

**OCHRATOXINE A EN CÔTE D'IVOIRE : MOISSURES
OCHRATOXINOGENES, EXPOSITION HUMAINE ET DETOXIFICATION
DES ALIMENTS**

James Halbin KOUADIO*

*Laboratoire de Nutrition et de Sécurité Alimentaire, UFR STA, Université
Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 02 BP 801 Abidjan*

et

*Département de Biochimie et de Microbiologie, Université Jean Lorougnon
GUEDE, Daloa, Côte d'Ivoire, BP 150 Daloa*

* Correspondance, e-mail : jameshalbink@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'ochratoxine A (OTA) est une mycotoxine produite par les moisissures principalement des genres *Aspergillus* et *Penicillium* qui prolifèrent sur une variété de produits agricoles tels que les céréales, le café et le cacao. Les effets toxiques majeurs de l'OTA sont la néphropathie, l'immunotoxicité et probablement le cancer chez l'homme. Ce travail constitue une synthèse des études menées en Côte d'Ivoire sur l'OTA dans le but de disposer d'une base de données fiables pour une meilleure évaluation de risque de pathologies liées à cette toxine mais également de définir les grandes orientations des recherches futures sur l'OTA en Côte d'Ivoire. La méthode d'étude a consisté à collecter des données issues des publications scientifiques sur l'OTA en Côte d'Ivoire disponibles dans les bases de données telles que *MEDLINE/PubMed*, *Elsevier Bibliographic Databases*, *BioInfoBank Library*, *DOAJ (Directory of Open Access Journal)*, *AJBASWEB.COM* et *Medwelljournals.com* mais également des rapports de stages et d'études non encore publiés ou en cours de publication. Il ressort de la synthèse des données collectées que les moisissures ochratoxinogènes majeures identifiées sont *Aspergillus carbonarius*, *A niger* et *A ochraceus*. L'exposition humaine évaluée aussi bien par la présence naturelle dans les aliments que par le dosage du biomarqueur d'exposition à l'OTA révèle que 35% de la population générale serait exposée de façon significative à l'OTA. Les études de détoxification des cerises café et des fèves de cacao montrent une réduction de l'ordre de 73 à 93% des teneurs initiales de l'OTA montrant ainsi que ces deux produits et leurs produits dérivés restent des sources marginales d'apport d'OTA dans l'alimentation humaine. En conclusion, les études sur l'OTA devront être poursuivies car il n'existe pas suffisamment

James Halbin KOUADIO

des données sur les aliments de base permettant de réaliser une meilleure évaluation de risque. De plus, aucune stratégie de réduction de la contamination des aliments par l'OTA n'est disponible.

Mots-clés : *ochratoxine A, moisissures, aliments, exposition, Côte d'Ivoire.*

ABSTRACT

Ochratoxin A in Côte d'Ivoire: mould producers, human exposure and foods detoxification

Ochratoxin A (OTA) is a mycotoxin produced by mould that mainly belongs to *Aspergillus* and *Penicillium* genera. OTA is a food contaminant generally found in cereals, oleaginous, coffee and cocoa. Nephropathy, probably cancer for Human and immunotoxicity are the major toxic effects caused by OTA. The present study is a synthesis of studies carried out on OTA in Côte d'Ivoire in order to have sure data on OTA not only for a best risk assessment but also to define future research axes on OTA in Côte d'Ivoire. References and publications related to OTA in Côte d'Ivoire were searched and selected. *MEDLINE/PubMed, Elsevier Bibliographic Databases, BioInfoBank Library, DOAJ (Directory of Open Access Journal), AJBASWEB.COM and Medwelljournals.com* were used as databases. But, stage or studies report and thesis were also searched. Synthesis of data collected showed that the majors mould species producing OTA were *Aspergillus carbonarius*, *A niger* and *A ochraceus*. Human OTA exposure evaluated by both food OTA occurrence and OTA biomarker analysis reveals 35% of Ivorian population may significantly contaminated by OTA. Detoxification studies on coffee cherries and cocoa beans show a reduction in the order of 73 to 93% of the initial contents of the OTA showing these two products and their derivatives remain marginal sources of supply of OTA in food. In conclusion, OTA studies should be pursued because there is not enough data on staple foods to achieve a better assessment of risk. In addition, no strategy to reduce foods contamination by the OTA is available.

Keywords : *ochratoxin A, mould, foods, exposure, Côte d'Ivoire.*

I - INTRODUCTION

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires produits par de nombreuses moisissures appartenant principalement aux espèces des genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*. Ces moisissures toxigènes peuvent proliférer sur une diversité de produits agricoles dont les céréales, les

oléagineux, le café et le cacao. Les principales mycotoxines les plus étudiées sont l'aflatoxine B₁ (AFB₁), l'ochratoxine A (OTA), les fumonisines B₁ (FB₁), la zearalenone (ZEA) et le déoxynivalenone (DON) en raison de leur abondance dans les aliments et de leur toxicité avérée aussi bien chez l'homme que chez les animaux d'élevage ou de laboratoire. Les effets toxiques majeurs causés par ces mycotoxines sont le cancer, les insuffisances rénales et hépatiques, les malformations des nouveau-nés [1 - 4]. Dans ce contexte, les études sur les mycotoxines répondent à plusieurs objectifs dont la mise en place non seulement d'une bonne politique de protection de la santé publique mais aussi des dispositions adéquates de prévention. Citons, parmi ces mesures de prévention, la mise en place de protocole des bonnes pratiques agricoles tel que le suivi de la culture au champ jusqu'au lieu de stockage et une meilleure conservation des denrées lors de leur stockage. En Côte d'Ivoire, selon les données bibliographiques disponibles, l'OTA apparaît comme la mieux connue notamment les sources de production, la présence alimentaire, les moyens de détoxification et l'évaluation de l'exposition dans la population générale. La principale raison est la présence de l'OTA dans le cacao et le café qui sont des matières premières destinées à l'exportation dans des pays où il existe des systèmes de contrôle édictés par une législation de plus en plus stricte en matière de normes de sécurité sanitaire des aliments. Ce regain d'intérêt pour l'OTA en Côte d'Ivoire a permis de mener des études sur les denrées alimentaires destinées à la consommation locale [5,6].

II - MÉTHODOLOGIE

Il s'agit de faire la synthèse des travaux relatifs à l'OTA jusqu'à ce jour en Côte d'Ivoire. Les premières études ont porté sur la présence des mycotoxines dans les aliments de grande consommation en Côte d'Ivoire, sur les matières premières notamment le café et cacao ainsi que les moyens de détoxification et enfin sur les bio-marqueurs d'exposition dans la population générale vivant essentiellement à Abidjan. Les sources bibliographiques consultées sont des articles originaux publiés dans les bases de données telles que *MEDLINE/PubMed*, *Elsevier Bibliographic Databases*, *BioInfoBank Library*, *DOAJ (Directory of Open Access Journal)*, *AJBASWEB.COM* et *Medwelljournals.com* mais également des rapports de stages et d'études non encore publiés ou en cours de publication. Le présent article concerne l'ensemble des travaux de recherche effectués sur l'OTA en Côte d'Ivoire notamment l'identification des espèces de moisissures ochratoxinogènes, la présence de l'OTA dans les aliments étudiés, les moyens de détoxification et l'évaluation de l'exposition dans la population générale. Une analyse critique

des données actuelles sur l'OTA est également réalisée en relevant les avancées mais également les limites ce qui permettra de dégager de nouvelles perspectives de recherche sur l'OTA en Côte d'Ivoire.

III - RÉSULTATS

III-1. Microflore ochratoxinogène en Côte d'Ivoire

Les études menées sur l'identification des moisissures ochratoxinogènes dans les aliments en Côte d'Ivoire ont été réalisées essentiellement sur les cerises de café [7,8].

Dans une étude menée sur l'influence du délai de mise en séchage sur la contamination du café robusta (*Coffea canephora*) par les espèces fongiques et l'ochratoxine A, les auteurs ont rapporté que les espèces de moisissures ochratoxinogènes identifiées dans les cerises de café sont du genre *Aspergillus*. Il s'agit de souches d'*A. Niger*, d'*A. carbonarius* et d'*A. ochraceus* sont capables de produire l'OTA mais contrairement à *A. Niger*, toutes les souches d'*A. carbonarius* et d'*A. ochraceus* isolées dans cette étude sont productrices à 100% de ladite toxine [7]. En effet, bien qu'*A. niger* soit l'espèce fongique majoritairement isolée (42,2-100%), seulement 2,8 à 4,9% des souches de cette espèce sont productrices de l'OTA ce qui confirmait les résultats des travaux antérieurs qui avaient révélé que sur 115 souches d'*A. Niger* testées, seulement 2 % étaient productrices de l'OTA [9]. La capacité des souches d'*A. carbonarius* à produire et à sécréter en abondance l'OTA dans les cerises de café Robusta a été démontré plus récemment [8].

En effet, après une étude descriptive de la contamination des cerises de café par des moisissures mycotoxinogènes, il a été rapporté que plusieurs souches appartenant au groupe *Aspergillus Nigri* ont montré leur aptitude à produire non seulement de l'ochratoxine A mais aussi de l'aflatoxine. Cependant, l'espèce *A. carbonarius* reste la plus ochratoxinogène, par contre cette souche ne produit pas d'aflatoxine dans les cerises de café [8]. Par ailleurs, la prolifération de ces espèces de moisissures *A. carbonarius*, *A. ochraceus* et *A. Niger* et leur aptitude à sécréter l'OTA dans les cerises de café peuvent être régulées par plusieurs facteurs notamment la température, l'activité de l'eau, la lenteur du séchage des cerises lors du séchage au soleil, le délai de mise en séchage après cueillette des cerises et la présence de bactéries lactiques (LAB) [7-11]. En effet, une température supérieure à 42°C et une activité de l'eau (a_w) de 0.75 inhibent non seulement la prolifération des moisissures ochratoxinogènes en l'occurrence *A. carbonarius*, *A. ochraceus* et *A. niger* mais aussi la sécrétion de l'OTA dans les cerises de café [10]. De même un

délaï maximum d'un jour entre la cueillette et le séchage limite de beaucoup l'infestation des cerises seulement 5%. Pourtant, à partir de 4 jours de stockage des cerises avant leur mise en séchage, tous les échantillons de cerises de café analysés contiennent des grains infectés. Le taux d'OTA le plus élevé (1517,1 µg/kg de café vert) est observé dans les cerises dont le séchage a démarré le 6^{ème} jour après la récolte [7]. Enfin, deux souches de LAB notamment *Lactobacillus plantarum* ayant un effet important d'inhibition de croissance des moisissures mycotoxinogènes, ont clairement démontré une activité antifongique contre les souches d'*A. Carbonarius* [8]. Aussi, ont été isolées plusieurs espèces de moisissures susceptibles de produire l'OTA notamment des genres *Aspergillus* et *Penicillium* aussi bien des cerises de café que des fèves séchées de cacao [7, 8, 12]. Concernant les cerises de café, en plus des espèces *A. carbonarius*, *A. niger* et *A. ochraceus*, il a été également trouvé *A. flavus*, *A. japonicus*, *A. fumigatus* (Kouadio et al., 2006) [7] et des espèces du genre *Penicillium* [8]. Les moisissures isolées des fèves de cacao [12] sont résumés dans le tableau ci-dessous (**Tableau 1**).

Tableau 1 : *Espèces de moisissures susceptibles de produire l'OTA isolées des fèves de cacao en fonction des localités [12]*

Localités	Microorganismes identifiés	Microorganismes dénombrés
Duékoué	<i>Absidia corymbifera</i>	1.87 x 10 ⁷ CFU.g ⁻¹
	<i>Aspergillus flavus</i>	
	<i>Aspergillus tubingensis</i>	
	<i>Aspergillus tamaraii</i>	
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	
Alépé	<i>Absidia corymbifera</i>	2.01 x 10 ⁶ CFU.g ⁻¹
	<i>Aspergillus flavus</i>	
	<i>Aspergillus tubingensis</i>	
	<i>Aspergillus tamaraii</i>	
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	
Soubré	<i>Rhizopus oryzea</i>	1.46 x 10 ⁶ CFU.g ⁻¹
	<i>Aspergillus tubingensis</i>	
	<i>Aspergillus tamaraii</i>	
	<i>Penicillium chrysogenum</i>	
	<i>Absidia corymbifera</i>	

Source : [12]

III-2. Présence de l'ochratoxine A dans les aliments

La véritable étude consacrée à la présence naturelle de l'ochratoxine A dans les aliments en Côte d'Ivoire est celle réalisée sur les fèves de cacao [13] et plus récemment sur la farine de maïs sur tous les grands marchés des 10 communes de la ville d'Abidjan [14]. Toutefois, il existe quelques études préliminaires sur le mil, les arachides et le café sous-grade [5 - 6]. Aussi, ont été réalisées des études de simulations de pratiques post-récoltes pouvant entraîner une présence de l'OTA dans le café et le cacao [15, 7, 10-11].

III-2-1. L'OTA et les fèves de cacao

Une étude a été réalisée sur la présence naturelle de l'OTA dans les fèves de cacao destinées à l'exportation dans les ports d'Abidjan et de San Pedro et ces fèves provenaient de toutes les zones de production du cacao en Côte d'Ivoire [13]. Cette étude avait révélé que seuls 33 des 300 échantillons de fèves de cacao prélevés présentaient une teneur en OTA supérieure à la limite maximale de l'OTA envisagée par l'UE pour le cacao (2 $\mu\text{g}/\text{kg}$), ce qui représente un pourcentage de 11% de la production de cacao et les concentrations en OTA variaient de 0 à 8.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (**Tableau 2**). Le port d'Abidjan présentait une probabilité de rejet de l'ordre de 15.33% avec une norme fixée à 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ par l'Union Européenne regroupant les pays exportateurs majeurs. La probabilité de rejet à San Pedro est plutôt faible seulement de 6.67%. Une autre étude réalisée sur des échantillons directement collectés chez les producteurs de cacao a révélé que seulement 1 sur 28 échantillons analysés présentait un taux de OTA de l'ordre de 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ [16]. Enfin dans une autre étude [17], il a été montré une corrélation entre l'état sanitaire des cabosses de cacao et la présence de l'OTA. Les cabosses mutilées sont les plus contaminées par l'OTA suivies des cabosses pourries. De plus, les concentrations d'OTA dans les fèves de cacao variaient tout au long de l'année avec un pic maximum au mois de février (**Figures 1 et 2**). Ces valeurs peuvent être superposables à l'évolution de la qualité des fèves de cacao en grades GI, GII et SG (**Figure 3**) [13].

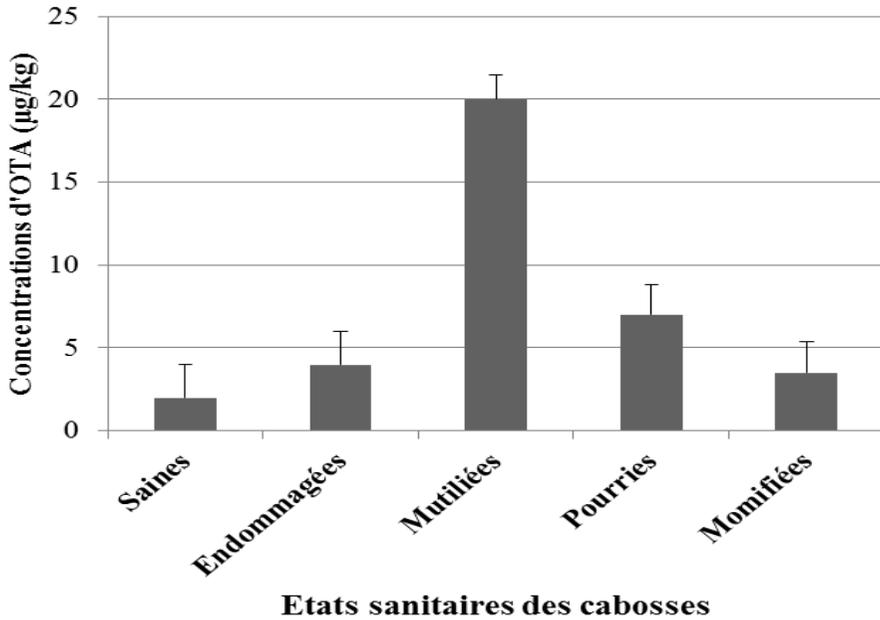


Figure 1 : Corrélation état sanitaire des cabosses de cacao et présence d'OTA dans les fèves ($\mu\text{g/kg}$) [17]

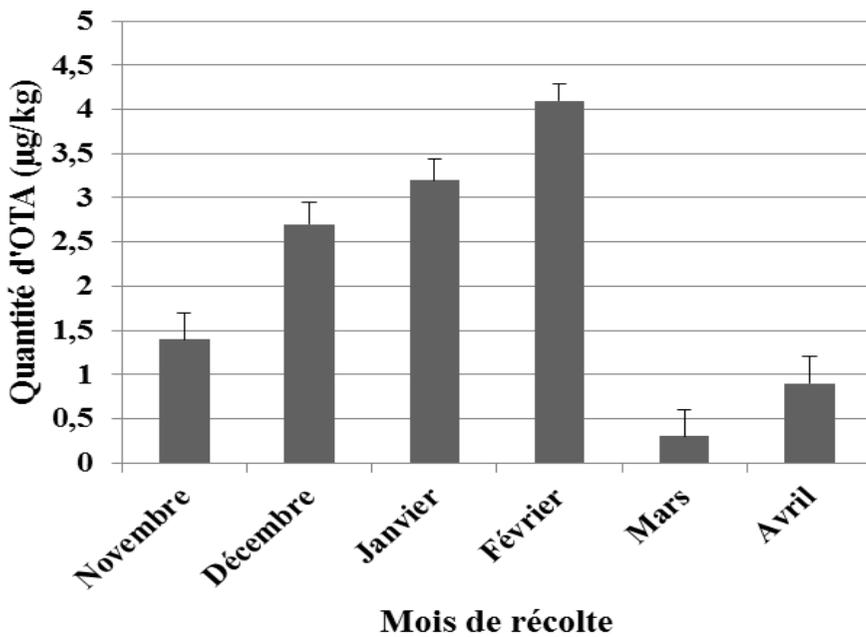


Figure 2 : Variation des teneurs en OTA en fonction des mois de récolte ($\mu\text{g/kg}$) [17]

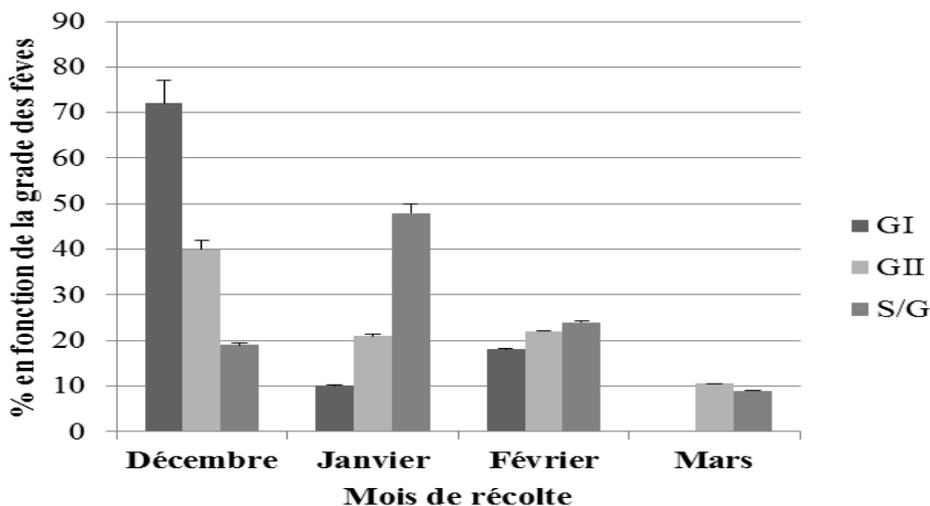


Figure 3 : Evolution saisonnière des grades (GI, GII et SG) des fèves de cacao [13]

III-2-2. L'OTA et les cerises de café

Les données disponibles sur la présence naturelle de l'OTA dans les cerises de café Robusta sont issues de l'étude menée sur du café Robusta sous grade «brisure», c'est-à-dire contenant 30 à 40% de grains noirs (qualité inférieure) mais destinée à la consommation locale, les grades GI et GII étant destinées à l'exportation [18]. Sur un total de 47 échantillons de café analysés, plus de 63% avaient un taux d'OTA supérieur à 20 μ g/kg avec un maximum de 31.3 μ g/kg (**Tableau 2**). Certes, les taux observés ne sauraient être représentatifs du niveau de contamination en Côte d'Ivoire dans la mesure où le café GI et GII n'étaient pas inclus dans cette étude [16]. Cependant, pour le consommateur ivoirien ou local, le risque d'exposition à l'OTA est très élevé car c'est ce café qui est destiné à sa consommation et qu'après torréfaction, seulement le quart des échantillons analysés avaient présenté des taux inférieurs à 5ppb, le taux maximum acceptable au niveau européen pour le café torréfié [18].

Par ailleurs, dans des études consacrées à l'impact des traitements post-récoltes tels que le délai de stockage avant séchage des cerises de café et l'épaisseur des tas au cours du séchage, il a été rapporté que l'OTA peut être trouvée à des taux très élevés allant de 0.97 à 1517 μ g/kg de café vert [7,11].

III-2-3. L'OTA et le maïs

Parmi les céréales, le maïs est de loin le plus étudié quant à sa contamination par l'OTA. Il avait été rapporté, dans une étude réalisée entre 1998 à 2002, des concentrations d'OTA dans le maïs allant de 3 à 1738 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et ce dans 100% échantillons (n=41) analysés (Sangaré et al., 2006). Cependant, les mêmes auteurs avaient rapportés dans une autre étude (n = 10) incluant l'analyse de l'aflatoxine B1, zearalenone et la fumonisine B1, des teneurs en OTA nettement plus faibles variant entre 0.16 et 0.86 $\mu\text{g}/\text{kg}$ [6]. Devant ces valeurs d'OTA dans le maïs apparemment aussi contradictoires, une étude récente a été réalisée dans le but d'évaluer le niveau réel du risque d'exposition aux mycotoxines dont l'OTA lié à la consommation farine de maïs qui est directement destinée à la consommation humaine et qui est supposée contenir de faibles concentrations de mycotoxines. La farine de maïs a été collectée sur tous les grands marchés des 10 communes de la ville d'Abidjan. Cette étude a révélé que seulement 13% des échantillons de farine maïs analysés contiennent de l'OTA (n = 51) mais avec des concentrations pouvant atteindre 119 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de maïs [14]. Cependant, la présence de l'OTA dans le maïs vendu sur les marchés de la ville d'Abidjan semble localisée dans la commune de Yopougon et dans une moindre mesure dans la commune d'Abobo [14].

III-2-4. L'OTA, le riz, le mil et les arachides

Les seules données disponibles sur la présence naturelle de l'OTA dans le mil, le riz et l'arachide sont celles publiées depuis 2006 [5 - 6] et ces données semblent ne pas coïncider. En effet, dans une première étude dont les échantillons avaient collectés sur les marchés de Trechville, Abobo et Adjamé, trois (03) communes de la ville d'Abidjan entre 1998 et 2002, les concentrations d'OTA étaient de 17-204 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 9-92 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et 0.6-64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ respectivement pour le mil, le riz et l'arachide [5 - 6]. Ces concentrations sont largement supérieures à 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ce qui n'est pas le cas dans la seconde étude dont les valeurs d'OTA rapportées dans ces mêmes produits alimentaires (riz, mil et arachide) et de surcroit de mêmes origines car prélevés également sur les marchés de Treichville, Abobo et Adjamé de la ville d'Abidjan, étaient nettement inférieures à 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ [6]. Ces valeurs sont 0.16-0.92 $\mu\text{g}/\text{kg}$ et 0.0-0.64 $\mu\text{g}/\text{kg}$ respectivement pour le riz et l'arachide [6].

Tableau 2 : Récapitulatif des données sur la présence naturelle de l'OTA dans les aliments produits en Côte d'Ivoire

Aliments	Nombre (n)	% OTA positifs	Moyennes ($\mu\text{g/kg}$)	Intervalle ($\mu\text{g/kg}$)	Auteurs
Maïs	40	60	116 ± 155	3 - 1738	[5]
	10	100	0.36 ± 0.25	0.09 - 0.86	[6]
	51	13	-	nd - 113.9	[14]
Café SG	63	100	22.9 ± 5.5	12.08 - 31.29	[18]
Café SG torréfié	63	100	6.17 ± 1.46	3.6 - 10.7	[18]
Cacao	300	76	1 ± 0.9	0 - 8.2	[13]
	28	39	0.19 ± 0.46	0 - 2	[16]
Riz	10	100	44 ± 32	9 - 92	[5]
	10	100	0.52 ± 0.33	0.16 - 0.9	[6]
Arachides	10	60	23 ± 24	0.6 - 64	[5]
	10	60	0.38 ± 0.18	nd - 0.50	[6]
Mil	33	100	64.5 ± 31	17 - 204	[5]

nd : non détecté en dessous de la limite de détection

III-3. Evaluation de l'exposition à partir des bio-marqueurs d'exposition à l'OTA

L'OTA est la seule mycotoxine dont on dispose des données sur les bio-marqueurs d'exposition dans la population générale [19,14]. Dans ces études, le bio-marqueur de l'OTA recherché était la molécule d'OTA elle-même soit dans le sang soit dans l'urine. Ainsi, la première étude réalisée depuis 2006 sur des échantillons de sang total obtenus chez des volontaires sains vivant à Abidjan, avait révélé que 34.9% des échantillons de sang analysés (n = 63) étaient OTA-positifs et les concentrations étaient de 0.01- 5.81 $\mu\text{g/L}$ avec une valeur moyenne de 0.83 $\mu\text{g/L}$ [19]. Plus récemment, dans une seconde étude, réalisée cette fois sur les urines de volontaires sains vivant à Abidjan et à Daloa, il a été rapporté que 35% des échantillons (n = 99) étaient OTA-positifs avec des concentrations comprises entre 0.01 et 0.42 $\mu\text{g/L}$ d'urine

[14]. Le niveau d'exposition à l'OTA a été trouvé plus élevé chez les volontaires vivant à Daloa (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Bio-marqueurs d'exposition à l'OTA en Côte d'Ivoire [18,14]

Population cible	Nombre d'échantillons	Pourcentage (%) OTA-positifs	Moyenne (ng/ml)	Intervalle (ng/ mL)	Auteurs
Volontaires sains	63	34.9	0.35	0.01 – 5.81	[18]
Volontaires néphropathes	39	20.5	1.05	0.17 – 2.42	[18]
Volontaires Abidjan	50	26%	0.136±0.14	0.01 – 0.28	[14]
Volontaires Daloa	49	43%	0.24±0.18	0.02 – 0.42	[14]

III-4. Détoxification des aliments OTA-positifs

Les études de détoxification des aliments-OTA positifs c'est-à-dire d'élimination de l'OTA dans les denrées alimentaires ont concerné essentiellement le café et le cacao. La méthode utilisée aussi bien pour le café que pour les fèves de cacao est la torréfaction qui consiste à porter à certaine température (140 – 230 °C) les denrées pendant un temps relativement court compris généralement entre 20 et 30 min [15,18].

L'étude de détoxification des cerises de café avait été réalisée sur du café vert utilisé dans cette étude est du genre Robusta sous grade « brisure », c'est-à-dire contenant 30 à 40% de grains noirs fortement contaminé par l'OTA avec une concentration moyenne de 22.87µg/kg ce qui permettait une meilleure appréciation de l'effet de la chaleur sur la toxine. Les échantillons de café pour le dosage de l'OTA avaient été prélevés avant et après la torréfaction du café dans le but d'évaluer l'élimination de l'OTA sous l'effet de la chaleur. Les conditions de torréfaction étaient de 200°C pendant 20 minutes et la capacité du torréfacteur est de 200kg de café. Les échantillons pour l'analyse étaient prélevés après refroidissement et homogénéisation du café torréfiés. La torréfaction des cerises de café a été répétée 47 fois ce qui a permis de doser l'OTA dans 47 échantillons de café avant torréfaction et 47 échantillons de café torréfié [16]. Les résultats de l'étude avaient révélé que le taux d'OTA pouvait être réduit à plus de 73% après torréfaction. Ainsi, pour une concentration moyenne de 22.87µg/kg d'OTA dans le café vert, seulement 6.17µg/kg d'OTA était retrouvé dans le café torréfié [18].

Une étude similaire a été réalisée sur les fèves de cacao mais incluait d'autres procédés en plus de la torréfaction [15]. L'étude avait pour but d'évaluer l'impact des cinq (05) étapes de la transformation industrielle (torréfaction, décorticage, broyage, pressage et ajout des adjuvants) des fèves de cacao en chocolat sur la teneur initiale en OTA. Ainsi, les échantillons analytiques ont été prélevés avant et après chacune des 5 étapes de la transformation. Pour l'étape de torréfaction, les conditions étaient de 140°C pendant 30min et la capacité du torréfacteur était de 500g de fèves de cacao. De cette première étape, il en était ressorti une réduction du taux de l'OTA qui varie entre 24 et 39% [15]. Ensuite, après décorticage des fèves torréfiées et séparation des coques des amandes (deuxième étape de la transformation), une faible quantité d'OTA avait été trouvée dans les amandes mais une forte teneur dans les coques.

Ainsi, le décorticage des fèves torréfiées réduisait le taux d'OTA à plus de 76% dans les amandes lesquelles avaient été par la suite broyées et pressées à une température de 60°C pendant 30min pour l'obtention de la pâte de cacao. Enfin, à cette pâte avait été ajouté un mélange de sucre, de lait et du beurre et après une homogénéisation, un prélèvement avait été fait pour le dosage de l'OTA. Les étapes de broyage et de pressage n'avaient pas modifié de façon significative le taux dans la pâte de cacao. Par contre, l'ajout des adjuvants avait réduit de moitié soit 52% la concentration de l'OTA dans la mesure où la quantité de la pâte doublait [15]. Ainsi, il avait été conclu que depuis les fèves de cacao jusqu'au chocolat, la teneur en OTA diminuait à plus de 93% et que le décorticage était l'étape la plus importante dans la détoxification des fèves de cacao [15].

IV - DISCUSSION

Les études menées sur l'OTA en Côte d'Ivoire ont fourni une base de données assez diversifiée comprenant l'identification des moisissures ochratoxinogènes, l'exposition humaine et animale, les moyens possibles de détoxification des aliments-OTA positifs [5-19].

A l'analyse des travaux effectués sur l'identification de la microflore ochratoxinogène en Côte d'Ivoire, des données fiables sont disponibles sur les cerises de café Robusta dans la mesure où les résultats des différents auteurs coïncident [7-8, 10-11]. Il a été rapporté que les espèces majeures de moisissures ochratoxinogènes sont l'*Asperillus carbonarius*, *A niger* et *A ochraceus*. Cependant, celles réalisées sur les fèves de cacao sont assez limitées, l'aptitude des espèces de moisissures à sécréter l'OTA dans les fèves de cacao n'a pas été étudiée [12]. Cependant, des études réalisées au Cameroun et au Brésil sur l'ochratoxinogénèse dans les fèves de cacao en

séchage ont montré qu'*Aspergillus carbonarius* est la principale espèce productrice d'OTA avec une production maximale pouvant atteindre 2.77 mg/g dans certains milieux de culture [20,21]. Dans une moindre mesure, *Aspergillus Niger* a été trouvée productrice d'OTA [20,21]. Les résultats de ces études corroborent avec ceux rapportés sur les cerises de café [7,8]. Cependant, l'identification de la microflore ochratoxinogène l'est moins pour les céréales en l'occurrence le maïs, le mil, le riz produit localement et les oléagineux qui sont susceptibles d'être de bons substrats pour les moisissures ochratoxinogènes [1,6,14,21]. Pourtant, une meilleure connaissance des espèces de moisissures mycotoxinogènes proliférant sur les aliments en Côte d'Ivoire serait une avancée dans la lutte pour la réduction de l'exposition aux mycotoxines dans la population ivoirienne.

La présence naturelle de l'OTA dans les aliments consommés en Côte d'Ivoire a été étudiée également et les valeurs d'OTA rapportées semblent identiques aussi bien pour les fèves de cacao que pour l'arachide et les céréales notamment le maïs, le riz et le mil [6, 13,14]. Dans l'étude menée en 2006, les concentrations de l'OTA rapportées étaient largement inférieures à 1µg/kg [6]. En effet, des analyses d'échantillons de maïs, de riz et d'arachide (n = 10 pour chaque aliment) présentaient des concentrations d'OTA inférieures à 1µg/kg [6] ce qui a été confirmé récemment pour le maïs dans une autre étude dans laquelle seulement 7 sur 51 échantillons (13%) de farine de maïs analysés contenaient de l'OTA [14]. L'analyse de ces résultats suggère que l'exposition humaine à l'OTA est relativement faible en Côte d'Ivoire. Toutefois, les études sur la recherche des bio-marqueurs d'exposition dans la population générale c'est-à-dire sur un échantillon de volontaires apparemment en bonne santé révèlent que plus du tiers de la population ivoirienne (environ 35%) serait exposée à l'OTA [14,19]. Cela révélerait que les aliments jusque-là étudiés pour leur contamination par l'OTA ne seraient pas les meilleurs substrats pour les moisissures ochratoxinogènes en Côte d'Ivoire. Il est donc impérieux de mener d'autres investigations aux fins d'identifier clairement les sources d'exposition à l'OTA en Côte d'Ivoire.

Par ailleurs, l'étude sur les fèves de cacao destinées à l'exportation a révélé une faible présence de l'OTA, seulement 11% d'échantillons (n = 300) avaient teneur en OTA supérieure à 2µg/kg [13]. Dans cette étude, il a été constaté qu'une corrélation pourrait être établie entre la classification des fèves de cacao en Grades GI, GII et Sous grade (SG) en fonction de la qualité sanitaire selon la législation ivoirienne et la présence de l'OTA dans le cacao. Cette même observation avait été faite avec la présence de l'OTA dans les cerises de café [18]. En effet, la probabilité de rejet (teneur en OTA supérieure à 2µg/kg) était très faible pour les fèves GI (1.5%) en

comparaison aux fèves GII (13.6%) et aux fèves SG (13.63%). Les causes de cette présence de l'OTA dans les fèves de cacao GII et SG sont diverses notamment les mauvaises pratiques post-récoltes. Cependant, le transport des fèves des zones de production jusqu'aux différents ports pourrait être l'une des causes majeures de la survenue de l'OTA. En effet, dans une étude antérieure réalisée dans les toutes les zones de production en Côte d'Ivoire sur des fèves de cacao prêtes à la vente aux pisteurs (prélèvement des échantillons avec les producteurs) et quelques soient les pratiques post-récoltes courantes, seul 1 sur 28 échantillons analysés présentait un taux de OTA de l'ordre de $2\mu\text{g}/\text{kg}$ [16]. Cela démontre que naturellement, la sécrétion l'OTA de moisissures ochratoxinogènes dans les fèves de cacao est faible [13, 16]. Ainsi, dans une étude menée sur l'incidence des traitements industriels sur la teneur de l'OTA présente dans les fèves de cacao, il a fallu réaliser une contamination artificielle de l'OTA de par des pratiques post-récoltes exagérément mauvaises pour avoir une concentration conséquente de l'ordre de $22\mu\text{g}/\text{kg}$ [15].

De plus, cette faible présence de l'OTA dans les fèves de cacao pourrait être justifiée par l'absence des espèces de moisissures des genres *Aspergillus* et *Penicillium* productrices de l'OTA notamment *Aspergillus carbonarius*, *A. ochraceus*, *A. niger* et *Penicillium verrucosum* mais plutôt une forte présence de *Aspergillus flavus* principale espèce productrice des aflatoxines [12].

En comparaison à certains pays de l'Afrique de l'Ouest comme le Nigéria, il est rapporté des niveaux élevés de contamination des fèves de cacao par l'OTA. En effet, dans une étude réalisée dans trois zones de production du cacao du Nigéria, 92% (n = 59) des échantillons analysés étaient contaminés par l'OTA avec des concentrations comprises entre 1 et $277\mu\text{g}/\text{kg}$ [23]. Mais, les auteurs de cette étude avaient liés cette forte présence de l'OTA dans les fèves de cacao aux mauvaises pratiques post-récoltes notamment lors des étapes de fermentation et de séchage des fèves [23]. Il est connu qu'une application des bonnes pratiques post-récoltes permet d'éviter non seulement la prolifération des moisissures mais aussi la sécrétion des mycotoxines [13,17] et cela a été démontré avec les cerises de café produites en Côte d'Ivoire [7,11].

Par exemple, un délai assez long s'écoulant entre la cueillette et le séchage des cerises, un mauvais étalement des cerises lors du séchage, une activité de l'eau a_w encore élevée au-dessus de 8% (séchage incomplet) et le mauvais triage des cerises sont des facteurs susceptibles d'entraîner la prolifération des moisissures toxigènes [7,8,11,13].

Enfin, les travaux sur la détoxification des fèves de cacao et des cerises de café vert révèlent que l'OTA peut être éliminée dans l'ordre de 73 à 92% [15,18]. Les procédés les plus pertinents sont la torréfaction et le décortilage.

En effet, la torréfaction conduit à une réduction de 24 à 39% pour les fèves de cacao mais à plus de 73% pour les cerises de café. Ces résultats sont certes inférieurs à 90% de réduction telle que rapportée par d'autres auteurs [24] mais ont l'avantage de montrer une réduction des taux d'OTA à des températures de torréfaction relativement faibles de l'ordre de 140°C. Le décorticage ou le depelliculage restent le meilleur procédé de réduction de l'OTA [15]. Les moisissures proliférant à la surface des fèves ou des grains, l'enlèvement de l'enveloppe (coque ou pellicule) ou même le lavage des grains conduit à une élimination très significative des mycotoxines en général [15,25]. Cela a été confirmé avec les grains de maïs dont les opérations de triages, de lavage et de depelliculage pouvaient réduire dans l'ordre de 50 à 93% des concentrations initiales d'aflatoxines et de fumonisines [25].

V - CONCLUSION

La synthèse des travaux réalisés sur l'OTA en Côte d'Ivoire a permis de constituer une base de données couvrant plusieurs domaines notamment l'identification des moisissures ochratoxinogènes, la présence naturelle dans les aliments et l'exposition humaine ainsi que la détoxification des aliments-OTA positifs. Cependant, les investigations méritent d'être poursuivies en identifiant les moisissures ochratoxinogènes dans les substrats tels que les céréales, les fèves de cacao tout en clarifiant leurs conditions de prolifération. Aussi, convient-il de poursuivre les investigations sur le niveau réel de contamination des aliments (y compris les aliments non encore explorés) au plan national et d'évaluer l'implication de l'OTA dans l'étiologie des pathologies rénales en Côte d'Ivoire. Enfin, les stratégies de réduction de l'OTA dans les aliments devront être étudiées eu égard aux pratiques post-récoltes et aux conditions climatiques. En effet, il est rapporté que l'acide acétique est puissant inhibiteur de l'espèce *Aspergillus carbonarius* connue à ce jour comme l'espèce la plus ochratoxinogène dans les cerises de café et même des fèves de cacao [26].

RÉFÉRENCES

- [1] - E. E. CREPPY Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe. Toxicol Lett. 127 (2002) 19-28.
- [2] - CASTEGNARO M. and Wild C.P. IARC activities in mycotoxin research. Natural Toxins 3: (1995) .327-331.
- [3] - COKER R.D. Mycotoxins and their control: constraints and opportunities. NRI bulletin, (1997). p79.
- [4] - RADONIC M. and RADOSEVIC A. Clinical features of Balkan endemic nephropathy. Food Chem. Toxicol. 30: (1992). 189-192.

- [5] - SANGARE-TIGORI B., MOUKHA S., KOUADIO H.J., BETBEDER A.M., DANO D.S., CREPPY E.E.. Co-occurrence of aflatoxin B1, fumonisin B1, ochratoxin A and zearalenone in cereals and peanuts from Cote d'Ivoire. *Food Addit Contam.* 23: (2006) .1000-1007.
- [6] - SANGARE-TIGORI B, DEM AA, KOUADIO HJ, BETBEDER AM, DANO DS, MOUKHA S, CREPPY EE. Preliminary survey of ochratoxin A in millet, maize, rice and peanuts in Cote d'Ivoire from 1998 to 2002. *Hum Exp Toxicol.* 25: (2006). 211-216.
- [7] - KOUADIO A.I., AGBO N.G., LEBRIHI A., MATHIEU F., PFOHL-LESZKOWIZ A., DOSSO M. B. and NEMLIN G. Influence du délai de mise en séchage sur la cinétique de production de l'ochratoxine A dans le café vert. *J. sci. pharm. biol.* 7 : (2006). 7-19
- [8] - DJOSSOU O., PERRAUD-GAIME I., MIRLEAU L.F., RODRIGUEZ-SERRANO G., KAROU G., NIAMKE S., OUZARI I. BOUDABOUS A., and ROUSSOS S. Robusta coffee beans post-harvest microflora: *Lactobacillus plantarum* sp. as potential antagonist of *Aspergillus carbonarius* *Anaerobe* 17: (2011). 267-272
- [9] - HEENAN C.N., SHAW K.L. and PITT J.I. Ochratoxin A production by *Aspergillus carbonarius* and *Aspergillus niger* isolates and detection using coconut cream agar. *Journal of Food Mycology* 1: (1998). 63-72.
- [10] - KOUADIO A.I., LEBRIHI A., AGBO N.G., MATHIEU F., PFOHL-LESZKOWIZ A. and DOSSO M. B. Influence de l'interaction de la température et de l'activité de l'eau sur la croissance et la production de l'ochratoxine A par *Aspergillus niger*, *Aspergillus carbonarius* et *Aspergillus ochraceus* sur un milieu de base café. *Canadian Journal of Microbiology* 53 : (2007). 852-859
- [11] - KOUADIO I.A. , KOFFI L.B., NEMLIN JG, and DOSSO MB Effect of Robusta (*Coffea canephora* P.) coffee cherries quantity put out for sun drying on contamination by fungi and ochratoxin A (OTA) under tropical humid zone (Côte d'Ivoire). *Food and Chemical Toxicology* 50: (2012). 1969
- [12] - TAGRO S.G., YAO M.K., NEVRY R.K., N'DRI D.Y. and NIAMIEN P. Enumeration and identification of main fungal isolates and evaluation of fermentation's Degree of Ivorian raw cocoa beans. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1: (2007). 479-486.
- [13] - DEMBELE A., COULIBALY A., TRAORE S.K., MAMADOU K., SILUE N. and ABBA A.T. Détermination du niveau de contamination de l'ochratoxine A (OTA) dans les fèves de cacao à l'exportation. *TROPICULTURA* 27 : (2009). 26-30
- [14] - KOUADIO J.H., LATTANZIO V. and VISCONTI A. Occurrence of mycotoxins in maize flour intended for human consumption and their possible exposure urinary biomarkers in Côte d'Ivoire. *Report in Mycored project global report.* (2012).

- [15] - MANDA, P. ; DANO, S. D. ; KOUADIO, J. H. ; DIAKITE, A. ; SANGARE-TIGORI, B. ; EZOULIN, M. J.M., SOUMAHORO, A.; DEMBÉLÉ, A. and FOURNY, G. Impact of industrial treatments on ochratoxin A content in artificially contaminated cocoa beans. *Food additives & contaminants* 26: (2009). 1081-1088
- [16] - KARINE L. Projet PACCC/ICCO/ Industrie sur l'amélioration de la qualité du cacao en Côte d'Ivoire. Rapport d'étude. (2001).
- [17] - DEMBELE A., FOURNI G., MANDA P et NEMLIN G. Contamination du café et du cacao par l'ochratoxine A en Côte d'Ivoire. Rapport d'étude du programme OTA N° DP/IVC/2005/16. Ministère de l'Agriculture, Direction Générale des Productions et de la Diversification Agricoles de la République de Côte d'Ivoire. (2007).
- [18] - DANO DS., MANDA P., KOUADIO JH., DEMBELE AA. and DIAKITE A Etude de l'incidence de la torréfaction appliquée au café vert sur la réduction du taux de l'ochratoxine A (OTA) dans le produit fini. *European Journal of Scientific Research*. 26: (2008). 393-401.
- [19] - SANGARE-TIGORI B., MOUKHA S., KOUADIO J.H., DANO D.S., BETBEDER A.M., ACHOUR A. and CREPPY E.E. Ochratoxin A in human blood in Abidjan, Côte d'Ivoire. *Toxicon*. 47: (2006). 894-900.
- [20] - MOUNJOUENPOU P., GUEULE D., FONTANA-TACHON A., GUYOT B., TONDJE P.R. and GUIRAUD J.P. Filamentous fungi producing ochratoxin a during cocoa processing in Cameroon. *Int J Food Microbiol*. 2008 121:234-241.
- [21] - COPETTI M.V., PEREIRA J.L., IAMANAKA B.T., PITT J.I. and TANIWAKI M.H. Ochratoxigenic fungi and ochratoxin A in cocoa during farm processing. *Int J Food Microbiol*. 143: (2010). 67-70
- [22] - DONGO L., BANDYOPADHYAY R., KUMAR M. and OJIAMBO P.S. Occurrence of Ochratoxin a in Nigerian Ready for Sale Cocoa Beans. *Agricultural Journal*, 3: (2008). 4-9.
- [23] - MORGAN M.R.A., NERMEY M., CHAN H.W. and ANADERSON P.H. Ochratoxin A in pig kidney determined by enzyme-linked immunosorbant assay (ELISA). *J. Sci. food Agric*. 37: (1986). 475-480.
- [24] - FANDOHAN P., ZOUMENOU D., HOUNHOUGAN D.J., MARASAS W.F., WINGFIELD M.J. and HELL K. Fate of aflatoxins and fumonisins during the processing of maize into food products in Benin. *Int J Food Microbiol*. 98: (2005). 249-259.
- [25] - COPETTI M.V., IAMANAKA B.T., MORORO R.C., PEREIRA J.L., FRISVAD J.C. and TANIWAKI MH. The effect of cocoa fermentation and weak organic acids on growth and ochratoxin A production by *Aspergillus* species. *Int J Food Microbiol*. 155: (2012). 158-164.