



Article de synthèse

Présence et réglementation des mycotoxines dans les aliments au Maroc: Situation actuelle et perspectives

Abdellah Zinedine*, Larbi Idrissi

Laboratoire de Toxicologie Alimentaire. Institut National d'Hygiène (INH),
27, avenue Ibn Batouta. BP 769 Agdal, Rabat, Maroc.

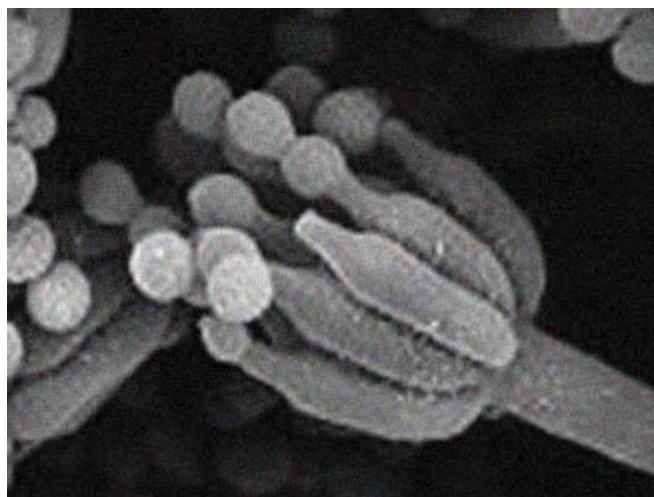
* Auteur pour correspondance : Tél : +212 37771902; Fax : +212 37772067. Email : zinedineab@yahoo.fr

Résumé: Les maladies d'origine alimentaire constituent à l'heure actuelle l'un des problèmes de santé publique les plus répandus à l'échelle internationale. Ces maladies sont causées par divers agents en particulier les microorganismes pathogènes. En plus des virus et des bactéries pathogènes, les champignons toxigènes constituent un danger réel pour la santé de l'homme et de l'animal par la sécrétion de substances hautement toxiques au cours de leur prolifération dans les aliments d'origine végétale ou animale. Ces substances qu'on regroupe sous le nom des mycotoxines sont répandues dans tous les stades de la chaîne alimentaire. Dans ce travail, nous présentons un aperçu général sur les principales mycotoxines (les aflatoxines, l'ochratoxine A, la zéaralénone et la fumonisine B1), leur structure chimique, leur toxicité et les aliments contaminés. Une comparaison entre la réglementation des mycotoxines par les autorités marocaines et européennes a fait aussi l'objet d'une revue dans ce travail. Finalement, nous présentons les résultats des principales investigations effectuées sur la présence de ces toxines dans certaines denrées alimentaires commercialisées au Maroc à travers l'expérience du laboratoire de Toxicologie de l'Institut National d'Hygiène de Rabat.

Mots clés : Mycotoxines, réglementation, contamination, aliments, Maroc.

1. Introduction

Les mycotoxines sont des contaminants naturels de l'alimentation humaine et animale, elles sont produites par les moisissures toxigènes des genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*. Elles ont une composition chimique très variable, ce qui fait que leurs propriétés physico-chimiques et toxicologiques sont extrêmement variées. Plus de 400 mycotoxines sont actuellement identifiées à l'échelle internationale, elles sont produites par quelques 200 variétés de champignons toxiques. Vu leur stabilité thermique, ces substances constituent un danger potentiel chez l'homme et les animaux.





Parmi ces substances, seules quelques unes d'entre elles attirent l'attention des chercheurs. Ce sont les aflatoxines (AFs), l'ochratoxine A (OTA), la fumonisine B₁ (FB₁), la zéaralénone (ZEA) et les trichothécènes (déoxynivalénol (DON), toxines T-2 et HT2). Les propriétés chimiques et biologiques des mycotoxines sont diverses et leurs effets toxiques sont extrêmement variables. Ces effets concernent en général la carcérogénocité, la génotoxicité, la tératogénocité, la néphrotoxicité, l'hépatotoxicité et l'immunotoxicité (Creppy et al., 2002). Les mycotoxines sont des métabolites capables de provoquer chez l'homme des syndromes spécifiques. Non seulement les mycotoxines sont dangereuses pour la santé du consommateur, mais elles altèrent aussi la qualité marchande des produits contaminés entraînant ainsi de fortes pertes économiques.

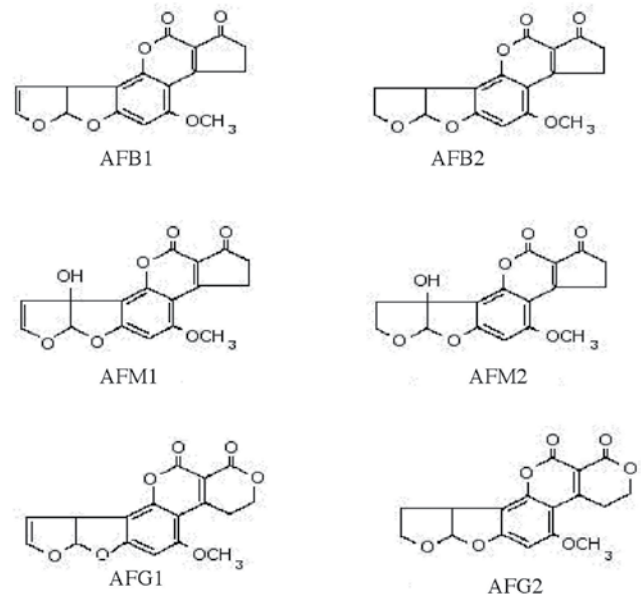
Le Maroc est un pays entouré par l'océan Atlantique et par la mer Méditerranéenne, caractérisé par un climat chaud et humide favorisant la croissance des moisissures dans les zones côtières abritant environ 70% de la population totale. Ces conditions climatiques sont probablement favorables pour la croissance des moisissures et la production des mycotoxines. Les premières observations relevées par Ninard et Hinterman dès 1945 à l'Institut National d'Hygiène du Maroc ont signalé une intoxication de porcs par une alimentation moisie, cependant peu de travaux ont été entrepris pour rapporter la contamination des denrées alimentaires par les champignons toxigènes. En effet, les premières études préliminaires faites à l'IAV Hassan II ont montré que certains produits agricoles marocains étaient contaminés par l'AFB1 et l'OTA (Tantaoui-ELaraki et al., 1994). Cependant, un grand effort a été entrepris par les scientifiques marocains ces dernières années dans le but de tracer un bilan de connaissance actuel sur la contamination des denrées alimentaires de base commercialisées dans le pays par les mycotoxines, de comparer les résultats trouvés aux données déjà publiés dans certains pays voisins de la région méditerranéenne et dont le climat est similaire à celui du Maroc notamment les pays Nord-africains (Tunisie, Algérie, Egypte) et les pays de la côte Nord de la méditerranée (Espagne, France, Italie, Portugal etc.) et finalement d'étudier par la suite l'impact potentiel de la contamination chez le

consommateur par l'évaluation de l'exposition humaine à ces toxines.

Le présent papier a pour but de tracer un bilan de l'ensemble des travaux de recherches qui ont été effectués sur les mycotoxines dans les aliments commercialisés au Maroc tout en insistant sur l'expérience du Laboratoire de Toxicologie Alimentaire de l'Institut National d'Hygiène dans le domaine des recherches sur les mycotoxines.

1.1. Les aflatoxines

Les Aflatoxines (AFs) sont des mycotoxines produites par les souches toxigènes d'*Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* et *Aspergillus nomius*. Elles ont été détectées dans différents types d'aliments dans différents pays du monde; elles sont considérées comme de dangereux contaminants des aliments destinés à l'homme et aux animaux. Les aflatoxines ont été isolées et caractérisées pour la première fois en Angleterre après la mort d'environ 100.000 dindonneaux suite à l'ingestion d'une farine d'arachide importée du Brésil.



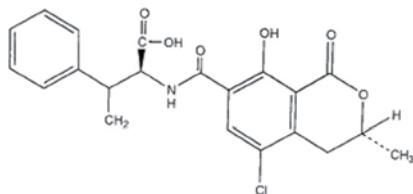
Quoique 20 aflatoxines ont été identifiées, 6 parmi elles (AFB1, AFB2, AFG1, AFG2, AFM1 et AFM2) attirent l'attention des chercheurs (Figure 1). *A. flavus* produit les aflatoxines de type B uniquement, alors que les deux autres espèces produisent les aflatoxines B et G. L'AFB1 est la substance la plus cancérigène parmi les substances d'origine naturelle. En effet, l'AFB1 est classée par l'Agence Internationale de Recherche sur le Cancer dans le



groupe 1 comme un cancérigène potentiel chez l'homme et les animaux (IARC, 1993). Différentes études épidémiologiques ont impliqués les AFs dans l'augmentation de l'incidence du cancer gastro-intestinal et hépatique en Afrique, en Philippines et en Chine. Récemment, des cas d'intoxications aiguës affectant une large zone géographique au Kenya causant environ 123 cas de décès ont été reportés par le CDC d'Atlanta (CDC, 2004).

De nombreuses études et programmes entrepris dans de nombreux pays ont montré que les AFs peuvent contaminer une large gamme de graines d'aliments notamment celles des céréales et des fruits secs. L'incidence des AFs et leurs concentrations dans les produits contaminés dépend des conditions environnementales notamment de la température et de l'humidité pendant le stockage.

1.2. L'ochratoxine A

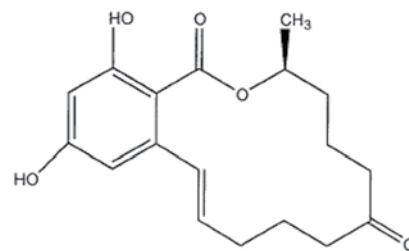


L'ochratoxine A (OTA, figure 2), chimiquement connue comme le N-{{[(3R)-5-chloro-8-hydroxy-3-méthyl-1-oxo-7- isochromanyl]-carbonyl}}-3-phenyl-L-alanine, est un métabolite secondaire produit par certaines espèces du genre *Aspergillus* (*A. ochraceus*) et par *Penicillium verrucosum*. D'autres *Aspergilli* sont connues par leur capacité de produire cette toxine (*A. alliaceus*, *A. ostianus*, *A. sclerotiorum*, *A. sulphureus*, *A. melleus*, *A. petrakii*, *A. glaucus*, *A. niger*, *A. awamori*, *A. foetidus*, *A. carbonarius*, *A. albertensis*, *A. auricomus* and *A. wentii*). Dans les climats froids, *Penicillium spp.* ont été trouvés responsables de la contamination des produits agricoles par l'OTA. En effet, cette toxine contamine aussi bien les céréales (orge, blé, maïs, avoine), le café vert, les jus de fruits (fruit de raisins), le vin ainsi que les épices.

L'OTA a reçu beaucoup d'attention ces dernières années pour ses effets toxiques et son incidence élevée dans les aliments. Il a été démontré que l'OTA est néphrotoxique, carcinogène, immunotoxique, génotoxique et tératogène pour

toutes les espèces animales testées (Creppy, 2002). Des effets génotoxiques comme les aberrations chromosomiques et les cassures des fragments d'ADN ont été également observés chez les cellules des mammifères suite à l'exposition à l'OTA. L'OTA a été impliquée dans la néphropathie des pays des balkans (Bulgarie, Roumanie, Serbie, Croatie, Bosnie et Herzégovine, Slovénie et Macédoine) (Pfohl-Leskowicz et al. 2002). La Consommation d'aliments contaminés par l'OTA pendant la grossesse et/ou pendant l'enfance est suspectée d'induire des lésions de l'ADN des testicules chez les enfants. L'OTA est classée par l'IARC comme un carcinogène potentiel chez l'homme (groupe 2B) (IARC, 1999). Le Comité mixte d'experts FAO/OMS sur les additifs alimentaires a établie une prise hebdomadaire tolérable (PHA) d'OTA de l'ordre de 100 ng/kg p.c. correspondant approximativement à une prise journalière tolérable (PJT) de 14 ng/kg p.c. (JECFA, 2001). Récemment, l'Autorité Européenne de Sécurité Alimentaire a proposé une nouvelle valeur de la PHT d'environ 120 ng OTA/kg p.c., correspondant à une valeur journalière de 17.1 ng/kg p.c. (EFSA, 2006).

1.3. La zéaralénone

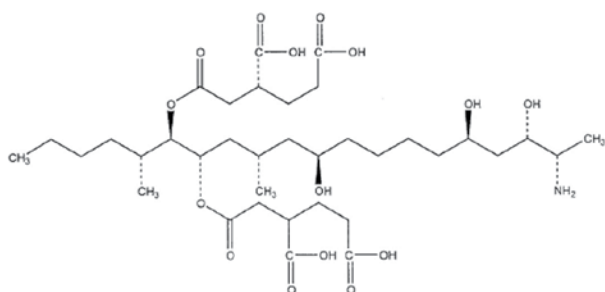


La zéaralénone (ZEA, figure 3), anciennement connue sous le nom de la toxine F-2, est une mycotoxine produite par une variété d'espèces du genre *Fusarium*, notamment *F. graminearum* (*Gibberella zeae*), *F. culmorum*, *F. cerealis*, *F. equiseti*, *F. crookwellense* et *F. semitectum* (Zinedine et al., 2007a). Les moisissures productrices de la ZEA contaminent en particulier le maïs, mais aussi l'orge, l'avoine, le blé, le millet et le riz. La contamination des graines par les moisissures toxigènes a lieu généralement dans les champs. La ZEA a été fréquemment impliquée dans des désordres reproductifs chez les animaux de ferme, et occasionnellement dans des syndromes hyper-



œstrogéniques chez l'Homme. Il a été démontré que la ZEA et ses métabolites possèdent une activité œstrogénique chez le porc et les animaux du bétail. Cependant la ZEA est connue par sa faible toxicité aiguë. De plus la ZEA a été connue par ses effets hépatotoxiques, hématotoxiques, immunotoxiques et génotoxiques. La ZEA contamine divers aliments dans les régions tempérées dans le monde incluant en particulier le maïs et ses dérivés. Le Comité mixte d'experts FAO/OMS a établie une prise journalière acceptable de la ZEA de l'ordre de 0.5 µg/kg p.c.

1.4. Les Fumonisines



Les fumonisines sont un ensemble de toxines produites par les espèces du genre *Fusarium* comme *F. verticillioides* (ou *F. moniliforme*) et *F. proliferatum* (Creppy, 2002). Les fumonisines contaminent fréquemment le maïs et les produits à base de maïs. La fumonisine B1 (FB1) est la principale toxine dans ce groupe. La FB1 (figure 4) a été détectée dans le maïs et ses produits de base de maïs à des concentrations élevées de l'ordre des mg/kg (ppm).

La FB1 peut causer des mycotoxicoses aiguës chez les animaux de la ferme comme la leukoencephalomalacie chez les équidés et des œdèmes pulmonaires chez le porc, la FB1 est également hépatotoxique et néphrotoxique pour le porc, le rat, la souris et le lapin. L'IARC a déclaré les toxines produites par *F. moniliforme* comme des cancérigènes potentiels chez l'homme et les a classées dans le groupe 2B (IARC, 1993). La FB1 est phytotoxique, elle endommage les membranes cellulaires et réduit la synthèse de la chlorophylle. Elle perturbe la biosynthèse des sphingolipides chez les plantes. Elle inhibe la croissance cellulaire et altère le métabolisme lipidique chez *Saccharomyces cerevisiae*. Chez l'homme, il n'y a aucune confirmation de la toxicité aiguë des fumonisines,

cependant une corrélation entre l'exposition aux fumonisines en Afrique du Sud et le cancer de l'œsophage a été suggéré (Norred et Voss, 1994).

2. Réglementation des mycotoxines

Plusieurs pays ont établi ou proposé des limites réglementaires concernant les mycotoxines dans les aliments. Depuis 1974, certains pays de l'UE ont arrêté des taux limites d'aflatoxines. En mars 1999, en collaboration avec l'OMS, La FAO a parrainé la 3ème conférence mondiale sur les mycotoxines. La conférence a été organisée pour sensibiliser les décideurs aux risques sanitaires et aux effets économiques potentiels de la contamination des denrées alimentaires et des produits d'alimentation animale, et de promouvoir l'harmonisation des réglementations et les procédures de contrôle et pour recommander des stratégies permettant d'évaluer, de prévenir et de lutter contre la contamination par les mycotoxines. Les pays de l'Union européenne ont édité un règlement CE 98 pour limiter la présence des mycotoxines dans l'alimentation humaine. Ce règlement a été révisé plusieurs fois et chaque année la commission européenne publie ces réglementations d'une manière régulière, le dernier portant le N° CE 1881/2006 date du 19 décembre 2006.

Actuellement au Maroc, il n'y a pas des normes ou des limites réglementaires fixant les teneurs maximales des mycotoxines dans l'alimentation humaine et animale. Cependant, un projet de réglementation de ces toxines a été préparé vers la fin des années 90 par le comité interministériel pour le contrôle alimentaire et la répression des fraudes (CIPCARF) mais il n'a pas encore été adopté (FAO, 2004). Ce projet prévoit la normalisation des contaminants minéraux et organiques dans les aliments et fixe les concentrations maximales admissibles des mycotoxines dans certaines denrées destinées à l'alimentation humaine et animales. Même si d'après les documents de la FAO, ce projet est complet, mais certaines limites proposées restent élevées et nécessitent une révision, d'autres limites sont encore absentes et nécessitent d'être ajoutées avant l'adoption définitive de ce projet. Dans le tableau I nous avons essayé de faire une comparaison entre les limites proposées par les autorités marocaines et celle adoptées par les pays de l'UE.

Tableau I : Comparaison entre le projet marocain de réglementation des principales mycotoxines et la réglementation européenne en vigueur (règlement CE N° 1881/2006)

Mycotoxine	Limites maximales européennes (µg/kg ou µg/l)	Limites maximales (Projet marocain)	Matrice alimentaire
AFB1	2	5	Céréales et dérivés
AFT	4	10	Céréales et dérivés
AFM1	0,05	0,05	Lait et dérivés
	0,025	0,03	Lait pour nourrissons
AFB1	5	-	Epices
AFT	10	-	Epices
OTA	2	-	Vins et boissons
	5	30	Céréales
	3	-	Dérivés de céréales
	10	-	Raisins secs
	10	-	Café soluble instantané
	0,5	-	Dérivés de céréales pour nourrissons
ZEA	100	200	Céréales
	200	-	Maïs brut
	50	-	Pain
	20	-	Dérivés de céréales pour nourrissons
Fumonisines	2000	-	Maïs brut
	1000	-	Farine de maïs
	200	-	Dérivés de maïs pour nourrissons

3. Les mycotoxines dans les denrées alimentaires marocains

3.1. Céréales et dérivés

Au Maroc, les céréales occupent une importance sociale, économique et nutritionnelle pour la population. En raison des périodes de sécheresse qu'a connu le Maroc ces deux dernières décennies, la production céréalière a enregistré une diminution de 25 à 85 %, entraînant un approvisionnement auprès de pays tiers pour satisfaire le marché national. Ainsi le Maroc importe ses besoins en céréales de différents pays notamment la France, les USA, le Canada, le Brésil, la Russie et l'Australie. Actuellement on estime qu'environ 25 % des céréales commercialisées à l'échelle internationale sont contaminées par des mycotoxines (Devegowda et al., 1998). Dès les années 70, les premières investigations faites à l'IAV Hassan II ont montré que certains produits agricoles marocains incluant

les céréales se sont révélées susceptibles d'héberger des spores d'*Aspergillus* toxigènes. Plus tard, une série d'analyse supportée par le Direction de la Répression des Fraudes entre 1991-1992 ont montré qu'un échantillon de maïs a été trouvé contaminé par 18 µg/kg d'AFB1 (Tantaoui-Elaraki et al., 1994).

Dans une étude que nous avons effectués sur la contamination de 60 échantillons de céréales commercialisés au Maroc par les mycotoxines ont montré que 40, 40 et 55% des échantillons analysés de maïs, de blé et d'orge sont respectivement contaminés par l'OTA (Zinedine et al., 2006). Dans les échantillons d'orge, les niveaux de l'OTA varient entre 0,04 et 0,8 µg/kg, avec une concentration moyenne de l'ordre de 0,17 µg/kg. Dans les échantillons de blé, la concentration de l'OTA varie entre 0,04 et 1,73 µg/kg avec une concentration moyenne de l'ordre de 0,09 µg/kg. Dans les échantillons de blé et d'orge, la ZEA et la FB₁ étaient au dessous de la limite de détection de ces toxines.

En ce qui concerne le maïs, la concentration moyenne en OTA est d'environ 0,43 µg/kg, alors que la valeur la plus élevée était de l'ordre de 7,22 µg/kg. Cette valeur dépasse la limite maximale fixée par la réglementation européenne concernant l'OTA dans les céréales qui est établie à 5 µg/kg. Concernant la co-occurrence naturelle des toxines de *Fusarium* avec l'OTA parmi les céréales analysées, 15 et 50% des échantillons de maïs contaminés avec l'OTA se trouvent aussi contaminés avec la ZEA et la FB₁. Les concentrations en ZEA variait entre et 11,8 et 16,5 µg/kg alors que les concentrations en FB₁ se situent entre 0,01 et 5,96 mg/kg. Les valeurs moyennes des concentrations de la ZEA et la FB₁ sont respectivement de 2,09 µg/kg et 0,96 mg/kg. Tous les échantillons de maïs contaminés par l'OTA étaient contaminés par une autre mycotoxine (ZEA ou FB₁). Un seul échantillon a été trouvé contaminé simultanément par les trois mycotoxines avec des concentrations respectives de 13,5 µg/kg de ZEA, 0,05 µg/kg d'OTA et 1,51 mg/kg de FB₁. La concentration la plus élevée en FB₁ a été enregistrée au niveau d'un échantillon du maïs (5,96 mg/kg). Cette valeur dépasse largement la valeur fixée par la réglementation européenne dans le maïs (2 mg/kg). Une concentration élevée de

l'ordre de 5,5 mg/kg en FB₁ a été retrouvée dans un autre échantillon, cependant le taux d'OTA dans cet échantillon demeure faible (0,11 µg/kg). Ces résultats suggèrent que la co-occurrence de l'OTA et de la FB₁ dans les échantillons de maïs analysés est probablement due à deux processus de contamination séparés par les moisissures toxigènes du champ (*Fusarium*) et de stockage (*Aspergillus*). Dans une autre étude que nous avons réalisé sur la contamination de la farine de maïs commercialisée dans la région de Rabat par les aflatoxines, les résultats ont montré une forte incidence de 80% avec une valeur maximale de 11,2 µg/kg (Zinedine et al., 2007d). 10% des échantillons analysés ont dépassé la LMR (4µg/kg) d'AFs totales fixés par la législation européenne en vigueur. En moyenne, le Maroc consomme un million de tonnes de maïs par année, il importe le maïs essentiellement des USA et de l'Argentine. Le maïs est considéré parmi les céréales à risque de contamination élevée par les moisissures toxigènes, à la différence des autres céréales susceptibles d'être plus résistantes à la contamination par les moisissures, comme l'orge et le blé. Ce qui impose un contrôle régulier des taux des mycotoxines dans cette céréale.

Le riz (*Oryza sativa* L.) est parmi les céréales dont la consommation est devenue importante au Maroc ces dernières années. Sur un potentiel de 25 000 ha dans la région du Gharb, la superficie cultivée varie entre 500 et 13 000 ha en fonction de la pluviométrie. En moyenne la population marocaine consomme 60 000 tonnes de riz par année (2 kg/personne/an). A cause de la sécheresse, la production du riz a diminué considérablement de 44 000 tonnes en 1993 à 2500 tonnes en 1995, entraînant une extensive importation d'autres pays. Le riz est une céréale naturellement contaminée par les spores d'*A. ochraceus*. Ces données nous ont poussé à rechercher l'OTA dans le riz commercialisé dans la région de Rabat- Salé (Zinedine et al., 2007b). Les résultats obtenus ont montré que l'OTA contamine fortement les échantillons du riz analysé (90%). Les niveaux de contamination varient entre 0,02 et 32,4 µg/kg. La teneur de l'OTA dans 15% d'échantillons analysés a dépassé les teneurs maximales admissibles fixées par la réglementation européenne (5 µg/kg).

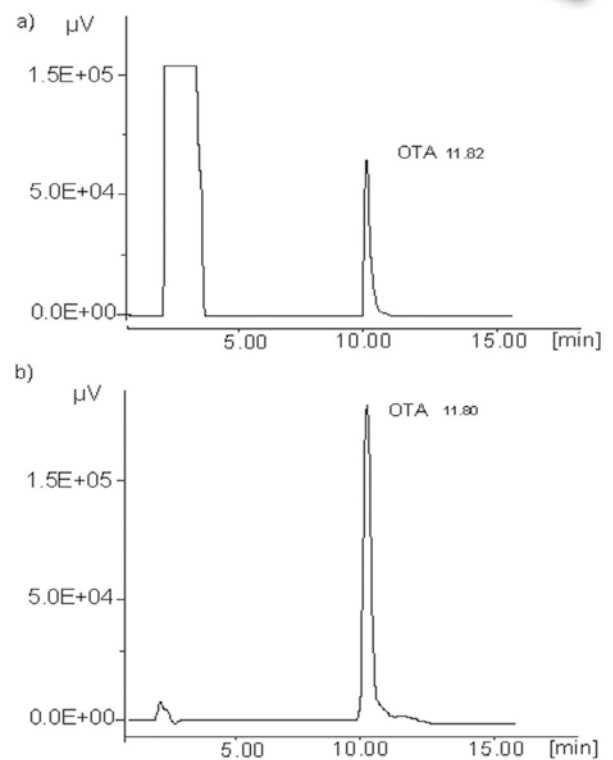


Figure 5 Chromatogrammes HPLC: a) Un échantillon de pain naturellement contaminé contenant 1,3 ng/g d'OTA; b) Solution standard d'OTA à 10 ng/mL.

La contamination de certaines céréales disponibles sur le marché marocain par l'OTA, nous a poussé à rechercher cette mycotoxine dans un aliment quotidien à haute valeur nutritionnelle pour la population marocaine à savoir le pain. Cet aliment stratégique est très consommé par la population mondiale. L'OMS recommande une consommation moyenne de 250 g/jour correspondant à 90 kg/an. On estime que la consommation moyenne du pain au Maroc avoisine 210 kg/personne/an (i.e. 577 g/personne/jour), cette prise de pain est considérée parmi les plus élevées à l'échelle internationale. La recherche de l'OTA dans 100 échantillons de pain commercialisés dans cinq différentes villes du pays (Casablanca, Rabat, salé, Témara et Méknès) a révélé que un fort pourcentage de contamination de l'ordre de 48% (Figure 5). La moyenne de l'OTA est de l'ordre de 13 µg/kg (Zinedine et al., 2007e). La teneur de l'OTA dans 26% des échantillons totaux a dépassée la LMR (3 µg/kg) fixée par la législation européenne dans les produits céréaliers. En se basant sur la consommation moyenne du pain au Maroc, nous avons estimé la prise journalière de l'OTA à partir du pain chez un sujet de 60 kg



Tableau II : Résultats des investigations effectuées par l'équipe de l'INH sur la présence des mycotoxines dans les aliments

Aliments	N	Mycotoxine recherchée	% de contamination	Type d'extraction, purification et analyse	% d'échantillons > LMRs *	Références
Céréales et dérivés						
Blé	20	OTA	40	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2006)
Farine de luxe	17	AFs	17,6	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2007d)
Orge	20	OTA	55	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2006)
Maïs	20	AFs	80	IAC + HPLC	10	Zinedine et al. (2007d)
	20	OTA	40	IAC + HPLC	5	Zinedine et al. (2006)
	20	ZEA	15	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2006)
	20	FB1	50	IAC + HPLC	10	Zinedine et al. (2006)
Pain	100	OTA	48	ASE + HPLC	26	Zinedine et al. (in press «a»)
Riz	20	OTA	90	ASE +HPLC	15	Zinedine et al. (2007b)
Lait pasteurisé	54	AFM1	88.8	IAC + HPLC	7,4	Zinedine et al. (2007c)
Fruits secs						
Raisins	20	AFB1	20	IAC + HPLC	20	Juan et al. (in press «b»)
	20	OTA	35	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2007b)
Pistaches	20	AFB1	45	IAC + HPLC	20	Juan et al. (in press «b»)
	20	OTA	-	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2007b)
Figs	20	AFB1	5	IAC + HPLC	-	Juan et al. (in press «b»)
	20	OTA	65	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2007b)
Arachide	20	AFB1	5	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (in press «b»)
	20	OTA	25	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2007b)
Noix	20	AFB1	30	IAC + HPLC	20	
	20	OTA	35	IAC + HPLC	-	
Olives noires	25	OTA	36	Liquide-liquide +HPLC	-	Zinedine et al. (2004)
Epices						
Poivre	15	AFs	47	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2006)
Cumin	14	AFs	57	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2006)
Gingembre	12	AFs	86	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2006)
Piment	14	AFs	100	IAC + HPLC	-	Zinedine et al. (2006)

• LMRs : limites maximales de résidus fixées par la réglementation européenne. • n: Nombre d'échantillons analysés • IAC : colonne d'immuno-affinité • ASE : «Accelerated Solvant Extraction»

à 126 ng/kg pc/j. cette valeur est considérée 7 fois supérieure à la prise journalière tolérable fixée par les autorités européennes qui est de 17,1 ng/kg pc/j (EFSA, 2006) et 9 fois supérieure à la prise tolérable fixée par le comité FAO/OMS qui est de l'ordre de 14 ng/kg pc/j. Ces résultats indiquent que les céréales utilisées pour la fabrication du pain commercialisé dans les différentes boulangeries du pays sont contaminées par l'OTA ce qui indique que la population marocaine est fortement exposée aux effets toxiques de l'OTA et cette exposition peut être expliquée en partie la fréquence des cas de néphropathies enregistrés en particulier chez les jeunes marocains des deux sexes qui sont aux environs de 2 million de cas. Cependant cette hypothèse nécessite une confirmation et ce

par la détermination de l'OTA dans les produits biologiques (sérum, urines, lait maternel) chez des sujets sains et des patients présentant une néphropathie interstitielle chronique ou une insuffisance rénale chronique ainsi que dans leur alimentation comme il a été effectué dans certains pays de la région méditerranéenne comme la Tunisie ayant un régime alimentaire similaire au Maroc.

3.2. Fruits secs

La population marocaine consomme de grandes quantités de fruits secs directement ou sous forme d'ingrédients dans des préparations traditionnelles préparées pendant les festivités et le mois de Ramadan. Plusieurs fruits consommés dans le pays sont importés (pistaches, cacahuètes...) et peu



d'informations sur leur qualité sont disponible. Pour cela, des échantillons de raisins secs, de figues sèches, de noix et de cacahuètes ont été contrôlés pour leur pouvoir de renfermer de l'OTA. Les résultats ont montré que les incidences de l'OTA sont respectivement de l'ordre de 30, 65, 35, et 25% (Zinedine et al., 2007b). Au Maroc, les techniques traditionnelles pour la transformation et la conservation of fruits sont encore utilisées. Au Maroc, les techniques traditionnelles sont encore utilisées pour la transformation et la conservation des fruits. Ces pratiques sont des conditions optimales (température, humidité etc...) pour la croissance des moisissures et la production des mycotoxines. En effet, le séchage naturel qui consiste en l'exposition directe des fruits au soleil, est largement utilisé spécialement en milieu rural.

3.3. Epices

En général, certaines épices à l'état naturel constituent un milieu non favorable pour la croissance des moisissures et la production de mycotoxines. Les huiles essentielles du girofle et de la cannelle ont montré un effet inhibiteur sur la croissance d'*A. parasiticus* et de *F. moniliforme*. L'addition des extraits du girofle dans les épices a montré une inhibition considérable de la production des aflatoxines. Cependant nous avons noté qu'au Maroc certaines épices commercialisées (le gingembre et le piment) sont frauduleusement additionnées par d'autres produits comme la farine du blé (luxé) en insistant sur un ajout volontaire d'un colorant artificiel pour procurer la couleur normal de l'épice. Les épices sont dotées de propriétés de préservation et elles sont utilisées également comme antioxydants. Elles sont aussi utilisées en médecine traditionnelle, ce qui fait que leur valeur marchande est assez élevée dans le marché international. Les épices sont produites par les pays ayant un climat tropical ou subtropical et dont la température, l'humidité et les précipitations sont importantes. Après leur récolte, les épices sont souvent laissées sur le sol dans une aire ambiante pour sécher. Ce qui constitue dans la majorité des cas des conditions idéales pour la croissance des moisissures et la production de mycotoxines. Les épices (poivre, piment, cumin, gingembre etc.) sont largement utilisées dans plusieurs pays du monde notamment en Afrique et en Asie. En cuisine marocaine, les épices sont utilisées notamment pour

la préparation de plats chauds et délicieux comme les «Tagines et la Tangia», le «Couscous», ou encore «Rfissa» etc., et ce dans le but développer des goûts particuliers ou une couleur adorée. Vu leur propriété antimicrobienne, certaines épices sont utilisées aussi dans la conservation traditionnelle de certains aliments comme le «Kaddid», le «Kliaâ» etc.

Dans une étude que nous avons effectuée sur l'incidence des aflatoxines dans les échantillons d'épices commercialisées au Maroc, les résultats ont montré que le piment et le gingembre était plus contaminés en comparaison avec le poivre et le cumin (Zinedine et al., 2006). Cependant le taux de contamination était faible et en dessous des normes internationales. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Bartine et Tantaoui-Elaraki (1997) qui ont trouvé que la croissance des souches de moisissures toxigènes d'*A. flavus* était très faible sur le curcumine, le poivre blanc et le poivre noir.

3.4. Lait pasteurisé

L'aflatoxine M1 (AFM1) est un dérivé hydroxylé de la molécule mère AFB1 formé par les enzymes associés au cytochrome P450 du foie. L'AFM1 est excrétée dans le lait des vaches laitières ayant été nourries par une alimentation contaminée par l'AFB1. L'AFM1 peut être détectée dans le lait 12–24 h après la première ingestion de l'AFB1. Même si l'AFM1 est moins toxique que la molécule mère, différentes études ont démontré que l'AFM1 a des propriétés carcinogéniques et génotoxiques, elle a été classée dans le Groupe 1 (IARC, 2002). Au Maroc, une étude récente effectuée sur 54 échantillons de lait émanant de cinq sociétés produisant le lait pasteurisé à l'échelle nationale a montré un fort pourcentage de contamination de l'ordre de 88,8% (Zinedine et al., 2007c). Les résultats ont montré également que 7,4% des échantillons totaux ont dépassé la limite maximale de résidus d'AFM1 (0,05 µg/l) fixée dans le lait liquide par la législation européenne en vigueur. Ces résultats indiquent indirectement que l'alimentation destinée aux vaches laitières est contaminée par l'AFB1. Bien que depuis les années 70, diverses stratégies aient été adoptées pour développer le secteur laitier au Maroc, la consommation du lait par la population marocaine reste au dessous des projections envisagées. En moyenne la consommation marocaine du lait est d'environ 64 L/personne/an



(175 mL de lait/personne/jour). A partir de cette donnée, nous avons estimé la prise journalière (PJ) à 3,26 ng d'AFM1/personne/jour. Cette valeur est similaire à la PJ estimée par le comité JECFA (2001) pour la diète des pays de l'Amérique Latine (3,5 ng d'AFM1/p/j), cependant elle est considérée environ 32 fois supérieure à la PJ estimée pour la diète des pays Africains (0.1 ng d'AFM1/p/j).

3.5. Olives noires de table

La production d'olives au Maroc représente environ 6.9% de la production mondiale. Cependant le secteur reste moins développé. En effet, les méthodes traditionnelles de récolte, et le long stockage des fruits à des températures ambiantes (20-24 °C) agissent fortement sur la qualité des fruits. Les olives noires de tables sont préparées par un ancien processus qui consiste en un salage et un séchage. Les olives noires récoltées sont salées et remplies dans des sacs et laissés pour maturation spontanée à l'air libre. Ces conditions sont favorables à la croissance des moisissures. Gourama et al. (1985) ont isolé à partir des olives des souches toxigènes d'*A. flavus* and *A. ochraceus* produisant les aflatoxines et les ochratoxines. Ces données nous ont poussés à rechercher l'OTA parmi des échantillons d'olives noires en vente chez les détaillants dans la région de Rabat-Salé. Les résultats ont montré que sur 25 échantillons totaux, 9 échantillons étaient contaminés par de faibles teneurs d'OTA (Zinedine et al., 2004).

4. Conclusion

Dans cette revue de littérature, nous avons essayé de présenter la majorité des travaux qui ont été effectués par l'équipe du département de Toxicologie de l'INH de Rabat sur la contamination des aliments par les mycotoxines. Selon les résultats trouvés, il paraît clairement que la population marocaine n'est pas à l'abri du danger causé par ces toxines du fait qu'un ensemble de denrées alimentaires était fortement contaminés par ces substances (lait pasteurisé, pain, maïs...) et que le niveau de contamination a parfois dépassé les limites réglementaires fixés par la réglementation européenne en vigueur. On peut conclure que cette contamination a lieu du fait de l'absence de contrôles de routine par les autorités compétentes et de l'absence de standards de qualité et de sécurité sanitaire des aliments (bonnes pratiques agricoles), bonnes pratiques de production, HACCP) dans les unités industrielles marocaines et les unités d'importation pour le contrôle de la croissance des moisissures et la production des mycotoxines pendant les périodes de récolte, de distribution et de stockage. Une révision des normes réglementaires proposées par les autorités marocaines s'avère nécessaire en vue de leur harmonisation avec la réglementation internationale en vigueur. Finalement, un programme de surveillance des mycotoxines est devenue une priorité nationale et ce pour la protection des consommateurs nationaux et étrangers généralement inconscients des effets néfastes provoqués à long terme par ces substances.

RÉFÉRENCES

- Bartine H, Tantataoui-Elaraki A (1997). Growth and toxigenesis of *Aspergillus flavus* isolates on selected spices. *Journal of Environmental, Pathology, Toxicology and Oncology* 16, 61-65.
- CDC, 2004. Centers for Disease Control and Prevention. Outbreak of aflatoxins poisoning-eastern and central provinces, Kenya, January-July 2004. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report* 3, 790-793.
- Creppy EE (2002). Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe. *Toxicology Letters* 127, 19-28.
- Davegowda G., Raju MVLN., Swang HVLN (1998). Mycotoxins: novel solutions for their counteraction. *Feedstuffs* 70, 12-15.
- EFSA (2006). European Food Safety Authority, Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission related to ochratoxin A in food (Question n° EFSA-Q-2005-154), the *EFSA Journal*, 365.
- FAO (2002). Food and Agriculture Organization, Worldwide regulations for mycotoxins in food and feed in 2003. *FAO Food and Nutrition Paper* N° 81. Rome, Italy.
- Gourama, H.; Tantaoui-Elaraki, A., and Fares, M (1985) Toxinogénèse et activité lipolytique de souches d'*Aspergillus flavus* et d'*A. ochraceus* isolées des olives. *Actes Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II* 5, 51-57.
- IARC (1993). Evaluation of carcinogenic risks of chemical to humans. In "Some naturally-occurring substances: Food Items and Constituents". *Heterocyclic Aromatic Amines and Mycotoxins*. IARC monographs, Lyon, France, 359-362.
- IARC (1999). Overall evaluations of carcinogenicity to humans. *IARC monographs*, 1-36.
- JECFA (2001). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Safety evaluation of certain mycotoxins in food. Prepared by the 56th Meeting of the Food Additives Series N°47. Geneva.
- Juan C, Zinedine A, Soriano JM, Moltó JC, Idrissi L, Mañes J. Aflatoxins levels in dried fruits available in Rabat-Salé area, Morocco. *Food Control* 2007 (in press).
- Norred WP, Voss KA (1994) Toxicity and role of fomonisins in animal diseases and human esophageal cancer. *Journal of Food Protection* 57, 522-527.
- Pfohl-Leszkowicz A, Petkova-Bocharova T, Chernozemsky IN, Castegnaro M. (2002) Balkan endemic nephropathy and associated urinary tract tumors : a review on etiological causes and the potential role of mycotoxins. *Food Additives and Contaminants* 19, 282-302.
- Tantaoui-Elaraki A, Benabdellah L, Majdi M, Elalaoui MR, Dahmani A (1994). Recherche des mycotoxines dans les denrées alimentaires distribués au Maroc. *Actes Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II* 14, 11-16.
- Zinedine A, Betbeder AM, Faid M, Benlemlih M, Idrissi L, Creppy EE (2004). Ochratoxin A: Determination in dried fruits and black olives from Morocco. *Alimentaria*, 359, 73-76
- Zinedine A, Brera, C, Elakhdari, S, Catano, C, Debegnac, FR, Angelini, S, De Santis, B, Faid, M, Benlemlih, M, Minardi V, Miraglia M (2006). Natural occurrence of mycotoxins in cereals and spices commercialized in Morocco. *Food Control* 17, 868-874.
- Zinedine A, Soriano JM, Moltó JC, Mañes J (2007a). Review on the toxicity, occurrence, metabolism, detoxification, regulations and intake of zearalenone: An oestrogenic mycotoxin. *Food and Chemical Toxicology* 45, 1-18.
- Zinedine A, Soriano JM, Juan C, Mojemmi B, Moltó JC, Bouclouze A, Cherrah Y, Idrissi L, Mañes J (2007b) Incidence of ochratoxin A in rice and dried fruits from Rabat and Salé area, Morocco. *Food Additives and Contaminants* 24, 285-291.
- Zinedine A, Gonzales-Osnaya L, Soriano JM, Moltó JC, Idrissi L, Mañes J (2007c). Presence of aflatoxin M1 in pasteurized milk from Morocco. *International Journal of Food Microbiology* 114, 25-29.
- Zinedine A, Soriano JM, Juan C, Moltó JC, Idrissi L, Mañes J (2007d). Limited Survey for the occurrence of aflatoxins in cereals and poultry feeds from Morocco. *International Journal of Food Microbiology*, 115: 124-127.
- Zinedine A, Juan C, Idrissi L, Mañes J. (2007e) Ochratoxin A in bread consumed in Morocco. *Microchemical Journal*, 87: 154-158