

Présence des aflatoxines et de l'ochratoxine A dans les denrées alimentaires : évaluation du risque encouru par des consommateurs de poisson fermenté (adjuevan) commercialisé à Abidjan (Côte d'Ivoire)

Kouakou Gains Kpan Kpan ⁽¹⁾, Bi Bouet Diane Hyacinthe Youan ⁽²⁾,
Urbain Paul Gnonsoro ⁽¹⁾, Dembele Ardjouma ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA). Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Écotoxicologie (LCAE). 04 BP 2365 Abidjan 04 (Côte d'Ivoire). E-mail : oraclegains@gmail.com

⁽²⁾ Université Félix Houphouët Boigny. UFR des Sciences pharmaceutiques et biologiques. Abidjan (Côte d'Ivoire).

Reçu le 19 juillet 2021, accepté le 23 février 2022, mis en ligne le 30 mars 2022.

Cet article est distribué suivant les termes et les conditions de la licence CC-BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>)

Description du sujet. Le poisson fermenté « adjuevan » est utilisé comme exhausteur de gout en Afrique de l'Ouest grâce à sa saveur, mais l'environnement insalubre dans lequel cette denrée est produite porte à croire qu'elle pourrait renfermer des mycotoxines.

Objectifs. Évaluer le niveau de contamination du poisson fermenté par les aflatoxines et l'ochratoxine A (OTA) et le risque encouru par les consommateurs.

Méthode. L'ochratoxine A et les aflatoxines ont été quantifiées par chromatographie en phase liquide à haute performance dans les échantillons de poisson fermenté. Les marges d'exposition (ME) ont été déterminées pour l'OTA et les aflatoxines.

Résultats. La teneur en aflatoxine totale était comprise entre $1 \times 10^{-3} \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $42,86 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, tandis que celle de l'OTA a oscillé entre $0,09 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $0,15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Par ailleurs, les ME relatives à l'OTA ont oscillé entre 144 227 et 1 484 892 pour les effets non néoplasiques, et entre 442 134 et 4 551 995 pour les effets néoplasiques. Les ME relatives aux aflatoxines B1 et G2 ont respectivement varié entre 423 et 3 683, et entre 431 et 3 754. Pour l'aflatoxine B2, 76,04 % des ME ont été inférieures à 10 000, tandis qu'au niveau de l'aflatoxine G1, les ME ont été supérieures à 10 000.

Conclusions. L'adjuevan peut engendrer les effets cancérogènes des aflatoxines (AFB1, AFB2 et AFG2) chez le consommateur. Par contre, la consommation de l'adjuevan seule n'est pas suffisante pour l'apparition des effets (non néoplasique et néoplasique) de l'OTA et des effets cancérogènes liés à l'AFG1.

Mots-clés. Aliment fermenté, produit de la pêche, produit périssable, danger pour la santé, substance cancérogène.

Risk associated with the presence of mycotoxins (aflatoxins and ochratoxin A) in foodstuffs: the case of fermented fish (adjuevan) marketed in Abidjan (Côte d'Ivoire)

Description of the subject. The fermented fish "adjuevan" is used as a taste enhancer in West Africa because of its flavor. However, the unhealthy environment in which this food is produced suggests that it may contain mycotoxins.

Objectives. To assess the level of aflatoxin and ochratoxin A contamination of fermented fish and the risk to consumers.

Method. Ochratoxin A and aflatoxins were quantified using high performance liquid chromatography in samples of fermented fish. Margins of exposure were determined for OTA and aflatoxins.

Results. Total aflatoxin content ranged from $1 \times 10^{-3} \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $42.86 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, while OTA content ranged from $0.09 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $0.15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. On the other hand, the MOEs for OTA ranged from 144,227 to 1,484,892 for non-neoplastic effects, and from 442,134 to 4,551,995 for neoplastic effects. The MOEs for aflatoxins B1 and G2 ranged from 423 to 3,683 and from 431 to 3,754, respectively. For aflatoxin B2, 76.04% of the MOEs were lower than 10,000 while for aflatoxin G1 the MOEs were higher than 10,000.

Conclusions. Adjuevan can induce the carcinogenic effects of aflatoxins (AFB1, AFB2 and AFG2) to the consumer. Nevertheless, the consumption of adjuevan alone is not sufficient for occurrence of the effects (non-neoplastic and neoplastic) of OTA and the carcinogenic effects of AFG1.

Keywords. Fermented foods, fishery products, perishable products, health hazards, carcinogens.

1. INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, comme dans la plupart des pays en voie de développement, le poisson est un aliment très important grâce à sa teneur en protéines et à sa valeur nutritionnelle (Jain & Pathare, 2007). Malheureusement, dans ces pays, les conditions climatiques et environnementales associées au manque d'infrastructures adéquates de conservation font du poisson une denrée très périssable après sa capture. Des procédés traditionnels tels que le séchage, le salage, le fumage et la fermentation sont utilisés pour augmenter la durée de vie du poisson, limiter les pertes en éléments nutritionnels et améliorer sa qualité organoleptique (Kouakou et al., 2013).

En Afrique de l'Ouest, la fermentation des produits de pêche est une pratique courante très ancienne et le poisson fermenté est appelé « momoni » au Ghana, « lahouin » au Bénin et « adjuevan » en Côte d'Ivoire. L'adjuevan améliore la saveur des préparations culinaires, il est donc utilisé comme assaisonnement par la plupart des ménages ivoiriens. Malheureusement, la méthode de production, les conditions d'hygiène relatives à la manutention, à la conservation et au stockage de cette denrée sont artisanales et souffrent de beaucoup d'imperfections (Kouakou et al., 2013). L'insalubrité et l'humidité élevée auxquelles l'adjuevan est soumis sont propices à la prolifération des moisissures sécrétrices de mycotoxines, notamment les aflatoxines et l'ochratoxine A (OTA), qui peuvent contaminer cette denrée. L'OTA est néphrotoxique et potentiellement cancérigène. Classée dans le groupe 2B « cancérigène possible pour l'homme » par le Centre International de Recherche sur le Cancer, l'activité cancérigène de l'OTA est due aux adduits à l'ADN formés par les quinones (Pfohl-Leskowicz et al., 2002 ; Tozlovanu et al., 2006 ; Pfohl-Leskowicz & Manderville, 2007). Les aflatoxines sont classées dans le groupe 1, donc cancérigènes avérées pour l'homme (IARC, 2021). Les aflatoxines sont aussi connues pour leurs effets mutagène, hépatotoxique, génotoxique et immunosuppresseur (AFSSA, 2009).

L'OTA et les aflatoxines peuvent alors constituer un problème de santé publique à l'image de la néphropathie endémique des Balkans (ANSES, 2011). Les mycotoxines donc sont devenues très préoccupantes pour la politique mondiale de la sécurité sanitaire des aliments, et particulièrement en Afrique subsaharienne où les conditions climatiques associées à la non-maitrise des systèmes d'analyse des risques et de maitrise des points critiques (HACCP) conduisent fréquemment à la présence des mycotoxines dans les denrées alimentaires (Dembele et al., 2009 ; Kpan Kpan et al., 2019). De nos jours, les consommateurs s'orientent de plus en plus vers les produits

alimentaires biologiques, et le poisson fermenté peut être proposé comme exhausteur naturel de goût car sa préparation fait appel à un seul agent chimique, qui est le chlorure de sodium ou sel de cuisine. Cette étude a pour objectif de déterminer l'occurrence de l'OTA et des aflatoxines dans des échantillons de poisson fermenté et d'en évaluer le risque encouru par les consommateurs.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matrice biologique

Le matériel biologique était constitué de poisson fermenté obtenu à partir de l'espèce *Thunnus thynnus* (thon). Ce choix tient compte de la prépondérance de cette catégorie de poisson fermenté sur les marchés locaux d'Abidjan (Côte d'Ivoire).

2.2. Solvants et réactifs

L'acide acétique (100 %) Normaphur (Leuven, Belgique), l'hydrogencarbonate de sodium (99,7 %) Merck (Darmstadt, Allemagne), l'acétonitrile grade HPLC CHEM-LAB (Zedelgem, Belgique) ont été utilisés. L'eau ultra pure a été obtenue à l'aide d'un purificateur ELGA (High Wycombe, Angleterre). Les étalons d'OTA ($10 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ dans l'acétonitrile) et les aflatoxines (B1 ; B2 ; G1 ; G2 : $2 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ dans l'acétonitrile) ont été fournis par Superlco INC (Bellefonte, États-Unis).

2.3. Appareillage

Une chaîne de CLHP SHIMADZU (Tokyo, Japon) munie d'un dégazeur DGU-20A5, d'une pompe LC-20AT, d'un échantillonneur automatique SIL-20A, d'un réservoir TRAY, d'un four CTO-20A et d'un détecteur à fluorescence RF10 AX a été utilisée pour la détection des aflatoxines et de l'OTA. Une balance électronique SHIMADZU (Tokyo, Japon) avec une précision de $\pm 0,01$ g a permis de déterminer la masse des échantillons. Pour homogénéiser les extraits, un mixeur (Ultra Turax, OMNI INTERNATIONAL, Kennesaw GA, États-Unis) a été utilisé. La détermination du poids corporel (pc) des consommateurs a nécessité une balance pèse-personne (KINLEE). L'extraction et la purification des extraits ont été possibles grâce à l'usage de puits de purification, de pompe à vide VACUUBRAND (Vertheim, Allemagne), de colonnes d'immuno-affinité Aflaprep, Ochraprep provenant de R-BIOPHARM (Darmstadt, Allemagne), de centrifugeuse HETTICH (ZAC de Montévrain, France) et de papier filtre, Whatman, Fisher Scientific (Paris, France).

2.4. Échantillonnage

Quinze échantillons d'adjuevan ont été collectés dans trois marchés (grand marché, marché de Bocabo et marché d'Avocatier) appartenant à la commune d'Abobo incluse dans le district d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Cinq vendeuses ont été choisies de façon aléatoire dans chaque marché, à raison d'un échantillon par vendeuse et la masse de chaque échantillon de poisson fermenté était de 200 g. Ces échantillons étiquetés ont été soigneusement acheminés au Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Écotoxicologie pour la détermination de leurs teneurs en OTA et aflatoxines.

2.5. Détermination de la teneur en aflatoxines et en ochratoxine A

Les aflatoxines ont été dosées selon la méthode ISO 16050 : 2003 (ISO, 2003) et l'OTA a été dosée selon la méthode NF EN 14132 : 2009 (AFNOR, 2009). Les étapes clés de ces méthodes sont l'extraction, la purification et la quantification.

Extraction et purification des aflatoxines. Les échantillons d'adjuevan ont été finement broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine. Une quantité de 20 g du broyat d'adjuevan a été prélevée dans un ballon de 200 ml, puis 100 ml de mélange méthanol/eau bidistillée (80/20 : v/v) y ont été ajoutés. La solution obtenue a été ensuite homogénéisée à l'abri de la lumière pendant 30 m. Après centrifugation de l'homogénat à 5000 $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ pendant 5 min, le surnageant obtenu a été filtré sous vide sur du papier filtre Whatman n°4 dans un erlenmeyer. Dix millilitres de ce filtrat ont été prélevés puis dilués à l'aide de 40 ml d'une solution tampon phosphate saline (PBS). Dix millilitres de la solution diluée ont été déposés dans la colonne d'Immuno-Affinité (IA) (Aflaprep) préalablement conditionnée à l'aide de 10 ml de tampon PBS à un débit de 3 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$. Après rinçage avec 10 ml du tampon PBS, les aflatoxines ont été éluées avec 1,5 ml de méthanol puis diluées en utilisant 1,5 ml d'eau bidistillée pour obtenir la solution prête à l'injection dans le système chromatographique.

Extraction et purification de l'OTA. Pour extraire l'OTA, 15 g de broyat d'adjuevan ont été prélevés puis 150 ml de mélange méthanol/hydrogénocarbonate de sodium (1 %) dans de l'eau (50/50 : v/v) y ont été ajoutés. Ce mélange a été homogénéisé au mixeur (Ultra Turax) pendant 2 min. La solution obtenue a été centrifugée à 4000 $\text{tr}\cdot\text{min}^{-1}$ pendant 5 min, puis filtrée sur du papier Whatman n°4 dans une éprouvette de 25 ml. Une fraction de 11 ml du filtrat a été diluée en y ajoutant un volume équivalent de solution tampon

phosphate saline (PBS) et la purification a été faite sur colonne d'Immuno-Affinité (Ochraprep). Cette colonne a été conditionnée à l'aide de 10 ml de solution PBS à un débit de 10 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ en utilisant une pompe à vide (Gilson). Un volume de 20 ml de l'extrait dilué a été déposé goutte à goutte dans la colonne puis le solvant a été évacué à la vitesse de 2 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$. La colonne a été lavée avec 10 ml de PBS et l'OTA a été décrochée par deux lavages successifs dont le premier a nécessité 1,5 ml d'un mélange de méthanol/acide acétique (96/4 ; v/v) et le second a été réalisé en utilisant 1,5 ml de PBS à un débit de 5 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$. L'extrait ainsi purifié a été transféré dans un vial pour être injecté dans le système chromatographique.

Détermination des taux de récupération. Les taux de récupération (T_r) ont été déterminés par la méthode des ajouts dosés. En effet, 15 g de poisson fermenté ont été dopés à l'aide de 1 ml d'étalon dosé à 10 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ (aflatoxines ou OTA). Après un temps de latence de 30 min, la mycotoxine concernée a été extraite puis quantifiée. Le taux de récupération a été calculé selon l'expression (Kpan Kpan et al., 2019) :

$$T_r (\%) = [(C_r - C_{nr}) \times 100] / C_{est}$$

avec T_r : taux de récupération (%); C_r : teneur réelle en mycotoxine de la portion d'échantillon fortifiée ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); C_{nr} : teneur en mycotoxine de la portion d'échantillon non fortifiée ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); C_{est} : teneur estimée de la mycotoxine de la portion d'échantillon fortifiée ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Quantification des aflatoxines et OTA. La détermination des mycotoxines a été réalisée à l'aide de la chaîne de CLHP (SHIMADZU) dont la phase stationnaire était constituée d'une colonne en phase inverse (RP) Shim pack VP-ODS 5 μm -C18-100 (250 L x 4,6 mm ID). Le système chromatographique a été préalablement étalonné à l'aide de solutions étalons distinctes d'aflatoxines et d'OTA dosées à 10 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Pour les aflatoxines, la phase mobile était constituée à 40 % d'un mélange d'acétonitrile/méthanol (50 : 50 ; v/v) et à 60 % d'eau bidistillée. L'élution a été réalisée en mode isocratique à un débit de 1,5 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, la température du four étant maintenue à 40 °C. Le volume d'injection était de 20 μl et la détection a été réalisée en fluorescence aux longueurs d'onde d'excitation de 350 nm et d'émission de 450 nm. Concernant l'OTA, la phase mobile était composée de 45 % de mélange acide acétique/eau bidistillée (2 : 98 ; v/v) et de 55 % d'acétonitrile. L'élution a été effectuée en mode isocratique avec un débit d'élution de 1 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, la température du four étant fixée à 40 °C. Les longueurs d'onde d'excitation et d'émission ont été respectivement 330 nm et 460 nm.

Les teneurs en mycotoxines ont été déterminées à travers l'expression :

$$C = \frac{S_{ech} \times Z_{std}}{S_{std}} \times \frac{V}{m} \times \frac{V_{ext}}{V_a} \times \frac{1}{T_r}$$

avec C : concentration de l'échantillon ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) ; Z_{std} : concentration du standard ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$) ; S_{ech} : surface du pic de l'échantillon ; S_{std} : surface du pic du standard ; V : volume final obtenu par la récupération (l) ; V_a : volume après filtration (l) ; m : masse de l'échantillon (kg) ; V_{ext} : volume après extraction (l) et T_r : taux de récupération.

2.6. Consommation de l'adjuvant au sein des ménages (diète journalière)

Pour évaluer la diète journalière de la population cible, une fiche d'enquête a été mise au point. Cette fiche rend compte de plusieurs points, en l'occurrence le nom du site, le sexe, l'âge, le poids, le prix d'adjuvant consommé quotidiennement par chaque ménage et le nombre de personnes que renferme chaque ménage. Pour déterminer la masse d'adjuvant consommée par les ménages, un calibrage a été réalisé. Lors de ce calibrage, plusieurs échantillons d'adjuvant de 600 F CFA ont été achetés chez différentes vendeuses afin de déterminer la masse moyenne de ces échantillons (W). Ensuite, la quantité d'adjuvant consommée quotidiennement par chaque ménage a été établie comme suit :

$$600 \text{ F CFA}^1 \Rightarrow W \text{ (g)} ;$$

$$X \text{ F CFA} \Rightarrow Y \text{ (g)} ;$$

$$Y = (X \times W) / 600$$

avec Y : quantité d'adjuvant consommée quotidiennement par chaque ménage (g) ; X : le prix d'adjuvant consommé quotidiennement par chaque ménage (FCFA).

La quantité de poisson fermenté consommée quotidiennement par chaque individu a été estimée selon la formule suivante :

$$C = Y / (M \times N) \Rightarrow C = (X \times W) / (600 \times M \times N)$$

avec C : quantité d'adjuvant quotidiennement consommée par chaque individu ($\text{kg}\cdot\text{pc}\cdot\text{jour}^{-1}$) ; M : poids du consommateur (kg) et N : nombre de personnes par ménage.

2.7. Étude de l'exposition et caractérisation du risque

L'exposition journalière à l'OTA et aux aflatoxines a été déterminée selon l'expression (ANSES, 2016) :

$$E_{ij} = \sum_{k=1}^n C_{i,k} \times T_{k,j} / PC_i$$

avec E_{ij} : exposition à la substance j de l'individu i ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}\cdot\text{pc}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$) ; n : nombre d'aliments dans le régime de l'individu ; $C_{i,k}$: consommation de l'aliment k par l'individu i (kg) ; $T_{k,j}$: teneur médiane ou moyenne en substance j de l'aliment k ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) et PC_i : poids corporel de l'individu i (kg).

Dans le dernier avis de l'autorité européenne de la sécurité des aliments (EFSA) sur l'OTA et les aflatoxines, l'EFSA a préconisé que la caractérisation du risque concernant ces mycotoxines soit effectuée par l'approche de la marge d'exposition (ME) (ChemSafety Pro, 2018). Cette grandeur a été déterminée selon l'expression :

$$ME = \frac{\text{BMDL 10}}{E_{ij}}$$

avec ME : marge d'exposition ; BMDL10 : Benchmark Dose ; E_{ij} : exposition journalière à la substance j de l'individu i ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}\cdot\text{pc}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$). La $ME \geq 10000$ traduit que le risque encouru par le consommateur n'est pas significatif, tandis qu'une $ME < 10000$ indique que le risque encouru par le consommateur est significatif.

Lors de la détermination de la ME relative à chaque aflatoxine (AFB1, AFB2, AFG1 et AFG2), la BMDL10 de $0,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel, associée à l'incidence des carcinomes hépatocellulaires (CHC) chez les rats mâles, a été utilisée (EFSA, 2020a).

Au niveau de l'OTA, la BMDL10 de $4,73 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour calculée à partir des lésions rénales observées chez le porc a été utilisée lors de la caractérisation du risque relatif aux effets non néoplasiques. Concernant les effets néoplasiques, la BMDL10 de $14,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de poids corporel par jour déterminée à partir des tumeurs rénales observées chez les rats a été utilisée.

Pour cette mycotoxine, la $ME \geq 200$ indique que le risque de survenue des effets non néoplasiques chez le consommateur n'est pas significatif, alors qu'une $ME < 200$ indique que le risque de survenue des effets non néoplasiques est significatif chez le consommateur (EFSA, 2020b). Pour les effets néoplasiques de l'OTA, le seuil de la ME est de 10000, comme dans le cas des aflatoxines.

¹600 F CFA = 0,91 €.

3. RÉSULTATS

3.1. Teneurs en aflatoxines et en ochratoxine A

Les taux de récupération des extractions ont été $89,10 \pm 0,76 \%$ pour l'OTA et $89,52 \pm 1,04 \%$ pour l'aflatoxine B1 sur un nombre d'essais ($n = 5$) (**Tableau 1**).

L'OTA a été détectée dans 80 % des échantillons analysés avec les teneurs supérieures à la limite de quantification (LQ). Les teneurs en OTA étaient comprises entre 0,09 et $0,15 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (**Tableau 2**).

La distribution des teneurs en OTA des marchés prospectés est mise en évidence par la **figure 1**.

Les aflatoxines ont été détectées dans 100 % des échantillons analysés. L'aflatoxine B1 a été retrouvée dans 20 % des échantillons, l'aflatoxine B2 a été observée dans 33,33 % des échantillons. Les aflatoxines G1 et G2 ont été respectivement retrouvées dans 80 % et 26,67 % des échantillons. La teneur en aflatoxine totale était comprise entre $1 \times 10^{-3} \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $42,86 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; la teneur moyenne en aflatoxine totale étant égale à $7,54 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (**Tableau 3**).

La distribution des teneurs en aflatoxines totales des échantillons de poisson fermenté en fonction des marchés est présentée dans la **figure 2**.

3.2. Étude de l'exposition et de la caractérisation du risque

Consommation du poisson fermenté. Au total, 61 ménages ont été visités à raison de 20 à Bocabo, 20 à Avocatier et 21 à Habitat, avec un effectif total de 196 personnes. La majeure partie des individus enquêtés était de sexe féminin (57,5 %) contre 42,6 % de sexe masculin. L'âge des individus a oscillé entre 4 et 65 ans. Les enfants représentaient 17,9 % de l'effectif contre 82,1 % d'adultes. Les données de consommation ont pu être déterminées chez 47,44 % des enquêtés. Le

Tableau 2. Teneur en OTA des échantillons du poisson fermenté — *OTA content of fermented fish samples.*

Mycotoxine	Grand marché	Bocabo	Avocatier
OTA ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	ND	0,11	ND
LD = $0,009 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0,15	0,12	0,10
LQ = $0,027 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	0,14	0,15	0,14
	0,13	ND	0,11
	0,09	0,10	0,22

ND : non détecté — *not detected* ; LD : limite de détection — *limit of detection* ; LQ : limite de quantification — *limit of quantification*.

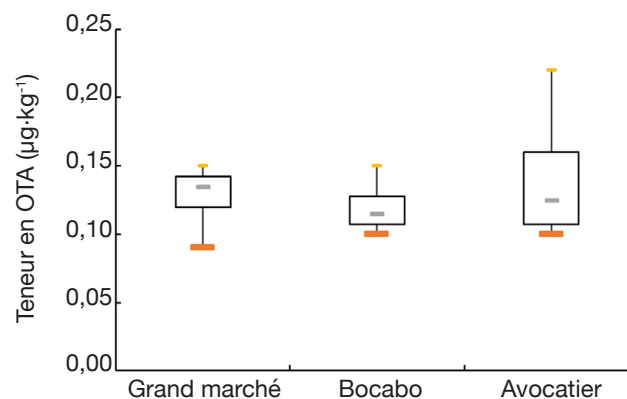


Figure 1. Boîte à moustache des teneurs en OTA des échantillons — *Box plots of OTA content of samples.*

pois de cette frange de population a fluctué entre 21 et 98 kg. Le nombre d'individus des ménages a varié entre 1 et 6 avec une moyenne de 3,21 individus par ménage. La quantité d'adjuevan consommée par jour au niveau de chaque ménage était comprise entre 0 et 16,67 g avec une moyenne de 12,79 g par ménage. La

Tableau 1. Taux de récupération — *Recovery rate.*

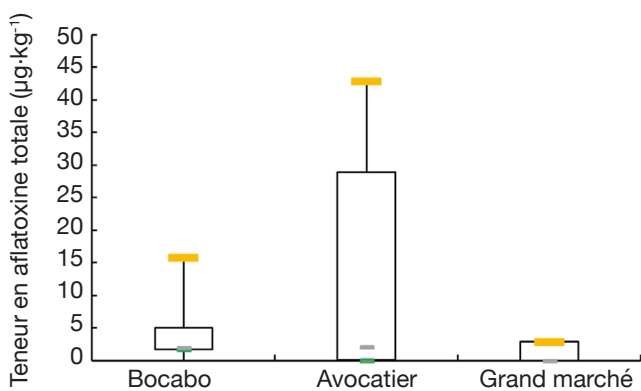
Mycotoxine	Essai	C_{est} ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C_r ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	C_{nf} ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	T_r (%)	T_{rm} (%)
OTA	1	0,67	0,59	0	88,5	$89,1 \pm 0,76$
	2	0,67	0,59	0	88,5	
	3	0,67	0,6	0	90	
	4	0,67	0,58	0	87	
	5	0,67	0,61	0	91,5	
Aflatoxine B1	1	0,67	0,704	0,099	90,75	$89,52 \pm 1,04$
	2	0,67	0,805	0,201	90,6	
	3	0,67	0,66	0,089	85,65	
	4	0,67	0,604	0,010	89,1	
	5	0,67	0,69	0,080	91,5	

C_{est} : teneur estimée de la mycotoxine de la portion d'échantillon fortifiée — *estimated mycotoxin content of the fortified sample portion* ; C_r : teneur réelle en mycotoxine de la portion d'échantillon fortifiée — *real mycotoxin content of the fortified sample portion* ; C_{nf} : teneur en mycotoxine de la portion d'échantillon non fortifiée — *mycotoxin content of the non-fortified portion of the sample* ; T_r : taux de récupération — *recovery rate* ; T_{rm} : taux de récupération moyen — *average recovery rate*.

Tableau 3. Teneur en aflatoxines du poisson fermenté — *Aflatoxin content of fermented fish.*

Marché	Teneur en aflatoxines ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)				Aflatoxine totale
	AFB1	AFB2	AFG1	AFG2	
	LD = 0,001 ; LQ = 0,005			LD = 0,006 LQ = 0,019	
Grand marché	ND	9,46	0,86	ND	10,31
	ND	0,002	0,002	ND	0,003
	0,042	0,01	0,003	2,81	2,87
	ND	0,002	ND	ND	0,002
Bocabo	ND	ND	6,38	9,40	15,78
	ND	ND	1,69	ND	1,69
	ND	ND	2,23	2,74	4,98
	ND	ND	1,66	ND	1,66
	ND	ND	1,89	ND	1,89
Avocatier	2,12	ND	ND	ND	2,12
	ND	ND	0,003	ND	0,003
	ND	0,02	ND	ND	0,02
	42,84	ND	0,01	ND	42,86
	ND	ND	0,08	28,85	28,87

AFB1: aflatoxine B1 — *aflatoxin B1* ; AFB2: aflatoxine B2 — *aflatoxin B2* ; AFG1: aflatoxine G1 — *aflatoxin G1* ; AFG2: aflatoxine G2 — *aflatoxin G2*; ND : non détecté — *not detected* ; LD : limite de détection — *limit of detection* ; LQ : limite de quantification — *limit of quantification*.

**Figure 2.** Boîte à moustache des teneurs en aflatoxine totale des échantillons — *Box plots of total aflatoxin content of samples.*

quantité d'adjuevan consommée quotidiennement par tous les ménages a été de 780,76 g. La consommation journalière individuelle d'adjuevan a fluctué entre 2,78 et 8,34 g, avec une moyenne de 3,98 g.

Caractérisation du risque lié à l'OTA. Les valeurs de la marge d'exposition (ME) relative aux effets non néoplasiques de l'OTA ont varié entre 144 227 et 1 484 892. Concernant les effets néoplasiques, les valeurs de la marge d'exposition étaient comprises entre 442 134 et 4 551 995 (**Tableau 4**). Dans les deux cas, les valeurs de la marge d'exposition sont supérieures aux valeurs de référence qui sont de 200 pour les effets non néoplasiques et de 10 000 pour les effets néoplasiques.

Caractérisation du risque lié aux aflatoxines. Les marges d'exposition relatives aux AFB1 et AFB2 sont toutes supérieures à 10 000. Les ME de l'AFB1 sont comprises 423 et 3 683 et celles relatives à l'AFG2 oscillent entre 431 et 3 754. Concernant l'AFB2, les ME se situent entre 2007 et 17 485 (**Tableau 5**).

4. DISCUSSION

Les échantillons d'adjuevan sont faiblement contaminés par l'OTA. En termes d'aflatoxine totale, tous les échantillons sont contaminés par les aflatoxines. Prises individuellement, les aflatoxines AFB1, AFB2, AFG1 et AFG2 ont été retrouvées dans très peu d'échantillons. Cependant, quelques échantillons présentent des teneurs élevées en ces mycotoxines. Les faibles teneurs en OTA et en aflatoxines pourraient s'expliquer par la présence du chlorure de sodium dans le poisson fermenté « adjuevan ». En effet, le sel de cuisine est utilisé comme agent de déshydratation lors de la confection du poisson fermenté (Kouakou et al., 2013). Or, le sel possède un pouvoir inhibiteur des moisissures du genre *Aspergillus* (Samapundo et al., 2010), alors que les aflatoxines et l'OTA sont des toxines produites par des moisissures du genre *Aspergillus*, plus particulièrement *A. flavus* et *A. parasiticus* pour les aflatoxines (ANSES, 2012 ; OMS, 2018) et *A. ochraceus* pour l'OTA (Brochard & Le Bâcle, 2009 ; ANSES, 2011). La présence des mycotoxines dans l'adjuevan et

Tableau 4. Comparaison de la marge d'exposition relative à l'OTA à la valeur de référence — *Comparison of the OTA margin of exposure to the reference value.*

OTA	Valeur de la ME (n = 93)	(%) ME ≥ SR (n = 93)	(%) ME < SR (n = 93)
Effet non néoplasique	144 227-1 484 892	100 (SR = 200)	0 (SR = 200)
Effet néoplasique	442 134-4 551 995	100 (SR = 10 000)	0 (SR = 10 000)

ME : marge d'exposition — *margin of exposure* ; n = nombre d'individus — *number of individuals* ; SR : seuil de référence — *reference value*.

Tableau 5. Comparaison de la marge d'exposition relative aux aflatoxines à la valeur de référence — *Comparison of the aflatoxin margin of exposure to the reference value.*

Aflatoxine	Valeur de la ME (n = 93)	(%) ME ≥ 10 000 (n=93)	(%) ME < 10 000 (n = 93)
AFB1	423-3 683	0	100
AFB2	2007-17 485	23,96	76,04
AFG1	158 559 -1 381 295	100	0
AFG2	431-3 754	0	100

ME : marge d'exposition — *margin of exposure* ; n : nombre d'individus — *number of individuals*.

surtout les fortes teneurs en aflatoxines de certains échantillons pourraient donc s'expliquer par le salage insuffisant du thon lors de la confection de l'adjuevan, vu le pouvoir inhibiteur du sel sur les moisissures. Les marges d'exposition relatives à l'OTA montrent que le risque d'apparition des effets néfastes (non néoplasique et néoplasique) de l'ochratoxine A au sein de la population soumise à cette étude n'est pas significatif. En effet, pour cette mycotoxine, les marges d'exposition relatives aux effets non néoplasiques ont été 721 à 7424 fois supérieures au seuil de référence (SR = 200) et les ME relatives aux effets néoplasiques ont été 44 à 455 fois plus élevées que le seuil de référence (SR = 10000). Cet état des faits pourrait s'expliquer par les faibles teneurs en OTA du poisson fermenté. Les ME relatives à l'AFB1 sont 3 à 24 fois inférieures au seuil de référence (SR = 10000). Cela suggère que le risque d'apparition des effets cancérogènes liés à cette mycotoxine est significatif pour toute la population soumise à l'étude. Cette situation est la même pour l'AFG2 car pour cette mycotoxine, les ME sont 3 à 23 fois inférieures au seuil de référence (SR = 10000). Concernant l'AFB2, 76,04 % des individus soumis à l'étude présentent un risque significatif de développer les effets cancérogènes liés à cette mycotoxine (ME < SR = 10000). Pour l'AFG1, les ME sont 15 à 138 fois supérieures à 10000, ce qui indique que le risque de survenue du cancer lié à l'AFG1 n'est pas significatif chez les consommateurs d'adjuevan. Le risque significatif de survenue du cancer lié aux aflatoxines (AFB1, AFB2 et AFG2) pourrait s'expliquer par les teneurs élevées de ces mycotoxines dans certains échantillons d'adjuevan (AFB1 = 42,84 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, AFB2 = 9,46 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, AFG2 = 28,85 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Ces teneurs élevées ont amplifié les teneurs moyennes (utilisées dans la détermination de la ME), malgré la présence de chacune de ces mycotoxines dans très peu d'échantillons. Par ailleurs, dans un contexte d'évaluation holistique de risque lié aux aflatoxines et à l'OTA, la présence de l'OTA et des aflatoxines dans l'adjuevan peut contribuer à l'augmentation des quantités d'aflatoxines et d'OTA ingérées, et amplifier le risque chez le consommateur. En effet, l'adjuevan est utilisé pour la préparation des sauces où il joue le rôle d'exhausteur de goût. Ces sauces sont des mélanges de plusieurs ingrédients (arachide, gombo, piment, etc.) susceptibles eux-mêmes de contenir des

mycotoxines. Plusieurs études l'attestent bien. Les études de Diakitè et al. (2017) réalisées sur des échantillons de pâte d'arachide prélevés sur trois marchés populaires d'Abidjan (Abobo, Adjamé et Yopougon) ont révélé des teneurs d'aflatoxine B1 (AFB1) de l'ordre de 2 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ dans cette denrée. Ces niveaux de contamination étaient significatifs car ils correspondent à la limite maximale tolérable (LMT) autorisée par l'Union européenne. Selon les études de Sangaré et al. (2006b), le niveau moyen de contamination des arachides des marchés abidjanais par l'AFB1 était de 4,8 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (1,5 à 10 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, N = 10). En outre, les sauces se consomment avec les céréales (riz, maïs) ou les féculents (manioc, igname, banane, taro, etc.) qui sont eux aussi sujets à des contaminations par les mycotoxines (OTA et aflatoxines). En effet, des teneurs très élevées en OTA ont été observées dans des échantillons de maïs, de mil et de riz collectés sur les marchés de Treichville, Abobo et Adjamé, trois communes d'Abidjan. Ces teneurs en OTA ont oscillé entre 3 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ et 1738 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour le maïs dans la totalité des 41 échantillons analysés, entre 17 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ et 204 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour le mil et entre 9 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ et 92 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour le riz (Sangaré et al., 2006a). Enfin, la présence des mycotoxines (OTA et aflatoxines) dans le thon fermenté augmente le risque global encouru par les consommateurs de thon fermenté (adjuevan) car cette question vient s'ajouter à la problématique de l'histamine à laquelle le thon est sujet (FAO, 2012).

5. CONCLUSIONS

Cette étude a révélé la présence de l'OTA et des aflatoxines dans la plupart des échantillons d'adjuevan analysés. La marge d'exposition a montré que l'adjuevan peut engendrer les effets cancérogènes des aflatoxines (AFB1, AFB2 et AFG2) chez le consommateur au regard des marges d'exposition qui ont été largement inférieures à 10000. Par contre, la consommation de l'adjuevan seul n'est pas suffisante pour l'apparition des effets non néoplasique et néoplasique de l'OTA, eu égard aux marges d'exposition qui ont été largement supérieures aux seuils respectifs de 200 et 10000. Le risque de cancérogenèse lié à la présence de l'AFG1 dans l'adjuevan n'est pas significatif vu les ME

largement supérieures à 10000. En outre, l'adjuvant pourrait contribuer à l'élévation du taux de l'OTA et des aflatoxines chez le consommateur dans la mesure où l'adjuvant est une composante des mets qui renferment des denrées de base telles que le riz, le maïs, l'igname, le manioc, susceptibles d'être contaminées par ces mycotoxines. Il est opportun de mettre en œuvre des mesures de lutte préventive contre la contamination de l'adjuvant par ces mycotoxines car le poisson fermenté est un ingrédient rencontré dans plusieurs mets d'Afrique de l'Ouest. Pour cela, la confection du poisson fermenté doit obéir à des procédures soigneusement élaborées, testées et fiables pour empêcher le développement des moisissures sécrétrices de mycotoxines.

Bibliographie

- AFNOR, 2009. *NF EN 14132- V03-126. Produits alimentaires - Dosage de l'ochratoxine A dans l'orge et le café torréfié - Méthode par purification sur colonne d'immuno-affinité suivie d'une analyse par chromatographie liquide haute performance (CLHP)*. La Plaine Saint-Denis, France : AFNOR.
- AFSSA, 2009. *Évaluation des risques liés à la présence de mycotoxines dans les chaînes alimentaires humaine et animale. Rapport final*. Maisons-Alfort, France : AFSSA.
- ANSES, 2011. *Aspergilli et Penicillia producteurs d'ochratoxine A (OTA). Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments*. Maisons-Alfort, France : ANSES.
- ANSES, 2012. *Aspergillus flavus et autres moisissures productrices d'aflatoxines. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments*. Maisons-Alfort, France : ANSES.
- ANSES, 2016. *Étude de l'alimentation totale infantile. Tome 2 - Partie 3 : composés organiques. Rapport d'expertise collective*. Maisons-Alfort, France : ANSES.
- Brochard G. & Le Bâcle C., 2009. *Mycotoxines en milieu de travail. Dossier médico-technique*. Paris : INRS.
- ChemSafety Pro, 2018. What are margin of exposure (MOE) and margin of safety (MOS) and how to calculate, https://www.chemsafetypro.com/Topics/CRA/margin_of_safety_MOS_margin_of_exposure_MOE_difference_chemical_risk_assessment.html, (14 janvier 2022).
- Dembélé A. et al., 2009. Détermination du niveau de contamination de l'ochratoxine A (OTA) dans les fèves de cacao à l'exportation. *Tropicultura*, **27**(1), 26-30.
- Diakité A., Gouli Bi I.M., N'dri D.K. & Yapo J.A., 2017. Détermination de la contamination par l'Aflatoxine B1 de la pâte d'arachide consommée par la population en Côte d'Ivoire : intérêt de la Chromatographie sur Couche Mince. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(4), 1646-1654, doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.19
- EFSA, 2020a. Risk assessment of aflatoxins in food. *EFSA J.*, **18**(3), 6040.
- EFSA, 2020b. Risk assessment of ochratoxin A in food. *EFSA J.*, **18**(5), 6113.
- FAO, 2012. *Report of the Joint FAO/WHO expert meeting on public health risks of histamine and other biogenic amines from fish and fishery products, 23-27 July 2012, Roma, Italy*. Roma: FAO.
- IARC, 2021. *Agents Classified by the IARC Monographs, volumes 1-128*. Lyon, France : IARC.
- ISO, 2003. ISO 16050:2003. *Produits alimentaires- Dosage de l'aflatoxine B1 et détermination de la teneur totale en aflatoxines B1, B2, G1 et G2 dans les céréales, les fruits à coque et les produits dérivés - Méthode par chromatographie liquide à haute performance*. Genève, Suisse : ISO.
- Jain D. & Pathare P., 2007. Détermination de la diffusivité thermique de poisson d'eau douce pendant le stockage sous glace en utilisant une équation cylindrique unidimensionnelle de Fourier. *Biosyst. Eng.*, **96**, 407-412, doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.12.004
- Kouakou A.C. et al., 2013. Production et commercialisation de l'adjuvant, poisson fermenté de Côte d'Ivoire. *Cah. Agric.*, **22**, 559-567.
- Kpan Kpan K.G. et al., 2019. Validation of HPLC-UV patulin determination method in traditional juices from Côte d'Ivoire. *Eur. Sci. J.*, **15**(36), 253-266, doi.org/10.19044/esj.2019.v15n36p253
- OMS, 2018. *Les aflatoxines. Note de sécurité sanitaire des aliments*. Genève, Suisse : OMS.
- Pfohl-Leszkowicz A., Petkova-Bocharova T., Chernozemsky I.N. & Castegnaro M., 2002. Balkan endemic nephropathy and the associated urinary tract tumors: review on etiological causes, potential role of mycotoxins. *Food Addit. Contam.*, **19**(3), 282-302, doi.org/10.1080/02652030110079815
- Pfohl-Leszkowicz A. & Manderville R.A., 2007. Ochratoxin A: an overview on toxicity and carcinogenicity in animals and humans. *Mol. Nutr. Food Res.*, **51**(1), 61-99, doi.org/10.1002/mnfr.200790020
- Samapundo S. et al., 2010. Effect of NaCl reduction and replacement on the growth of fungi important to the spoilage of bread. *Food Microbiol.*, **27**(6), 749-756, doi.org/10.1016/j.fm.2010.03.009
- Sangare-Tigori B. et al., 2006a. Preliminary survey of ochratoxin A in millet, maize, rice and peanuts in Côte d'Ivoire from 1998 to 2002. *Hum. Exp. Toxicol.*, **25**, 211-216, doi.org/10.1191/0960327106ht6050a
- Sangare-Tigori B. et al., 2006b. Co-occurrence of aflatoxin B1, fumonisin B1, ochratoxin A and zearalenone in cereals and peanuts in Côte d'Ivoire. *Food Addit. Contam.*, **23**(10), 1000-1007, doi.org/10.1080/02652030500415686
- Tozlovanu M., Faucet-Marquis V., Pfohl-Leszkowicz A. & Manderville R.A., 2006. Genotoxicity of the hydroquinone metabolite of ochratoxin A: structure-activity relationships for covalent DNA adduction. *Chem. Res. Toxicol.*, **19**(9), 1241-1247, doi.org/10.1021/tx060138g