

TABLE DES MATIÈRES

AVANT PROPOS	1
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX.....	3
LEXIQUE	4
RÉSUMÉ.....	5
INTRODUCTION.....	7

A. PREMIÈRE PARTIE : SYNTHÈSE SUCCINCTE DE LA REVUE BIBLIOGRAPHIQUE RELATIVE AUX AFLATOXINES

I. STRUCTURE CHIMIQUE ET PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DES AFLATOXINES.....	9
I.1. STRUCTURE.....	9
I.2. PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES	10
II. PRODUCTION DES AFLATOXINES.....	10
II.1. LES ESPÈCES PRODUCTRICES D’AFLATOXINES.....	10
II.2. LES FACTEURS LIÉS AU DEVELOPPEMENT DES ESPÈCES AFLATOXINOGENES.....	10
II.3. AFLATOXINES DANS LES ALIMENTS.....	11
III. TOXICOLOGIE DES AFLATOXINES.....	12
III.1. TOXICITÉ DES AFLATOXINES.....	12
III.2. RÉGLEMENTATION SUR LES AFLATOXINES.....	13

B. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

I. CADRE DE L’ÉTUDE.....	14
I.1. PRÉSENTATION.....	14
I.2. FOCUS SUR LE LABORATOIRE DE MYCOTOXINES.....	15
II. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	15
II.1. LES PRODUITS CONCERNÉS.....	15
II.2. MÉTHODES D’ANALYSE	17
II.2.1. LA MÉTHODE NF 14123 : CAS DE LA PÂTE D’ARACHIDE.....	17

II.2.1.1. PRINCIPE.....	17
II.2.1.2. MATÉRIEL.....	17
II.2.1.2.1. MATÉRIEL COURANT DE LABORATOIRE.....	17
II.2.1.2.2. SOLVANTS ET CONSOMMABLES.....	18
II.2.1.3. MÉTHODE.....	18
II.2.2. LA MÉTHODE ISO 14718 : CAS DU MAÏS.....	19
II.2.2.1. PRINCIPE.....	19
II.2.2.2. MATÉRIEL.....	19
II.2.2.3. MÉTHODE.....	20
III. RÉSULTATS.....	24
III.1. TENEURS MOYENNES EN AFLATOXINES B1 ET TOTALE PAR DENRÉE ET PAR ANNÉE.....	24
III.2. ANALYSE STATISTIQUE DES RÉSULTATS DE 11 DEMANDES.....	30
III.2.1. LA CRÈME D'ARACHIDE CHOCOLATÉE.....	31
III.2.2. LA PÂTE D'ARACHIDE.....	32
III.2.3. LES GRAÎNES D'ARACHIDE.....	33
III.2.4. LES PÂTES D'ARACHIDE FORTIFIÉES.....	34
IV. DISCUSSION.....	35
V. RECOMMANDATIONS.....	39
V.1. AVANT ET LORS DE LA RÉCOLTE.....	39
V.2. APRÈS LA RECOLTE.....	39
CONCLUSION.....	41
RÉFÉRENCES.....	43
ANNEXES.....	43

AVANT PROPOS

Ce travail rentre dans le cadre de ma formation pour obtention du diplôme de master en Chimie et Biologie Aspects Analytiques (option Biotechnologie) à la faculté des sciences et techniques de l'université Cheikh Anta DIOP de Dakar. Il a été réalisé au laboratoire de mycotoxines de l'institut de technologie alimentaire sous la tutelle du Docteur **Abdoulaye DIOP**, Maître de conférences à l'université Cheikh Anta DIOP et par ailleurs responsable de la formation et du Docteur **Amadou Kane**, Directeur du laboratoire de mycotoxines et de la recherche et développement de l'institut.

Je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance et mes sincères remerciements pour les conseils, les suggestions la confiance et les faveurs que vous m'avez accordés dans le cadre de cette formation tant convoitée. Malgré vos multiples occupations, vous avez dirigé ce travail avec rigueur et objectivité. Nous garderons de vous le souvenir de Maîtres dévoués, rigoureux, soucieux du travail bien accompli et doués de qualités scientifiques et humaines.

Merci au Professeur **Mady NDIAYE**

C'est à la fois un honneur et un privilège que vous soyez Président de ce jury. Nous avons toujours été séduits depuis la première année de sciences naturelles par votre disponibilité, votre haute personnalité... qui suscitent le respect et l'admiration.

J'adresse de sincères remerciements au **Directeur de l'Institut de Technologie Alimentaire** ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont assisté dans ce travail à l'ITA. Je veux nommer **M. Souleymane Diack**, **M. Babacar BEYE**, **M. Younoussa DIALLO**. Je dis merci pour l'accueil, le soutien, les conseils que vous m'avez accordés et la confiance que vous m'avez témoignée.

De vifs remerciements sont adressés à l'endroit de tous mes enseignants, de **l'école primaire de Fao** à la **faculté des sciences et techniques** de l'UCAD en passant par le collège d'enseignement moyen de **Thiadiaye** et le **lycée Demba DIOP** de Mbour. Sans vous, je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui.

Je remercie également tous mes camarades de promotion, mes amis d'enfance, **M. Ndigue DIONE** et famille à Thiadiaye, **M. Ibrahima SENE** et famille à Mbour et **M. Ngor SENE** et famille à Dakar.

Je ne saurais achever ce travail sans réitérer mes remerciements démesurés à mes parents d'ici et d'au-delà, à mes frères et sœurs, bref à toute ma famille sans exception. De vous, j'ai acquis des valeurs qui ont forgé ma modeste personne.

Je remercie infiniment **M. Yaya COLY**, professeur de français au lycée Malick SY ainsi que toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin dans ce travail.

Merci à ALLAH, Tout Puissant

Je dédie une nouvelle fois ce travail :

Á mon père « *In Mémorium* »

Á ma tante **Amy DIENG** « *In Mémorium* »

Á mon frère, **Djodj DIENG** « *In Mémorium* »

Á ma tante, **Seynabou GNING** « *In Mémorium* »

Á mon homonyme, **Ibrahima DIENG** dit **Birame** « *In Mémorium* »

Dormez dans la paix et dans la joie

Á ma mère,

Que **DIEU** vous garde et vous accorde longue vie

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Aflatoxine B1

Figure 2: Aflatoxine B2

Figure 3: Aflatoxine G1

Figure 4: Aflatoxine G2

Figure 5: Aflatoxine M1

Figure 6: Chromatogramme d'un échantillon de pâte d'arachide

Figure 7 : Chromatogramme d'un échantillon de maïs

Figure 8 : Evolution de la teneur moyenne en ppb de l'aflatoxine B1 et totale dans la crème d'arachide chocolatée de 2006 à 2010

Figure 9 : Evolution de la teneur moyenne en ppb de l'aflatoxine B1 et totale dans la pâte d'arachide de 2006 à 2010

Figure 10 : Evolution de la teneur moyenne en ppb de l'aflatoxine B1 et totale dans les graines d'arachide de 2006 à 2010

Figure 11 : Evolution de la teneur moyenne en ppb de l'aflatoxine B1 et totale dans la pâte d'arachide fortifiée de 2006 à 2010

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Teneurs moyennes en aflatoxines par années et quelques normes

Tableau 2 : Présentation du nombre d'analyses par denrée et par année

Tableau 3: Teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale par denrées en 2006

Tableau 4 : Teneurs moyennes d'aflatoxine B1 et totale par denrée en 2007

Tableau 5 : Teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale par denrée en 2008

Tableau 6 : Teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale par denrée en 2009

Tableau 7 : Teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale par denrée en 2010

Tableau 8 annexe : Règlement (UE) N° 165/2010 de la Commission du 26 Février 2010

Tableau 9 annexe : Niveau toléré de l'aflatoxine B1 au niveau international

LEXIQUE

AFB1: Aflatoxine B1

AFB2: Aflatoxine B2

AFG1: Aflatoxine G1

AFG2: Aflatoxine G2

AFM1: Aflatoxine M1

AFTOT: Aflatoxine totale (B1+ B2+ G1 +G2)

N.S : Norme sénégalaise

N.A : Norme américaine

U.E 165/2010 : Norme européenne

µg/kg : Microgramme par kilogramme

Ppb : partie par billion

M: Masse molaire moléculaire

CIRC : Centre International de Recherche sur le cancer

UE : Union Européenne

CO₂ : Dioxyde de carbone

ITA : Institut de Technologie Alimentaire

Radiations UV : Radiations Ultra-violets

A. flavus : *Aspergillus flavus*

ACDI: Agence Canadienne de Développement International

ISO: International Organization for Standardization

NF: Normes Françaises

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

HPLC : High Performance Liquide Chromatography

CCM : Chromatographie sur Couche Mince

PBS: Phosphate buffered saline

Eau milliQ+ : Eau ultra pure

Phase : Inverse : phase stationnaire non polaire

Isocratique : Composition reste inchangée au cours du temps

Afssa : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

RÉSUMÉ

Les aflatoxines sont des substances chimiques produites le plus souvent par *A. flavus*, champignon présent dans les denrées alimentaires, surtout celles d'origine végétale. Parmi la vingtaine d'aflatoxines recensées, seules cinq sont principalement présentes dans les denrées alimentaires. Il s'agit de l'aflatoxine B1 de la B2, de la G1, de la G2 et de l'aflatoxine M1 qui est un métabolite de la B1. Elles sont classées parmi les toxines les plus cancérigènes selon le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer).

La présence des aflatoxines dans les denrées alimentaires constitue inévitablement d'une part une menace d'ordre économique et d'autre part, une menace d'ordre sanitaire. Cependant, au Sénégal, des données relatives sur le niveau de contamination des aliments sont très rares pour pouvoir apprécier les risques encourus par les consommateurs. Pour palier cette carence, nous avons dressé le profil de contamination de quelques denrées alimentaires analysées de 2006 à 2010. Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus et quelques normes.

Tableau1 : Teneurs moyennes en aflatoxines par années et quelques normes

		Teneurs moyennes des aflatoxines en ppb par année					Normes en ppb		
		2006	2007	2008	2009	2010	UE165/2010	NS	NA
Crème d'arachide chocolatée	AFB1	18,27	13,75	24,79	26,40	28,33	2		
	AFTOT	26,63	17,75	32,95	43,49	43,85	4		20
Pâte d'arachide	AFB1	14,09	11,86	22,74	22,41	20,52	2	15	
	AFTOT	21,36	17,15	29,27	34,42	31,84	4	20	20
Graines d'arachide	AFB1	14,22	15,37	54,73	37,68	15,84	8		
	AFTOT	18,63	20,19	64,77	80,12	43,80	15		20
Pâte d'arachide fortifiée	AFB1	3,26	0,69	2,44	0,22	0,49	2	15	
	AFTOT	3,60	1,60	4,30	3,49	4,66	4	20	20

A la lumière de cette étude, nous pouvons affirmer sans risque de nous tromper que la plupart des denrées analysées ont des teneurs qui dépassent de loin les limites maximales fixées par les normes notamment le Règlement (UE) N° 165/2010. Cependant, il est important de signaler que la pâte d'arachide fortifiée, aliment pour nourrissons provenant de Niamey (Niger) présente les plus faibles les teneurs en aflatoxines. Elle répond le plus souvent aux critères fixés par le règlement UE 165/ 2010 qui est plus exigeant.

Toutefois, la présence des aflatoxines dans les denrées n'est pas une fatalité. La lutte contre la contamination des denrées alimentaires par les aflatoxines s'appuie principalement sur la maîtrise des bonnes pratiques culturelles, de transport, de stockage et de transformations des denrées.

Mots clés : Aflatoxines, *A. flavus*, profil de contamination, limites maximales

INTRODUCTION

Le terme mycotoxine vient du grec « mykes » qui veut dire champignon « toksikon » qui signifie poison [1]. Il est utilisé pour désigner des substances chimiques toxiques produites par certaines moisissures (champignons) qui se développent sur certaines denrées alimentaires d'origine animale et surtout végétale. Plusieurs familles de mycotoxines sont recensées à nos jours, mais la plus redoutable et la plus étudiée est celle des aflatoxines [2] ; [3]

La contamination des denrées alimentaires par les toxines est un phénomène connu depuis longtemps mais ce n'est qu'en 1960 que furent découvertes les mycotoxines avec des mycotoxicoses produites en Grande Bretagne. Elles ont provoqué de grosses pertes dans des élevages de dindes nourries avec du tourteau suite à des nécroses importantes du foie (maladie X du dindon). Les mycotoxines mises en cause dans cette affaire sont des aflatoxines (Asao et al., 1963) [2]. Ce sont des mycotoxines présentes dans les denrées alimentaires surtout d'origine végétale et produites par des champignons comme *Aspergillus* [4].

En effet, la contamination des denrées alimentaires par les aflatoxines constitue une sérieuse menace économique dans la mesure où la plupart des pays importateurs imposent des réglementations de plus en plus sévères en matière de sécurité alimentaire. À côté de cette contrainte économique, les aflatoxines posent sans doute un sérieux problème de santé publique [3]. Certaines d'entre elles sont cancérogènes [5]. Ainsi, dans la nourriture, elles peuvent être à l'origine d'intoxications aiguës (avec une apparition rapide des symptômes) ou chroniques (avec une apparition des effets à long terme). Selon le centre international de recherche sur le cancer de Lyon (CIRC), les aflatoxines sont classées parmi les toxines les plus cancérogènes [6].

Dans les pays en développement, en particulier au Sénégal, l'agriculture constitue un pilier phare dans le développement socio-économique. Ainsi, pour contribuer à l'autosuffisance alimentaire, l'Etat encourage la diversification des cultures pour mettre à la disposition du consommateur un vaste éventail d'aliments. Cependant, après les récoltes, avec les conditions climatiques défavorables qui sévissent dans notre pays et les mauvaises pratiques de stockage, ces produits agricoles sont infestés par des champignons aflatoxinogènes qui les rendent dangereux à la consommation. Malheureusement, des données sur le niveau de contamination des aliments sont très rares pour pouvoir apprécier les risques encourus par les consommateurs.

C'est pour pallier cette carence que nous avons, dans le cadre de ce mémoire, pris l'initiative de dresser le profil de la contamination de quelques denrées alimentaires (la crème d'arachide chocolatée, la pâte d'arachide, les graines d'arachides et la pâte d'arachide forti-

fiée) sur la base des analyses effectuées par le laboratoire de mycotoxines de ITA avec les méthodes NF 14123 et ISO 14718 de 2006 à 2010. Dans cette présente étude, nous allons aborder le sujet à travers deux grandes parties que sont : une synthèse succincte de la revue bibliographique relative aux aflatoxines et l'étude expérimentale.

**A.SYNTHÈSE SUCCINCTE DE LA
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE
RELATIVE AUX AFLATOXINES**

I. STRUCTURE CHIMIQUES ET PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES

I.1. STRUCTURE

Les aflatoxines constituent un vaste groupe de composés chimiques de faibles poids moléculaires et très proches du point de vue de leur structure. Elles résultent de l'assemblage d'une molécule de coumarine et de trois (3) molécules de furanne [7] et [8]. Parmi la vingtaine d'aflatoxines recensées, quatre principales seulement sont présentes dans les aliments. Il s'agit de l'aflatoxine B₁ (AFB₁), de l'aflatoxine B₂ (AFB₂), de l'aflatoxine G₁ (AFG₁), et de l'aflatoxine G₂ (AFG₂). En plus de ces quatre principales aflatoxines, on peut trouver dans le lait et les produits laitiers l'aflatoxine M₁ (AFM₁) qui est en fait un dérivé produit par des ruminants nourris avec des denrées contaminées par l'AFB₁ [7]. Les figures suivantes correspondent aux principales molécules d'aflatoxines.

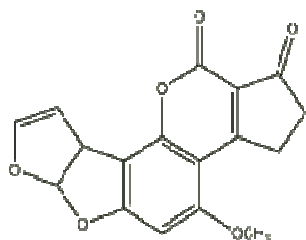


Figure 1: AFB₁; C₁₇H₁₂O₆

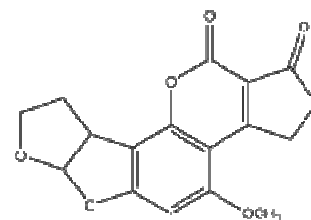


Figure 2: AFB₂; C₁₇H₁₄O₆

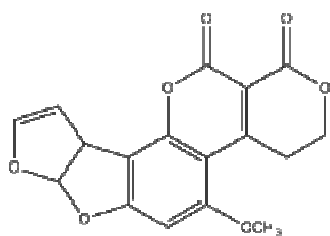


Figure 3: AFG₁; C₁₇H₁₂O₇

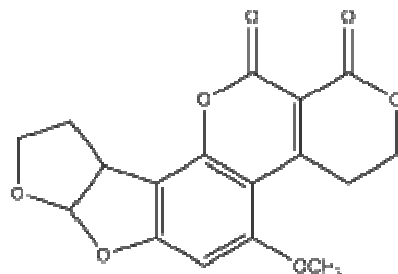


Figure 4: AFG₂; C₁₇H₁₄O₇

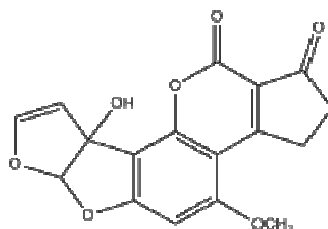


Figure 5: AFM₁; C₁₇H₁₂O₇

Source: [8]

I.2. PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES

Les aflatoxines sont des composés de faibles poids moléculaires. Elles sont des composés très peu solubles dans l'eau, insolubles dans le solvant apolaire et très solubles dans les solvants organiques moyennement polaires (chloroforme, alcool éthylique, éthanol). Sous lumière UV, les aflatoxines fluorescent différemment : les AFB émettent une lumière bleue comme « Blue », les AFG émettent une lumière verte comme « Green » et les AFM émettent une lumière bleu-violette [2], [9], [10].

II. PRODUCTION DES AFLATOXINES

II.1. LES ESPÈCES PRODUCTRICES D'AFLATOXINES

A la suite de la maladie X qui affectait les dindons en Angleterre [5], SARGEANT et *al.*, (1961) isolèrent de la nourriture à base d'arachide destinée à ces volailles, une substance capable d'induire expérimentalement la même maladie. Mais, ce n'est qu'en 1965 qu'Asao et *al.* parviendront à caractériser la structure de cette substance qu'est l'aflatoxine [3]. Elle est produite principalement par le champignon appelé *Aspergillus flavus* ce qui a donné le nom : A pour *Aspergillus*, fla pour *flavus* et toxine qui signifie poison [5]. D'autres souches, *A. parasiticus* et *A. nomius*, rencontrées rarement, peuvent aussi produire des aflatoxines [2].

II.2. LES FACTEURS LIÉS AU DEVELOPPEMENT DES ESPÈCES AFLATOXINO-GÈNES

Les moisissures, comme tout autre micro-organisme, exigent des conditions climatiques favorables pour croître et se multiplier. La croissance des *Aspergillus* est plus favorable dans les pays aux conditions climatiques chaudes et humides, à l'instar du Sénégal. Les paramètres impliqués dans le développement des *Aspergillus* et dans la production des aflatoxines peuvent être résumés ainsi :

La disponibilité en eau : l'activité de l'eau (a_w) conditionne la germination des spores et la croissance des mycéliums et par conséquent la production de toxines. La valeur de l'activité la plus favorable pour une croissance et une production optimale de toxines par *A. flavus* est comprise entre 0,84 et 0,86 (Christensen et *al.*, 1973) [2].

La température : la température joue un rôle prépondérant dans la croissance, le développement, la toxinogénèse et dans la physiologie du champignon. La température la plus

favorable pour une croissance et une production optimale d'aflatoxines chez *A. flavus* est comprise entre 25°C et 40°C (Christensen et al., 1973) [2].

La composition gazeuse : la réduction de la pression partielle en oxygène et l'augmentation de la teneur en CO₂ ont un effet dépresseur bien plus important sur la toxino-génèse que sur la croissance. La production d'aflatoxine sur l'arachide, modérément réduite entre 21 et 5 % d'O₂, n'est pratiquement inhibée que lorsque la proportion en O₂ est inférieure à 1 %. Une augmentation de la teneur en CO₂ (20 %), surtout si elle est corrélative à une réduction en oxygène, provoque une chute importante de l'aflatoxinogénèse. Après une conservation dans une atmosphère confinée, dans laquelle les moisissures peuvent plus ou moins se développer, la remise à l'air libre ou la ventilation provoque une intense toxino-génèse [3].

Autres facteurs : avant, pendant et après la récolte, durant le transport et le stockage des denrées, les rongeurs, les oiseaux, les acariens et les insectes interviennent dans le processus de contamination en créant des lésions dans les tissus végétaux qui facilitent ainsi la pénétration des spores moisissures et ou des aflatoxines. Exemple : le bruché de l'arachide, *Caryedon serratus*, est un insecte qui occasionne des pertes de graines d'arachide pouvant aller jusqu'à quatre vingt trois pourcents (83%) en quatre (4) mois de stockage (NDIAYE, 1991) [11]. De plus, les trous occasionnés sur la coque par les larves favorisent l'attaque d'autres insectes tels que *Trogoderma ssp*, *Tribolium ssp*, *Oryzaephilus mercator*, *Ephesia cautella* qui facilitent le développement d'une moisissure (*A. Flavus*) productrice d'une substance cancérogène : l'aflatoxine [11].

II.3. AFLATOXINES DANS LES ALIMENTS

On peut trouver les aflatoxines dans divers produits (Céréales, graines oléagineuses, pommes, poires, tomates, carottes, raisins, noix, cacahuètes, cafés, cacaos, épices, fruits secs etc.). Les produits végétaux sont beaucoup plus susceptibles d'être contaminés que les produits animaux. On voit donc que presque tous les produits végétaux que nous consommons peuvent en contenir. Etant donné qu'elles ne sont pas en général éliminées par les divers traitements thermiques ou mécaniques, on les retrouve dans tous les produits dérivés des matières premières (pain, pâtes, gâteaux, tourteau et mélange tourteau- céréales dont sont nourris les animaux) [5].

La contamination de viande et produits de charcuterie résulte d'une transmission par le biais de la chaîne alimentaire. L'aflatoxine M₁ est plus fréquente dans le lait. C'est un métabolite qui a été isolé du lait (Pfohl-Leszkowicz, 1999) [9].

L'extraction et la purification industrielle de l'huile éliminent les aflatoxines et la rendent propre à la consommation. Au Sénégal, l'huile de pression artisanale, très souvent contaminée par des aflatoxines, envahit de plus en plus les marchés. Ce fléau incite le gouvernement du Sénégal en partenariat avec le laboratoire de mycotoxines de l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA) de développer des moyens et stratégies simples afin d'éliminer les aflatoxines dans l'huile avant consommation. Il s'agit entre autres, de la filtration à l'attapulgite et de l'exposition à la lumière pendant 20h de temps.

III. TOXICOLOGIE DES AFLATOXINES

III.1.TOXICITÉ DES AFLATOXINES

Les aflatoxines peuvent être à l'origine d'une toxicité aiguë ou chronique. L'intoxication aiguë résulte de l'ingestion en une seule ou plusieurs fois rapprochées d'une dose assez importante d'aflatoxines et se traduit par la mort des animaux dans des délais variable selon la sensibilité spécifique. L'intoxication aiguë par l'AFB₁ se manifeste par un malaise, une perte de l'appétit puis un ralentissement du gain de poids, un ictère, et enfin la mort du sujet atteint. Sur le plan histologique, on retrouve un foie décoloré, hypertrophié avec prolifération des canaux biliaires, des lésions de nécrose, d'infiltration grasseuse, des hémorragies hépatiques, pulmonaires, rénales et des glandes surrénales, une congestion des poumons, des lésions rénales compatibles avec une néphrite glomérulaire (MOREAU, 1994) [12].

L'intoxication chronique survient à la suite d'une ingestion répétée de faibles doses d'aflatoxines pendant des périodes plus ou moins longues et sont plus fréquentes chez les animaux domestiques et chez l'homme (MOREAU, 1994) [12].

Les aflatoxines constituent un groupe de composés toxiques. Les plus courantes dans la chaîne alimentaires sont les aflatoxines B₁, B₂, G₁, G₂ et M₁. L'aflatoxine B₁ est le composé le plus abondant dans les aliments contaminés, mais aussi le plus toxique suivi par l'AFG₁, l'AFB₂ et l'AFG₂ avec une toxicité décroissante (Cole and Cox, 1981) [7].

Au niveau épidémiologique on observe une corrélation entre l'exposition aux aflatoxines et l'apparition du cancer du foie. Il convient toutefois de noter que ce développement du cancer du foie a souvent été observé sur des personnes porteuses du virus de l'hépatite B, ce qui laisse à penser que l'aflatoxine ne serait qu'un cofacteur dans ce phénomène de cancérisation chez l'homme. Sur ces bases toxicologiques et épidémiologiques, le Centre interna-

tional du cancer (CICR) a été amené à classer l'aflatoxine B1 comme substance cancérigène pour l'homme, sans pouvoir fixer une dose journalière admissible [5]. En plus de la cancérogénicité, les aflatoxines ont aussi des effets mutagènes et tératogènes [13], [2].

III.2. RÉGLEMENTATION SUR LES AFLATOXINES

La découverte des aflatoxines a excité l'intérêt des scientifiques à l'égard de ces substances [14]. L'établissement de limites réglementaires en ce qui concerne les quantités maximales admissibles en aflatoxine varie d'un pays à l'autre, d'une denrée à l'autre et d'une aflatoxine à une autre. Selon l'étude faite par la FAO en 2003 sur les réglementations relatives aux mycotoxines dans les produits d'alimentation humaine et animale, à l'échelle mondiale, beaucoup de pays ne disposent pas de textes en matière de réglementation des aflatoxines [15] ou simplement se contentent de se conformer aux réglementations en vigueur des importateurs de leurs denrées. C'est ainsi que l'Union Européenne, afin d'assurer la sécurité de ces membres, définit des limites maximales admissibles pour plusieurs denrées (voir tableau 8 annexe) [16].

Au Sénégal, la réglementation ne concerne que la pâte d'arachide et fixe les limites maximales autorisées à 15 ppb pour la B1 et 20 ppb pour l'aflatoxine totale. Par contre aux Etats-Unis, la norme est de 20 ppb en aflatoxine totale pour tous les aliments. Le tableau 9 [17] de l'annexe résume le niveau toléré de l'aflatoxine B1 dans plusieurs pays.

B. ÉTUDE ÉXPÉRIMENTALE

I. CADRE DE L'ÉTUDE : L'ITA (Institut de Technologie Alimentaire)

I.1. PRÉSENTATION

Historique : l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA) se trouve à Hann, route des pères Maristes. C'est un Établissement Public œuvrant dans le secteur de la Recherche-Développement en Alimentation et Nutrition. Il a été créé par la loi 63-11 du 5 février 1963 et n'a connu un véritable essor qu'à partir de 1968. Avec l'assistance de la FAO, cet organisme a fourni entre 1968 et 1974 des infrastructures (laboratoires et ateliers pilotes), des équipements et les experts nécessaires à la mise en route des programmes de recherche. Jusqu'en 1985, l'Institut jouissait du statut d'Établissement Public à caractère administratif, puis d'un statut d'Établissement Public à caractère Industriel et Commercial de 1986 à 1997. De 1994 à 1998, l'I.T.A. a bénéficié d'un important Projet d'appui institutionnel destiné à la restructuration et financé par l'ACDI. Depuis 1998, l'Institut jouit d'un statut d'Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique.

Vision : la vision de l'ITA est d'être un centre d'excellence fournissant une recherche ciblée pour le développement durable, assurant une formation et l'assurance qualité des aliments pour les secteurs publics et privés au Sénégal et en Afrique subsaharienne.

Mission : la mission de l'ITA est de générer une valeur ajoutée aux produits alimentaires locaux à travers leur transformation et l'assurance qualité pour atteindre la sécurité alimentaire et d'augmenter les exportations ; de développer des programmes destinés aux communautés locales, aux populations, en particulier en augmentant les transferts des résultats de recherche, en produisant des supports techniques pour faciliter l'industrialisation ; d'assurer la sécurité alimentaire, l'assurance et le contrôle de qualité des produits agroalimentaires ; d'améliorer l'état nutritionnel des populations, assurer une formation aux professionnels, aux agents des corps de métiers, entre autres, guider et de coordonner les recherches et les études concernant le traitement, la transformation, le conditionnement, la conservation et l'utilisation des produits alimentaires locaux, principalement dans le but de promouvoir l'implantation d'industries correspondantes ; de développer de nouvelles ressources alimentaires dérivées des productions locales qui soient d'une bonne valeur nutritive et adaptées au goût ainsi qu'au pouvoir d'achat des consommateurs ; d'aider au contrôle de la qualité des produits alimentaires aux stades de la production, de la commercialisation, de l'importation et de l'exportation, participer à la formation des Corps de Métiers de l'Alimentation. En plus de cette mission, l'Institut mène au profit des investisseurs, des études de projets agro- alimentaires

(études techniques et économiques) et participe à la formation dans les universités et grandes écoles du Sénégal et de l'étranger [18].

I.2. FOCUS SUR LE LABORATOIRE DE MYCOTOXINE

Le laboratoire de mycotoxines est sous la dépendance de la Division Contrôle Qualité rattachée à la Direction de Recherche et Développement qui à son tour est rattachée à la Direction Générale. Les principales activités du laboratoire sont axées sur le dosage des mycotoxines et de l'histamine dans les aliments. La qualification du personnel technique du laboratoire de mycotoxine leur a valu plusieurs distinctions nationales et internationales. Le laboratoire de mycotoxines est constitué de quatre (04) salles équipées chacune d'un matériel approprié et adapté. Il y a : une salle réservée à la réception, préparation des échantillons; une salle réservée à la conservation des échantillons ; une salle réservée à l'extraction des mycotoxines et une salle réservée à la chromatographie liquide haute performance, à la spectrophotométrie et à la fluorimétrie. Cette dernière contient, en plus du bureau des responsables du laboratoire, un box équipé d'outils informatiques à l'usage des stagiaires.

II.MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1. LES PRODUITS CONCERNÉS

Les échantillons qui arrivent au laboratoire de mycotoxines sont nombreux et divers. Nous avons entamé le travail par recenser tous les échantillons à partir des résultats d'analyse disponibles. Avec le logiciel Excel, nous avons déterminé le nombre d'analyses effectuées par denrée et par année puis le nombre total d'analyses effectuées de 2006 à 2010. Les résultats sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Présentation du nombre d'analyses par denrée et par année

Denrées	Nombre d'analyses par année					Totaux
	2006	2007	2008	2009	2010	
Crème d'arachide lactée	13	7	13	5	0	38
Crème d'arachide chocolatée	49	46	56	62	17	230
Graines d'arachide	51	26	71	75	32	255
Pâtes d'arachide	18	11	21	38	12	100
Ecailles d'arachide	2	0	1	1	0	4
Huile d'arachide	46	5	0	41	19	111
Tourteau d'arachide	13	1	5	22	28	69
Graines de coton	2	1	0	0	0	3
Aliments enrichis	29	9	0	0	0	38
Pâte d'arachide fortifiée	47	57	54	55	26	239
Maïs	3	0	52	67	13	135
Farine composée	0	0	2	10	0	12
Farine de blé	0	0	6	19	0	25
Farine de mil	0	1	1	0	0	2
Farine de « niébé »	0	0	1	0	0	1
Tourteau de coton	0	1	3	0	0	4
Tourteau de coprah	0	0	1	1	0	2
Noix de cajou	0	5	2	0	0	7
Soja	0	0	1	1	3	5
Pâte de figue	0	0	2	2	1	5
Farine d'arachide « Noflaye »	0	0	0	8	3	11
Pistache	0	0	0	1	0	1
Aliment de volaille	0	0	0	1	2	3
Riz	0	1	0	0	2	3
Piment	0	1	0	0	0	1
Nombre total d'analyses effectuées	1304					

Nous remarquons que vingt-cinq (25) denrées ont été analysées soit 1304 analyses de 2006 à 2010. L'étude a révélé que les graines d'arachide, les pâtes d'arachide fortifiées, la crème d'arachide chocolatée, le maïs, l'huile d'arachide et les pâtes d'arachide sont respectivement les denrées les plus analysées. Le piment, la pistache, la farine de « niébé » et la farine de mil sont entre autres les denrées les moins analysées. Elles sont destinées soit à l'alimentation humaine soit à l'alimentation animale. D'où l'utilisation de méthodes d'analyse différentes pour le dosage des aflatoxines.

II.2. MÉTHODES D'ANALYSE

Pour des denrées destinées à l'alimentation humaine, la méthode d'analyse NF 14123 est utilisée, tandis que pour les denrées destinées à l'alimentation animale, la méthode d'analyse est la norme ISO 14718. Mais quelle que soit la méthode utilisée, le dosage des aflatoxines dans les denrées alimentaires obéit à trois principales étapes que sont : l'extraction, la purification et la quantification.

II.2.1 LA MÉTHODE NF 14123 : CAS DE LA PÂTE D'ARACHIDE

II.2.1.1. PRINCIPE

Les aflatoxines sont extraites par un mélange méthanol-eau. L'extrait est filtré et une fraction aliquote est diluée avec du tampon phosphate et purifiée sur une colonne d'immuno-affinité. Les aflatoxines sont extraites de la colonne d'immuno-affinité par du méthanol. La séparation finale, la détection et le dosage sont effectués par chromatographie en phase liquide haute performance (HPLC) en utilisant une colonne en phase inverse, une dérivation post-colonne au brome permet une détection fluorimétrique.

II.2.1.2. MATÉRIEL

Le matériel nécessaire pour doser les aflatoxines selon la norme NF 14123 comprend : des équipements, du petit matériel et des solvants et consommables.

II.2.1.2.1. MATÉRIEL COURANT DE LABORATOIRE

Il est constitué du matériel de chromatographie en phase liquide comprenant un injecteur automatique, une colonne 12,5 cm remplie de particules C18, une pompe binaire, une

cellule électrochimique Kobra Cell, un détecteur fluorimétrique, un ordinateur équipé d'un logiciel « Empower » et un four de colonne.

Il y a également une balance de portée de 2000g et de précision 0,1g, un évaporateur rotatif, un homogénéisateur Waring Blendor, une plaque d'évaporation sous courant d'azote, des pipettes automatiques permettant de délivrer : 100µl, 500µl, 800µl et 900µl, une seringue de 50µl, des papiers pour filtrer et une verrerie : béchers, pipettes, entonnoirs, flacons etc.

II.2.1.2.2. SOLVANTS ET CONSOMMABLES

L'eau utilisée est Milli Q+. Les réactifs sont de qualité « pour analyse » sauf indication contraire. Les solvants et consommables utilisés comprennent : de l'eau-acétone (85+15), du Tween 20 pour synthèse, une solution de tampon phosphate PBS préparée selon les directives du fabricant, du chlorure de sodium, du méthanol qualité HPLC, de l'acétonitrile qualité HPLC, un solvant d'extraction : méthanol-eau (80-20) (v-v), de l'hexane Pestipur, de l'acide nitrique 65%, de l'acide nitrique 4 mol/l, du bromure de potassium, une phase mobile pour HPLC, une phase de rinçage pour l'injecteur : Eau-Méthanol (90-10), une colonne d'immuno-affinité «*Aflaprep* », une solution chloroformique à 0,1µg/ml d'aflatoxines préparée selon IN135.MT/RES/01, des solutions d'aflatoxines pour l'étalonnage en HPLC.

II.2.1.3. MÉTHODE

Le dosage des aflatoxines s'effectue en plusieurs étapes : l'extraction, la purification et la quantification.

L'extraction : c'est l'étape qui suit l'échantillonnage du produit. Pour extraire les aflatoxines selon la méthode NF 14123, il faut peser 50g à 0,01g près de pâte dans un homogénéisateur, ajouter 4g de Na Cl pour casser les émulsions, ajouter 200ml méthanol-eau (80-20) : l'eau a pour rôle de rendre plus polaire le solvant d'extraction pour une meilleure extraction de la toxine, ajouter 100ml d'hexane qui sert à retenir les matières grasses lors de la filtration. Il faut homogénéiser suffisamment à l'aide du Warning Blendor puis filtrer très rapidement à l'aide d'un papier filtre et recueillir le filtrat dans un flacon.

La purification : pour purifier l'extrait, il faut prélever d'abord 10ml de ce filtrat à l'aide d'une pipette dans un bécher en verre de 100ml, ajouter 60ml de PBS en guise de facilitateur. On fait passer l'ensemble dans un réservoir lui-même raccordé à une colonne d'immuno-affinité conditionnée à un débit d'environ 3ml par minute (environ une goutte par seconde). La colonne immuno-affinité est constituée d'un gel auquel est greffé un anticorps

monoclonal spécifique aux aflatoxines. Il est conseillé de ne pas dépasser un débit de 5ml par minute pour permettre aux aflatoxines d'avoir le temps de se fixer. La colonne est rincée avec 15ml d'eau appliquée en petites portions d'environ 5ml à un débit maximal d'environ 5ml par minute. Enfin, on sèche la colonne en appliquant un vide pendant cinq (5) à dix (dix) secondes ou en faisant passer de l'air dans la colonne immuno-affinité à l'aide d'une seringue pendant dix (10) secondes puis on élue les aflatoxines à l'aide du méthanol puis recueillir l'éluat dans un flacon.

La quantification : elle permet d'avoir un extrait pur qui serait constitué d'un mélange d'aflatoxines. Pour séparer ces différentes aflatoxines, on utilise une technique de séparation qu'est la chromatographie liquide haute performance (HPLC) en phase inverse isocratique et à température ambiante à l'aide d'une colonne en phase inverse et d'une phase mobile adaptée. Les aflatoxines sont éluées dans l'ordre suivant : AFG2, AFG1, AFB2, AFB1. Les résultats sont calculés en tenant compte de la concentration en aflatoxines dans l'extrait injecté et du facteur de dilution puis exprimés en $\mu\text{g/kg}$.

II.2.2. LA MÉTHODE ISO 14718 : CAS DU MAÏS

II.2.2.1. PRINCIPE

L'échantillon est extrait par du chloroforme. L'extrait est filtré et une fraction aliquote est purifiée sur une cartouche de *Florisil* puis une cartouche C18. La séparation finale, la détection et le dosage sont effectués par chromatographie en phase liquide haute performance en utilisant une colonne en phase inverse. Une dérivation post-colonne au brome permet une détection fluorimétrique.

II.2.2.2. MATÉRIEL

Dans le cas la norme ISO 14718, le matériel utilisé pour doser les aflatoxines dans le maïs comprend : le matériel courant de laboratoire que nous avons listé précédemment et des réactifs. Ces derniers comprennent : de l'eau déminéralisée et des réactifs de qualité « pour analyse » sauf indication contraire. On distingue du méthanol, du chloroforme stabilisé par 0,4% d'éthanol « pour synthèse », du méthanol qualité HPLC, de l'acétone, de l'Acétonitrile qualité HPLC, de l'acide nitrique 65% pur, de l'acide nitrique 4 moles/litre, du bromure de potassium, des solvants d'élution (acétone / eau, 98+2 (v+v), eau /méthanol, 80+20 (v+v), eau /acétone, 85+15 (v+v)) une phase mobile pour HPLC, une phase de rinçage pour l'injecteur :

Eau – Méthanol (90 - 10), des Terres de Diatomées : Célite 545, une cartouche de *Florisil* une cartouche C18 plus, des solutions d'aflatoxines pour étalonnage HPLC.

II.2.2.3. MÉTHODE

Le dosage s'effectue en plusieurs phases :

L'extraction : pour extraire des aflatoxines dans la farine de maïs selon la méthode ISO 14718, on pèse d'abord à 0,1 près 25 g de l'échantillon dans un flacon. Ensuite, on ajoute 12,5 g de Célite, 125ml de chloroforme et 12,5 ml d'eau. Le flacon est passé en agitation pendant 30 minutes. Enfin, on procède à la filtration.

La purification : la méthode ISO 14718 exige une double purification : une purification à l'aide de la cartouche *Florisil* et une autre à l'aide de la cartouche C18.

La purification sur Florisil : elle nécessite d'abord la préparation de l'ensemble colonne cartouche avant la purification proprement dite. Pour ce faire, il faut brancher la cartouche de *Florisil* sur le corps d'une seringue de 50 ml, la tige la plus courte est fixée à la seringue. En aucun cas, la cartouche ne doit aller à sec, laver la cartouche et éliminer l'air en prenant 10 ml de chloroforme et en faisant passer 8ml, à l'aide d'une seringue, à travers la cartouche par l'intermédiaire du robinet d'arrêt puis fixer l'embase la plus longue de la cartouche sur une colonne en verre et passer les 2 ml de chloroforme restants dans la colonne. Le robinet d'arrêt est fermé et la seringue est retirée. Il faut rincer avec 5 ml de chloroforme puis avec 20 ml de méthanol et éliminer les éluats puis éluer les aflatoxines par 40 ml du mélange acétone-eau (98+2) dans un ballon piriforme. Ensuite, passer à l'évaporation sous vide (40°C à 50°C) jusqu'à ce que la distillation de l'acétone cesse puis dissoudre le résidu par 1 ml de méthanol, ajouter 4 ml d'eau et mélanger soigneusement.

La purification sur C18 : comme dans le cas précédent, la purification sur colonne C18 fait intervenir la préparation de l'ensemble colonne- cartouche et la purification proprement dite.

Pour la préparation de l'ensemble colonne-cartouche, il faut fixer un robinet d'arrêt sur l'embase d'une cartouche de C18, amorcer la cartouche et éliminer l'air en faisant passer rapidement à l'aide d'une seringue 10ml de méthanol à travers la cartouche par l'intermédiaire du robinet d'arrêt, prendre 10ml d'eau et en faire passer 8ml à travers la cartouche tout en évitant d'introduire de l'air à l'intérieur de la cartouche lors du passage de méthanol à eau et fermer le robinet puis retirer la seringue.

Pour la purification proprement dite, il faut transvaser quantitativement l'extrait obtenu avec la cartouche *Florisil* dans la colonne en verre, rincer le ballon deux fois avec 5ml de

mélange eau-méthanol (80-20) et transférer quantitativement sur la cartouche, laver avec 25ml de mélange eau-méthanol (80-20) et jeter cet éluat et éluer maintenant les aflatoxines avec 2ml de méthanol HPLC.

La quantification : La purification permet d'avoir un extrait pur qui serait constitué d'un mélange d'aflatoxines. Pour séparer ces différentes aflatoxines, on utilise une technique de séparation qu'est la chromatographie liquide haute performance (HPLC) en phase inverse isocratique et à température ambiante à l'aide d'une colonne en phase inverse et d'une phase mobile adaptée. Les aflatoxines sont éluées dans l'ordre suivant : AFG2, AFG1, AFB2, AFB1.

Les résultats sont calculés en tenant compte de la concentration en aflatoxine dans l'extrait injecté et du facteur de dilution puis exprimés en $\mu\text{g/kg}$. Les figures 6 et 7 ci- après représentent respectivement les chromatogrammes d'échantillons de pâte d'arachide et de maïs.

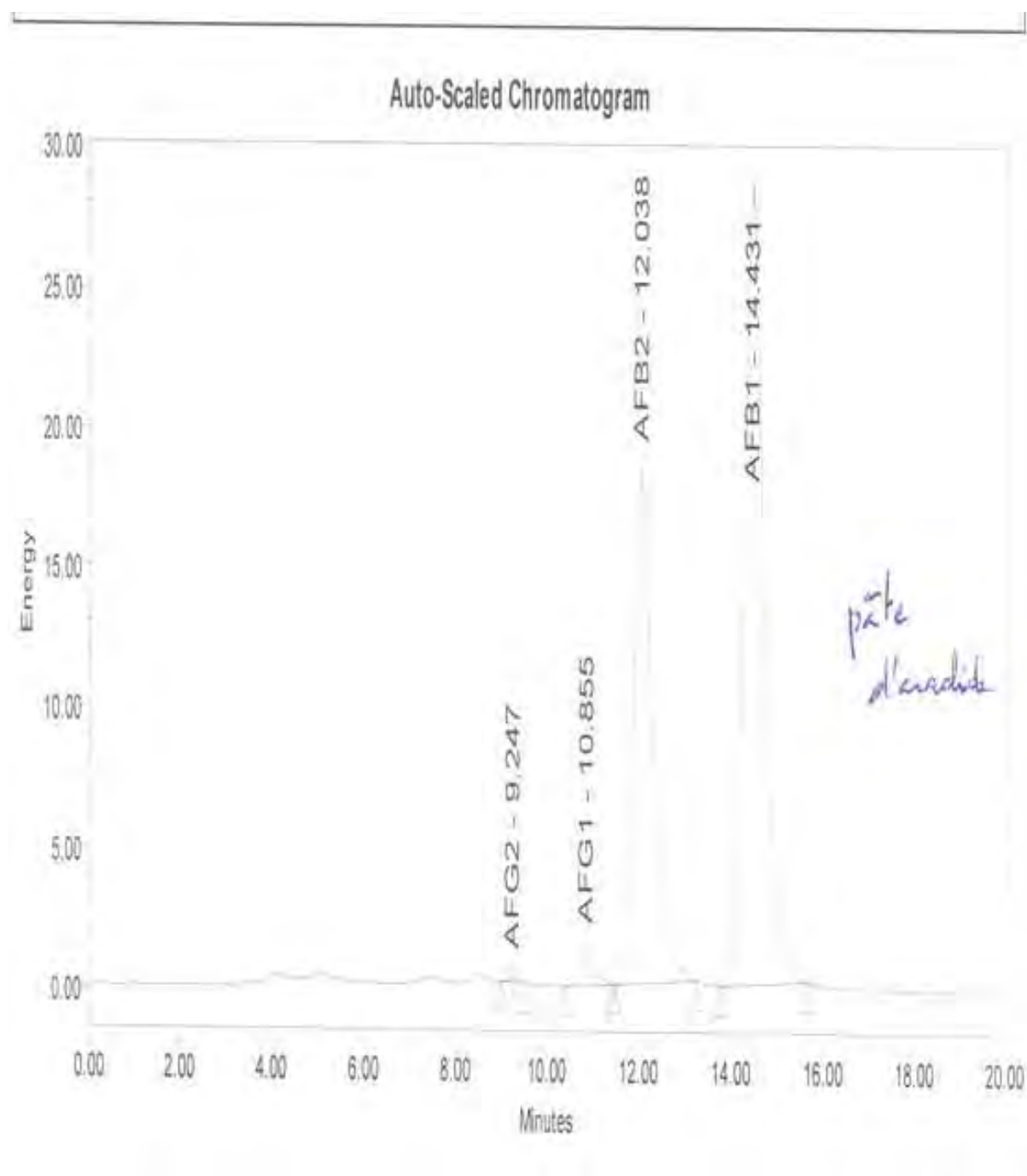


Figure 6: Chromatogramme d'un échantillon de pâte d'arachide

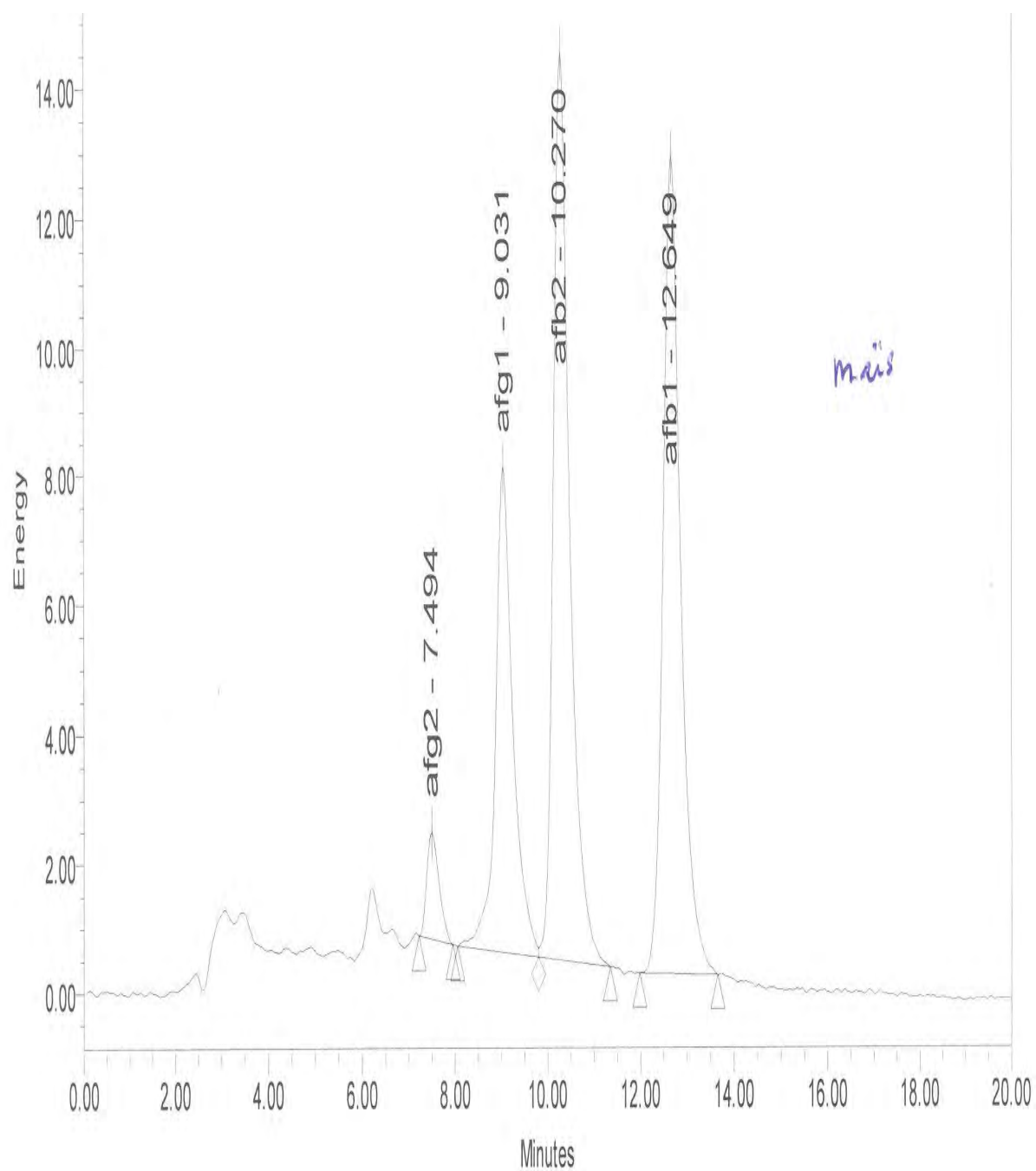


Figure 7 : Chromatogramme d'un échantillon de maïs

III. RÉSULTATS

Les résultats portent sur 1304 analyses d'aflatoxine B₁ et d'aflatoxine totale réalisées sur 25 produits entre 2006 et 2010. Dans le souci de respecter les termes du contrat liant l'ITA à ses clients, nous avons jugé important de garder l'identité d'origine et les noms commerciaux des produits pouvant faire l'objet d'une mauvaise publicité.

III.1. TENEURS MOYENNES EN AFLATOXINES B1 ET TOTALE PAR DENRÉE ET PAR ANNÉE

Tableau 3: Teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale par denrée en 2006

Denrées	Paramètres	Nombre d'analyses	Valeurs (ppb) Mini - Maxi	Moyennes en ppb
Crème d'arachide lactée	AFB1	13	3,6-59	16,43
	AFTOT		3,6-68	21,24
Crème d'arachide chocolatée	AFB1	49	0-77	18,28
	AFTOT		0-128	26,85
Graines d'arachide	AFB1	51	0-82	15,15
	AFTOT		0-169	18,80
Pâte d'arachide	AFB1	18	0-15	14,28
	AFTOT		0-20	21,27
Ecailles d'arachide	AFB1	2	83,3-166	124,65
	AFTOT		124,9-228	176,45
Huile brute d'arachide	AFB1	46	5-100	47,90
	AFTOT		5-175	61,12
Tourteau d'arachide	AFB1	13	1-333	221,80
	AFTOT		1-333	221,88
Graines de coton	AFB1	2	0-0	0
	AFTOT		0-0	0
Aliment enrichi	AFB1	29	0-14	5,74
	AFTOT		0-14	5,74
Pâte d'arachide fortifiée	AFB1	47	0-16	3,17
	AFTOT		0-18	3,34

Maïs	AFB1	3	0-48	16
	AFTOT		0-48	16
Nombre total d'analyses		273		

En 2006, 273 résultats ont été enregistrés pour 11 denrées. Parmi celles-ci, la crème d'arachide chocolatée, les graines d'arachide l'huile brute d'arachide et les pâtes d'arachides fortifiées totalisent plus d'analyses. Le tourteau d'arachide (alimentation animale), les écailles d'arachide, l'huile brute d'arachide et la crème d'arachide chocolatée renferment les plus grandes teneurs moyennes en aflatoxine B₁ et totale. Cependant, les graines de coton (0 ppb en AFB1 et totales sur 2 analyses) et la pâte d'arachide fortifiée (3,17 ppb en AFB1 et 3,34 ppb en aflatoxine totale) sont les denrées les moins contaminées.

Tableau 4 : Teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale par denrée en 2007

Denrées	Paramètres	Nombre d'analyses	Valeurs (ppb) Mini - Maxi	Moyennes (en ppb)
Crème d'arachide lactée	AFB1	7	3,2-30	15,88
	AFTOT		5,6-30	18,85
Crème d'arachide chocolatée	AFB1	46	0- 40	13,39
	AFTOT		0-48	17,49
Graines d'arachide	AFB1	26	0-60	15,06
	AFTOT		0-80	17,53
Pâte d'arachide	AFB1	11	0,7-60	11,86
	AFTOT		0,7-67,6	17,154
Huile brute d'arachide	AFB1	5	8-100	43,60
	AFTOT		8-120	53,40
Tourteau d'arachide	AFB1	1	733,32-733,32	733,32
	AFTOT		733,32-733,32	733,32
Graines de coton	AFB1	1	0-0	0
	AFTOT		0-0	0
Aliment enrichi	AFB1	9	12-42	20,22
	AFTOT		12-42	20,22
Pâte d'arachide fortifiée	AFB1	57	0-6,6	0,79

	AFTOT		0-7,3	1,67
Farine de mil	AFB1	1	1-1	1
	AFTOT		1-1	1
Tourteau de coton	AFB1	1	10,3-10,3	10,3
	AFTOT		10,3-18,3	18,3
Noix de cajou	AFB1	5	0-0	0
	AFTOT		0-0	0
Riz	AFB1	1	0-0	0
	AFTOT		0-0	0
Piment	AFB1	1	0-0	0
	AFTOT		0-0	0
Nombre total d'analyses		172		

En 2007, 172 analyses ont été effectuées. Quatorze (14) denrées sont analysées. Les plus grosses teneurs en aflatoxine sont retrouvées dans le tourteau d'arachide, l'huile brute d'arachide, la crème d'arachide chocolatée, la crème d'arachide lactée, l'aliment enrichi et les graines d'arachides. Les graines de coton, la farine de mil, les noix de cajou, le riz, le piment et la pâte d'arachide fortifiée sont par ailleurs les denrées les moins contaminées. Toutefois, nous notons que ces denrées, à l'exception de la pâte d'arachide fortifiée sont peu analysées.

Tableau 5 : Teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale par denrée en 2008

Denrées	Paramètres	Nombre d'analyses	Valeurs (ppb) Mini - Maxi	Moyennes (en ppb)
Crème d'arachide lactée	AFB1	13	0,49 - 41,39	18,29
	AFTOT		0,49 - 44,96	22,26
Crème d'arachide chocolatée	AFB1	56	5,32-77,06	25,06
	AFTOT		8-106,51	32,39
Graines d'arachide	AFB1	71	0-215,95	53,24
	AFTOT		0-225,68	62,85
Pâte d'arachide	AFB1	21	0-68,52	23,89
	AFTOT		0-81,16	26,65
	AFB1	1	12-12	12

Ecailles d'arachide	AFTOT		23-23	23
Tourteau d'arachide	AFB1	5	126-243,54	178,54
	AFTOT		149,83-300,95	206,19
Pâte d'arachide fortifiée	AFB1	54	0-25,21	2,33
	AFTOT		0-25,21	4,29
Maïs	AFB1	52	0-37,7	6,09
	AFTOT		0-37,7	6,82
Farine composée	AFB1	2	0,41-5,16	2,78
	AFTOT		0,41-5,16	2,78
Farine de blé	AFB1	6	0-0,1	0,01
	AFTOT		0-0,1	0,01
Farine de mil	AFB1	1	0-0	0
	AFTOT		0-0	0
Farine de niébé	AFB1	1	0-0	0
	AFTOT		0,43-0,43	0,43
Tourteau de coton	AFB1	3	2,53-3,26	2,98
	AFTOT		3,25-4,63	4,02
Tourteau coprah	AFB1	1	228,93-228,93	228,93
	AFTOT		314,62-314,62	314,62
Noix de cajou	AFB1	2	0,27-0,34	0,30
	AFTOT		0,34-0,4	0,37
Soja	AFB1	1	4,46-4,46	3,46
	AFTOT		4,83-4,83	4,83
Pâte de figue	AFB1	2	68,72-88,16	78,44
	AFTOT		69,94-94,45	82,19
Nombre total d'analyses		292		

En 2008, le nombre d'analyses effectuées augmente considérablement par rapport à 2007 et 2006. En ce qui concerne les teneurs moyennes en aflatoxine, le tourteau de coprah, d'arachide, la pâte de figue, les graines d'arachides et le crème d'arachide chocolatée présentent largement les plus grosses teneurs en aflatoxine B1 et totale.

A l'opposé, la farine de mil, de blé, de niébé et la pâte d'arachide fortifiée présente les plus faibles teneurs en aflatoxine B1 et totale à la même année.

Tableau 6 : Teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale par denrée en 2009

Denrées	Paramètres	Nombre d'analyses	Valeurs (ppb) Mini - Maxi	Moyennes (en ppb)
Crème d'arachide lactée	AFB1	5	7,92-32,18	22,22
	AFTOT		10,63-47,93	33,78
Crème d'arachide chocolatée	AFB1	62	2,72-107	52,43
	AFTOT		7,83-106,51	57,48
Graines d'arachide	AFB1	75	0-429,28	71,34
	AFTOT		0-447,56	87,43
Pâte d'arachide	AFB1	38	0-64,29	24,29
	AFTOT		0-97,27	33,21
Ecailles d'arachide	AFB1	1	240,4-240,4	240,40
	AFTOT		377,55-377,55	377,55
Huile d'arachide	AFB1	41	0,05-151,4	27,81
	AFTOT		0,05-155,9	33,27
Tourteau d'arachide	AFB1	22	0,74-391,808	154,50
	AFTOT		0,94-571,928	197,87
Pâte d'arachide fortifiée	AFB1	55	0-2,51	0,04
	AFTOT		0,07-44,71	6,35
Maïs	AFB1	67	0-68,1	5,94
	AFTOT		0-68,1	6,04
Farine composée	AFB1	10	1,38-38,17	12,32
	AFTOT		2,18-55,95	19,70
Farine de blé	AFB1	19	0-0,86	0,20
	AFTOT		0-0,86	0,20
Tourteau coprah	AFB1	1	392,95-392,95	392,45
	AFTOT		530,71-530,71	530,71
Soja	AFB1	1	6,82-6,82	6,82
	AFTOT		12,49-12,49	12,49
Pâte de figue	AFB1	2	2,1-3,1	2,60
	AFTOT		5,9-6,2	6,05

Noflaye	AFB1	8	0,27-66,99	30,95
	AFTOT		0,27-78,69	35,95
Pistache	AFB1	1	3,26-3,26	3,26
	AFTOT		3,26-3,26	3,81
Aliment de volaille	AFB1	1	0,2-0,2	0,20
	AFTOT		0,7-0,7	0,70
Nombre total d'analyses		409		

En 2009, 409 analyses ont été effectuées ; soit un plus du double qu'en 2007. Le tourteau de coprah, d'arachide, les écailles d'arachides, les graines d'arachide la pâte d'arachide, l'huile d'arachide et la crème d'arachide chocolatée demeurent les denrées les plus contaminées. L'aliment de volaille, la pistache et la farine de blé présentent cependant les plus faibles teneurs en aflatoxine B1 et totale en 2009.

Tableau 7 : Teneurs moyennes en aflatoxine B₁ et totale par denrée en 2010

Denrées	Paramètres	Nombre d'analyses	Valeurs (ppb) Mini - Maxi	Moyennes (en ppb)
Crème d'arachide chocolatée	AFB1	17	10,4-53,3	28,62
	AFTOT		18,9-71,9	44,06
Graines d'arachide	AFB1	32	0- 200	16,89
	AFTOT		0-201,5	27,26
Pâte d'arachide	AFB1	12	1,3-29,5	12,08
	AFTOT		2,3-40,8	17,86
Huile d'arachide	AFB1	19	0-58,6	10,99
	AFTOT		0-58,6	11,916
Tourteau d'arachide	AFB1	28	0-427,2	79,34
	AFTOT		0-427,2	105,30
Pâte d'arachide fortifiée	AFB1	26	0-14,5	0,76
	AFTOT		0,7-14,5	4,79
Maïs	AFB1	13	0-93,26	8,75
	AFTOT		0-138,9	13,23
Soja	AFB1	3	1,2-1,2	0,46

	AFTOT		2,3-2,3	18,20
Pâte de figue	AFB1	1	1,2-1,2	1,20
	AFTOT		2,3-2,3	2,30
Farine d'arachide « Noflaye »	AFB1	3	3,3-26,1	13,86
	AFTOT		3,8-39,1	21,30
Aliment de volaille	AFB1	2	18,8-32,2	32,25
	AFTOT		45,7-74,6	53,40
Riz	AFB1	2	0,7-1,5	1,10
	AFTOT		1,7-2,5	2,10
Nombre total d'analyses		158		

La demande d'analyse a diminué fortement en 2010. Elle est passée de 409 en 2009 à 158 en 2010. Le tourteau d'arachide, l'aliment de volaille, la crème d'arachide chocolatée et les graines d'arachides semblent présenter les plus hautes teneurs en aflatoxine B₁ et totale. La pâte de figue, la pâte d'arachide fortifiée et le riz présentent les plus basses teneurs en aflatoxine B₁ et totale en 2010.

III.2. ANALYSE STATISTIQUE DES RÉSULTATS DE ONZE (11) DEMANDES

Le tableau 2 révèle que certaines denrées ne sont pas fréquemment analysées par rapport à d'autres. Pour mieux apprécier les différences de niveau de contamination d'une année à l'autre, une étude statistique des résultats enregistrés est nécessaire. Une telle étude nécessite un minimum de résultats. Nous avons fixé ce minimum à onze (11) résultats. A ce titre, nous avons recensé les denrées ayant fait l'objet de 11 demandes d'analyses au moins par année. Nous avons choisi les onze (11) valeurs les plus proches de la moyenne globale si la denrée totalise plus de onze (11) demandes. Ces denrées sont : la crème d'arachide chocolatée, la pâte d'arachide, les graines d'arachide et la pâte d'arachide fortifiée. Ces résultats ont été analysés avec le logiciel XLSTAT 6.1.9 selon la méthode de Newman-Keuls (SNK). Cette méthode permet non seulement de calculer les moyennes mais sert aussi à analyser des différences entre des groupes avec un intervalle de confiance de 95%.

III.2.1. LA CRÈME ARACHIDE CHOCOLATÉE

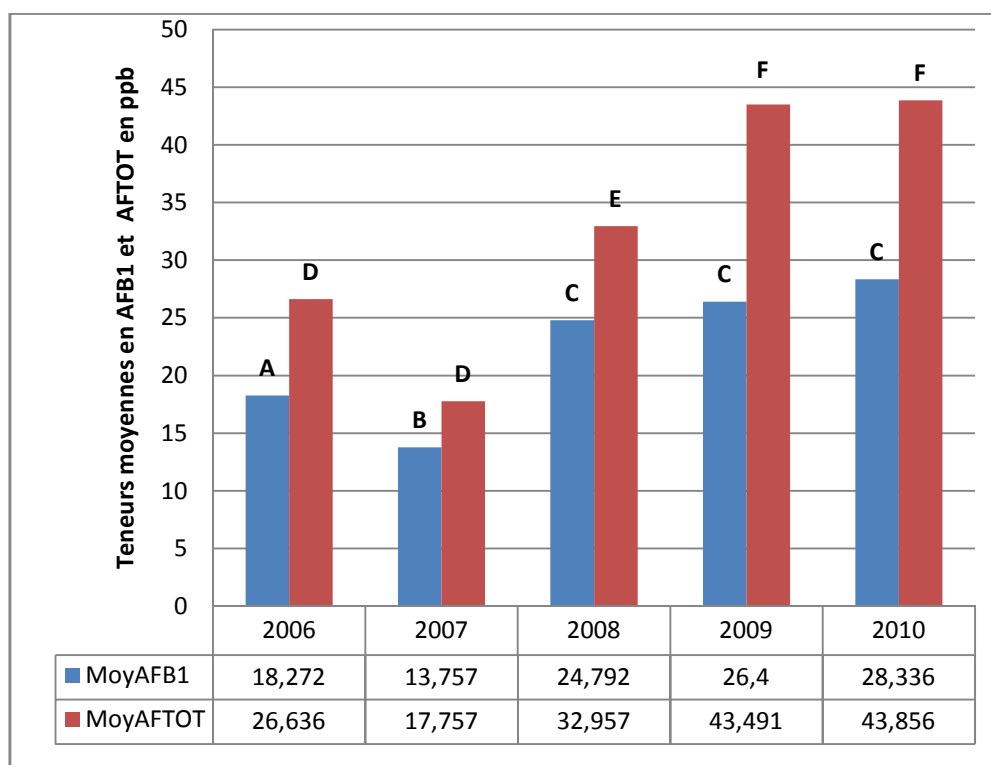


Figure 8 : Évolution de la teneur moyenne en ppb de l'aflatoxine B1 et totale dans la crème d'arachide chocolatée de 2006 à 2010

Les taux de contamination en AFB1 et totales les plus faibles ont été enregistrés en 2007 avec 13, 75 ppb pour l'AFB1 et 17,75 ppb pour les aflatoxines totales. En 2008, 2009, 2010, les taux de contamination en aflatoxine B₁ ont été les plus élevés. Pour l'aflatoxine totale nous avons constaté les teneurs maximales en 2009 et 2010.

III.2.2. LA PÂTE D'ARACHIDE

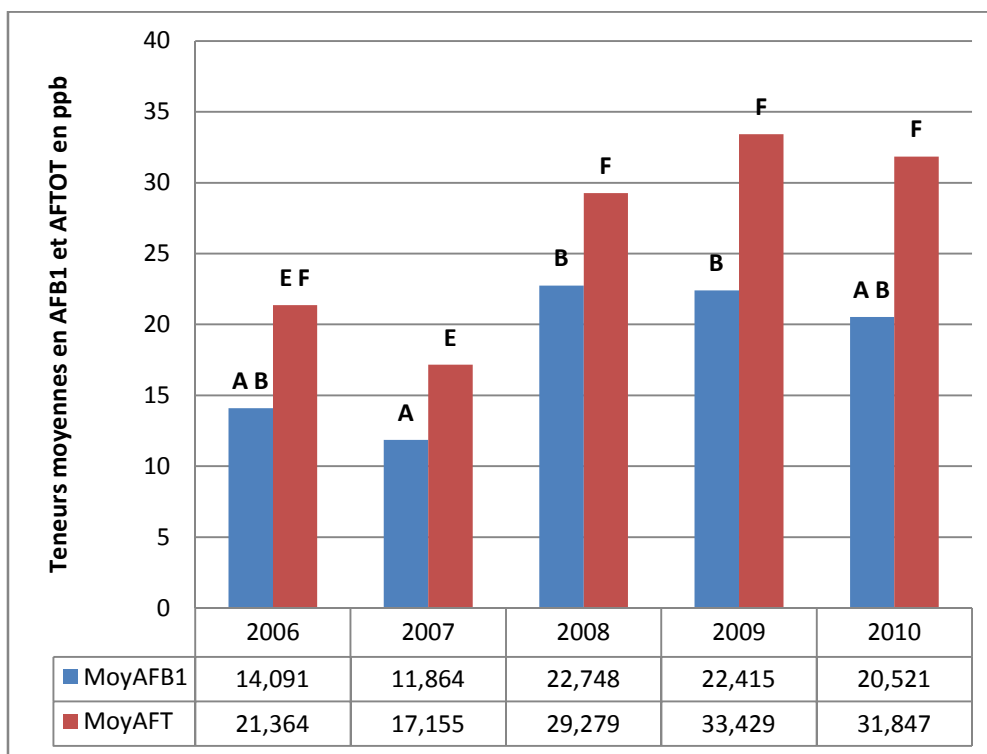


Figure 9: Évolution de la teneur moyenne en ppb de l'aflatoxine B1 et totale dans la pâte d'arachide de 2006 à 2010

Les teneurs moyennes en aflatoxine B1 peuvent être classées en trois groupes selon Newman-Keuls. La teneur moyenne minimale est obtenue en 2007, les teneurs intermédiaires en 2006 et 2010 et les teneurs moyennes maximales en 2008 et 2009. Pour l'aflatoxine totale, Newman-Keuls met aussi en évidence trois groupes différents. La teneur minimale est obtenue en 2007, les teneurs intermédiaires en 2006 et 2010 et les teneurs maximales en 2008, 2009 et 2010.

III.2.3. LES GRAINES D'ARACHIDE

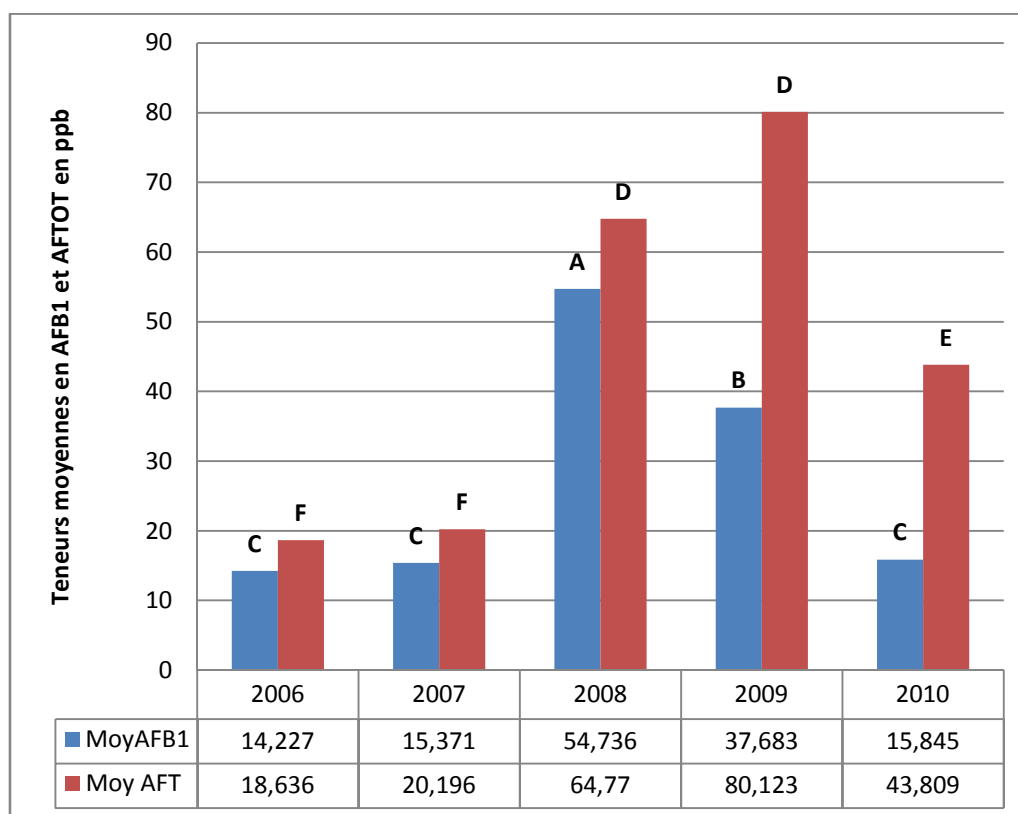


Figure 10: Évolution de la teneur moyenne en ppb de l'aflatoxine B1 et totale dans les graines d'arachide de 2006 à 2010

Pour l'aflatoxine B1, nous avons ici trois groupes. En 2006, 2007, et 2010 nous avons enregistré les plus basses teneurs moyennes. Les teneurs moyennes les plus élevées sont obtenues en 2008 et 2009. Toutefois, nous notons que la teneur moyenne maximale apparaît en 2008. En ce qui concerne l'aflatoxine totale, nous remarquons aussi trois groupes. Les années 2006 et 2007 présentent les plus basses teneurs moyennes tandis que 2008 et 2009 présentent les teneurs moyennes les plus élevées avec plus de 80 ppb en 2009. Quant à l'année 2010, nous notons une teneur moyenne élevée mais largement inférieure à celles de 2008 et 2010.

III.2.4. LA PÂTE D'ARACHIDE FORTIFIÉE

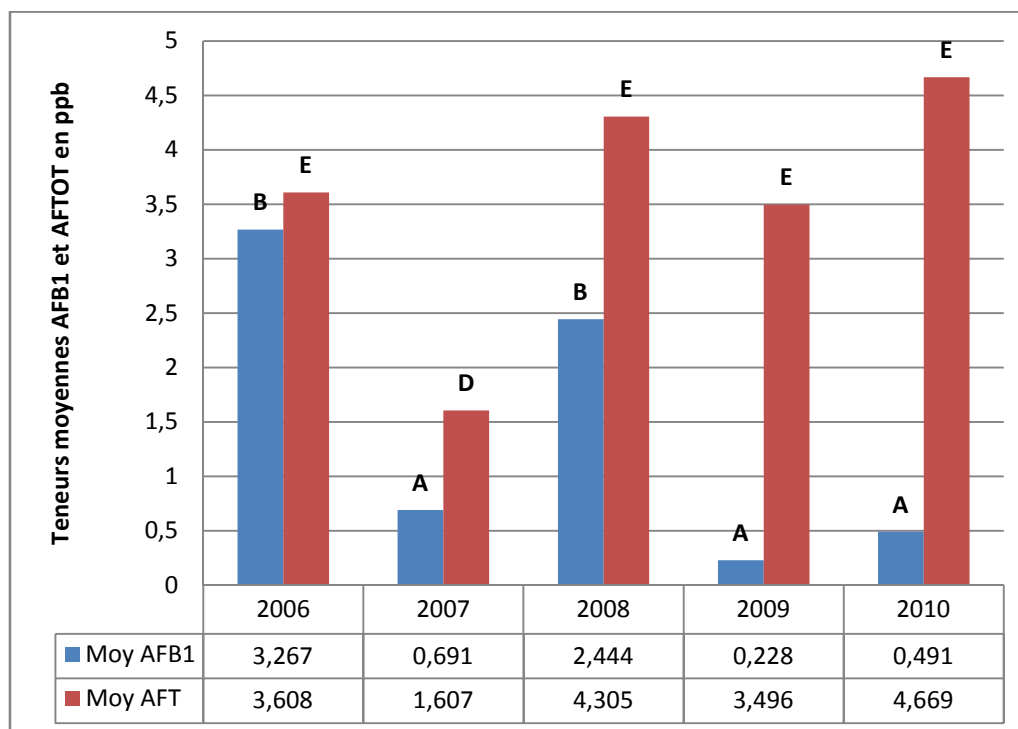


Figure 11 : Evolution de la teneur moyenne en ppb de l'aflatoxine B1 et totale dans la pâte d'arachide fortifiée de 2006 à 2010

Pour l'aflatoxine B1, Newman-Keuls met en évidence 2 groupes distincts. Il s'agit d'un premier groupe à basses teneurs moyennes enregistrées en 2007, 2009 et 2010 avec une teneur minimale en 2009 et d'un second groupe à teneurs moyennes plus élevées obtenues en 2006 et 2008. La teneur maximale (3,26 ppb) a été enregistrée en 2006.

En ce qui concerne l'aflatoxine totale, nous distinguons également 2 groupes : un groupe à teneurs élevées (2006, 2008, 2009 et 2010) avec la teneur maximale en 2010 et un groupe à faible teneur (2007).

IV. DISCUSSION

De nos jours, les aflatoxines constituent véritablement un sérieux problème économique mais également de santé publique. Dès lors, beaucoup de pays ont jugé nécessaire d'installer des structures de contrôle agréées à l'instar de l'ITA pour doser les teneurs en aflatoxines dans certaines denrées alimentaires. Ils établissent également une législation relative aux aflatoxines afin de garantir la sécurité des personnes et des animaux.

Pour ce travail, nous avons d'abord répertorié les différentes denrées analysées au laboratoire de mycotoxines de 2006 à 2010, ensuite évalué les teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale pour chaque denrée et enfin effectué une analyse statistique des denrées les plus fréquemment analysées par année. Il s'agit de la crème d'arachide chocolatée, de la pâte d'arachide, de la pâte d'arachide fortifiée et des graines d'arachides. Nous pouvons dire donc, l'arachide et ses dérivés constituent l'essentiel des analyses effectuées à l'ITA entre 2006 et 2010.

Le contrôle des teneurs en aflatoxine B1 et totale reste un important test de qualité. C'est pourquoi, il faut impérativement des laboratoires de référence à l'instar de celui de mycotoxines de l'ITA qui appliquent des méthodes de dosages normalisées pour doser les teneurs en aflatoxines.

A l'ITA, les denrées alimentaires analysées sont des produits fabriqués artisanalement ou industriellement par des sociétés nationales et ou internationales. Et ceci, dans le but d'obtenir un certificat autorisant la mise en vente de ce produit dans le marché local mais surtout international où la réglementation reste sans doute exigeante. La législation fait généralement l'objet de beaucoup de critiques de la part des producteurs car constituant un obstacle majeur au commerce international. Cependant, beaucoup de produits alimentaires sont fabriqués artisanalement et mis sur le marché local. Nous ignorons, sans doute la qualité de ces produits. Pour minimiser les dégâts sanitaires causés par ces derniers, l'ITA a développé une méthode de filtration de l'huile brute par le biais de l'attapulgite, argile trouvée au Sénégal pour éliminer l'aflatoxine. Une méthode qui offre des résultats assez satisfaisants car élimine les aflatoxines à plus de 90% selon les spécialistes de l'ITA.

La teneur en aflatoxine B1 et totale dans les denrées reste un paramètre important car détermine en grande partie leur qualité sanitaire. Elle permet aussi d'avoir une idée relative sur les conditions de récolte, de stockage et de transformation de ces produits. Á cet effet, de 2006 à 2010, mille trois cent quatre (1304) échantillons ont été analysés pour vingt-cinq (25) denrées. La répartition du nombre d'analyses par denrée figure dans le tableau 2.

Pour les besoins du traitement statistique des données, nous avons travaillé avec les denrées les plus représentatives, c'est-à-dire celles qui totalisent aux moins 11 analyses par an. Il s'agit de la crème d'arachide chocolatée, de la pâte d'arachide, des graines d'arachide et de la pâte d'arachide fortifiée.

Pour la crème d'arachide chocolatée, denrée dérivée de l'arachide, fabriquée industriellement par une entreprise sénégalaise et très fréquente dans le menu quotidien des sénégalais, surtout la population urbaine, les teneurs moyennes en ppb enregistrées pour 11 échantillons de 2006 à 2010 sont respectivement : pour l'aflatoxine B1 :18,27 ; 13,75 ; 24,792; 26,4 ; 28,33 et pour les aflatoxines totales : 26,63 ; 17,75 ; 32,95 ; 43,49 ; 43,85

Les teneurs moyennes en aflatoxines B1 et totales contenues dans la crème d'arachide chocolatée varient en fonction de l'année. C'est ainsi que pour l'aflatoxine B1, considérée comme étant la plus toxique, la teneur moyenne minimale a été enregistrée en 2007, soit 13,75 ppb et la teneur moyenne maximale en 2010 avec 28,33 ppb, soit un peu plus du double de B1 en 2007. Parallèlement aux teneurs en AFB1, les teneurs en aflatoxine totale varient en fonction de l'année. Pour preuve, la teneur minimale est enregistrée en 2007 soit 17,75 ppb et la teneur maximale, en 2010 avec 43,85 ppb, soit le double qu'en 2007.

Si nous nous référons à la réglementation européenne (UE) 165/2010, fixant les teneurs maximales en AFB1 et totale dans les arachides et autres graines oléagineuses et produits dérivés de leur transformation, destinés à la consommation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires respectivement à 2 et 4 ppb [16], ces denrées sont donc loin d'être aptes à la consommation humaine. Selon la législation américaine, la limite maximale en aflatoxine totale (B1, B2, G1, G2) est fixée à 20 ppb quelque soit la denrée [17]. Les teneurs très élevées en aflatoxine B1 et totale dans la pâte d'arachide chocolatée pourraient s'expliquer par de mauvaises pratiques agricoles, de transformation, de mauvaises conditions de stockage et transport des graines d'arachides utilisées. A cela, pourrait s'ajouter l'absence ou un mauvais tri des graines moisies. Cette opération est difficile à effectuer sur une grande quantité.

Pour la pâte d'arachide, denrée dérivée de l'arachide et fabriquée artisanalement ou industriellement au Sénégal et très fréquente dans le menu quotidien des sénégalais, les teneurs moyennes en ppb trouvées de 2006 à 2010 sont respectivement : pour l'aflatoxine B1 :14,09 ; 11,86 ; 22,74 ; 22,41 ; 20,52 et pour l'aflatoxine totale: 21,36 ; 17,15 ; 29,27 ; 34,42 ; 31,84.

Nous constatons que la teneur moyenne en AFB1 contenue dans les pâtes d'arachide varie d'une année à une autre. C'est notamment le cas en 2007 où la pâte d'arachide est moins contaminée soit une teneur moyenne de 11,86 ppb. L'année présentant les teneurs les plus élevées en aflatoxine B1 est vraisemblablement l'année 2008 avec 22,74 ppb. Ces teneurs sont comparables à celles trouvées dans les pâtes d'arachide de cinq marchés dakarois (Sahm1, Sahm2, Tilène, Zinc et Sandaga) [20]. Elles sont nettement plus élevées que celles trouvées dans des échantillons de pâte d'arachide ménagère en 2009 (un seul des échantillons présentait 9 ppb en aflatoxine totale dont 6,3 ppb pour l'AFB1) [19] ; [20]. Toutefois, il est important de rappeler que ces chercheurs ont travaillé sur des pâtes d'arachide ménagères obtenues à partir de petites quantités de graines (1 à 5 Kg). Ce qui facilite le triage des graines moisies. Elles sont aussi supérieures aux limites fixées par la réglementation européenne (UE) 165/ 2010 qui arrête les teneurs maximales à 2 ppb pour l'AFB1 et 4 ppb pour l'aflatoxine totale [16]. Quant à la norme sénégalaise qui n'existe que pour la pâte d'arachide, les limites maximales sont respectivement de 15 et 20 ppb pour la B1 et l'aflatoxine totale. Seules les moyennes de 2006 et 2007 répondent à ce critère.

Le commentaire explicatif des teneurs élevées en aflatoxine fait pour la pâte d'arachide chocolatée est valable pour la pâte d'arachide. Il s'agit principalement de mauvaises pratiques agricoles, de mauvaises conditions de transport et de stockage des graines, l'absence ou le mauvais tri des graines moisies, et les mauvaises pratiques de transformation.

L'arachide (*Arachis hypogaea*) est une culture vivrière très connue dans le bassin arachidier du Sénégal. Ces graines occupent une place de choix dans le régime diététique des sénégalais car, elles sont la base de beaucoup de denrées comme la pâte d'arachide, la farine d'arachide « Noflaye », l'huile d'arachide. Les graines d'arachides sont consommées directement ou après transformation industrielle ou artisanale.

Les teneurs moyennes en ppb de l'aflatoxine B1 et totale retrouvées dans les graines d'arachide de 2006 à 2010 sont respectivement : pour B1 : 14,22 ; 15,37 ; 54,73 ; 37,68 ; 15,84 et pour l'aflatoxine totale nous avons : 18,63 ; 20,19 ; 64,77 ; 80,12 ; 43,80.

Nous constatons que les teneurs moyennes varient d'une année à une autre. La teneur moyenne minimale pour l'aflatoxine B1 a été enregistrée en 2006 avec 14,22 ppb et la teneur moyenne maximale en 2008 avec 54,73 ppb. Cependant, nous constatons une baisse considérable de la teneur moyenne en AFB1 jusqu'à 15,84 ppb en 2010 contre 37,68 en 2009. En ce qui concerne l'aflatoxine totale, la teneur moyenne minimale en ppb apparaît en 2006 avec 18,63 et la teneur moyenne maximale, en 2009 avec 80,12 ppb.

Selon la réglementation européenne (UE) 165/2010 du 26 février 2010, les limites maximales en aflatoxine B1 et totale dans les arachides destinées à être soumises à un traitement de triage ou d'autres méthodes physiques avant leur consommation humaine ou leur utilisation comme ingrédients alimentaires sont respectivement 8 ppb et 15 ppb [16]. Selon cette nouvelle législation, nous pouvons dire que les teneurs maximales dans les graines d'arachide dépassent de loin les limites préconisées. Le *Codex Alimentarius* établit un niveau de 15 ppb pour l'aflatoxine totale dans arachides destinées à la consommation humaine (pas de spécification B1).

Les teneurs très élevées en aflatoxine B1 et totale dans les graines d'arachide pourraient s'expliquer par de mauvaises pratiques agricoles, de transformation, de mauvaises conditions de stockage et transport des graines d'arachides utilisées. A cela, pourrait s'ajouter l'absence ou un mauvais tri des graines moisies dans la mesure où cette opération est difficile à effectuer sur une grande quantité de graines.

La pâte d'arachide fortifiée est un produit industriel originaire de Niamey (Niger). Elle est produite à base de graines arachide et de lait et employée dans l'alimentation de nourrissons. Les teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale en ppb de 2006 à 2010 sont respectivement : 3,26 ; 0,69 ; 2,44 ; 0,22 ; 0,49 pour B1 et 3,60 ; 1,60 ; 4,30 ; 3,49 ; 4,66 pour l'aflatoxine totale.

Nous constatons que les teneurs moyennes en ppb varient d'une année à une autre pour l'aflatoxine B1 et totale. Pour B1, la teneur moyenne minimale est obtenue en 2009 avec 0,22 ppb. Elle est soixante fois (60) moins importante que celle de la crème d'arachide chocolatée, cinquante deux fois (52) moins importante que celle de la pâte d'arachide, soixante deux fois (62) moins importante que celle des graines d'arachides. La teneur moyenne maximale de B1 est enregistrée en 2006 avec 3,26 ppb. Elle est d'environ huit fois (8) moins importante que celle de la crème d'arachide chocolatée, dix fois (10) moins importante que celle de la pâte d'arachide et dix sept fois (17) moins importante que celle des graines d'arachides.

Pour l'aflatoxine totale, la teneur moyenne minimale est enregistrée en 2009. Elle est de 1,60 ppb. Elle est environ 11 fois moins élevée que celle de la crème d'arachide chocolatée, de la pâte d'arachide et des graines d'arachide. Quant à la teneur maximale, elle est obtenue en 2010. Elle est de 4,66 ppb. Elle est environ neuf fois (9) moins importante que celle la crème d'arachide chocolatée, huit (8) fois moins importante que celle de la pâte d'arachide et dix sept fois (17) moins importante que celle des graines d'arachide.

Selon la réglementation européenne (UE) N°165/2010, les limites maximales en aflatoxine B1 et totale dans les graines d'arachide et autres oléagineux ainsi que les produits dérivés de leur transformation, destinés à la consommation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires sont respectivement de 2 ppb et 4 ppb [16].

V. RECOMMANDATIONS

Une bonne compréhension des facteurs écologiques favorables à l'infection, à la croissance et à la production de toxines est une condition indispensable pour la mise au point de stratégies efficaces de prévention des aflatoxines dans les productions agricoles. Ces stratégies ont un double défi: un défi d'ordre sanitaire et un défi d'ordre économique. Toutefois, elles contribuent à empêcher la formation d'aflatoxines sur les denrées avant la récolte après la récolte.

V.1. AVANT ET LORS DE LA RÉCOLTE

Pour empêcher la présence des aflatoxines sur les aliments avant et lors de la récolte, il faut pratiquer la rotation des cultures, récolter le plus tôt possible par temps sec, utiliser de souches bio compétitives et non aflatoxinogènes, lutter contre les maladies et les ravageurs avant, pendant et après la récolte, éviter des conditions écologiques favorables à l'infection fongique, assurer une bonne nutrition hydrique et minérale de la plante, éviter les résidus de plantes contaminées afin d'éviter la contamination de la récolte, utiliser des traitements chimiques anti fongiques, sélectionner des variétés de cultures résistantes, éliminer les pieds desséchés...

V.2. APRÈS LA RÉCOLTE

Pour limiter, la prolifération du champignon producteur des aflatoxines après la récolte (transport, stockage, transformation), il faut bien sécher les denrées avant le stockage, s'assurer que le matériel de transport et le lieu de stockage ne sont pas contaminés, faire un pré-tri avant le stockage, stocker les denrées dans des endroits adéquats où l'atmosphère est contrôlable (humidité, teneur en CO₂, température...), utiliser des traitements chimiques anti-fongiques, faire un tri des graines moisies avant la transformation, respecter les bonnes pratiques de fabrication au cours des transformations industrielles ou artisanales...

Malgré les efforts de prévention mis en œuvre, la contamination des récoltes est parfois inévitable. Il est cependant possible de récupérer les produits contaminés en les décon-

taminant suivant plusieurs méthodes dont : les méthodes physiques (radiations UV), les méthodes chimiques (Ammoniaque, hypochlorite de sodium, bisulfite, chlore) et les méthodes

CONCLUSION

La présence des aflatoxines dans les denrées alimentaires est une problématique peu connue des sénégalais. Et même si elle est connue, elle ne décourage pas les consommateurs car les produits contaminés par les aflatoxines continuent d'envahir le marché local.

Au Sénégal, des données relatives aux teneurs moyennes nationales en aflatoxines dans les denrées alimentaires sont rares ou inexistantes. Toutefois, les travaux effectués à l'institut de technologie alimentaire dans le cadre de ce mémoire, nous ont permis d'avoir une idée sur le degré de contamination de quelques denrées alimentaires analysées de 2006 à 2010.

La problématique des aflatoxines concerne plusieurs denrées, surtout celles d'origine végétale. Des céréales aux oléagineux en passant par leurs dérivés, les teneurs moyennes en aflatoxines diffèrent d'une denrée à une autre et d'une année à une autre.

En se référant à la réglementation européenne (UE) N°165/2010 relative aux aflatoxines [15], nous pouvons juger impropre à la consommation la plupart des denrées analysées au laboratoire de mycotoxines. Il en est de même avec les normes américaine (20 ppb pour l'aflatoxine totale dans toutes les denrées) et sénégalaise (15 ppb pour la B1 et 20 ppb pour l'aflatoxine totale dans la pâte d'arachide).

En effet, les teneurs moyennes en aflatoxine B1 et totale retrouvées dans la crème d'arachide chocolatée de 2006 à 2010 dépassent largement les limites fixées par la réglementation (UE) 165/2010 dans les arachides et dérivés destinés à la consommation directe qui sont de 2 ppb pour B1 et 4 ppb pour l'aflatoxine totale. Les teneurs moyennes minimales de 2006 à 2010 sont de 13,75 ppb pour B1 et 17,75 ppb pour l'aflatoxine totale tandis que les maximales sont 28,33 ppb pour B1 et 43,85 ppb pour l'aflatoxine totale.

La plupart de la pâte d'arachide analysée, à l'instar de la crème d'arachide chocolatée, s'avère impropre à la consommation. Elle possède des teneurs moyennes qui dépassent largement celles fixées par la réglementation (UE) 165/2010 dans les arachides et dérivés destinés à la consommation directe qui sont de 2 ppb pour B1 et 4 ppb pour l'aflatoxine totale [15].

Une bonne partie des graines d'arachide analysées, à l'instar de la pâte d'arachide et de la crème d'arachide chocolatée est inacceptable. Elle renferme des teneurs moyennes supérieures à celles retenues par la réglementation (UE)165/2010 dans les arachides destinées à être soumises à un traitement de triage ou d'autres méthodes physiques avant leur consommation humaine ou leur utilisation comme ingrédients alimentaires qui sont respectivement 8 ppb pour B1 et 15 ppb pour l'aflatoxine totale.

La pâte d'arachide fortifiée est destinée aux nourrissons et a la particularité de contenir du lait et des dérivés de graines d'arachide. Le lait est souvent contaminé par l'aflatoxine M1, qui est un métabolite de la B1, éliminée dans le lait chez un animal nourri avec des aliments contaminés par B1. La réglementation (UE) N°165/2010 fixe les teneurs maximales en aflatoxines B1 et M1 dans les aliments diététiques destinés à des fins médicales spéciales, spécifiquement pour les nourrissons respectivement à 0,1 et 0,025 ppb. En comparant ces valeurs aux teneurs moyennes retrouvées dans la pâte d'arachide fortifiée nous pouvons conclure que ces dernières sont impropres à la consommation [15]. Autrement dit, beaucoup d'échantillons de pâtes fortifiées présentent des teneurs qui dépassent largement les limites acceptables par la réglementation (UE) N°165/2010.

Pratiquement nous pouvons affirmer que la plupart des denrées alimentaires soumises à des analyses au laboratoire de mycotoxines renferment des teneurs élevées en aflatoxines. Ce qui les éloigne du cercle restreint des denrées jugées acceptables par la réglementation (UE) 165/2010, la norme américaine, le *Codex Alimentarius*, et la norme sénégalaise. La consommation de ces denrées très contaminées associées à une infection par le virus de l'hépatite B, provoque très souvent l'apparition de cancer du foie. C'est pourquoi la plupart des pays importateurs sont très exigeants en matière de respect des limites maximales en aflatoxine.

Pour s'imposer sur le marché international, les importateurs doivent travailler dans le sens de respecter les bonnes pratiques agricoles, de transport, de stockage de transformation et de triage des denrées.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **ELIS (O.W.), SMITH (J.P.), SIMPSON (B.K.), OLDHAM (J.H.)**, Aflatoxin in food occurrence, biosynthesis effects on organisms: Detection and methods of control, p403-409, 1991
- [2] **Afssa, Rapport final Mars 2009**, Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale p10-15
- [3] **BELKACEM N**, Les mycotoxines : production et voie de biosynthèse mémoire, Master 2 recherche Institut National Polytechnique de Toulouse p 4-8
- [4] **Yonsei Medical journal volume 13**, Fine Structural Changes and autoradiographic studies of rat liver cells induced by aflatoxin B1 and G1, p1, 1972
- [5] **KANE A et DIACK Th S**, ITA ECHOS N°5, p6-5, Septembre 2010
- [6] **Brochard G et Le BACLE C**, INRS Fiche agents biologiques ED 4411, p3
- [7] **FIRMIN S**, Efficacité de détoxification de l'aflatoxine B1 et de l'Ochratoxine A par un adsorbant organique : Evaluation par la balance d'excrétion et les paramètres toxicocinétiques chez le rat et la brebis laitière, Thèse présentée à l'Université Blaise Pascal pour l'obtention du grade de Docteur d'Université, p17
- [8] **<http://fr.wikipedia.org/wiki/Aflatoxine>**
- [9] **EL KHOURY A**, Champignons Mycotoxinogènes et Ochratoxine A (OTA) et Aflatoxine B1(AFB1) dans les vignobles libanais : Occurrence et Origine, Thèse à l'Institut National Polytechnique de Toulouse, p11
- [10] **SALL A**, Recherche et dosage des aflatoxines dans les pates d'arachide alimentaires, Thèse en pharmacie à l'UCAD p7-8, 1998
- [11] **SEMBENE P Mb**, Les pertes post-récoltes, l'exemple du bruché de l'arachide (CA-RYBDON SERATUS OL.) au Sénégal, p2
- [12] **NDAYISABA D**, Effets de la supplémentation de l'antimycose sur la toxicité de l'aflatoxine B1 chez le poulet de chair, Mémoire EISMV, UCAD, p 7, 2010
- [13] **BATHILY A**, Aflatoxines dans les aliments: Recherche et dosage dans les huiles de pression artisanale et leurs résidus d'extraction - essais de détoxification, Thèse en pharmacie UCAD, p 9, p24-23, 1998
- [14] **ABDELLAH Z**, Détermination des mycotoxines dans les aliments et étude de la réduction des aflatoxines par les bactéries lactiques isolées des ferments panaires traditionnels, Thèse de doctorat UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH FÈS, p12

[15] Etude FAO alimentation et nutrition, Réglementations relatives aux mycotoxines dans les produits d'alimentation humaine et animale, à l'échelle mondiale en 2003, p 13

[16] Journal officiel de l'union européenne, Règlement (UE) N° 165/2010 de la commission du 26 février 2010 modifiant le règlement (CE) N°1881/2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires, en ce qui concerne les aflatoxines, L50/11 ; L50 /12

[17] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Aflatoxine>

[18] <http://www.ita.sn/ita/presentation.html>

[19] Sakho M et Crouzet J, Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté, p 159-161, 2009

[20] 6ème séminaire régional, Transformation, Conservation et Qualité des aliments: Nouvelle approche de lutte contre la pauvreté, p127-130 Dakar 21-23 novembre 2007

ANNEXES

Tableau 8 annexe : Règlement (UE) N° 165/2010 de la Commission du 26 Février 2010				
	Denrées alimentaires	Teneurs maximales en ppb		
2.1	Aflatoxines	B1	Somme B1, B2, G1et G2	M1
2.1.1	Arachides et autres graines oléagineuses destinées à être soumises à un traitement de tri, ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires à l'exception des arachides et autres graines oléagineuses destinées à être broyées pour la fabrication d'huile végétale raffinée.	8,0	15,0	—
2.1.2	Amandes, pistaches et noyaux d'abricot destinés à être soumis à un traitement de tri ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires	12,0	15,0	—
2.1.3	Noisettes et noix de Brésil destinés à être soumis à un traitement de tri ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires.	8,0	15,0	—
2.1.4	Fruits à coque exception faites des fruits à coque énumérés aux points 2.1.2 et 2.1.3 destinés à être soumis à un traitement de tri ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires.	5,0	10,0	—
2.1.5	Arachides et autres graines oléagineuses et produits dérivés de leur transformation, destinées à la consommation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires à l'exception des huiles végétales brutes destinées à être raffinées et aux huiles végétales raffinées .	2,0	4,0	—
	Amandes, pistaches et noyaux d'abricot destinés à con-	8,0	10,0	—

2.1.6	sommatation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires			
2.1.7	Noisettes et noix de Brésil destinés à la consommation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires.	5,0	10,0	—
2.1.8	Fruits à coque exception faites aux points 2.1.6 et 2.1.7, destinés à la consommation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires.	2,0	4,0	—
2.1.9	Fruits séchés destinés à être soumis à un traitement de tri ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires.	5,0	10,0	—
2.1.10	Fruits séchés et produits dérivés de leur transformation, destinés à la consommation humaine directe ou à une utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires.	2,0	4,0	—
2.1.11	Toutes les céréales et tous les produits dérivés de céréales, y compris les produits de céréales transformés, à l'exception des denrées alimentaires figurant aux points 2.1.12, 2.1.15 et 2.1.17			
2.1.12	Maïs et riz destinés à être soumis à un traitement de triage ou à d'autres méthodes physiques avant consommation humaine ou utilisation comme ingrédients de denrées alimentaires.	5,0	10,0	—
2.1.13	Lait cru, lait traité thermiquement et lait destiné à la fabrication de produits à base de lait.	—	—	0,05
2.1.14	Epices suivants : piment, poivre, safran, mélanges d'épices contenant une ou plusieurs des épices susmentionnées.	5,0	10,0	—
2.1.15	Préparation à base de céréales et aliment pour bébé destinés aux nourrissons et aux enfants en bas âge	0,10	—	—
2.1.16	Préparations pour nourrissons et préparation de suite, y compris le lait pour nourrissons et le lait de suite	—	—	0,025
2.1.17	Aliments diététiques destinés à des fins médicales spéciales	0,10	—	0,025

	ciales spécifiquement pour les nourrissons.			
--	---	--	--	--

Extrait du journal officiel de l'Union Européenne du 26/02/2010

Tableau 9 annexe : Niveau toléré de l'aflatoxine B1 au niveau international

Pays	Quantités maximales (ppb)	Produits
Canada	15	Noix
Union Européenne	2	Arachides, noix, fruits séchés et céréales
Argentine	0	Arachides, maïs et produits
Brésil	15	Toute la nourriture
Chine	10	Riz et huile de table
Inde	30	Toute la nourriture
Japon	10	Toute la nourriture
Nigeria	20	Toute la nourriture
Pologne	0	Toute la nourriture
Afrique du Sud	5	Toute la nourriture
Zimbabwe	5	Toute la nourriture

Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Aflatoxine>