

**Analyse mycologique et mycotoxicologique  
des aliments importés au Sénégal le cas du  
maïs**

## **DEDICACES**

**A mes chers parents *Ousseynou Faye et Fatou SY***, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études, trouvez ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

**A mon cher époux *Ibrahima Guiro SAMBA***, pour son amour, son encouragement permanent et son soutien moral, merci d'avoir partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail.

**A ma petite fille *Seydatouna Mariama SAMBA***

**A mes frères *Fallou, Baye Mbarick, Pape Yague, Ibou* et sœurs *Dieynaba, Ndeye Coumba, Ndeye Codou***, pour leur appui, leurs soutiens et leurs encouragements durant ces années d'étude.

**A ma grand-mère *Mame Aïda SAKHO*** avec qui j'ai vécu mon cursus universitaire, ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour.

**A ma famille et belle-famille**, pour leurs soutiens, leurs prières et leurs encouragements.

**A tous mes amis**

**A tous mes professeurs, et camarades de la 10<sup>ème</sup> promo du Master de Biologie Animale**

***Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible.***

## **REMERCIEMENTS**

Ce travail a été réalisé au Laboratoire Biologie des Populations Animales Sahélo-Soudaniennes (BIOPASS) de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) de Dakar, au Laboratoire Commun de Microbiologie (LCM) de l'IRD et au laboratoire de Biotechnologie de l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA).

Tout d'abord je rends grâce à Allah le Tout Puissant pour avoir éclairé mon chemin jusqu'à maintenant. Je remercie :

Le Pr Pape Mbacké SEMBENE, qui nous a fait l'honneur de présider et de juger ce travail. Votre simplicité, votre humilité, votre sincérité et votre rigueur dans le travail constituent pour nous un exemple. Nous vous serons toujours reconnaissants pour votre soutien, votre encadrement et vos conseils durant toutes ces années.

Dr Ameth DIAGNE, qui a contribué avec sympathie et avec rigueur à la réalisation de ce travail. Malgré vos multiples occupations, vous avez accepté de consacrer une partie de votre temps précieux à diriger ce travail. Vous avez toute notre reconnaissance pour votre disponibilité, votre patience et votre gentillesse.

Dr Toffene DIOME, c'est un réel plaisir de vous compter parmi les membres du jury. Vous avez accepté de juger ce travail malgré vos charges. Votre simplicité et votre rigueur nous ont beaucoup marqué. Veuillez trouver ici l'expression de notre gratitude.

Dr Adiouma G. R. J. SARR, d'avoir accepté de faire partie des membres du jury, vous nous faites un grand honneur. Veuillez trouver ici l'expression de notre gratitude.

La Division de la Consommation et de la Sécurité des Consommateurs (DCSC) de la Direction du commerce intérieur (DCI) pour la mise à contribution de ses agents concernant le prélèvement des échantillons de maïs importé et la prise en charge des analyses mycotoxicologiques.

Dr Déthié NGOM, vous avez été un mentor, un model et un frère pour nous tout le long de notre cursus à l'université. Veuillez trouver ici l'expression de notre reconnaissance et notre gratitude.

L'équipe de GENGESPOP, c'est un grand plaisir pour nous de faire partie de cette équipe. Merci à tous les membres pour l'encadrement, le soutien que vous nous avez apporté depuis notre intégration.

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

**A. flavus** = Aspergillus flavus

**A. nomius** = Aspergillus nomius

**A. parasiticus** = Aspergillus parasiticus

***F. solani*** = *Fusarium solani*

***F. oxysporum*** = *Fusarium oxysporum*

***F. proliferatum*** = *Fusarium proliferatum*

**P** = p-value

**PDA** = Potato Dextrose Agar

## **LISTE DES ACRONYMES**

**AfricaAIMS** = Africa Aflatoxin Information Management System

**BIOPASS** = Biologie des Populations Animales Sahélo-Soudaniennes

**FCFA** = Franc de la Communauté Financière Africaine

**HPLC** = Chromatographie Liquide Haute Performance

**IARC** = International Agency for Research on Cancer

**IRD** = Institut de Recherche pour le Développement

**PACA** = Partnership for Aflatoxin Control in Africa

**UCAD** = Université Cheikh Anta Diop

## **LISTE DES SIGLES**

**FAO** = Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

**OMS** = Organisation Mondiale de la Santé

**UE** = Union européenne

**USAID** = United States Agency for International Development

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Plante de Maïs.....	3
<b>Figure 2</b> : Taxonomie du genre <i>Zea</i> , d'après Iltis et Doebley (1980) et Doebley (1990a, 1990b).....	5
<b>Figure 3</b> : Caractères morphologiques des <i>Aspergillus</i> (Mettre source correcte).....	7
<b>Figure 4</b> : Structure des principales aflatoxines.....	9
<b>Figure 5</b> : Caractères morphologiques des <i>Fusarium</i> (Tabuc, 2007).....	11
<b>Figure 6</b> : Caractères morphologiques des <i>Penicillium</i> (a) Pinceau monoverticillé (b) biverticillé (c) biverticillé fourchu ( <i>furcatum</i> ) (d) terverticillé (Nguyen, 2007).....	12
<b>Figure 7</b> : Ensemencement des grains de maïs sur PDA.....	14
<b>Figure 8</b> : Test aflatoxinogène des souches UsaS1, FrS2 et ArS1 isolées sur le milieu de culture AFPA.....	20

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Composition du milieu PDA.....	13
<b>Tableau 2 :</b> Caractères cultureux des souches isolées à partir du maïs importé selon le pays d'origine (USA, France et Argentine).....	16
<b>Tableau 3 :</b> Caractères microscopiques des souches isolées à partir du maïs importé selon le pays d'origine (USA, France et Argentine).....	18
<b>Tableau 4 :</b> Teneurs en aflatoxines en fonction des pays d'origines.....	20

## Sommaire

Dédicaces.....	i
Remerciements.....	ii
Liste des abréviations.....	iii
Liste des acronymes.....	iii
Liste des sigles.....	iii
Liste des figures.....	iv
Liste des tableaux.....	v
Résumé.....	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
I.1 Généralités sur le maïs.....	3
I.1.1 Description.....	3
I.1.2 Origine et répartition géographique.....	4
I.1.3 Taxonomie.....	4
I.1.4 Utilisation du maïs.....	5
I.1.5 Importance économique.....	5
I.2 Généralités sur les moisissures.....	6
I.2.1 <i>Asperillus</i> aflatoxinogènes.....	6
I.2.1.1 <i>Aspergillus</i> .....	6
I.2.1.1.1 Généralités.....	6
I.2.1.1.2 Caractères cultureux.....	7
I.2.1.1.3 Caractères microscopiques.....	7
I.2.1.2 Aflatoxines.....	8
I.2.1.2.1 Caractéristiques biochimiques.....	8
I.2.1.2.2 Toxicité.....	8
I.2.1.2.3 Conséquence d'une intoxication.....	9
I.2.2 <i>Fusarium</i> .....	10
I.2.2.1 Généralités.....	10
I.2.2.2 Caractères cultureux.....	10
I.2.2.3 Caractères microscopiques.....	10
I.2.3 <i>Penicillium</i> .....	11

I.2.3.1 Généralités.....	11
I.2.3.2 Caractères cultureux.....	12
I.2.3.3 Caractères microscopiques.....	12
CHAPITRE II MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	13
II.1 Cadre de l'étude.....	13
II.2 Échantillonnage.....	13
II.3 Isolement et identification des moisissures pathogènes du maïs.....	13
II.3.1 Préparation d'un milieu de culture solide Potato Dextrose Agar .....	13
II.3.2 Désinfection de la surface des grains.....	14
II.3.3 Isolement et purification des moisissures.....	14
II.3.4 Identification des moisissures.....	15
II.4 Analyse des aflatoxines.....	15
II.5 Analyse statistique.....	15
CHAPITRE III RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	16
III.1 Résultats.....	16
III.1.1 Identification des moisissures isolées.....	16
III.1.2 Caractère aflatoxinogène des souches d' <i>Aspergillus</i> isolées.....	19
III.1.3 Détermination de la teneur en aflatoxines.....	20
III.2 DISCUSSION.....	22
CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	24
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	25

## Résumé

Le maïs est la troisième céréale la plus consommée au Sénégal. La majeure partie des quantités utilisées provient de l'extérieur. Toutefois, aucune donnée de contamination n'est disponible à ce jour pour le maïs importé au Sénégal. L'objectif de cette étude est déterminé le niveau de sécurité sanitaire du maïs importé au Sénégal par la mesure des taux d'aflatoxine présent dans ce maïs et par l'identification des moisissures potentiellement productrices de mycotoxines. Le dosage de la teneur en aflatoxine de chaque échantillon a été réalisé par HPLC. Le milieu de culture gélose glucosée à l'extrait de pomme de terre (PDA) a été utilisé pour l'isolement, la purification et l'identification des parasites infestant les échantillons de maïs. Les résultats obtenus ont montré que les teneurs en aflatoxines des échantillons varient de 1,9 à 4,05 ppb pour la France, de 1,8 à 6,5 ppb pour l'Argentine et de 2,2 à 5,7 ppb pour les Etats Unis. 27 % du total des échantillons ont des teneurs en aflatoxines qui dépassent le niveau maximal admissible pour les aflatoxines par l'Union européenne (4µg/kg). Par ailleurs, les analyses mycologiques des échantillons ont révélé la présence de cinq espèces d'*Aspergillus* (*A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *A. parasiticus* et *A. repens*), une espèce de *Penicillium* (*Penicillium sp*) et une espèce de *Fusarium* (*Fusarium sp*) dans le maïs importé. Les tests mycotoxicologiques ont confirmé le caractère aflatoxinogène des souches *A. flavus* et *A. parasiticus* identifiées.

**Mots clés :** Maïs, *Aspergillus*, aflatoxine, Sénégal, importation.

## INTRODUCTION

En Afrique sub-saharienne, l'infestation des denrées alimentaires par les moisissures et les mycotoxines qu'elles produisent constituent un réel problème dans le domaine de l'industrie agroalimentaire. En effet, elles peuvent être à l'origine d'importantes dégradations des propriétés physicochimiques entraînant une altération de la qualité des denrées alimentaires (**Lecellier, 2013**). De plus, elles peuvent avoir des effets néfastes sur la santé et sur l'économie (**Dieme et al., 2016**). La flore fongique naturelle associée aux aliments est dominée par trois genres : *Aspergillus*, *Fusarium* et *Penicillium* (**Murphy et al., 2006**) qui représentent les contaminants les plus fréquents des aliments du point de vue économique et sanitaire (**Fendri, 2018**). Ils produisent souvent des mycotoxines qui rendent les denrées sur lesquels elles sont présentes impropres à la consommation humaine ou animale (**Somda, 2016**). Les principales mycotoxines qui posent des problèmes de santé publique sont les aflatoxines, les ochratoxines, les fumonisines, la zéaralénone et la patuline (**Hussein et Brasel, 2001 ; Creppy, 2002 ; Jarvis et Miller, 2005**). Ces mycotoxines notamment les aflatoxines sont très proéminentes dans les légumineuses, céréales et oléagineux tels que le niébé, le maïs, le sorgho et l'arachide. Parmi les aflatoxines les formes B1 et M1 sont classées cancérigène humain de catégorie 1 par l'Agence Internationale de la Recherche sur le Cancer (**IARC, 1993, 2002**).

Au Sénégal, le maïs est la troisième céréale la plus consommée dans le pays après le riz et le mil (**IPAR, 2017**). Toutefois, la production de maïs à l'échelle nationale est très faible et n'arrive pas à couvrir les besoins de consommation des populations (**Dieme, 2014**). La majeure partie des quantités utilisées provient de l'extérieur et est principalement importée par les industries de fabrication d'aliments de volaille et de bétail (**Dieme, 2014**). Selon l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie, le volume des importations du maïs est estimé à 396 441 tonnes seulement entre janvier et juillet 2019 (**ANSD, 2019**). Par ailleurs, aucune donnée de contamination n'est disponible à ce jour pour le maïs importé au Sénégal (**PACA, 2016**). Les importateurs se fient uniquement aux informations sanitaires données par les fournisseurs des pays d'origines du maïs sans tenir compte des conditions sanitaires de stockage, de transport, et de conditionnement du maïs. Il s'agira donc dans cette étude de palier à ce manque de données sanitaires sur le maïs importé au Sénégal.

L'objectif général de l'étude est de déterminer le niveau de sécurité sanitaire du maïs importé au Sénégal. Cet objectif est scindé en deux objectifs spécifiques :

- Identifier les moisissures potentiellement mycotoxinogènes infestant le maïs importé
- Mesurer les taux d'aflatoxines dans le maïs importé

Ce mémoire s'articule en trois parties. Nous passerons en revue la bibliographie portant sur le maïs et les moisissures mycotoxinogènes puis nous présenterons le matériel et les méthodes utilisés pour réaliser ce travail et enfin nous discuterons les résultats obtenus en vue de tirer une conclusion et d'éventuelles perspectives et recommandations.

# CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

## I.1 Généralités sur le maïs

### I.1.1 Description

Le maïs (*Z. mays* L.) est une plante herbacée tropicale annuelle de la famille des Poacées (Graminées), de grande taille (40 cm à 10 m généralement, entre un à trois mètres pour les variétés cultivées), à gaines se recouvrant les unes les autres et à limbes développées nettement distiques (ACIA, 1994). Le maïs comporte une tige unique de gros diamètre, constituée d'un empilement d'entrenœuds et de nœuds au niveau desquels sont insérés une feuille et un bourgeon axillaire. Selon les variétés, chaque plante porte entre 12 et 20 feuilles, de grande tailles (jusqu'à 10cm de large et 1 mètre de long) et réparties alternativement d'un côté et de l'autre de la tige. Le maïs est une plante monoïque (les fleurs mâles et femelles sont portées par la même plante mais placées à des endroits différents). L'inflorescence mâle est une panicule située au sommet de la tige, formée d'axes sur lesquels s'insèrent par paire des épillets. Les fleurs femelles sont groupées sur un ou plusieurs épis insérés à l'aisselle des feuilles situées sur la moitié inférieure de la tige. L'épi est enveloppé par les spathes (Mukungilwa, 1979 ; Ristanovic, 2001). Le système racinaire du maïs est fasciculé : de nombreuses racines dites adventives se développent à la base de la tige et forment un réseau de racines d'égale dimension.

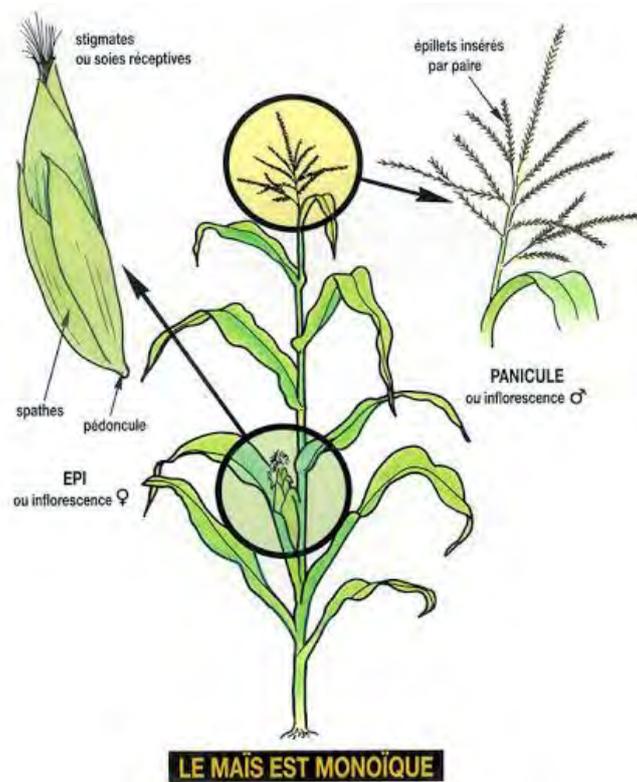


Figure 1 : Plant de Maïs (Niang, 2017)

### **I.1.2 Origine et répartition géographique**

L'histoire du maïs débute dans la moyenne vallée du Rio Balsas, au milieu de la Sierra Madre del Sur, au Sud du Mexique, il y a 9 000 ans. On trouve toujours dans cette zone l'ancêtre sauvage du maïs, la téosinte (**Beigbeder, 2013**). Bien que les chercheurs ne s'accordent pas tous sur le fait qu'elle en soit l'ancêtre direct (c'est-à-dire que le maïs est une version domestiquée du téosinte) (**Galinat, 1988**). Les travaux de Doebley en 1984 ont mis fin à des décennies de polémiques sur les origines du maïs grâce à l'apport de la génétique moderne en accréditant la théorie selon laquelle la téosinte est l'ancêtre du maïs cultivé (**Beigbeder, 2013**).

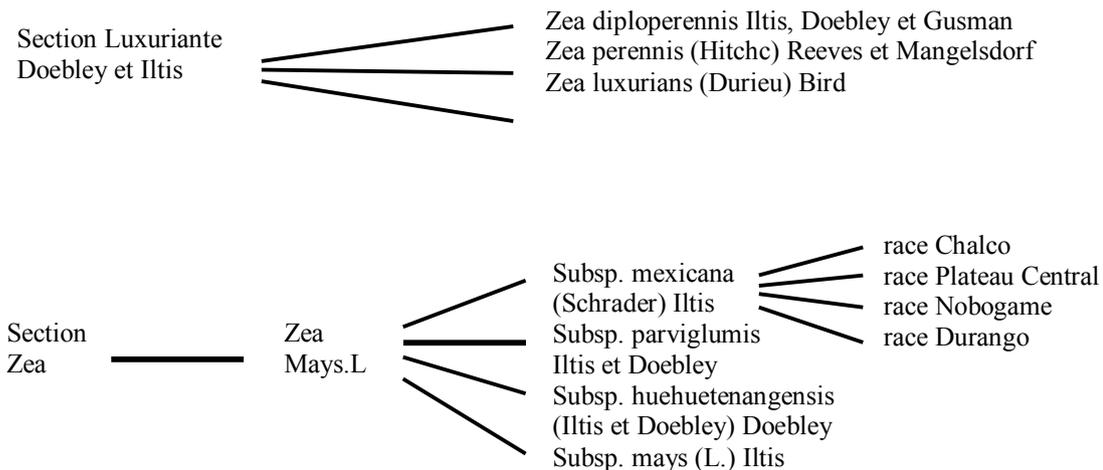
Cultivé du Canada au Sud de l'Amérique latine pendant des millénaires, la culture du maïs s'est ensuite propagée sur l'ensemble du continent américain, le maïs n'a traversé l'Atlantique qu'avec le retour de Christophe Colomb (**Philogène et al., 1989**). Puis, à partir du XVIème siècle le maïs est cultivé sur tous les continents, en zone tropicale comme en zone tempérée. Il serait arrivé en Afrique au XVIIème siècle (**Cissokho, 2010**).

Au cours de sa domestication, le maïs a gagné de nombreux attributs importants sur le plan agronomique, mais il a perdu la capacité de survivre à l'état sauvage. Sa domestication est telle que les grains ne peuvent tomber de l'épi et se disséminer sans l'intervention de l'homme (**ACIA, 2004**).

### **I.1.3 Taxonomie**

La classification actuelle de *Zea mays* et des espèces voisines résulte des travaux d'Iltis et Doebley publiés en 1980. Le maïs est une monocotylédone de la grande famille des Gramineae. Il est classé dans la tribu des Maydeae encore appelée Tripsaceae. Cette tribu se subdivise en huit (8) genres dont cinq (5) sont originaires d'Asie : *Coix*, *Schlerachne*, *Polytoca*, *Chionachme* et *Trilobachne* ; les trois (3) autres (*Euchldena*, *Tripsacum* et *Zea*) sont originaires d'Amérique.

Le genre *Zea* reste le plus exploité. Il renferme des espèces annuelles et pérennes, des formes sauvages (les téosintes) et une forme cultivée (*Zea mays*).



**Figure 2 : Taxonomie du genre Zea (Iltis et Doebley, 1980 ; Doebley, 1990)**

### **I.1.4 Utilisation du maïs**

Le maïs, cultivé pour ses grains riches en amidon (environ 63% de son poids), constitue la base de l'alimentation de nombreuses populations (**Goalbaye, 2014**). Le grain de maïs est un aliment énergétique, grâce à sa teneur en amidon, mais sa teneur en protéines est faible, ainsi que sa teneur en matières minérales (**FAO, 1993**). L'utilisation du maïs varie selon le niveau économique du pays. Ainsi le maïs a actuellement trois grands types d'utilisation :

- L'alimentation humaine, sous forme d'épis immatures, de farine ou de semoule, particulièrement importante dans certains pays du tiers monde, notamment l'Afrique subsaharienne et l'Amérique latine
- L'alimentation animale qui concerne surtout les pays industrialisés,
- L'utilisation par les industries agroalimentaires, pharmaceutiques, textiles, papetiers, des produits chimiques (biocarburants, plastiques) (**Mémento de l'agronome, 2002**)

### **I.1.5 Importance économique**

Le maïs est l'une des cultures les plus utilisées pour l'alimentation humaine. Selon les statistiques de la FAO en 2004, la production mondiale du maïs était de 724 511 000 T, devant le blé et le riz. Au Sénégal, la culture du maïs dépend fortement de la pluviométrie et les quantités produites sont trop faibles pour couvrir la demande nationale (293 065 tonnes en moyenne pour les 5 dernières années) (**ANSD, 2019**). L'augmentation de la demande du maïs importé s'explique par la faiblesse de la production céréalière locale, le développement de la filière avicole qui en a besoin pour l'aliment de la volaille, le niveau moyen voire faible des prix de cette céréale par rapport aux prix du riz importé et aux prix des céréales locales.

Pour assurer cette demande, le Sénégal est obligé d'importer plus qu'il n'exporte. En 2013, les importations ont été évaluées à 19 664 219 938 milliard (**Dieme, 2014**). Selon l'Agence Nationale de la statistique et de la démographie, le volume des importations du maïs est estimé à 396 441 tonnes seulement entre janvier et juillet 2019 (**ANSD, 2019**).

## **I.2 Généralités sur les moisissures**

Les moisissures sont des champignons filamenteux hétérotrophes. Certains vivent en symbiose avec les végétaux, d'autres sont des parasites des végétaux ou des animaux, d'autres sont des saprophytes, se développant sur des déchets organiques (**Labiod et Chaibras, 2015**). Ces champignons sont capables de provoquer d'importantes détériorations, notamment dans le domaine agronomique. Les aliments sont généralement des milieux très favorables à leur développement. Plusieurs moisissures notamment les genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* sont connues pour être des contaminants des produits agricoles et/ou pour leur capacité à produire des métabolites secondaires toxiques (**Nguyen, 2007**).

### **I.2.1 *Aspergillus* aflatoxinogènes**

#### **I.2.1.1 *Aspergillus***

##### **I.2.1.1.1 Généralités**

Les *Aspergillus* sont des champignons cosmopolites, très répandus dans le milieu extérieur (**BIOFORMA, 2002**). Ils font partie des *Deuteromycetes* (champignons imparfaits, reproduction asexuelle), ordre des *Hyphomycetes*, famille des *Moniliaceae* (**Nguyen, 2007**). Le genre *Aspergillus* comprend environ 185 espèces réparties en 28 groupes morphologiquement, génétiquement et physiologiquement proches (**Botton et al., 1990 ; Roquebert, 1998**). De nombreuses espèces d'*Aspergillus* sont présentes dans l'environnement, notamment dans la poussière et l'air (**Morin, 1994**). Certaines espèces peuvent être directement pathogènes à l'homme et l'animal à cause de leur capacité à envahir les tissus vivants et à provoquer des aspergilloses tels que les mycoses pulmonaires (**Morin, 1994**). D'autres espèces sont capables de produire des substances toxiques appelées aflatoxines, dangereuses pour l'homme et l'animal. Les espèces d'*Aspergillus* aflatoxinogènes les plus connues et qui ont fait l'objet de plusieurs travaux de recherche sont les suivants :

- *A. flavus* est la principale espèce productrice d'aflatoxines (uniquement du groupe B),
- *A. parasiticus* et *A. nomius* produisent en plus des aflatoxines du groupe G, mais ces autres champignons microscopiques (moisissures) ne sont rencontrés que très rarement dans les aliments (**Johnsson et al., 2008 ; Doster et al., 2009 ; Reddy et al., 2009**).

### I.2.1.1.2 Caractères cultureux

Les *Aspergillus* présentent une croissance rapide sur les milieux de culture classiques (gélose au malt, Sabouraud) additionnés d'antibiotiques. Ils sont capables de se développer à des températures comprises entre 10 et 48°C avec un optimum à 33°C (Domsch *et al.*, 1980), à une faible activité de l'eau de l'ordre de 0,78 et à un pH allant de 2,1 à 11,2 (Ayerst, 1969 ; Olutiola, 1976). Après 48 heures d'incubation, on observe des colonies plates, formées de courts filaments aériens, blancs ; après 96 heures d'incubation, les colonies vont prendre leur teinte caractéristique, brune, verte, jaune ou noire selon les espèces et sont souvent poudreuses ou granuleuses. La couleur de colonies permet une orientation rapide dans l'identification d'espèces : gris-vert pour *A. fumigatus*, vert-jaune pour *A. flavus* et les espèces du groupe *A. glaucus*, vert foncé à chamois pour *A. nidulans*, brun cannelle pour *A. terreus*, chamois clair, jaune et rose pour *A. versicolor*, jaune puis noir pour *A. niger* et blanche pour *A. candidus*. Le revers de la colonie est incolore ou jaune, mais il peut brunir ou rougir avec l'âge (Tabuc, 2007).

### I.2.1.1.3 Caractères microscopiques

Les *Aspergillus* sont caractérisés par un appareil végétatif (thalle) formé de filaments mycéliens hyalins, de diamètre fin et régulier, septés et ramifiés. L'identification du genre *Aspergillus* repose sur la mise en évidence des têtes aspergillaires à l'examen microscopique des colonies. Sur les filaments végétatifs, prennent naissance des filaments dressés, non cloisonnés. Ces derniers appelés conidiophores, se terminent par une vésicule de forme variable sur laquelle sont disposées les cellules conidiogènes ou phialides. Les phialides peuvent être insérées directement sur la vésicule (têtes unisériées) ou portées par des petites structures insérées sur la vésicule (têtes bisériées) nommées métules ou stérigmates (Sakhri, 2012).

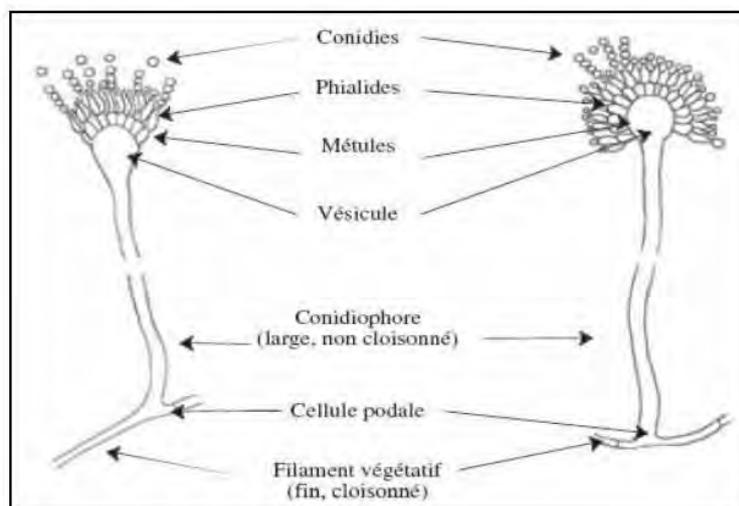


Figure 3 : Caractères morphologiques des *Aspergillus* (Chabasse *et al.*, 2002)

## **I.2.1.2 Aflatoxines**

### **I.2.1.2.1 Caractéristiques biochimiques**

Les aflatoxines regroupent 18 composés structurellement proches constitués par un assemblage d'une coumarine et de 3 furanes. Les plus courantes dans la chaîne alimentaire sont l'aflatoxine B1, aflatoxine B2, aflatoxine G1, aflatoxine G2 et aflatoxine M1 (**Huffman et al., 2010**). Les aflatoxines B1 et B2 sont produites par les trois espèces aflatoxinogènes (*Aspergillus nomius*, *Aspergillus parasiticus* et *Aspergillus flavus*) tandis que les aflatoxines G1 et G2 sont produites seulement par *Aspergillus nomius* et *Aspergillus parasiticus* (**Ruppel et al., 2004**). Quant à l'aflatoxine M1, elle est issue de la métabolisation hépatique de l'aflatoxine B1 (**IARC, 2002**). En effet, après une ingestion d'aliments contaminés, l'aflatoxine B1 est transformée dans le foie des mammifères par le cytochrome P450 en plusieurs métabolites dont le principal est l'aflatoxine M1 qui est produit par hydroxylation du carbone tertiaire du cycle difuranocoumarin. Le groupement hydroxyl formé rend l'aflatoxine M1 plus soluble dans l'eau et donc rapidement excrétée dans le lait, l'urine, la bile et les fèces des mammifères (**Tchana et al., 2010**). L'aflatoxine M1 doit d'ailleurs son nom à sa présence dans le lait (ou « Milk ») des animaux consommant une alimentation contaminée par l'aflatoxine B1 (**Becker-Algeri et al., 2016**).

### **I.2.1.2.2 Toxicité**

Parmi les aflatoxines, l'aflatoxine B1 est la forme la plus fréquente et la plus toxique pour les mammifères (**Tabuc, 2007**). La toxicité majeure de l'aflatoxine B1 est son pouvoir cancérigène (**Zhang et al., 2009**). En effet, cette molécule est responsable de l'apparition d'hépatocarcinomes chez les hommes et les animaux (**Sherif et al., 2009 ; Curtis et al., 2009**). Pour cette raison, elle est classée dans le groupe I des molécules cancérigènes chez l'homme par l'agence internationale de la recherche sur le cancer (**IARC, 1993**) comme son dérivé l'aflatoxine M1 (**IARC, 2002**). En revanche l'aflatoxine B2 ne serait que potentiellement cancérigène. Quant à l'aflatoxine G2, les données actuellement disponibles sont insuffisantes pour la classer dans cette catégorie (**IARC, 1993**). Cette différence de toxicité s'explique par la structure de ces molécules (**Figure 4**). La présence d'une double liaison sur le cycle dihydrofurane des aflatoxines B1 et G1 serait à l'origine de la différence de toxicité avec leurs homologues B2 et G2. La différence de toxicité entre les aflatoxines du groupe B et G proviendrait de la substitution du cycle cyclopentone par un cycle lactone (**Lee et al., 1981**).

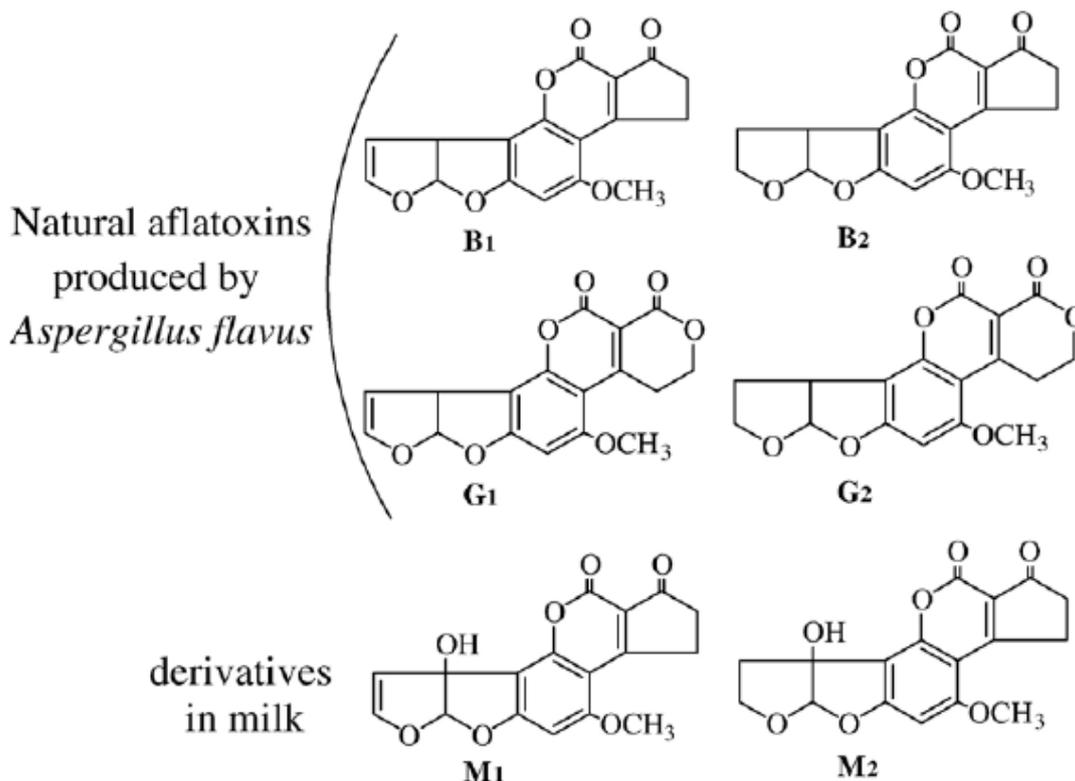


Figure 4 : Structure chimique des principales aflatoxines (Jaynes *et al.*, 2006)

#### I.2.1.2.3 Conséquences d'une intoxication

Les conséquences d'une intoxication dépendent de la durée et du degré d'exposition. L'ingestion répétée de faibles doses d'aflatoxine appelée exposition chronique, favorise l'affaiblissement des défenses immunitaires (Turner *et al.*, 2003), le cancer (Liu et Wu, 2010 ; Tchana *et al.*, 2010), la cirrhose du foie (Amla *et al.*, 1971) et compromet de façon significative le statut en micronutriments des personnes qui sont déjà confrontées à des problèmes de santé comme l'infection au VIH et l'hépatite B (Liu et Wu, 2010 ; Obuseh *et al.*, 2011). Chez l'enfant, une exposition chronique aux aflatoxines induit une insuffisance pondérale (Gong *et al.*, 2002), le kwashiorkor (Hendrickse *et al.*, 1991) et un retard de croissance (Gong *et al.*, 2002 ; Gong *et al.*, 2004).

L'absorption d'une forte dose d'aflatoxine appelée quant à elle intoxication aiguë, se manifeste par des hémorragies, une destruction du foie, des œdèmes pulmonaires et cérébraux qui sont en général mortels (USAID, 2012). La plus grande intoxication aiguë due aux aflatoxines a eu lieu au Kenya en 2004 après l'ingestion de maïs contaminé par de fortes concentrations d'aflatoxine B1 (> 1000 ppb) (Lewis *et al.*, 2005). Ce qui a entraîné la mort de 125 personnes sur les 317 cas d'aflatoxicoses aiguës qui ont été signalés.

## **I.2.2 *Fusarium***

### **I.2.2.1 Généralités**

Les *Fusarium* sont des champignons filamenteux dont le genre « Deutéromycète » a été décrit pour la première fois en 1809 par Link, directeur du Jardin Botanique de Berlin, sous le nom de *Fusisporium*. Ce genre regroupe de nombreuses espèces. Leur nom, *Fusarium*, fait référence à leurs spores en forme de fuseau (**Heit, 2015**). Les *Fusarium* appartiennent à la classe des Ascomycètes (ordre des Hypocréales, famille des Nectriacées, genres *Gibberella*, *Albonectria*, et *Haematonectria*). Pour plusieurs espèces de *Fusarium*, le stade parfait demeure encore inconnu (**Jedidi, 2017**). Les champignons du genre *Fusarium* sont très répandus et peuvent être isolés de la plupart des sols, des insectes, de l'eau courante, des racines, graines et autres tissus d'une grande variété de plantes herbacées et ligneuses sauvages ou cultivées. Ces organismes sont retrouvés aussi bien sous les climats tempérés que sous les climats subtropicaux. Certaines espèces s'attaquent plus particulièrement aux céréales (**Jeunot, 2005**). Toutefois ce genre n'est pourvu que de quelques caractères morphologiques permettant la distinction des espèces, en se basant uniquement sur leurs traits morphologiques (**Jedidi, 2017**).

### **I.2.2.2 Caractères cultureux**

Les *Fusarium* poussent sur milieu de Sabouraud sans cycloheximide, mais se développent sur milieu PDA ou sur gélose au malt. La température optimale varie entre 22 à 37°C. Les colonies duveteuses ou cotonneuses sont de couleur variable (blanche, crème, jaune, rose, rouge, violette ou lilas) selon les espèces. Le revers peut être crème, rouge à pourpre, lilas ou violet. Les pigments diffusent souvent dans la gélose (**Chermette et Bussieras, 1993**).

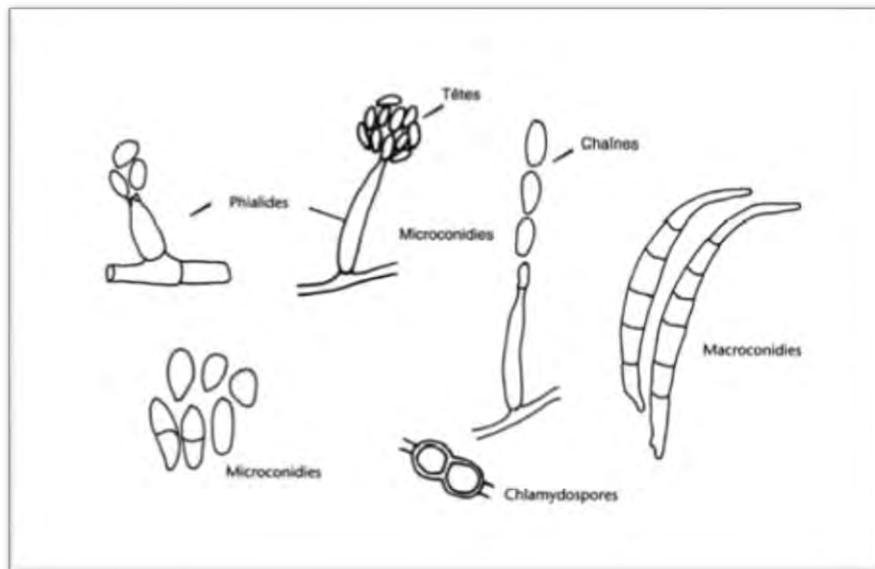
### **I.2.2.3 Caractères microscopiques**

Les *Fusarium* ont un thalle à croissance généralement rapide, blanc à crème, jaune brunâtre, rose, rouge, violet ou lilas. Les conidiophores parfois très ramifiés forment sur le thalle des coussinets (sporodochies) et portent des masses de spores d'aspects graisseux (**Jeunot, 2005**). Les phialides peuvent avoir un site de bourgeonnement unique (monophialide) situé à l'extrémité d'un col allongé (*F. solani*) ou court et trapu (*F. oxysporum*). Chez d'autres espèces comme *F. proliferatum*, les phialides présentent plusieurs sites de bourgeonnement (polyphialides) pour la production des conidies (**BIOFORMA, 2002**).

Les phialides sont plus ou moins allongées et peuvent produire deux types de conidies :

- Des macroconidies fusiformes, souvent courbées, pluriseptées, avec une cellule basale pédicellée, portant une sorte de talon
- Des microconidies petites, généralement septées, piriformes, fusiformes ou ovoïdes.

Certaines espèces produisent les deux types de spores, d'autres ne forment que des macroconidies. Les chlamydo-spores sont présentes ou absentes, terminales ou intercalaires, différenciées par le mycélium ou par les conidies (**Botton *et al.*, 1985**).



**Figure 5 : Caractères morphologiques des *Fusarium* (Tabuc, 2007)**

### **I.2.3 *Penicillium***

#### **I.2.3.1 Généralités**

Ce genre réunit des champignons filamenteux, appartenant au phylum des *Ascomycètes*. Ce genre comprend environ 227 espèces définies essentiellement d'après les caractères du thalle, des pénicilles et des spores (**Pitt, 1988**). Les *Penicillium* sont des champignons pour la plupart très communs dans l'environnement, polyphages, pouvant être responsables de nombreuses dégradations. Ils ont pour habitat naturel le sol, les denrées alimentaires, les matières organiques en décomposition, le compost, les céréales. Les espèces du genre *Penicillium* se développent normalement dans des milieux où l'activité de l'eau est plus élevée que celle permettant la croissance des *Aspergillus*, à des températures plus basses. Il s'agit de contaminants fréquents des régions tempérées (**Tabuc, 2007**).

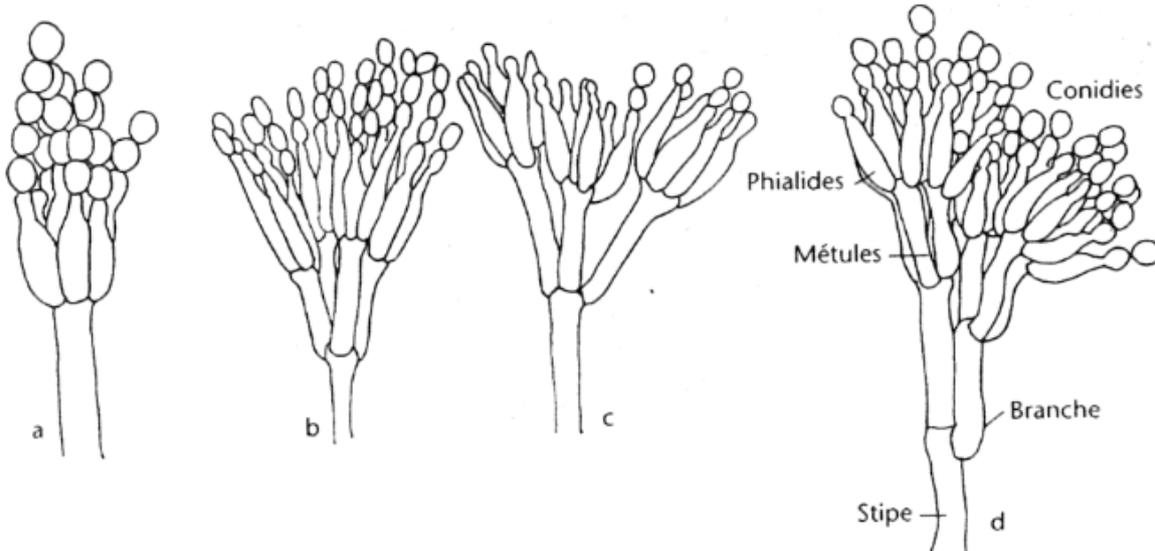
### I.2.3.2 Caractères cultureux

Ces champignons poussent facilement sur les milieux utilisés en mycologie, mais sont inhibé par le cycloheximide. Leur croissance est rapide, la colonie est habituellement duveteuse, poudreuse, de couleur variable, le plus souvent verte, mais parfois grise, jaune ou rose. Le revers est incolore ou foncé. Un pigment diffuse parfois dans la gélose (**BIOFORMA, 2002**).

Les *Penicillium* se développent rapidement et facilement sur les milieux de culture utilisés en routine (gélouses au malt, Sabouraud). Ils se développent à des températures modérées de l'ordre de 20-27°C. Après 2 jours d'incubation, on observe des petites colonies plates, formées de courts filaments aériens, habituellement blancs. Après 3-4 jours d'incubation, la sporulation va conférer aux colonies leur teinte, le plus souvent dans les tons vert, vert bleu, vert-gris, vert-jaune, gris-bleu mais aussi, pour certaines espèces, jaune, orange, chamois, rose, ou rouge (**Tabuc, 2007**).

### I.2.3.3 Caractères microscopiques

Les *Penicillium* sont caractérisés par un filament dressé, le stipe, qui porte des cellules conidiogènes (phialides) groupées en pinceaux (d'où le nom de *Penicillium*), formant des conidies en chaînes. Entre les phialides et les stipes peuvent s'intercaler des éléments intermédiaires qui rendent l'organisation du pinceau plus complexe (**Nguyen, 2007**).



**Figure 6 : Caractères morphologiques des *Penicillium* (a) Pinceau monoverticillé (b) biverticillé (c) biverticillé fourchu (furcatum) (d) terverticillé (Nguyen, 2007)**

## CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

### II.1 Cadre de l'étude

Les échantillons de maïs ont été prélevés au niveau de 5 industries agroalimentaires de Dakar. Il s'agit des Grands moulins de Dakar (GMD), FKS, SEDIMA GROUPE, AVISEN et Nouvelle Minoterie Africaine (NMA). Ces industries constituent les principaux acteurs de l'importation du maïs au Sénégal.

### II.2 Echantillonnage

Trente échantillons de maïs de 1 kg chacun ont été prélevés au niveau des industries agroalimentaires (GMD, FKS, SEDIMA, AVISEN, NMA). Chaque échantillon de 1kg est constitué d'un mélange de 4 sous-échantillons de 250 g de graines prélevés en divers points sur l'ensemble du lot. Les échantillons conditionnés dans des sachets en plastique stériles ont été transportés au laboratoire où ils sont soumis à des analyses mycotoxicologiques et microbiologiques.

### II.4 Isolement et identification des moisissures pathogènes du maïs

#### II.3.1 Préparation d'un milieu de culture solide Potato Dextrose Agar

Le milieu de culture gélose glucosée à l'extrait de pomme de terre (PDA) est utilisé pour l'isolement, la purification et l'identification des parasites infestant les échantillons de maïs importés. Les composants du milieu de culture PDA sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1 : Composition du milieu PDA**

Constituants	
Pomme de terre (g)	200
Agar (g)	20
Glucose (g)	20
Eau distillée	Qsp 1 L

Les pommes de terre sont épluchées et découpées en petits morceaux puis cuites dans une casserole pendant 15 à 20 min dans 1L d'eau distillée jusqu'à ce qu'elles soient molles. Après avoir laissé les pommes de terre refroidir, le liquide est filtré à travers un coton à fromage dans un flacon de 1L. L'agar et le glucose sont ajoutés puis le tout est complété à 1 litre avec de l'eau distillée.

Le mélange obtenu est ensuite agité jusqu'à la fonte de l'agar et du glucose à la température de 50°C, puis stérilisé dans un autoclave à la température de 121°C pendant 20 min. Après stérilisation, le milieu est coulé dans des boîtes de Pétri stériles puis refroidi sous une hotte avant conservation au réfrigérateur à la température de 4°C.

### II.3.2 Désinfection de la surface des grains

Les grains ont été placés dans un panier tamis à maille de 05-1 mm (type "moustiquaire") et suivent le cycle de désinfection suivant :

-10min dans un bécher contenant 300 ml d'une solution d'hypochlorite de calcium (5%) et 3 gouttes de triton

-1 min dans un bécher contenant 300 ml d'eau stérile

- 1 min dans un bévcher contenant 300 ml d'eau stérile

Durant chacune des trois phases, le panier est agité vigoureusement afin de remettre en suspension les grains et d'assurer ainsi une désinfection et un rinçage plus efficace. Le panier contenant les grains est ensuite égoutté et les grains sont placés à sécher sur du papier filtre stérile (compter 15 min minimum sous la hotte à flux laminaire) à la température ambiante.

### II.3.3 Isolement et purification des moisissures

Les grains désinfectés ont été placés, à l'aide d'une pince stérile, dans des boîtes de Pétri contenant le milieu PDA à raison de trois grains par boîte (**Figure 7**). L'ensemble a été incubé à 32°C à l'étuve pendant 3 à 7 jours. Ensuite, un isolement des souches d'intérêt est réalisé sur la profusion de champignons qui se sont développés sur le PDA. Un repiquage successif en points par épuisement est effectué sur les souches d'intérêt jusqu'à l'obtention de colonies visuellement pures.



**Figure 7 : Ensemencement des grains de maïs sur PDA**

### **II.3.4 Identification des moisissures**

Les souches isolées sont identifiées dans un premier temps selon les caractères cultureux décrits par **Djossou (2011)** et **Chakranarayan et al. (2013)**. Ces caractères cultureux portent sur le diamètre, la couleur et l'envers de la colonie. En plus, des caractères cultureux, des fractions de culture sont examinées en microscopie optique (**Carl Zeiss, Oberkochen, Germany**) sur une lame porte objet ordinaire : l'observation porte sur la présence ou l'absence de métules, la forme de la vésicule, l'aspect et la couleur du conidiophore et des conidies comme préconisé par **Botton et al. (1990)**, **Ouattara-Sourabie et al. (2011)** et **Chakranarayan et al. (2013)**.

Pour vérifier le caractère aflatoxinogène des souches d'*Aspergillus* isolées, ces dernières sont ensemencées sur le milieu de culture sélectif AFPA (*Aspergillus Flavus Parasiticus Agar*). La coloration jaune orangé de l'envers des colonies sur le milieu AFPA permet de confirmer le caractère aflatoxinogène des souches.

### **II.4 Analyse des aflatoxines**

L'analyse des aflatoxines dans les échantillons de maïs a été réalisée sur un Chromatographe Liquide Haute Performance (HPLC) (Shimadzu, Kyoto, Japon) qui est la méthode de référence de détection quantitative des aflatoxines.

### **II.5 Analyse statistique**

Les analyses statistiques sont faites avec le logiciel R version 3.5.3. La normalité des données a été vérifiée par le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances par le test de Bartlett. Les variables ne suivent pas la loi normale donc le test de Kruskal wallis est utilisé pour la comparaison des moyennes et les tests de comparaison 2 à 2 ont été réalisés avec pairwise t-test ou pairwise wilcox. Les valeurs de P inférieurs à 0,05 sont considérés comme significatives.

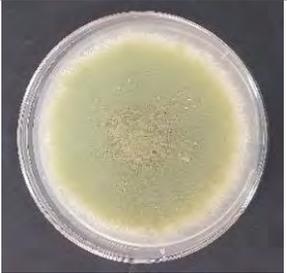
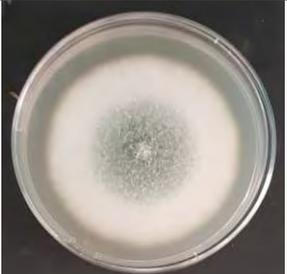
## CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

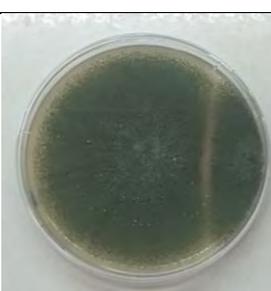
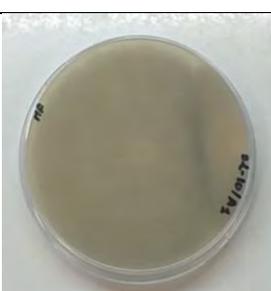
### III.1 RESULTATS

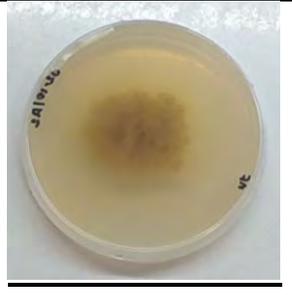
#### III.1.1 Identification des moisissures isolées

L'analyse microbiologique des échantillons de maïs importé a révélé la présence de plusieurs espèces appartenant principalement à trois genres de moisissures : *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*. Nous avons identifié cinq espèces d'*Aspergillus* (*A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *A. parasiticus* et *A. repens*), une espèce de *Penicillium* (*Penicillium sp.*) et une espèce de *Fusarium* (*Fusarium sp.*). Les souches *A. flavus*, *A. fumigatus* et *A. terreus* ne sont retrouvées que dans le maïs en provenance des Etats Unis tandis que la souche *A. parasiticus* est présente dans le maïs provenant de la France et de l'Argentine. Les souches *Penicillium sp* et *Fusarium sp* sont présentes respectivement dans les échantillons provenant des Etats Unis et de l'Argentine. Les caractères cultureux et microscopiques de ces souches sont respectivement présentés dans le tableau 3 et le tableau 4. Les souches sont nommées selon leur pays d'origine.

**Tableau 3 : Caractères cultureux des souches isolées à partir du maïs importé selon le pays d'origine (USA, France et Argentine)**

Espèces	Caractères macroscopiques	T : 32° C Diamètre (cm) à 7j	Aspect macroscopique	
			Face	Envers
UsaS1 <i>A. flavus</i>	Couleur : Vert olive avec sclérotés blanc à la surface Aspect : Poudreuse à duveteuse Revers : Rosé à brun	8,9		
UsaS2 <i>A. fumigatus</i>	Couleur : Blanc à bleu foncé Aspect : laineuse à cotonneuse Revers : Brun	8,4		

<p>UsaS3 <i>A. terreus</i></p>	<p>Couleur : Rose à jaune brun Aspect : Duveteuse à poudreuse Revers : Jaune à brun orangé</p>	<p>7,8</p>		
<p>UsaS4 : <i>Penicillium</i> <i>sp.</i></p>	<p>Couleur : Noir à périphérie blanc Aspect : poudreuse Revers : Jaunâtre</p>	<p>2,6</p>		
<p>FrS1 <i>A.</i> <i>Repens</i></p>	<p>Couleur : Vert claire Aspect : Floconneuse, sclérotés noirs Revers : Brunâtre</p>	<p>9</p>		
<p>FrS2 <i>A.</i> <i>parasiticus</i></p>	<p>Couleur : Vert foncé Aspect : Poudreuse à duveteuse, dense et légèrement grisâtre au centre Revers : Blanchâtre</p>	<p>8,9</p>		
<p>ArS1 <i>A.</i> <i>parasiticus</i></p>	<p>Couleur : Vert foncé Aspect : Poudreuse à duveteuse, dense et légèrement grisâtre au centre Revers : Blanchâtre</p>	<p>8,9</p>		

ArS2 <i>Fusarium sp</i>	Couleur : Mycelium blanc Aspect : cotonneux Revers : pigment brun	4,2		
----------------------------	---	-----	--	---

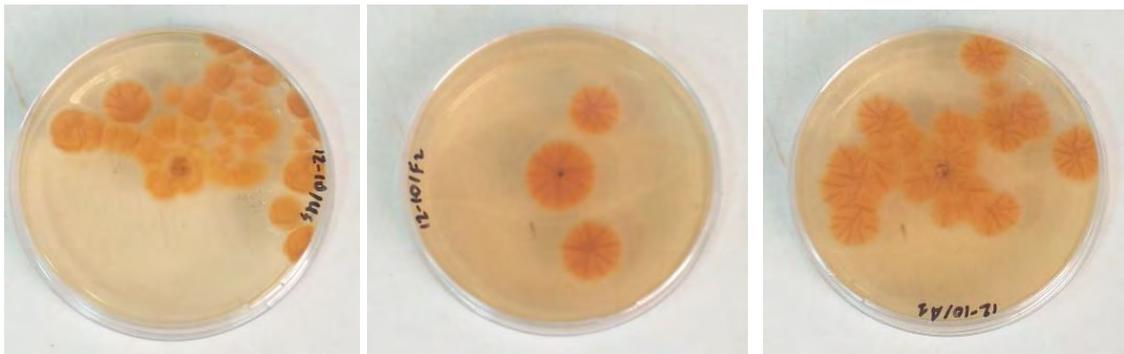
**Tableau 4 : Caractères microscopiques des souches isolées à partir du maïs importé selon le pays d'origine (USA, France et Argentine)**

Espèces	Caractères microscopiques	Aspect microscopique
UsaS1 <i>A. flavus</i>	Tête aspergillaire : unisériée Conidiophore : long et souvent verruqueux Vésicule : sphérique ; grosse Conidie : vert pâle, échinulée, globuleuse à subglobuleuse.	
UsaS2 <i>A. fumigatus</i>	Tête aspergillaire : Unisériée en colonne Conidiophore : Court, lisse, évasement progressif au sommet (aspect en massue) Vésicule : Hémisphérique Conidies : Ronde, verte lisse au sommet	
UsaS3 <i>A. terreus</i>	Tête aspergillaire : bisériée en colonne ; aspect en éventail ; Conidiophore : lisse et incolore Vésicule globuleuse ; Conidies : petite, lisse, globuleuse.	
UsaS4 <i>Penicillium sp.</i>	Pincesaux : monoverticillé (phialide seule)	

FrS1 <i>A. Repens</i>	Tête aspergillaire : unisériée Vésicule : hémisphérique Conidiophore : incolore, non cloisonné Conidies : grosse, globuleux à subglobuleux	
FrS2 <i>A. parasiticus</i>	Tête aspergillaire : bisériée en colonne ; Vésicule : Unisérié, globuleuse Conidiophore : hyalin, non cloisonné Conidies : globuleux à subglobuleux	
ArS1 <i>A. parasiticus</i>	Tête aspergillaire : Vert terne à jaunâtre, globuleux Conidiophore : hyalin, non cloisonné Conidies : globuleux à subglobuleux Vésicule : Unisérié, globuleuse	
ArS2 <i>Fusarium sp</i>	Absence de chlamydospores, microconidies en chainettes, sur des conidiophores à monophialides	

### III.1.2 Caractère aflatoxinogène des souches d'*Aspergillus* isolées

Le milieu AFPA a été utilisé pour vérifier le caractère aflatoxinogène des souches d'*A. flavus* et *A. parasiticus* isolées du maïs importé. La coloration jaune orangé de l'envers des colonies sur le milieu AFPA (**Figure 9**) permet de confirmer que les souches d'*Aspergillus* UsaS1, FrS2 et ArS1 sont bien productrices d'aflatoxines.



**Figure 8 : Test aflatoxinogène des souches UsaS1, FrS2 et ArS1 isolées sur le milieu de culture AFPA**

### III.1.3 Détermination de la teneur en aflatoxines

Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau suivant.

**Tableau 4 : Teneurs en aflatoxines en fonction des pays d'origines**

Echantillon (E)	Teneur en aflatoxines (B1+B2+G1+G2) (ppb)		
	France	Argentine	USA
E1	2,3	2	2,2
E2	2,3	<b>6,5</b>	<b>5,7</b>
E3	<b>6</b>	2	2,3
E4	1,9	2,5	2,4
E5	2,7	2,8	3,1
E6	2,6	1,8	<b>4,3</b>
E7	<b>4,05</b>	<b>4,3</b>	2,2
E8	2,2	2,3	3
E9	3,4	1,9	<b>4,1</b>
E10	3,2	<b>5,1</b>	2,2
<b>Teneur moyenne (± écart type)</b>	<b>3,07±1,22</b>	<b>3,12± 1,62</b>	<b>3,15±1,19</b>

Ce tableau nous montre que tous les échantillons testés sont contaminés par les aflatoxines. Les teneurs en aflatoxines des échantillons varient de 1,9 à 6 ppb pour la France, de 1,8 à 6,5 ppb pour l'Argentine et de 2,2 à 5,7 ppb pour les Etats Unis. Huit dans l'ensemble des échantillons ont des teneurs en aflatoxine qui dépassent la valeur maximale fixée de 4 ppb par l'Union

européenne. La France présente 1 échantillon qui dépasse 4 ppb. Quant à l'Argentine et les USA, elles ont 3 échantillons chacun dépassant cette valeur. Par contre, tous les échantillons ont des teneurs en AF qui respectent la norme américaine de 20 ppb. Les analyses statistiques montrent qu'il n'y a aucune différence significative des teneurs moyennes en aflatoxines entre les pays ( $P = 0,3746$ ).

## III.2 DISCUSSION

L'objectif de notre étude est d'évaluer la sécurité sanitaire du maïs importé au Sénégal. Des analyses mycotoxicologiques et microbiologiques ont été effectuées sur 30 échantillons de maïs importé provenant de la France, de l'Argentine et des Etats Unis.

Tous les échantillons de maïs analysés sont contaminés par des moisissures potentiellement mycotoxinogènes. Les grains de maïs ont été désinfectée à la surface, ce qui signifierait que ces infections se sont probablement produites au champ et, n'ont présenté aucun symptôme jusqu'à leur stockage et / ou leur transport post-récolte (**Belkacem, 2008**). Dans cette étude, sept espèces potentiellement productrices de mycotoxines ont été isolées et identifiées sur les échantillons de maïs importé. Ces moisissures sont des contaminants des denrées alimentaires maltraitées mais surtout mal conservées. Ils appartiennent aux genres *Aspergillus*, *Penicillium* (considérés comme contaminants de stockage des céréales et leurs dérivés) et *Fusarium* (contaminant des champs) (**Berthier et Valla, 1998**). Ces moisissures mycotoxinogènes sont capables de produire des toxines redoutables telles que les aflatoxines, les ochratoxines, la patuline, les fumonisines, la zéaralène, trichothécènes et le déoxynivalénol dans les grains avant et après la récolte (**Tabuc, 2007 ; AFSSA, 2009**). Cependant la présence de moisissures productrices de mycotoxines sur une denrée alimentaire ne signifie pas toujours qu'une mycotoxine est produite. Les conditions optimales de la toxigenèse dépendent d'une combinaison des facteurs température et humidité ainsi que de l'oxygénation au niveau du substrat (**Nguyen, 2007**).

Les souches *Aspergillus* potentiellement aflatoxinogènes identifiées dans nos échantillons de maïs sont *A. flavus* et *A. parasiticus*. Ce sont de puissants carcinogènes fortement réglementé dans la plupart des pays (**Klich, 2007**). La présence de l'aflatoxine pose un problème de santé publique surtout l'aflatoxine B1 (AFB1) classée comme cancérigène chez l'homme (**IARC, 1993**). Elle est également responsable de pertes économiques très importantes pour les agriculteurs et diminue les performances d'élevage (**Hussein et Brasel, 2001**). La co-contamination du maïs par les genres potentiellement mycotoxinogènes *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* déprécie lourdement la qualité des grains du maïs importé. En effet la co-contamination de mycotoxines présente encore plus de danger en raison de la synergie éventuelle et de leurs effets additifs (**Nguyen, 2007**).

Les résultats obtenus montrent que tous les échantillons de maïs importé au Sénégal provenant de la France, de l'Argentine et des Etats Unis sont contaminés par les aflatoxines avec des teneurs allant de 1,8 à 6,5 ppb. La teneur moyenne en aflatoxines de ces trois pays est de 3,1 ppb. Une consommation régulière de ce maïs peut provoquer une exposition chronique

à long terme. En effet, une consommation régulière d'aliments contenant 2,5 à 3,5 ppb d'aflatoxines peut entraîner une exposition chronique (**Coppock et al., 1989**). Plusieurs études ont stipulé qu'une exposition chronique, même à de faibles niveaux, à des cultures contaminées est associée à un risque élevé de cancer ou de cirrhose du foie (**PACA, 2012 ; Kuniholm et al., 2008 ; Tchana et al., 2010**). Au Sénégal, la consommation de céréales est très élevée surtout en milieu rural. Une étude menée par **Watson et al. (2015)** sur la teneur en aflatoxine dans le sang des personnes suivant la fréquence de consommation du maïs a montré que plus la fréquence de consommation de maïs augmente plus la quantité d'aflatoxine dans le sang est importante (**Watson et al., 2015**). Donc le risque de contamination est très important d'autant plus que la production nationale n'arrive pas à couvrir les besoins de consommation des populations engendrant une forte importation du maïs.

Le maïs local est fortement contaminé en aflatoxine par rapport au maïs importé qui présente des teneurs en aflatoxine largement inférieures. La quantité d'aflatoxine dans le maïs local est estimée entre 1,06 et 852,2ppb au Sénégal (**PACA, 2016**). Toutefois le maïs importé n'est pas directement consommé par les populations, il est souvent stocké pendant une certaine durée au niveau des industries agroalimentaires et au niveau de la population. Selon l'étude d'**Alborch et al. (2011)**, la température et l'humidité relative ont une influence non seulement sur la sporulation des champignons mais également sur la production de mycotoxines (**Alborch et al., 2011**). Ainsi la production d'aflatoxine dans le maïs importé risque d'augmenter d'autant plus que les conditions de stockage sont souvent inappropriées.

Les teneurs en aflatoxines du maïs prélevé au niveau des industriels sont supérieures à celles trouvées dans leur pays d'origine. Dans les pays développés, les expositions alimentaires moyennes aux aflatoxines sont généralement inférieures à 1 ng/ kg de poids corporel et par jour (**OMS, 2018**). Par exemple en France la teneur maximale des aflatoxines dans le maïs est de 0,80 ppb (**FAO/OMS, 2014**) alors que nous avons trouvé une teneur moyenne de 3,01 ppb. Cette différence proviendrait des conditions de stockage des grains de maïs dans les conteneurs lors de son transport par bateau et dans une moindre mesure par un stockage de quelques jours au niveau des industriels. Cela montre la capacité des *Aspergillus* aflatoxinogènes à sécréter rapidement des quantités importantes d'aflatoxines lorsque les conditions de stockage sont favorables.

## CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude a révélé que le maïs importé au Sénégal est contaminé par les aflatoxines. Dans 27% des échantillons, les teneurs de contamination en aflatoxines dépassent le niveau maximal admissible pour les aflatoxines par l'Union européenne (4µg/kg). L'analyse de la flore fongique a permis d'identifier les principaux genres (*Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*) potentiellement producteurs de mycotoxines dangereuses pour la santé de l'homme et des animaux. Ces moisissures ont la capacité à sécréter rapidement des quantités importantes de mycotoxines dans le maïs lorsque les conditions de stockage sont favorables à leur développement.

Le Sénégal est un pays qui importe beaucoup de maïs et les conditions de stockage des céréales ne sont pas souvent appropriées. Ainsi ces recommandations sont formulées à l'endroit du ministère du commerce pour la mise en place d'une réglementation sur les mycotoxines au Sénégal afin de garantir la sécurité sanitaire des aliments importés, mais aussi à l'égard des industries pour la mise au point de méthodes de lutte sans danger pour les consommateurs et efficaces contre les moisissures mycotoxinogènes lors du transport et du stockage des denrées alimentaires.

Lors de cette étude plusieurs espèces n'ont pas pu être identifiées car les conditions de travail n'étaient pas réunies. Ainsi des études dans de meilleures conditions de travail pourraient révéler plus de données sur la contamination du maïs importé par les moisissures mycotoxinogènes. Les techniques d'identification moléculaire permettront aussi une identification plus spécifique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. **AFSSA (Agence Française de Sécurité sanitaire des Aliments)**. Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale. Mars 2009, 308p.
2. **ACIA (Agence Canadienne d'Inspection des Aliments)**. La biologie de *Zea mays* L. (Maïs). Bureau de la biosécurité végétale. BIO1994-11, 1994, 12p.
3. **Albroch L**, Bragulat M. R, Abarca M. L, Cabanes F. J. Effect of water activity, temperature and incubation time on growth and ochratoxin A production by *Aspergillus niger* and *Aspergillus carbonarius* on maize kernels, *International Journal of Food Microbiology*, 2001 ; 147 (1) : 53-57.
4. **Amla I**, Kamala C. S, Gopalakrishiza G. S, Jayaraj A. P, Sreenivasamurthy V, Parpia H. A. B. Cirrhosis in children from peanut meal contaminated by aflatoxin. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1971 ; 24 : 609-614.
5. **ANSD (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie)**. Bulletin mensuel des statistiques économiques de Janvier 2019, 2019, 105 p.
6. **Ayerst G**. The effects of moisture and temperature on growth and spore germination in some fungi, *Journal of Stored Products Research*, 1969 ; 5 : 127-141.
7. **Becker-Algeri T. A**, Castagnaro D, de Bortoli K, de Souza C, Drunkler D. A, Badiale-Furlong E. Mycotoxins in Bovine Milk and Dairy Products: A Review. *Journal of Food Science*, 2016 ; 81(3) : 544–552.
8. **Beigbeder J**. Voyage dans l'histoire du maïs, du Mexique aux Pyrénées, 2013, 23p.
9. **Bennet J. W**, Klich M. Mycotoxins. *Clinical Microbiology Review*, 2003 ; 16 : 497-516.
10. **Berthier J**, Valla G. Moisissures. Mycotoxines et Aliments : du Risque à la Prévention. Université Claude Bernard, Lyon, 1998, 15p.
11. **Botton B**, Breton A, Fèvre M, Gauthier S, Guy P, Larpent J. P, Reymond P, Sanglier J. J,
12. **Bourais I**, Amine A. Aflatoxines toxiques redoutables dans nos aliments. *Technologies de Laboratoire*, 2006.
13. **Castegnaro M**, Pfohl-Leskowicz A. Les mycotoxines : contaminants omniprésents dans l'alimentation animale et humaine, dans *La sécurité alimentaire du consommateur*, Lavoisier, Tec&Doc, 2002.
14. **Chabasse D**, Bouchara J. P, Gentile L, Brun S, Cimon B, Penn P. Les moisissures d'intérêt médical. (edn) Bioforma. Paris, 2002. 160p.

15. **Chakranarayan M**, Pati A. Comparison of microscopic, macromorphological and aflatoxin producing capabilities of *Aspergillus* species associated with rhizosphere of groundnut (*A. hypogaea* L.). *Journal of Chemical, Biology and Physical Sciences Section B*, 2013 ; 3(2) : 1327-1337.
16. **Chermette R**, Bussieras J. *Parasitologie vétérinaire. Mycologie*, Edité par le Service de Parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons-Alfort, 1993.
17. **CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement)**. Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest. CIRAD, 1995.
18. **Cissokho P. S.** Efficacité du broyat de rafles d'épis secs de maïs dans la conservation des grains de maïs contre *Sitophilus zeamais* Motchulsky au Sénégal. Diplôme d'Etudes Approfondies en Agronomie et Protection des Cultures. Département Productions Végétales : École Nationale Supérieure d'Agriculture ENSA-THIES, 2010. 76p.
19. **Coppock R. W**, Reynolds R. D, Buck W. B, Jacobsen B. J, Ross S. C, Mostrom M. S. Acute aflatoxicosis in feeder pigs, resulting from improper storage of corn. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 1989 ; 195 : 1380-1381.
20. **Creppy E. E.** Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe. *Toxicology Letters*, 2002 ; 127 : 19-28.
21. **Curtis M. J**, Budry B, Richard T. A, Simon C. F. B, Johnathan T. W. Examining the structure of awareness and perceptions of groundnut aflatoxin among Ghanaian health and agricultural professionals and its influence on their actions. *Journal of Socio-Economics*, 2009;38:280-287.
22. **Dieme E**, Fall R, Sarr I, Sarr F, Traoré D, Seydi M. Contamination des céréales par l'aflatoxine en Afrique : revue des méthodes de lutte existantes. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2016 ; 10(5) : 2285-2299.
23. **Dieme N. F.** Maïs et Fonio : Structuration de ces deux filières et quelles opportunités pour l'amélioration des revenus des acteurs. *Économie rurale et politiques agricoles*. Faculté des Sciences et Techniques : Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2014. 92p.
24. **Doebley J. F**, Iltis H. H. Taxonomy of *Zea* (Graminae). I. A subgeneric classification with key to taxa. *Amer. Journal of Botany*, 1980 ; 67(6) : 982-993.
25. **Doebley J**, Stec A, Wendel J, Edwards M. Genetic and morphological analysis of maize-teosinte F2 population : Implications for the origin of maize. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 1990 ; 87 : 9888-9892.

26. **Domsch K. H**, Gams W, Anderson T. H. "Compendium of Soil Fungi". Academic Press, London, 1980 ; 1 : 747.
27. **Doster M. A**, Cotty P. J, Michailides T. J. Description of a Distinctive Aflatoxin-Producing Strain of *Aspergillus nomius* that Produces Submerged Sclerotia. Mycopathol ,2009 ; 168 : 193-201.
28. **FAO (Food and Agriculture Organisation)**. Le maïs dans la nutrition humaine. FAO. Rome, 1993a, n° 25.
29. **FAO (Food and Agriculture Organisation)**. Réglementations relatives aux mycotoxines dans les produits d'alimentation humaine et animale, à l'échelle mondiale. FAO, 2003. 183p.
30. **Fendri O**. Recherche et identification des moisissures sur les denrées alimentaires destinées à la commercialisation. Biologie clinique. Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odontologie : Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2018. 44p.
31. **Galinat W. C**. The origin of corn. Suburban Experiment, Station University of Massachusetts-Amherst Waltham, Massachusetts, 1988.
32. **Galtier P**, Oswald I. P, Guerre P, Morgavi D, Boudra H, Jouany J. P. Le risque mycotoxique : danger et impact sanitaire en productions animales. INRA Production Animal, 2008 ; 21 (1) : 107-116.
33. **Gams W**, Christensen M, Onions A. H. S, Pitt J. I, Samson R. A. Infrageneric taxa of *Aspergillus*. In: Samson RA, Pitt JI (eds.), Advances of Penicillium and Aspergillus systematics. Plenum Publishing. London & New-York, 1985 ; p : 55-62.
34. **Goalbaye T**. Influence du stress hydrique sur la physiologie et le rendement des variétés locales de maïs (*Zea mays* L) sélectionnées dans les populations en polinisation libre au Tchad. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle en Biologie, Physiologie et Pathologie Végétales : Spécialité Ecologie et Agroforesterie. Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2014, 81p.
35. **Gong Y. Y**, Cardwell K, Hounsa A et al. Dietary aflatoxin exposure and impaired growth in young children from Benin and Togo: cross sectional study. British Medical Journal, 2002 ; 325 : 20-1.
36. **Gong YY**, Hounsa A, Egal S et al. Postweaning Exposure to Aflatoxin Results in Impaired Child Growth: A Longitudinal Study in Benin, West Africa. Environmental Health Perspectives, 2004 ; 112 : 1334-1338.

37. **Gueye M. T**, Seck D, Wathelet J. P, Lognay G. Typologie des systèmes de stockage et de conservation du maïs dans l'est et le sud du Sénégal. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 2012 ; 16(1) : 49-58.
38. **Heit S**. Identification de *Fusarium* et détection des mycotoxines associées par MALDI-TOF. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle en Pharmacie. Université de Lorraine, 2015, 117p.
39. **Hendrickse R. G**. Kwashiorkor: The Hypothesis That Incriminates Aflatoxins. *Pediatrics*, 1991 ; 88 : 2-376.
40. **Henri G**, Georges C, Philippe J, Roger G. « Cours d'agriculture moderne », 1968 p 182.
41. **Huffman J**, Gerber R, Du L. Recent advancements in the biosynthetic mechanisms for polyketide-derived mycotoxins. *Biopolymers*, 2010 ; 93(9) : 764-76.
42. **Hussein H. S**, Brasel J. M. Toxicity, metabolism and impact of mycotoxins on human and animals. *Toxicology*, 2001 ; 167 : 101-134.
43. **IARC (International Agency for Research on Cancer)**. Some naturally occurring substances, food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins, in Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. World health organization, Lyon, 56, 1993 ; 245 p.
44. **IARC (International Agency for Research on Cancer)**. Monograph on the Traditional Herbal Medicines, Some Mycotoxins, Naphthalene and Styrene. Summary of Data Reported and Evaluation, Lyon, 2002 ; 82 : 171-175.
45. **INSPQ (Institut Nationale de Santé Publique au Québec)**. Les risques à la santé associés à la présence de moisissures en milieu intérieur. INSPQ, 2002, 166p.
46. **Jarvis B. B**, Miller J. D. Mycotoxins as harmful indoor air contaminants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2005 ; 66(4) : 367-372.
47. **Jaynes W. F**, Zartman R. E, Hudnall W. H. Aflatoxin B1 adsorption by clays from water and corn meal. *Applied Clay Science*, 2006 ; 36(1-3) : 197–205.
48. **Jedidi I**. Détermination de la mycoflore générale et identification des espèces mycotoxinogènes d'*Aspergillus* et de *Fusarium* et des mycotoxines qui leurs sont associées dans le blé, l'orge et le maïs, en Tunisie – Etude phylogénétique et écophysiologique des souches tunisiennes de *Fusarium equiseti*. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle en Sciences Biologiques et Biothechnologiques. Institut Supérieur de Biotechnologie de Monastir, 2017, 158p.
49. **Jeunot B**. Les fusariotoxines sur céréales : detection, risque et nouvelle réglementation. Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle en Pharmacie. Université de Lorraine, 2015, 111p.

50. **Johnsson P**, Lindblad M, Thim AM, Jonsson N, Vargas EA, Medeiros NL, Brabet C, Quaresma de Araújo M, Olsen M. Growth of aflatoxigenic moulds and aflatoxin formation in Brazil nuts. *World Mycotoxin Journal*, 2008 ; 1(2) : 127-137.
51. **Kuniholm M. H**, Lesi, O. A, Mendy M, Akano A. O, Sam O, Hall A. J, Whittle H, Bah E, Goedert J. J, Hainaut P and Kirk G. D. Aflatoxin exposure and viral hepatitis in the etiology of liver cirrhosis in the Gambia, West Africa. *Environmental Health Perspectives*, 2008 ; 116: 1553-1557.
52. **Ky J**, Gbehe S, Youo D. C. Caractérisation de neuf échantillons de farine de maïs *Zea mays* (L.) vendus sur les marchés d'Adjamé, Yopougon et Abobo en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 2017 ; 115: 11434-11440.
53. **Labiod F**, Chaibras S. Isolement, identification et activité antibactérienne des moisissures d'un sol forestier à Constantine. Diplôme de master en Sciences biologiques : Biotechnologie des mycètes. Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Université des Frère Mentouri Constantine, 2015, 74p.
54. **Lecellier A**. Caractérisation et identification des champignons filamenteux par spectroscopie vibrationnelle. Thèse de doctorat de 3ème Cycle en Biologie-Biophysique. Université de Reims Champagne-Ardenne, 2013, 194p.
55. **Lee L. S**, Dunn J. J, De Lucca A. J, Ciegler A. Role of lactone ring of aflatoxin B1 in toxicity and mutagenicity. *Experientia*, 1981 ; 37 : 16-17.
56. **Liu Y**, Wu F. Global Burden of Aflatoxin-Induced Hepatocellular Carcinoma: A Risk Assessment. *Environmental Health Perspectives*, 2010 ; 118 : 818-824.
57. **LNPV (Laboratoire Nationale de la Protection des végétaux)**. Détection et identification des espèces de *Fusarium* spp et *Microdochium nivale* sur grains de céréales par isolement mycologique semi sélectif et étude microbiologique. LNPV, 2002. 26p.
58. **Lewis L**, Onsongo M, Njapau H, Schurz-Rogers H, Luber G, Kieszak S, Nyamongo J, Backer L, Dahiye A, Misore A, DeCock K, Rubin C. Aflatoxin contamination of commercial maize products during an outbreak of acute aflatoxicoses in Eastern and Central Kenya. *Environmental Health Perspectives*, 2005 ; 113 : 1763-1767.
59. **Morin O**. *Aspergillus* et *aspergilloses* : biologie. *Encycl Méd Chir*, 1994 ; 8-600-A-10:1-8.
60. **Mukunginwa K**. Etudes botanique, écologique et phénologique sur les cultures de maïs à Kisangani (Haut-Zaïre). Mémoire en Phytosociologie et taxonomie végétale, Faculté des sciences, Université Nationale du Zaïre, 1979, 43p.

61. **Nguyen Minh Tri M.** Identification des espèces de moisissures, potentiellement productrices de mycotoxines dans le riz commercialisé dans cinq provinces de la région centrale de Vietnam – Etude des conditions pouvant réduire la production des mycotoxines. Thèse de doctorat de 3ème Cycle en Génie des procédés et de l’environnement. Institut National Polytechnique de Toulouse, 2007, 145p.
62. **Niang C.** Evaluation de la teneur en aflatoxine dans le maïs (*Zea mays* L.) et caractérisation des souches d’*Aspergillus* de la section Flavi de deux zones agro-écologiques du Sénégal. Mémoire en Phytopharmacologie et Protection des Végétaux, Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. 2017. 53 p.
63. **Nikiema P. A.** Étude des aflatoxines au Burkina Faso : Détermination quantitative et qualitative des aflatoxines de l’arachide par des tests biochimiques et immunologiques. Thèse de doctorat de 3ème Cycle en Sciences biologiques appliquées : Biochimie/Microbiologie (Immunologie). Faculté des Sciences et Techniques, Université de Ouagadougou, 1993, 108p.
64. **Obuseh F. A., Jolly P. E., Kulczycki A et al.** Aflatoxin levels, plasma vitamins A and E concentrations, and their association with HIV and hepatitis B virus infections in Ghanaians: a cross-sectional study. *Journal of the International AIDS Society*, 2011 ; 14 : 2-10.
65. **Olutiola P. O.** Cellulase enzymes in culture filtrates of *Aspergillus flavus*. *Transactions of the British Mycological Society*, 1976 ; 67 : 265-268.
66. **OMS (Organisation Mondiale pour la Santé).** Les aflatoxines. OMS, 2018, 6p.
67. **Outtara-Sourabie P. B., Nikiema A. P., Traore A. S.** Caractérisation de souches d’*Aspergillus* spp isolées des graines d’arachides cultivées au Burkina Faso, Afrique de l’Ouest. *Int. Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2011 ; 5(3) : 1232-1249.
68. **PACA (Partnership for Aflatoxin Control in Africa).** Impact de l’aflatoxine et solution potentiel dans les domaines de l’agriculture, du commerce et de la santé. PACA, 2012, 13p.
69. **PACA (Partnership for Aflatoxin Control in Africa).** Plan d’actions de lutte contre les aflatoxines au Sénégal, Version finale. PACA, 2016, 22p.
70. **PACA (Partnership for Aflatoxin Control in Africa).** Lutte contre l’aflatoxine pour l’accroissement des échanges commerciaux, une meilleure santé et des économies dynamiques en Afrique. PACA, 2017, 4p.

71. **Philogène B. J. R.**, Arnason J. T, Lambert J. D. H. Facteurs contribuant à la protection du maïs contre les attaques de Sitophilus et Prostephanus. Céréales en zones chaudes. AUPELF-UREF, Rds. John Libbey Eurotext, Paris, 1989 ; p : 141-149.
72. **Pitt J. I.** Laboratory guide to common Penicillium species, Academia Press editor, London, 1988.
73. **USAID (United States Agency for International Development)**. Aflatoxine : une synthèse de la recherche en santé, agriculture et commerce. USAID, 2012, 80p.
74. **USAID (United States Agency for International Development)**. Etude de la consommation des céréales de base au Sénégal. USAID, 2017, 126p.
75. **Reddy K. R. N**, Reddy C. S, Muralidharan K. Potentiel des agents botaniques et de lutte biologique sur la croissance et la production d'aflatoxine par *Aspergillus flavus* infectant les grains de riz. Food Control, 2009 ; 20 : 173-178.
76. **Ristanovic D.** Le Maïs dans Agriculture en AfriqueTropicale, DGCI, 2001 ; p : 44-69.
77. **Roquebert M. F.** Moisissures des aliments peu hydrates. Lavoisier Tec&Doc, 1998, 225p.
78. **Ruppol P**, Delfosse Ph, Hornick J. L. La contamination de la filière laitière par les mycotoxines : un risque pour la santé publique en Afrique subsaharienne. Annales de Médecine Vétérinaire, 2004 ; 148 : 141-146.
79. **SAED (Société Nationale d'Aménagement et D'Exploitation des Terres du Delta du Fleuve Sénégal et des Vallées du Fleuves Sénégal et de la Falémé)**. Le maïs : Une filière agro-industrielle en expansion dans la vallée. SAED, 2009.
80. **Samson R. A**, Visagie C. M, Houbraeken J, Hong S. B, Hubka V, Klaassen C. H. W et al. (2014). Phylogeny, identification and nomenclature of the genus *Aspergillus*. Studies in Mycology, 2014 ; 78 : 141-173.
81. **Sherif O. S**, Salama E. E, Abdel-Wahhab M. A. Mycotoxins and child health: The need for health risk assessment. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2009 ; 212 : 347-368.
82. **Somda K.B.M.** Problématique de la conservation post récolte du maïs dans les Hauts-Bassins. Diplôme d'ingénieur de conception en vulgarisation agricole. Institut du Développement rural : Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, 2016. 65p.
83. **Tabuc C.** Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines. Thèse de doctorat en 3<sup>ème</sup> cycle en Pathologie, Mycologie, Génétique et Nutrition. Institut National Polytechnique de Toulouse et de l'Université de Bucarest, 2007. 190p.

84. **Tchana A. N**, Moundipa P. F, Tchouanguép F. M. Aflatoxin Contamination in Food and Body Fluids in Relation to Malnutrition and Cancer Status in Cameroon. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2010 ; 7 : 178-188.
85. **Turner P. C**, Moore S. E, Andrew J. H, Prentice A. M, Wild C. P. Modification of Immune Function through Exposure to Dietary Aflatoxin in Gambian Children. *Environmental Health Perspectives*, 2003 ; 111 : 217-220.
86. **Vayssier Y**, Veau P. Moisissures utiles et nuisibles, Importance industrielle, Ed. Masson, Paris. 1990 ; p : 34-428.
87. **Watson S**, Diedhiou P. M., Atehnkeng J, Dem A, Bandyopadhyay R, Srey C, Routledge M. N, Gong Y. Y. Seasonal and geographical differences in aflatoxin exposures in Senegal. *World Mycotoxin Journal*, 2015 ; 8(4) : 525-531.
88. **Zain M. E**. Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2010; 15 : 129–144
89. **Zhang D**, Li P, Zhang Q, Zhanga W, Huang Y, Ding X, Jiang J. Production of ultrasensitive generic monoclonal antibodies against major aflatoxins using a modified two-step screening procedure. *Analytica Chimica Acta*, 2009 ; 63 : 663-69.

**Titre : Analyse mycologique et mycotoxicologique des aliments importés au Sénégal : le cas du maïs**

Nature : **Mémoire de Master de Biologie Animale (Spécialité Parasitologie)**

Nom du candidat : **Maguette FAYE**

Président du jury : **Pape Mbacké SEMBENE**

Membres : **Dr. Ameth DIAGNE**

**Dr. Toffene DIOME**

**Dr Adiouma Georges Robert Jacques SARR**

**Résumé :** Le maïs est la troisième céréale la plus consommée au Sénégal. La majeure partie des quantités utilisées provient de l'extérieur. Toutefois, aucune donnée de contamination n'est disponible à ce jour pour le maïs importé au Sénégal. L'objectif de cette étude est déterminé le niveau de sécurité sanitaire du maïs importé au Sénégal par la mesure des taux d'aflatoxine présent dans ce maïs et par l'identification des moisissures potentiellement productrices de mycotoxines. Le dosage de la teneur en aflatoxine de chaque échantillon a été réalisé par HPLC. Le milieu de culture gélose glucosée à l'extrait de pomme de terre (PDA) a été utilisé pour l'isolement, la purification et l'identification des parasites infestant les échantillons de maïs. Les résultats obtenus ont montré que les teneurs en aflatoxines des échantillons varient de 1,9 à 4,05 ppb pour la France, de 1,8 à 6,5 ppb pour l'Argentine et de 2,2 à 5,7 ppb pour les Etats Unis. 27 % du total des échantillons ont des teneurs en aflatoxines qui dépassent le niveau maximal admissible pour les aflatoxines par l'Union européenne (4µg/kg). Par ailleurs, les analyses mycologiques des échantillons ont révélé la présence de cinq espèces d'*Aspergillus* (*A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *A. parasiticus* et *A. repens*), une espèce de *Penicillium* (*Penicillium sp*) et une espèce de *Fusarium* (*Fusarium sp*) dans le maïs importé. Les tests mycotoxicologiques ont confirmé le caractère aflatoxinogène des souches *A. flavus* et *A. parasiticus* identifiées.

**Mots clés :** Maïs, *Aspergillus*, aflatoxine, Sénégal, importation.

**Title : Mycological and mycotoxicological analysis of foods imported into Senegal: the case of maize**

**Summary :** Maize is the third most consumed cereal in Senegal. Most of the quantities used come from outside. However, no contamination data is available to date for corn imported into Senegal. The objective of this study is to determine the safety level of corn imported into Senegal by measuring the levels of aflatoxin present in this corn and by identifying the molds potentially producing mycotoxins. The aflatoxin content of each sample was assayed by HPLC. Potato Extract Glucose Agar (PDA) culture medium was used for the isolation, purification and identification of pests infesting the corn samples. The results obtained showed that the aflatoxin contents of the samples vary from 1.9 to 4.05 ppb for France, from 1.8 to 6.5 ppb for Argentina and from 2.2 to 5.7 ppb for United States. 27% of the total samples have aflatoxin contents which exceed the maximum allowable level for aflatoxins by the European Union (4µg / kg). In addition, mycological analyzes of the samples revealed the presence of five *Aspergillus* species (*A. flavus*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *A. parasiticus* and *A. repens*), one species of *Penicillium* (*Penicillium sp*) and one *Fusarium* species (*Fusarium sp*) in imported corn. Mycotoxicological tests confirmed the aflatoxinogenicity of the identified *A. flavus* and *A. parasiticus* strains.

**Key words :** Maize, *Aspergillus*, aflatoxin, Senegal, import.