

Risque sanitaire lié à la contamination en Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) de quatre espèces de poisson braisées et consommées dans le District d'Abidjan, Côte d'Ivoire

Komissiri Dagnogo^{1, 2,3}, Adama Coulibaly^{5*}, Vessaly Kallo^{2, 4}, Mariam Doumbia², Amy Carine Dongo², Ohoukou Marcel Boka², Hugues Pascal A. B. Djinou², Godi Henri Marius Biego⁶, Ardjouma Dembele¹

¹Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie, LANADA 04 BP 612 Abidjan 04, Côte d'Ivoire.

²Programme d'Amélioration de la Santé Animale et de l'Hygiène Publique Vétérinaire, MIRAH, BP V 84 Abidjan, Côte d'Ivoire.

³Direction des Abattoirs et de l'Hygiène Alimentaire du District Autonome d'Abidjan, BP V 24 Abidjan, Côte d'Ivoire.

⁴Direction des services vétérinaires du Ministère des Ressources Animales et Halieutiques, BP V 24 Abidjan, Côte d'Ivoire.

⁵Unité de Formation et de Recherche des Sciences Biologiques, Université Peleforo GON COULIBALY Korhogo, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire.

⁶Laboratoire de Biotechnologie, Agriculture et Valorisation des Ressources Biologiques, Unité de formation et de recherche de Biosciences, Université Félix HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant, e-mail : coulibalyadama@upgc.edu.ci ; Tél. : (+225) 07 07 89 62 13

Submitted on 4th May 2022. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 30th June 2022
<https://doi.org/10.35759/JABs.174.3>

RESUME

Objectif : Cette étude a pour objectif d'évaluer l'exposition aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) des consommateurs et estimer le risque sanitaire lié à la consommation de quatre (4) espèces de poisson braisées afin de contribuer à la protection desdits consommateurs.

Méthodologie et résultats : Les HAP ont été extraits et purifiés sur une cartouche Bond Eut C18 puis dosés par Chromatographie liquide haute performance (CLHP) suivant la norme ISO 15753. Toutes les 8 molécules de HAP recherchées ont été retrouvées dans les poissons braisés. Les concentrations varient entre 0,005±0,166 g/kg et 2,455±2,155 g/kg pour les molécules individuelles et entre 0,083±0,116 µg/kg et 9,247±4,123 µg/kg pour les HAP totaux (HAPT) quels que soient le type de poisson et la molécule de HAP. Par ailleurs, 5 à 67% des échantillons sont non conformes à la norme pour les HAP et 33% pour les HAPT. Le maquereau est l'espèce la plus contaminée en HAP aussi bien en nombre qu'en concentration quelle que soit la molécule. Cependant, tous les quotients de danger (0,00001-0,00041) sont inférieurs à 1 quels que soient le type de poisson et la molécule de HAP.

Conclusions et application des résultats : Ces résultats sont essentiels pour améliorer la sécurité sanitaire des aliments d'origine animale notamment les poissons braisés mis à la disposition du consommateur dans le District d'Abidjan. Ils recommandent de réduire l'utilisation des espèces de poisson riches en matière grasse (maquereau, carpe) dans le processus de braisage et de prendre en compte les autres potentielles sources de HAP dans l'alimentation afin de limiter les niveaux de contamination en HAP des poissons et d'exposition des consommateurs. Des études complémentaires pourraient être menées afin d'évaluer l'effet du type de combustible (charbon), de l'espèce de poisson et du mode de braisage sur le niveau de contamination en HAP du poisson braisé.

Mots clés : Poisson braisé, HAP, HPLC, Exposition, Apport, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to evaluate the exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) of consumers and to estimate the health risk related to the consumption of four (4) braised fish species in order to contribute to the protection of these consumers.

Methodology and results: PAHs were extracted and purified on a Bond Eut C18 cartridge and then determined by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) according to ISO 15753. All eight (8) PAH molecules tested were found in the braised fish. Concentrations ranged from 0.005 ± 0.166 g/kg to 2.455 ± 2.155 g/kg for individual molecules and from 0.083 ± 0.116 µg/kg to 9.247 ± 4.123 µg/kg for total PAHs (TPAH) regardless of fish type and PAH molecule. In addition, 5-67% of the samples are non-compliant with the standard for PAH and 33% for TPAH. Mackerel is the species most contaminated with PAHs, both in number and in concentration, regardless of the molecule. However, all the hazard quotients (0.00001-0.00041) are lower than 1 whatever the type of fish and the PAH molecule.

Conclusions and application of results: These results are essential to improve the safety of food of animal origin, especially braised fish, made available to consumers in the District of Abidjan. They recommend reducing the use of high-fat fish species (mackerel, carp) in the braising process and considering other potential sources of PAHs in the diet in order to limit levels of PAH contamination in fish and consumer exposure. Further studies could be conducted to evaluate the effect of fuel type (charcoal), fish species and braising method on the level of PAH contamination in braised fish.

Keywords: Braised fish, PAH, HPLC, Exposure, Intake, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) sont des constituants naturels du charbon et du pétrole ou peuvent provenir de la combustion incomplète de matières organiques (carburant, bois, tabac). Ils se composent d'atomes de carbone formant des cycles benzéniques (2 à 10) et d'atomes d'hydrogène (Hylland, 2006). Parmi ces molécules, seize (16) ont été classées prioritaires par l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (US-EPA) du fait de leur abondance dans l'environnement

et/ou leur grande utilisation par l'industrie. La crainte provoquée par les HAP provient du fait que ce sont des contaminants issus des processus de combustion et certaines de ces molécules sont considérées potentiellement cancérigènes dont le Benzo(a)Pyrène (Garziandia, 2000). Cependant, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) propose de suivre principalement six (6) des seize (16) molécules HAP qui sont considérées prioritaires du fait de leurs effets néfastes sur l'environnement et leur forte toxicité (Bour, 2005). Il s'agit du

Benzo(a)Pyrène, du Fluoranthène, du Benzo(a)fluoranthène, du Dibenzo(ah)anthracène, du Benzo(k)fluoranthène, du Benzo(g,h,i)pérylène et de l'Indeno(1,2,3-cd)pyrène. Ces molécules sont omniprésentes dans l'environnement (air, eau, sol) et les aliments notamment les poissons (Buet, 2002 ; Normand, 2007 ; EFSA, 2008 ; Vignet, 2014). Les poissons sont des êtres vivants aquatiques très variés dont les qualités nutritive et sanitaire sont reconnues. Ils ont une faible teneur en graisses et en calories et contribuent à la réduction du taux de cholestérol. Les poissons et leurs dérivées jouent un rôle important dans l'alimentation des populations de l'Afrique de l'Ouest (FAO, 2020) notamment les Ivoiriens. En effet, en Côte d'Ivoire, le poisson est la première source de protéines animales du consommateur avec 15,9 kg/an/habitant (FAO, 2012 ; MIRAH, 2014). Cependant, plus de 80% du poisson, consommé en Côte d'Ivoire, seraient issus de la transformation artisanale notamment le séchage, la friture, le braisage et le fumage. Ces modes de transformation produiraient dans certaines conditions des substances toxiques telles que les HAP (Aké *et al.*, 2010 ; Aké *et*

al., 2014). Ainsi les grillades, le rôtissage et le fumage, au charbon de bois, peuvent augmenter la concentration de HAP dans les aliments (EFSA, 2008). Aké *et al.*, (2014) ont montré que le fumage au bois entraîne une augmentation de la concentration en HAP du poisson fumé à chaud. Le processus de fumage du poisson est semblable en certains points au braisage du poisson. Ainsi le braisage pourrait être source de contamination en HAP du poisson braisé. Cependant, contrairement au poisson fumé, aucun règlement n'est encore établi sur le poisson braisé tant sur le plan international, régional que national. Par ailleurs, la connaissance du niveau de contamination du poisson braisé en HAP devient primordiale dans la mesure où cette denrée est très consommée en zone urbaine dans de nombreux pays, particulièrement en Côte d'Ivoire. Cette étude a été initiée dans le District Autonome d'Abidjan pour évaluer l'exposition aux HAP des consommateurs et estimer le risque sanitaire lié à la consommation de quatre espèces de poisson braisées afin de contribuer à la protection desdits consommateurs.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Échantillonnage : Le matériel biologique est constitué de poissons cuits à l'aide de braises de charbon de bois, appelés «poissons braisés». Ainsi, quatre-vingt-six (86) échantillons de poissons braisés ont été collectés, de façon aléatoire et simple, dans le circuit de la restauration collective du District Autonome d'Abidjan de janvier à mars 2015 dans les proportions suivantes : vingt-six (26) Tilapias, vingt (20) carpes, vingt (20) maquereaux, vingt (20) brochets.

Détermination des HAP : L'extraction et l'analyse des HAP ont été réalisées selon la norme ISO 15753-2004 comme indiqué par Aké *et al.* (2012). Dans un tube à centrifuger contenant 2,5 g du broyat de l'échantillon de poisson braisé, il a été introduit 10 ml de

mélange acétonitrile/acétone (60/40 ; v/v). Le mélange a été homogénéisé au vortex pendant 30 secondes et à l'ultra-son pendant 5 minutes avant d'être centrifugé pendant 5 minutes à 4000 tours/minutes. La phase supérieure a été prélevée et transférée dans un tube conique (Falcon®) taré. L'extraction a été répétée une deuxième fois avec 10 ml du mélange acétonitrile/acétone (60/40 ; v/v). Après centrifugation, la phase supérieure a été prélevée et transférée dans le même tube conique (Falcon®) taré et le solvant a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif à 35°C. Deux (2) ml du mélange acétonitrile/acétone (60/40 ; v/v) ont été introduits dans le tube conique contenant l'extrait sec qui a été agité au vortex pendant

15 secondes puis centrifugé durant 30 secondes. La phase supérieure a été transférée dans un tube et l'opération est répétée deux fois. Le surnageant est transféré sur une cartouche Bond Elut (C18 ; 500 mg/6 ml) préalablement conditionnée avec 12 ml de méthanol et 12 ml d'acétonitrile. L'élution a été effectuée avec 5 ml du mélange acétonitrile/acétone à la pression atmosphérique. L'éluât a été concentré, à 50

mg, à l'aide d'un évaporateur rotatif à 35°C. L'extrait ainsi purifié a été récupéré dans 1 ml d'hexane dans un tube qui a été serti et conservé à -18°C avant analyse. Un chromatographe Liquide Haute Performance (CLHP) de marque Shimadzu, couplé à un détecteur UV/VIS SPD-20A, a été utilisé dans les conditions opératoires décrites dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Conditions d'analyse par HPLC

Colonne C18	40° C		
Gradient binaire	Solvant A : Eau Solvant B : Acétonitrile		
Débit	1 ml/min		
Durée de l'analyse	10 min		
Longueur d'onde	254 nm		
Mode élution	Isocratique		
Molécules (HAP) recherchés	Abréviation	Limite de Détection (LD ; µg/Kg)	Limite de quantification (LQ ; (µg/Kg)
Fluoranthène	F	0,017	0,060
Pyrène	P		
Benzo(k) Fluoranthène	Bkf		
Benzo(a) Pyrène	BaP		
Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène	Ind (1, 2,3 cd) Py		
Benzo (g, h, i) Pérylène	B (g, h, i) Py		
Benzo(a) Anthracène	BaA		
Benzo(b) Fluoranthène	BbF		

Estimation des apports journaliers en HAP : Une approche déterministe a été adoptée pour l'estimation de l'apport en HAP. Elle a consisté à multiplier une valeur fixe de la consommation alimentaire des poissons par la concentration de HAP retrouvée dans les poissons et à diviser ce produit par le poids corporel réel de l'individu (OMS, 2003 ; Coulibaly *et al.*, 2016 ; Dagnogo *et al.*, 2018). En Côte d'Ivoire, la quantité de poissons consommée quotidiennement par habitant est de 44,17 g (Rebecca, 2010 ; FAO, 2012 ; MIRAH, 2014). L'apport en HAP a été calculé selon la formule :

$$AJE = (Ci \times Q) / P$$

Où AJE est l'apport journalier estimé en AP (µg/kg pc/j) chez un individu adulte de 60 kg ; Ci est la concentration moyenne en AP (µg/kg) ; Q est la quantité de poissons consommée par jour et par habitant (kg) et P est le poids corporel (kg).

Estimation du ratio de danger (RD) : Le ratio de danger a été déterminé en faisant le rapport de l'apport journalier estimé sur la valeur toxicologique de référence (VTR).

$$RD = AJE/VTR$$

Où AJE est l'apport journalier estimé en HAP (µg/kg pc/j) chez un individu adulte de 60 kg ; VTR est la valeur toxicologique de référence des HAP (µg/kg pc/j).

Ce ratio renseigne uniquement sur la potentielle apparition d'effets adverses et non sur leur importance. Ainsi lorsque :

- $RD < 1$ signifie que la population exposée est théoriquement hors de danger, c'est-à-dire que cette population exposée n'est pas susceptible de développer les effets sanitaires étudiés.

- $RD > 1$ signifie que l'effet toxique peut se déclarer sans qu'il soit possible de prédire la probabilité de survenue de cet événement (Coulibaly *et al.*, 2016 ; Bamba *et al.*, 2021).

Analyses statistiques : Tous les essais ont été réalisés en triple. Les moyennes ont été calculées avec les écarts types pour apprécier le niveau de contamination en HAP. L'analyse de variance à un facteur (ANOVA) a été réalisée afin de déterminer l'existence de

différences statistiques significatives entre les moyennes calculées. Les différences statistiques significatives ont été mises en évidence par le test de Student-Newman-Keuls au risque 0,05 à l'aide du logiciel SPSS version 20.0. Une analyse multivariée en composantes principales (ACP) a été réalisée en utilisant le Logiciel STATISTICA (version 7.1) pour structurer la variabilité entre les concentrations en HAP et les espèces de poisson. Les pourcentages et les proportions ont permis d'apprécier respectivement l'occurrence des HAPs dans les espèces de poisson prélevées et les risques encourus par les consommateurs par rapport à la Limite Maximale Autorisée et la Dose Journalière Autorisée.

RESULTATS

Concentration en hydrocarbures aromatiques polycycliques des poissons :

Les niveaux de contamination moyens en HAP des poissons braisés sont donnés dans le tableau 2. Les huit (8) molécules de HAP recherchées ont été détectées chez l'espèce Tilapia avec des concentrations variant de $0,010 \pm 0,033$ $\mu\text{g/kg}$ (Benzo (g, h, i) pérylène) à $0,218 \pm 0,414$ $\mu\text{g/kg}$ (Benzo(k) Fluoranthène) avec $0,722 \pm 0,682$ $\mu\text{g/kg}$ (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques totaux). Concernant les Carpes, les concentrations moyennes en HAP sont $0,305 \pm 0,704$ $\mu\text{g/kg}$, $0,318 \pm 0,591$ $\mu\text{g/kg}$, $0,347 \pm 0,688$ $\mu\text{g/kg}$, $0,348 \pm 0,835$ $\mu\text{g/kg}$, $0,397 \pm 0,905$ $\mu\text{g/kg}$, $0,440 \pm 0,944$ $\mu\text{g/kg}$, $0,514 \pm 1,072$ $\mu\text{g/kg}$, $0,647 \pm 1,709$ $\mu\text{g/kg}$ et $3,287 \pm 2,642$ $\mu\text{g/kg}$ respectivement pour le Benzo(a) Anthracène, le Benzo(k) Fluoranthène, le Benzo(a) Pyrène, le Fluoranthène, l'Indéno(1,2,3-cd) Pyrène, le Benzo(g,h,i) Pérylène, le Pyrène, le Benzo(b) Fluoranthène et les Hydrocarbures

Aromatiques Polycycliques totaux. Quant aux maquereaux, ils ont des concentrations moyennes en HAP de $0,038 \pm 0,092$ $\mu\text{g/kg}$ (Indéno(1,2,3-cd) Pyrène), $0,137 \pm 0,212$ $\mu\text{g/kg}$ (Benzo(g,h,i) Pérylène), $0,167 \pm 0,275$ $\mu\text{g/kg}$ (Benzo(a) Pyrène), $0,858 \pm 1,681$ $\mu\text{g/kg}$ (Benzo(b) Fluoranthène), $1,093 \pm 1,712$ $\mu\text{g/kg}$ (Benzo(a) Anthracène), $2,235 \pm 3,519$ $\mu\text{g/kg}$ (Benzo(k) Fluoranthène), $2,265 \pm 3,578$ $\mu\text{g/kg}$ (Fluoranthène), $2,455 \pm 2,155$ $\mu\text{g/kg}$ (Pyrène) et $9,247 \pm 4,123$ $\mu\text{g/kg}$ (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques totaux). Les concentrations moyennes en HAP des échantillons de Brochet varient de $0,005 \pm 0,009$ $\mu\text{g/kg}$ (Fluoranthène, Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène) à $0,074 \pm 0,148$ $\mu\text{g/kg}$ (Benzo (g, h, i) Pérylène) avec $0,083 \pm 0,166$ $\mu\text{g/kg}$ (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques totaux) tandis que les molécules de Pyrène, Benzo(k) Fluoranthène, Benzo(a) Pyrène, Benzo(a) Anthracène et Benzo(b) Fluoranthène n'ont pas été détectées.

Tableau 2 : Concentrations moyennes en hydrocarbures aromatiques polycyclique en fonction du type de poisson ($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Type de poisson	Fluo	Pyrè	BkFluo	BaPyr	IndPyr	BgPyr	BaAnt	BbFluo	HAPT
Tilapia	0,044±0,107b	0,179±0,298b	0,218±0,414b	0,078±0,318a	0,089±0,305a	0,010±0,033a	0,014±0,050b	0,087±0,317a	0,722±0,682c
Carpe	0,348±0,835b	0,514±1,072b	0,318±0,591b	0,347±0,688a	0,397±0,905a	0,440±0,944a	0,305±0,704b	0,647±1,709a	3,287±2,642b
Maquereau	2,265±3,578a	2,455±2,155a	2,235±3,519a	0,167±0,275a	0,038±0,092a	0,137±0,212a	1,093±1,712a	0,858±1,681a	9,247±4,123a
Brochet	0,005±0,009b	<LD	<LD	<LD	0,005±0,009a	0,074±0,148a	<LD	<LD	0,083±0,166c
Fvalue	6,876	11,846	6,137	1,664	1,617	2,575	5,479	1,760	37,426
Pvalue	0,000	0,000	0,001	0,184	0,195	0,063	0,002	0,164	0,000

Les moyennes d'une même colonne portant la même lettre ne présentent pas de différence significative au risque $p = 0,05$.

Fluo : Fluoranthène, **Pyrè** : Pyrène, **BkFluo** : Benzo(k) Fluoranthène, **BaPyr** : Benzo(a) Pyrène, **IndPyr** : Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène, **BgPyr** : Benzo (g, h, i) Pérylène, **BaAnt** : Benzo(a) Anthracène, **BbFluo** : Benzo(b) Fluoranthène, **HAPT** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques totaux.

Proportion d'échantillons positifs aux HAP : Les échantillons de Tilapia sont positifs aux HAP et les proportions varient entre 8% (Benzo(a) Anthracène) et 67% (Benzo(k) Fluoranthène). Concernant les Carpes, les proportions d'échantillons positifs sont 30%, 40%, 40%, 40%, 40%, 50%, 60%, et 60% respectivement pour Benzo(g,h,i) Pérylène, Pyrène, Indéno(1,2,3-cd) Pyrène, Benzo(a) Anthracène, Benzo(b) Fluoranthène, Benzo(a) Pyrène, Fluoranthène et Benzo(k) Fluoranthène. Quant aux échantillons de

Maquereau, ils ont des proportions d'échantillons positifs de 17% (Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène), 33% (Benzo(a) Pyrène, Benzo (g, h, i) Pérylène, Benzo(a) Anthracène, Benzo(b) Fluoranthène), 67% (Fluoranthène, Pyrène) et 83% (Benzo(k) Fluoranthène). Les proportions d'échantillons de Brochet positifs aux HAP varient de 0% (Pyrène, Benzo(k) Fluoranthène, Benzo(a) Pyrène, Benzo(a) Anthracène, Benzo(b) Fluoranthène) à 25% (Fluoranthène, Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène, Benzo (g, h, i) Pérylène) (Tableau 3).

Tableau 3 : Proportions d'échantillons positifs aux HAP (pourcentage)

Type de poisson	Fluo	Pyrè	BkFluo	BaPyr	IndPyr	BgPyr	BaAnt	BbFluo
Tilapia	42	39	67	17	14	11	8	14
Carpe	60	40	60	50	40	30	40	40
Maquereau	67	67	83	33	17	33	33	33
Brochet	25	0	0	0	25	25	0	0

Nombre total d'échantillons : 86

Fluo : Fluoranthène, **Pyrè :** Pyrène, **BkFluo :** Benzo(k) Fluoranthène, **BaPyr :** Benzo(a) Pyrène, **IndPyr :** Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène, **BgPyr :** Benzo (g, h, i) Pérylène, **BaAnt :** Benzo(a) Anthracène, **BbFluo :** Benzo(b) Fluoranthène.

Proportions d'échantillons non conformes aux normes de qualité : Le tableau 4 présente les proportions d'échantillons de poisson braisé ayant des concentrations en HAP supérieures aux normes de 2 µg/kg (molécule) et 12 µg/kg (HAP totaux). Concernant le Tilapia, les proportions d'échantillons non conformes sont de 0% quelle que soit la molécule de HAP excepté la molécule de Benzo(k) Fluoranthène (3%). Aucune non-confirmé n'a été détectée pour les HAP totaux pour cette espèce. Quant à la Carpe, elle a des proportions de non-conformité de 5% (Fluoranthène, Benzo(k) Fluoranthène, Benzo(a) Pyrène, Benzo(a) Anthracène,

Benzo(b) Fluoranthène) et 10% (Pyrène, Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène, Benzo (g, h, i) Pérylène) avec 0% pour les HAP totaux. Les proportions d'échantillons de Maquereau non conformes sont 0%, 0%, 0%, 17%, 33%, 33%, 33% et 67% respectivement pour Benzo(a) Pyrène, Indéno(1,2,3-cd) Pyrène, Benzo(g,h,i) Pérylène, Benzo(b) Fluoranthène, Fluoranthène, Benzo(k) Fluoranthène, Benzo(a) Anthracène et Pyrène avec 33% pour les HAP totaux. Aucune non-conformité n'est observée avec les échantillons de Brochet quelle que soit la molécule HAP et également pour l'ensemble (HAPT).

Tableau 4 : Proportions d'échantillons non conformes aux normes de qualité (pourcentage)

Type de poisson	Fluo	Pyrè	BkFluo	BaPyr	IndPyr	BgPyr	BaAnt	BbFluo	HAPT
Tilapia	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Carpe	5	10	5	5	10	10	5	5	0
Maquereau	33	67	33	0	0	0	33	17	33
Brochet	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Normes (µg/kg)	2								12

Nombre total d'échantillons : 86

Fluo : Fluoranthène, **Pyrè** : Pyrène, **BkFluo** : Benzo(k) Fluoranthène, **BaPyr** : Benzo(a) Pyrène, **IndPyr** : Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène, **BgPyr** : Benzo (g, h, i) Pérylène, **BaAnt** : Benzo(a) Anthracène, **BbFluo** : Benzo(b) Fluoranthène, **HAPT** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques totaux.

Variabilité du poisson braisé par rapport aux molécules de HAP : La figure 1 présente la projection des espèces de poisson braisé et des molécules de HAP dans le plan d'analyse en composantes principales. La projection dans le plan comp1-comp2 exprime 98,96% de la variabilité. Le maquereau et les molécules

Fluoranthène, Pyrène, Benzo(k) Fluoranthène, Benzo(a) Anthracène, Benzo(b) Fluoranthène sont corrélés négativement au composant 1. Tandis que la carpe et les molécules Benzo(a) Pyrène, Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène et Benzo (g, h, i) Pérylène sont corrélés négativement au composant 2.

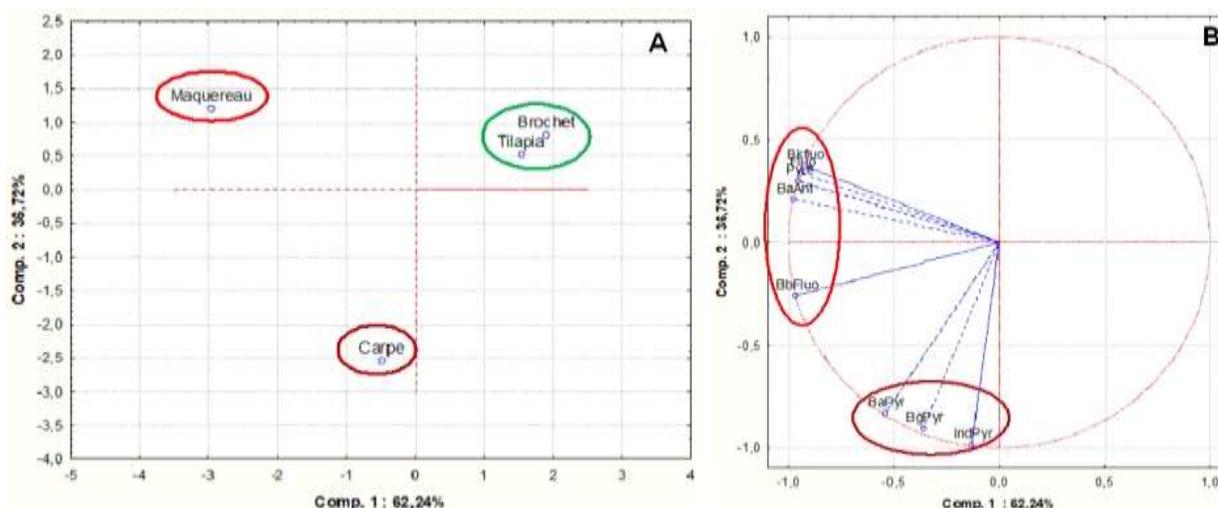


Figure 1 : Projection des espèces de poisson braisé (A) et des molécules de HAP (B) dans le plan d'Analyse en composantes principales

Fluo : Fluoranthène, **Pyrè** : Pyrène, **BkFluo** : Benzo(k) Fluoranthène, **BaPyr** : Benzo(a) Pyrène, **IndPyr** : Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène, **BgPyr** : Benzo (g, h, i) Pérylène, **BaAnt** : Benzo(a) Anthracène, **BbFluo** : Benzo(b) Fluoranthène, **HAPT** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques totaux.

Apport estimé en HAP : Les apports estimés liés aux différentes normes sont 1,262 ng/kg/j (molécules HAP) et 7,572 ng/kg/j pour l'ensemble des HAP (HAPT). Concernant le Tilapia, les apports sont compris entre 0,006 ng/kg/j (Benzo (g, h, i) Pérylène) et 0,138

ng/kg/j (Benzo(k) Fluoranthène) avec 0,456 ng/kg/j (HAPT). Quant à la carpe, elle a des apports de 0,192 ng/kg/j, 0,201 ng/kg/j, 0,220 ng/kg/j, 0,251 ng/kg/j, 0,278 ng/kg/j, 0,324 ng/kg/j et 0,408 ng/kg/j, 2,074 ng/kg/j respectivement pour Benzo(a) Anthracène,

Benzo(k) Fluoranthène, Benzo(a) Pyrène, Fluoranthène, Indéno(1,2,3-cd) Pyrène, Benzo(g,h,i) Pérylène, Pyrène, Benzo(b) Fluoranthène et les HAPT. Les apports estimés pour le Maquereau sont 0,024 ng/kg/j (Indéno(1,2,3-cd)Pyrène), 0,086 ng/kg/j (Benzo(g,h,i)Pérylène), 0,105 ng/kg/j (Benzo(a) Pyrène), 0,541 ng/kg/j (Benzo(b) Fluoranthène), 0,690 ng/kg/j (Benzo(a) Anthracène), 1,410 ng/kg/j (Benzo(k)

Fluoranthène), 1,429 ng/kg/j (Fluoranthène), 1,549 ng/kg/j (Pyrène) et 5,835 ng/kg/j (HAPT). Pour le Brochet, les apports estimés sont de 0,000 ng/kg/j (Benzo(a) Anthracène, Benzo(k) Fluoranthène, Benzo(a) Pyrène, Pyrène, Benzo(b) Fluoranthène), 0,003 ng/kg/j (Fluoranthène, Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène), 0,047 ng/kg/j (Benzo (g, h, i) Pérylène) et 0,052 ng/kg/j (HAPT).

Tableau 5 : Apports estimé en HAP pour un ivoirien adulte (ng/kg/j)

Type de poisson	Fluo	Pyrè	BkFluo	BaPyr	IndPyr	BgPyr	BaAnt	BbFluo	HAPT
Tilapia	0,028	0,113	0,138	0,049	0,056	0,006	0,009	0,055	0,456
Carpe	0,220	0,324	0,201	0,219	0,251	0,278	0,192	0,408	2,074
Maquereau	1,429	1,549	1,410	0,105	0,024	0,086	0,690	0,541	5,835
Brochet	0,003	0,000	0,000	0,000	0,003	0,047	0,000	0,000	0,052
LM	1,262								7,572

LM : Limite Maximale

Fluo : Fluoranthène, **Pyrè** : Pyrène, **BkFluo** : Benzo(k) Fluoranthène, **BaPyr** : Benzo(a) Pyrène, **IndPyr** : Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène, **BgPyr** : Benzo (g, h, i) Pérylène, **BaAnt** : Benzo(a) Anthracène, **BbFluo** : Benzo(b) Fluoranthène, **HAPT** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques totaux.

Risque estimé pour les HAP : Les risques estimés pour les molécules individuelles sont inférieurs à celui estimé pour la limite maximale autorisée (0,00025) excepté le Maquereau pour le Benzo(k) Fluoranthène (0,00028), le Fluoranthène (0,00029) et le

Pyrène (0,00031). En outre, les risques demeurent inférieurs à celui obtenu avec la limite maximale autorisée pour les HAP totaux (0,00151). Tous les risques estimés sont inférieurs à 1 quelles que soient l'espèce de poisson et la molécule de HAP recherchée.

Tableau 6 : Risque estimé pour un ivoirien adulte

Type de poisson	Fluo	Pyrè	BkFluo	BaPyr	IndPyr	BgPyr	BaAnt	BbFluo	HAPT
Tilapia	0,00001	0,00002	0,00003	0,00001	0,00001	0,00000	0,00000	0,00001	0,00009
Carpe	0,00004	0,00006	0,00004	0,00004	0,00005	0,00006	0,00004	0,00008	0,00041
Maquereau	0,00029	0,00031	0,00028	0,00002	0,00000	0,00002	0,00014	0,00011	0,00117
Brochet	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000	0,00001
LM	0,00025								0,00151

Fluo : Fluoranthène, **Pyrè** : Pyrène, **BkFluo** : Benzo(k) Fluoranthène, **BaPyr** : Benzo(a) Pyrène, **IndPyr** : Indéno (1, 2,3-cd) Pyrène, **BgPyr** : Benzo (g, h, i) Pérylène, **BaAnt** : Benzo(a) Anthracène, **BbFluo** : Benzo(b) Fluoranthène, **HAPT** : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques totaux.

DISCUSSION

L'étude réalisée a permis de mettre en évidence la présence des huit (8) molécules d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques recherchées dans les échantillons de «poissons braisés» collectés dans le District d'Abidjan. Les taux d'échantillons positifs varient de 0% à 83%. Cependant, les concentrations moyennes sont toutes inférieures à la norme de 2 µg/kg fixée par le règlement (CE) de l'Union Européenne (CE, 2006) quelle que soit l'espèce de poisson excepté le Maquereau pour le Benzo(k) Fluoranthène (2,235 µg/kg), Fluoranthène (2,265 µg/kg) et le Pyrène (2,455 µg/kg). Cette variabilité de contamination pourrait être expliquée par l'origine et la nature grasse ou pas des poissons, le type de charbon utilisé et le mode de transformation (Arias *et al.*, 2009 ; Aké *et al.*, 2010 ; Aké *et al.*, 2014). Car selon Aké *et al.* (2010), la concentration en HAP est fonction de la quantité de matière grasse du poisson transformé. Ce niveau élevé de contamination en HAP des poissons riches en matière grasse (Carpe et Maquereau) est confirmé par l'Analyse en Composante Principale. En effet, le Maquereau et la Carpe renferment en plus grande quantité respectivement 5 et 3 molécules sur les 8 recherchées alors que le Tilapia et le Brochet en sont moins contaminés. Ainsi la non-conformité observée dans les échantillons de Maquereau pour le Benzo(k) Fluoranthène, Fluoranthène et le Pyrène pourrait être expliquée par la nature grasse de ce poisson. Cependant, des concentrations en HAP plus élevées sont déterminées dans plusieurs denrées alimentaires notamment les viandes et poissons fumés (UE, 2020). Ce règlement indique que les viandes et poissons fumés de certains pays de l'Union Européenne ne peuvent pas respecter les faibles teneurs en HAP malgré l'application de bonnes pratiques de fumage. Cette situation a induit une double modification du règlement (CE) 1881/2006 par les règlements (UE) 835/2011 et (UE) 2020/1255 (CE, 2006 ; UE, 2011 ; UE, 2020).

L'apport de HAP par le processus de fumage et le site de prélèvement du poisson indépendamment du type de poisson a été mis en évidence par Aké *et al.*, 2014. Ainsi ces auteurs ont trouvé des teneurs variables de BaPyr dans le poisson frais (14,65 µg/kg) et le poisson fumé (64,97 µg/kg). Ils ont également obtenus des teneurs variables en BaPyr en fonction des sites de prélèvement notamment Macaci (24,76 µg/kg) et Port-Bouet (101,64 µg/kg). Alors la variabilité de contamination observée dans cette étude pourrait être expliquée aussi par le processus de braisage des vendeuses et du site de prélèvement des poissons. Cependant, les teneurs en BaPyr obtenues dans cette étude sont largement inférieures à celles obtenues par Aké *et al.*, (2010 et 2014). La norme relative aux HAPT est respectée quelle que soit l'espèce de poisson braisée. Car toutes les teneurs (0,083 µg/kg-9,247 µg/kg) sont inférieures à 12 µg/kg qui est la norme édictée par l'Union Européenne pour les HAPT (CE, 2006 ; UE, 2011 ; UE, 2020). Cependant, 33% des échantillons de Maquereau ont des teneurs en HAPT non conformes à ladite norme. Cette situation est la résultante de la forte contamination en HAP individuel de cette espèce de poisson riche en matière grasse. La consommation de la chair des poissons de cette étude apporte entre 0,000 ng HAP/kg Pc/j et 1,549 ng HAP/kg Pc/j à un ivoirien adulte quelles que soient la molécule de HAP et l'espèce de poisson. Tous ces apports individuels sont inférieurs à 1,262 ng/kg Pc/j obtenu à partir de la norme de 2 µg/kg, excepté les molécules de Fluo (1,429 ng/kg Pc/j), BkFluo (1,410 ng/kg Pc/j) et Pyrè (1,549 ng/kg Pc/j). Ces apports non conformes sont obtenus avec l'espèce maquereau. Cependant, tous ces apports sont inférieurs à ceux obtenus par Aké *et al.* (2014) quel que soit l'état (frais ou fumé) du poisson (0,09-52,01 ng/kg Pc/j) ou fumé (0,47-32,51 ng/kg Pc/j). Cette différence pourrait être liée à la différence de traitement

des poissons et le type de poisson. En effet, les poissons utilisés par Aké *et al.*, (2014) sont des sardines ayant subi un fumage, tandis que ceux utilisés dans cette étude sont des Tilapias, carpes, maquereaux et brochets ayant subi un brasage. En dehors du type de poisson, les «poissons braisés» et les poissons fumés ne seraient pas régis par les mêmes conditions ou critères de cuisson (durée d'exposition du poisson à la remontée de fumée, température et durée de cuisson). En effet, le poisson fumé serait exposé pendant 2 à 5 heures à la remontée de fumé du bois à une température de plus de 60 °C tandis que le poisson braisé serait cuit au bout de 30 minutes à une température supposée identique ou voisine de 60 °C.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

L'analyse chimique des échantillons de «poissons braisés» collectés dans le District d'Abidjan a mis en évidence la présence des huit (8) molécules de HAP recherchées. Le maquereau et la carpe renferment le plus grand nombre de molécule qui est de 5 et 3 respectivement. Les trois molécules (Fluo, Pyr, BkFluo) ayant des concentrations non conformes à la norme sont retrouvés dans le maquereau tandis que le brochet est le poisson le moins contaminé en HAP aussi bien en nombre qu'en concentration. A priori, la consommation du «poisson braisé» pourrait ne pas présenter de risque majeur pour le consommateur car tous les ratios de danger déterminés sont inférieurs à 1. Cependant, la situation exige la prise en compte des autres sources de HAP dans l'alimentation, étant

Concernant le risque sanitaire, tous les ratios de danger déterminés (0,00001-0,00041) sont inférieurs à 1 quels que soient le type de poisson et la molécule de HAP, ce qui voudrait dire que les consommateurs ivoiriens adultes de ces poissons braisés sont hors de danger. Cependant, certaines molécules notamment le BkFluo (0,00028), le Fluo (0,00029) et le Pyrè (0,00031), retrouvées dans la chair du maquereau braisé, ont des ratios supérieurs à celui estimé à partir de la norme de 2 µg/kg. Cette situation combinée à d'autres sources diffuses des molécules de HAP dans l'alimentation ferait penser à un risque sanitaire non négligeable pour le consommateur ivoirien adulte.

donné que certains ratios de danger sont supérieurs à ceux de la limite maximale de HAP autorisée couplé au pouvoir cumulatif des molécules dans l'organisme. Ainsi, ces résultats recommandent de réduire l'utilisation des espèces de poisson riches en matière grasse (maquereau, carpe) dans le processus de brasage et de prendre en compte les autres potentielles sources de HAP dans l'alimentation afin de limiter les niveaux de contamination en HAP des poissons et d'exposition des consommateurs. Des études complémentaires pourraient être menées afin d'évaluer l'effet du type de combustible (charbon), de l'espèce de poisson et du mode de brasage sur le niveau de contamination en HAP du poisson braisé.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIE

Ake Y, Biego GHM, Koffi KM, Kouame P, 2010, Validation de la méthode de détermination du Benzo(a)pyrène dans les poissons frais et fumés vendus et consommés en Côte d'Ivoire. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales* 8 (53) : 54- 58 p.

Ake AY, Biego GHM, Sess AD, Koffi KM, Kouame P, Bonfoh B, Akpagni H, Ausset E, 2012. Validation of a method for the quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish. *European Journal of Scientific Research* 74 (1) : 69-78.

- Aké AY, Anon N, Kouamé P, Bonfoh B, Biego GHM, 2014. Assessment of the exposure to Benzo(a)Pyrene (BaP) contained in sardines (*Clupeidae*) consumed by the ivorian adult in the area of Abidjan. *International Journal of Science and Research* 3 (11) : 2455-2461.
- Arias AH, Spetter CV, Freije RH, Marcovecchio JE, 2009. Polycyclic aromatic hydrocarbons in water, mussels (*Brachidontes sp.*, *Tagelus sp.*) and fish (*Odontesthes sp.*) from Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85 : 67-81.
- Bamba S, Coulibaly A, Sidibe D, Nyamien BY, Biego GHM, 2021. Assessment of the risk of exposure to aflatoxins found in maize (*Zea mays L.*) produced in Côte d'Ivoire in ivorian adults. *Asian Food Science Journal* 20(7) : 72-81.
- Bour O, 2005. Hydrocarbures aromatiques Polycycliques ; Guide méthodologique. INERIS, volume 1, N°66244-DESP-R01, 18p.
- Buet A, 2002. Impact biologique des HAP chez l'Anguille européenne. Définition et validation de biomarqueurs in situ. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud XI, 194 p.
- CE, 2006. RÈGLEMENT (CE) No 1881/2006 DE LA COMMISSION du 19 décembre 2006 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires L 364 : 20p.
- Coulibaly A, Dagnogo K, Sidibe D, Silue N, Dembele A, Biego GH, 2016. Daily intake of aflatoxins from cocoa (*Theobroma cacao*) product in Côte d'Ivoire. *International Journal of Science and Research* 5 (5) : 1517-1522.
- Dagnogo K, Coulibaly A, Kaba V, Kallo V, Dongo AC, Soro K, Biego GMH., Datte J, Dembele A, 2018. Détermination du niveau de contamination et de l'apport en résidus de tylosines (macrolides) des œufs de consommation dans le District d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 129 :13067–13074.
- EFSA, 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. (Question No EFSA-Q-2007-136), http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1211902034842.htm.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), 2012. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 239p, ISSN 1020-5497.
- FAO, 2020. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. La durabilité en action. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229fr>
- Garziandia L, 2000. Hydrocarbure Aromatique Polycycliques (HAP), dans l'air ambiant. Rapport INERIS-LCSQA-Convention 41/2000, 50p.
- Hylland K, 2006. Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Ecotoxicology in Marine Ecosystems. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Part A 69 : 109-123.
- MIRAH, 2014, Plan Stratégique de Développement de l'Élevage, de la Pêche et de l'Aquaculture en Côte d'Ivoire, PSDEPA, Côte d'Ivoire 87p
- Normand J, 2007. Synthèse bibliographique : Résidus toxiques générés lors de la cuisson de la viande bovine. Volume I, N° 170732024, 61 p.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2003. "Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques", Rapport d'une consultation OMS/FAO d'experts, Genève, OMS, Série de rapport technique, n° 916, 189p.

- UE, 2011. Règlement (UE) n°835/2011 de la Commission du 19 août 2011 modifiant le règlement (CE) n° 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les denrées alimentaires. Journal officiel de l'Union Européenne. Bruxelles.
- UE, 2020. RÈGLEMENT (UE) 2020/1255 DE LA COMMISSION du 7 septembre 2020 modifiant le règlement (CE) no 1881/2006 en ce qui concerne les teneurs maximales en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) des viandes, produits à base de viande, poissons et produits de la pêche fumés de façon traditionnelle et fixant une teneur maximale en HAP pour les poudres de denrées alimentaires d'origine végétale utilisées pour la préparation de boissons, L 293 : 4p.
- Vignet C, 2014. Altération de la physiologie des poissons exposés à des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) : Comportement et Reproduction. Thèse de doctorat : spécialité de la physiologie, biologie des organismes, populations, interaction. Université de la Rochelle, GUY LUSSAC, 360p.