Recommendations. *Proceedings of an International Consultation*, 7–33.

Hell, K., Cardwell, K. F., Setamou, M., & Poehling, H. M. (2000). The influence of storage practices on aflatoxin contamination in maize in four agroecological zones of Benin, West Africa. *Journal of Stored Products Research*, *36*(4), 365–382. https://doi.org/10.1016/S0022-474X(99)00056-9

Hussain, I., Anwar, J., Ali, M., & Rafiq, M. (2008). Variation of levels of aflatoxin M 1 in raw milk from different localities in the central areas of Punjab , Pakistan. *Food Control*, *19*, 1126–1129. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.12.002

Hymery, N., Vasseur, V., Coton, M., Mounier, J., Jany, J. L., Barbier, G., & Coton, E. (2014). Filamentous fungi and mycotoxins in Cheese: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(4), 437–456. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12069

Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA). (2018). L ' initiative de Transfert de Technologie et de commercialisation d ' Aflasafe (ATTC) Aflasafe. *Transforming African Agriculture*.

Jouany, J. P. (2007). Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feeds. *Animal Feed Science and Technology*, *137*(3–4), 342–362. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.009

July, J., & Gieseker, K. E. (2004). Outbreak of Aflatoxin Poisoning - Eastern and Central Provinces, Kenya, January - July 2004. *Public Health Faculty Publications*, *54*(J34), 790–793.

Kabak, B., Dobson, A. D. W., & Var, I. (2006). Strategies to prevent mycotoxin contamination of food and animal feed: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *46*(8), 593–619. https://doi.org/10.1080/10408390500436185

Kakana Pascal. (2021). *Chaine de valeur sorgho blanc Rapport de marchés des chaines de valeur identifiés par le projet d'appui à de la productivité agricole au Burundi (PAPAB+)*.

Kamala, A., Shirima, C., Jani, B., Bakari, M., Sillo, H., … Rusibamayila, N. (2018). Outbreak of an acute aflatoxicosis in Tanzania during 2016. *World Mycotoxin Journal*, *11*(3), 311–320. https://doi.org/doi:10.3920/wmj2018.2344.

Karunaratne, A., Wezenberg, E., & Bullerman, L. B. (1990). Inhibition of mold growth and aflatoxin production by Lactobacillus spp. *Journal of Food Protection*, *53*(3), 230–236. https://doi.org/10.4315/0362-028X-53.3.230

Kimanya, M. E., Shirima, C. P., Magoha, H., Shewiyo, D. H., De Meulenaer, B., Kolsteren, P., & Gong, Y. Y. (2014). Co-exposures of aflatoxins with deoxynivalenol and fumonisins from maize based complementary foods in Rombo, Northern Tanzania. *Food Control*, *41*(1), 76–81. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.034

Kimatu, J. N., Mcconchie, R., Xie, X., & Nguluu, S. N. (2012). The Significant Role of Post-Harvest Management in Farm Management, Aflatoxin Mitigation and Food Security in Sub-Saharan Africa. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, *2*(6), 279–288. https://doi.org/10.15580/GJAS.2012.6.10021269

Lamani Hadjer et Mahdi Aicha. (2021). *Concentration et prévalence de l ' aflatoxine M 1 dans le lait maternel humain . Remerciements*. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA FACULTE.

Lewis, L., Onsongo, M., Njapau, H., Schurz-rogers, H., Luber, G., Kieszak, S., Nyamongo, J., Backer, L., Dahiye, A. M., Misore, A., Decock, K., & Rubin, C. (2005). *Aflatoxin Contamination of Commercial Maize Products during an Outbreak of Acute Aflatoxicosis in Eastern and Central Kenya*. *113*(12), 1763–1768. https://doi.org/10.1289/ehp.7998

Liu, Y., & Wu, F. (2010). Global burden of Aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: A risk assessment. *Environmental Health Perspectives*, *118*(6), 818–824. https://doi.org/10.1289/ehp.0901388

Lubulwa A. S. G., and D. J. S. (1994). Estimating the social cost of the impact of fungi and afatoxins in maize and peanuts, In Stored Product Protection. *Proceedings of the 6th International Working Conference on Stored-Product Protection*, 1017–1042.

M. Nguyen Minh Tri. (2007). *Identification Des Espèces De Moisissures , Potentiellement Provinces De La Region Centrale Du Vietnam - Etude Des Conditions*. INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE.135p.

Magembe, K. S., Mwatawala, M. W., Mamiro, D. P., & Chingonikaya, E. E. (2016). Assessment of awareness of mycotoxins infections in stored maize (Zea mays L.) and groundnut (arachis hypogea l.) in Kilosa district, Tanzania. *International Journal of Food Contamination*, *3*(1). https://doi.org/10.1186/s40550-016-0035-5

Mahalakshmi, V., & Bidinger, F. R. (2002). Evaluation of Stay-Green Sorghum Germplasm Lines at ICRISAT. *Crop Science*, *42*(3), 965. https://doi.org/10.2135/cropsci2002.0965

Marin, S., Ramos, A. J., Cano-Sancho, G., & Sanchis, V. (2013). Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, *60*, 218–237. https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.07.047

Maxwell, M. H., Burns, R. B., & Dwivedi, P. (1987). Ultrastructural study of ochratoxicosis in quail (Coturnix coturnix japonica). *Research in Veterinary Science*, *42*(2), 228–231. https://doi.org/10.1016/s0034-5288(18)30691-x

Meziti Asma. (2008). *Activité antioxydante des extraits des graines de Nigella sativa L Étude in vitro et in vivo*. UNIVERSITE EL-HAJ LAKHDAR BATNA.

Mitchell, N. J., Bowers, E., Hurburgh, C., & Wu, F. (2016). *Potential economic losses to the USA corn industry from aflatoxin contamination*. *0049*(February). https://doi.org/10.1080/19440049.2016.1138545

Moss, M. O. (2008). Fungi, quality and safety issues in fresh fruits and vegetables. *Journal of Applied Microbiology*, *104*(5), 1239–1243. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03705.x

Murphy, P.A., Patricia A. Murphy, Suzanne Hendrich, Cindy Landgren, A. C. M. B. (2006). Foods Mycotoxins. *Journal of Food Science*, *71*(5), 52–65. https://doi.org/doi: 10.1111/j.1750-3841.2006.00052.x

Niderkorn, V. (2012). *Activités de biotransformation et de séquestration des fusariotoxines chez les bactéries fermentaires pour la détoxification des ensilages de maïs*. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.

Norred, W. P., Bacon, C. W., Riley, R. T., Voss, K. A., & Meredith, F. I. (1999). Screening of fungal species for fumonisin production and fumonisin-like disruption of sphingolipid biosynthesis. *Mycopathologia*, *146*(2), 91–98. https://doi.org/10.1023/A:1007036709624

Nzigamasabo, A. (2021). Conservation des céréales. In *Cours de la Conception et de gestion des structures de stockage* (p. 74).

Okoth, S. A., & Ohingo, M. (2004). Dietary aflatoxin exposure and impaired growth in young children from Kisumu District, Kenya: Cross sectional study. *African Journal of Health Sciences*, *11*(1), 43–54. https://doi.org/doi:10.4314/ajhs.v11i1.30777

Park, D. L., Lee, L. S., Price, R. L., & Pohland, A. E. (1988). Review of the decontamination of aflatoxins by ammoniation: current status and regulation. *Journal - Association of Official Analytical Chemists*, *71*(4), 685–703. https://doi.org/10.1093/jaoac/71.4.685

Pfohl-Leszkowicz, A., Petkova-Bocharova, T., Chernozemsky, I. N., & Castegnaro, M. (2002). Balkan endemic nephropathy and associated urinary tract tumours: A review on aetiological causes and the potential role of mycotoxins. *Food Additives and Contaminants*, *19*(3), 282–302. https://doi.org/10.1080/02652030110079815

Puri, S., Shingh, S., & Tiwari, P. (2019). Mycotoxins: A Threat to Food Security and Health. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, *7*(3), 298–303. https://doi.org/10.3126/ijasbt.v7i3.24651

Royer Gwladys et TAP Julien. (2004). *Les mycotoxines*. 7.

Ruppol, P., Delfosse, P., & Hornick, J. L. (2004). La contamination de la filière laitière par les mycotoxines: Un risque pour la santé publique en Afrique subsaharienne. *Annales de Medecine Veterinaire*, *148*(3), 141–146.

Sam, K. G., Andrade, H. H., Pradhan, L., Pradhan, A., Sones, S. J., Rao, P. G. M., & Sudhakar, C. (2008). Effectiveness of an educational program to promote pesticide safety among pesticide handlers of South India. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, *81*(6), 787–795. https://doi.org/10.1007/s00420-007-0263-3

Souhaili, Z., Lagzouli, M., Faid, M. et, & Fellat-Zerrouck, K. (2004). Inhibition of growth and mycotoxins formation in moulds by marine algae Cystoseira tamariscifolia. *African Journal of Biotechnology*, *3*(1), 71–75. https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2013

Strosnider, H., Azziz-Baumgartner, E., Banziger, M., Bhat, R. V., Breiman, R., Brune, M. N., DeCock, K., Dilley, A., Groopman, J., Hell, K., Henry, S. H., Jeffers, D., Jolly, C., Jolly, P., Kibata, G. N., Lewis, L., Liu, X., Luber, G., McCoy, L., … Wilson, D. (2006). Workgroup report: Public health strategies for reducing aflatoxin exposure in developing countries. *Environmental Health Perspectives*, *114*(12), 1898–1903. https://doi.org/10.1289/ehp.9302

Toffa Damien Dagbedji. (2015). *Étude de la contamination de certains aliments d'origine végétale de la République du Niger les moisissures toxinogènes*. UNIVERSITÉ MOHAMMED V.

Udomkun, P., Wiredu, A. N., & Mutegi, C. (2018). Aflatoxin distribution in crop products from Burundi and Eastern Democratic Republic of Congo. *Transforming African Agriculture*, 2. www.iita.orgIwww.cgiar.org

Van Egmond, H. P., Schothorst, R. C., & Jonker, M. A. (2007). Regulations relating to mycotoxins in food : PPPPerspectives in a global and European context. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *389*(1), 147–157. https://doi.org/10.1007/s00216-007-1317-9

Wugacha, J. M., & Muthomi, J. W. (2008). Mycotoxin problem in Africa: Current status, implications to food safety and health and possible management strategies. *International Journal of Food Microbiology*, *124*(1), 1–12. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2008.01.008

Williams, J. H., Phillips, T. D., Jolly, P. E., Stiles, J. K., Jolly, C. M., & Aggarwal, D. (2004). Human aflatoxicosis in developing countries_ a review of toxicology, exposure, potential health consequences, and interventions _ The American Journal of Clinical Nutrition _ Oxford Academic. *Am J Clin Nutr*, *80*(5), 1106–1122. https://doi.org/doi:10.1093/ajcn/80.5.1106

Wu, F., & Khlangwiset, P. (2010). Health economic impacts and cost-effectiveness of aflatoxin-reduction strategies in Africa: Case studies in biocontrol and post-harvest interventions. *Food Additives and Contaminants - Part A*, *27*(4), 496–509. https://doi.org/10.1080/19440040903437865

Zinedine, A., & Idrissi, L. (2007). Présence et réglementation des mycotoxines dans les aliments au Maroc : Situation actuelle et perspectives. *Les Technologies de Laboratoire*, *7*, 10–18.