

Contribution à la sécurité alimentaire et à la nutrition: Utilisation du four amélioré (Thiaroye) dans la réduction de la teneur en HAP de deux espèces de poissons (thon et mâchoiron) fumés en Côte d'Ivoire

[Contribution to food security and nutrition: Use of the improved oven (Thiaroye) to reduce the PAH content of two species of fish (tuna and catfish) smoked in Côte d'Ivoire]

Aïssatou Coulibaly¹, Djakalia Bouatené¹, Oula Djibril Traoré¹, Sory Karim Traoré², and N'Guessan Georges Amani²

¹Laboratoire de biochimie alimentaire et des produits tropicaux, UFR Sciences et Technologies des Aliments (UFR STA), Université Nangui Abrogoua 02, BP 801 Abidjan 02, Abidjan, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Chimie de l'Environnement, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement (UFR SGE), Université Nangui Abrogoua 02, BP 801 Abidjan 02, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Smoking is a processing operation that has been practiced for generations in many parts of the world, for the preservation of products such as meat and fish. However, when smoking fish, the smoke carries polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) which have an impact on health. The objective of this study was to assess the performance of the Thiaroye oven in reducing the PAH levels of two species of smoked fish in Côte d'Ivoire. The smoking of the fish was carried out at the Guéssabo smoking site and the samples were sent to the laboratory for analysis. The fish samples were divided into two lots. One batch was smoked with the traditional oven and the second batch was smoked with the Thiaroye oven. The fuel used was redwood (*Cassine Orientalis*). The PAH contents were evaluated by high performance liquid chromatography - fluorescence detection. The PAH contents, in particular Benzo (a) Pyrene, Chrysene, Benzo (a) Anthracene, and Benzo (b) Fluoranthene are different depending on the species of fish and the smoking technology applied. According to the analysis results of the two species of fish, and by referring to the European standards which is 2 µg / kg for B (a) P and 12 µg / kg for the sum of the PAHs, it emerged that the catfish was more contaminated than tuna regardless of the technology applied. However, the results showed a reduction of 61.70% for B (a) P and 86.73% for the sum of PAHs with tuna and 73.93% for B (a) P and 98.44 % for the sum of the PAHs in the case of the catfish. The smoking of fish in the Thiaroye oven leads to a considerable decrease in the PAHs content.

KEYWORDS: Smoked fish, tuna, catfish, Thiaroye oven, polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs.

RESUME: Le fumage est une opération de transformation pratiquée depuis des générations dans de nombreuses régions du monde, pour la conservation des produits tels que la viande et le poisson. Cependant lors du fumage des poissons, la fumée véhicule des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) qui ont un impact sur la santé. L'objectif de cette étude était d'évaluer les performances du four Thiaroye sur la réduction des teneurs en HAP de deux espèces de poissons fumés en Côte d'Ivoire. Le fumage des poissons a été effectué sur le site de fumage de Guéssabo et les échantillons ont été acheminés au laboratoire pour analyse. Les échantillons de poisson ont été répartis en deux lots. Un lot a été fumé avec le four traditionnel et le second lot a été fumé avec le four Thiaroye. Le combustible utilisé était le bois rouge (*Cassine Orientalis*). Les teneurs en HAP ont été évaluées par chromatographie liquide à haute performance - détection par fluorescence. Les teneurs en HAP notamment en Benzo (a) Pyrène, en Chrysène, en Benzo (a) Anthracène, et en Benzo (b) Fluoranthène sont différentes en fonction de l'espèce de poisson et de la technologie de fumage appliquée. Selon les résultats d'analyse des deux espèces de poissons, et en se référant aux normes européennes qui est de 2 µg/kg pour le B (a) P et de 12 µg/kg pour la somme des HAP, il est ressorti que le mâchoiron était plus contaminé que le thon quel que soit la technologie appliquée. Toutefois, les résultats ont montré une réduction de 61,70 % pour le B (a) P et de 86,73 % pour la somme des HAP avec le thon et de 73,93 % pour le B (a) P, 98,44 % pour la somme des HAP dans le cas du mâchoiron. Le fumage de poisson au four Thiaroye entraîne une diminution considérable de la teneur en HAP.

MOTS-CLEFS: Poisson fumé, thon, mâchoiron, four Thiaroye, hydrocarbures aromatiques polycycliques, HAP.

1 INTRODUCTION

La proportion de poisson utilisée pour la consommation humaine directe a augmenté significativement de 67 % depuis 1960 [1]. En effet, le poisson occupe une place importante dans l'alimentation humaine. En 2018, environ 88 % (156 millions de tonne) de la production mondiale a été utilisée pour la consommation humaine directe [1]. Le poisson est une source importante de protéines de bonne valeur biologique, des minéraux et des acides gras essentiels [1], [2].

Cependant, le poisson est une denrée alimentaire très riche en eau donc facilement périssable [1], [3], [4]. Sa conservation dans certains pays chauds est difficile en raison du manque d'infrastructures adéquates et du fait des conditions climatiques et d'environnement qui concourent à sa dégradation en quelques heures [3] – [5].

Le fumage à chaud du poisson est une activité importante dans les petites et moyennes unités post-capture du poisson des pays en développement [6]. C'est une opération de transformation pratiquée depuis des générations dans de nombreuses régions du monde pour la conservation des produits tels que la viande, le poisson ou le fromage [7] et pour la diversification alimentaire en conférant un saveur. Il est souvent associé à une cuisson, un séchage et/ou un salage. En Afrique de l'Ouest, le fumage permet de stabiliser des denrées alimentaires périssables et ainsi les acheminer des sites de capture ou d'élevage vers les zones de consommation [2].

En Côte d'Ivoire, le poisson occupe une place importante dans l'alimentation avec une part de 50 % de l'apport en protéine animal et représente entre 15 et 16 Kg / an de consommation par habitant [8]. Dans le pays 20 à 30% de la production locales marines et d'eau douce sont consommées sous forme de poisson fumé. Le poisson fumé est préféré par les populations locales à d'autres sources de protéines telles que le lait, la viande et les œufs, en raison de sa saveur, de ses bienfaits nutritionnels, de son prix compétitif et de sa durée de conservation qui oscille entre trois et six mois.

En Afrique en particulier une diversité de four de fumage, du traditionnel aux modèles plus améliorés de fours, sont ainsi utilisés [6]. L'utilisation des fours traditionnels pour le fumage permet un contact direct entre le poisson et la fumée. Les fonctions préservatrices, d'aromatisation et de coloration sont bien corrélées à l'apport de fumée. Toutefois la fumée véhicule des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP) connus pour avoir un effet cancérigène chez l'homme [9]. Les HAP sont considérés comme un problème de santé publique dans le monde. Ils sont des produits de la combustion incomplète de matériaux comme le charbon, le pétrole, le gaz, le bois et la viande grillée au charbon de bois. Les HAP peuvent se former dans les aliments pendant le traitement thermique [10]. L'apparition des HAP est intimement dépendante des conditions de transformation des denrées alimentaires.

En Afrique des unités à petite échelle ont été suspendues d'exportation de leurs poissons fumés à chaud vers le marché lucratif de l'Union européenne, en raison des niveaux anormalement élevés d'HAP [6]. À cela s'ajoute des risques sanitaires (maux de tête, maux de hanche, brûlures sur le corps) auxquels les professionnels du métier sont confrontés à cause de l'utilisation des fours traditionnels.

Différents types de fours ont été utilisés pour produire du poisson fumé: en passant des fours traditionnels (four rond avec boue, fours en tonneau) aux fours améliorés (multi-claie Chorkor, Banda, Altona, Parpaing, etc.). Parmi les fours améliorés qui ont été développés, les plus populaires sont le Parpaing et le Chorkor [11]

Ces fours se sont répandus parmi les communautés de pêcheurs en Afrique à cause de leur utilisation facile et sans danger ainsi que de leur vaste capacité de transformation. Ils nécessitent peu de bois de chauffe, réduisent les temps de fumage et permettent de générer des poissons fumés de qualité acceptable. Malgré leurs performances, ces fours traditionnels améliorés de fumage présentaient des limites. Pour résoudre les problèmes des fours traditionnels améliorés la FAO a développé le four Thiaroye afin de permettre des opérations de transformation tout d'abord plus conforme aux exigences de sécurité sanitaire, mais aussi indépendamment des aléas climatiques [11].

Ce travail avait pour hypothèse que l'utilisation du four Thiaroye lors du fumage des poissons permettait de diminuer les teneurs en HAP et l'objectif général était d'évaluer les performances du four Thiaroye sur la réduction des teneurs en HAP de deux espèces de poissons fumés et de comparer la teneur en HAP des poissons fumés avec la norme de référence de l'Union européenne.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DU SITE DE L'ÉTUDE

L'étude a été réalisée sur le site de fumage de Guéssabo. Guéssabo est une ville située à l'ouest de la Côte d'Ivoire et appartenant au département de Zoukougbeu dans la région du haut-Sassandra. Guéssabo est situé à 432 km d'Abidjan et à 50 km de Daloa. Les principales activités du site sont la vente/mareyage de poisson frais et de poisson fumé et la pêche.

2.2 MATÉRIEL UTILISÉ

2.2.1 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Le matériel biologique est constitué de Mâchoiron (*Chrysichtys* sp) et du Thon (*Thunnus alalunga*) provenant du site du fumage de Guéssabo.



A : Mâchoiron (*Chrysichtys* Sp.)



B : Thon (*Thunnus alalunga*)

Fig. 1. Espèces de poissons prélevés

2.2.2 COMBUSTIBLES UTILISÉS POUR LE FUMAGE DU POISSON

Lors de cette étude, seul le bois rouge a été acheté dans la ville de Guéssabo et utilisé pour fumer les poissons. Le choix de l'utilisation de ce bois est motivé par sa faible toxicité par rapport aux autres essences de bois tels que l'hévéa et le bois bété.



Fig. 2. Combustible utilisé pour le fumage (Bois rouge: *Cassine orientalis*)

2.3 MÉTHODES

2.3.1 ÉCHANTILLONNAGE DES POISSONS

Dans le cadre ce travail, trois fumeuses ont collaboré afin de faciliter l'activité de fumage. En effet, pour que les résultats recherchés soient le plus proche possible de la réalité du terrain, ces femmes ont été associées à toutes les activités (collecte de poissons frais, collecte de combustibles, activités de fumages). Les échantillons de poissons frais et les combustibles ont été collectés dans la ville de Guéssabo.

Au total, 40 échantillons de poissons ont été collectés, dont 20 de chaque espèce. Ces 40 échantillons ont été conditionnés et repartis de la façon suivante: 30 échantillons de poissons frais destinés au fumage sur les fours traditionnels en raison de 10 échantillons à chacune des fumeuses retenues et 10 échantillons de poissons pour le fumage sur le four Thiaroye.

Le premier groupe de poisson (thon et mâchoiron) comprenait les poissons dont la taille était inférieure ou égale 30 cm et la masse est inférieure ou égale à 400 g. Le deuxième groupe de poisson (Thon et Mâchoiron) comprend les poissons dont la taille est comprise entre 32 et 38 cm et la masse est comprise entre 401 et 700 g.

2.3.2 LE FUMAGE DES POISSONS

Ouverture : Le poisson n'est pas totalement ouvert, il est simplement vidé par une incision ventrale.

Egouttage : C'est une étape très importante car elle permet de débarrassés toute l'eau qui a servi à laver les poissons et partiellement celle contenue dans la chair. Pour ce faire les poissons lavés sont disposés côte à côte sur une paille de bambou. Cette opération permet de réaliser un bon fumage et d'empêcher le poisson de se coller aux claies.

Fumage : Le fumage est fait avec le bois rouge. Les poissons sont rangés côte à côte sur une claie et recouvert d'une part avec un couvercle métallique pour le four amélioré et d'autre part avec des cartons pour le four traditionnel. La technique de fumage utilisée est le fumage à chaud qui n'a duré que 3 heures et 30 minutes appeler fumage court. Les équipements utilisés pour le fumage du poisson sont essentiellement le fumoir traditionnel et le four Thiaroye (Figure 3).



Fig. 3. Photographies du four Thiaroye (a) et du four traditionnel (b) utilisés pour les tests de fumage

2.4 ANALYSE DES HAP DANS LES POISSONS

Il s'agissait de déterminer le niveau de contaminations des échantillons de poissons fumés au four amélioré et au four traditionnel pour les différents polluants précisément le chrysène, le Benzo (a) Anthracène, le Benzo (b) Fluoranthène et du Benzo (a) pyrène.

L'extraction et la purification des HAP ont été faites suivant les recommandations de la norme internationale ISO 15753: 2016.

Les HAP ont été extraits avec un mélange n-hexane/dichlorométhane (Scharlau Chemie S.A), puis purifiés sur une micro-colonne de silice. La détermination de la teneur en HAP individuel après séparation est réalisée par le biais de l'HPLC en mesurant la fluorescence à des longueurs d'onde d'excitation et d'émission différentes.

2.4.1.1 EXTRACTION DES HAP

La méthode aux ultrasons a été utilisée pour l'extraction des HAP. Une prise d'essai de 5 g d'échantillon des muscles de poisson des deux faces est homogénéisée avec 2 g de Sulfate de magnésium ($MgSO_4$), et 2 g de Sulfate de sodium (Na_2SO_4) pour absorber l'humidité.

Les HAP sont extraits par application d'un champ micro-ondes en présence d'un mélange de n-hexane/dichlorométhane (30 mL). Cette opération a été répétée trois fois pour optimiser l'extraction. L'extrait organique obtenu contenant les HAP est concentré au rotavapor, puis repris avec 5 mL d'hexane/dichlorométhane afin de subir une purification.

2.4.1.2 PURIFICATION DES EXTRAITS

La purification a été réalisée sur une micro-colonne de silice pré-conditionnée à cet effet. Les extraits ont été introduits à l'aide d'une seringue en tête de la micro-colonne de silice, les HAP sont élués sous tirage sous vide avec 5 mL d'un mélange de n-hexane et de dichlorométhane (50/50). La solution obtenue est filtrée sur filtre PTFE de porosité 0,45 μm puis évaporée. Les résidus sont ensuite récupérés avec 2 mL de méthanol pour le dosage. Les échantillons purifiés sont analysés avec un chromatographe liquide équipé d'un détecteur fluorimétrique.

2.4.1.3 DOSAGE DES HAP

Parmi les huit molécules d'HAP reconnus cancérigènes lorsqu'ils sont présents dans les aliments, quatre ont été recherchées. Il s'agit du Benzo [b] Fluoranthène (BbF), du Benzo [a] Pyrène (BaP), du Chrysène (CHR), et du Benzo [a] Anthracène (BaA).

La quantification des HAP a été effectuée par une chaîne HPLC (Chromatographie Liquide à Haute Performance) équipé d'un détecteur fluorimétrique de marque SHIMADZU.

2.5 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Le traitement des données et la réalisation des figures ont été possibles grâce à l'utilisation des logiciels EXCEL 365 et STATISTICA 7.1.

3 RÉSULTATS

3.1 TENEUR EN HAP DANS LES POISSONS FUMÉS AU FOUR TRADITIONNEL

Le tableau 1 présente les concentrations moyennes, maximales, minimales, ainsi que les médianes mesurées dans les échantillons de poissons fumés aux fours traditionnels.

Les résultats ont montré que, le benzo (a) pyrène avait une concentration moyenne de 9,66 µg/kg dans le thon. Concernant le Chrysène, le Benzo (a) Anthracène, le Benzo (b) Fluoranthène leurs valeurs étaient respectivement de 1434,29 µg/kg, 8,4 µg/kg et 86,05 µg/kg. La plus grande concentration est celle du Chrysène. La somme des concentrations moyennes des HAP dans le thon fumé traditionnellement étaient de 1135,59 µg/kg.

Pour le mâchoiron fumé, les concentrations sont de 12,43 µg/kg pour le Benzo (b) Fluoranthène et 46516,56 µg/kg pour le Chrysène. La concentration moyenne en benzo (a) pyrène pour le mâchoiron est de 21,29 µg/kg. Le Benzo (a) Anthracène a une concentration moyenne de 411,35 µg/kg et la somme des HAP est de 13675,58 µg/kg.

Il ressort des résultats que la concentration moyenne des HAP du mâchoiron était supérieure à celle du thon.

Tableau 1. Teneur en HAP dans les thons et mâchoirons fumés au four traditionnel

THON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Moyenne	1434,29	8,40	86,05	9,66	1135,59
Maximum	5196,27	23,35	222,97	43,57	5239,84
Minimum	227,87	0,75	3,79	0,49	164,66
Médiane	840,77	6,02	34,22	0,98	
MACHOIRON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Moyenne	46516,56	411,35	12,43	21,29	13675,58
Maximum	91123,50	735,17	73,59	47,21	87938,12
Minimum	1229,71	87,52	0,22	7,42	3,11
Médiane	46856,52	411,35	2,50	15,25	

3.2 COMPARAISON DES TENEURS EN HAP DES THONS ET MÂCHOIRON FUMÉS AU FOUR TRADITIONNEL AVEC LES VALEURS DE RÉFÉRENCES

Le tableau 2 révèle le niveau de contamination en B (a) P et la somme des HAP des échantillons par rapport aux valeurs de références de l'Union européenne (UE). Bien que la concentration moyenne des HAP dans le thon était moins élevée que celle du mâchoiron, aucun échantillon de poisson fumé avec le four traditionnel ne respecte la limite fixée par l'UE (2 µg/kg pour le B (a) P et 12 µg/kg pour la somme des HAP dans les poissons fumés).

Tableau 2. Teneur du B (a) P et la somme des HAP du thon et du mâchoiron fumés au four traditionnel en comparaison avec les valeurs seuils de référence

Espèces de poissons	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP (ug/kg)
THON	9,66	1135,59
MACHOIRON	21,29	13675,58
Normes	2	12

3.3 TENEUR EN HAP DANS LES POISSONS FUMÉS AU FOUR THIAROYE

Le tableau 3 indique les teneurs en HAP des poissons fumés au four Thiaroye. Les résultats ont montré que dans le thon, le Chrysène présentait la plus forte concentration avec une teneur de 181,51 µg/kg suivi du Benzo (b) Fluoranthène avec une concentration de 12,01 µg/kg. La concentration moyenne du Benzo (a) Anthracène était de 6,89 µg/kg et celle du Benzo (a) Pyrène était de 3,7 µg/kg. La somme des HAP avait une teneur de 204,11 µg/kg.

Pour le mâchoiron, le Chrysène avait la concentration la plus élevée avec une valeur de 704,98 µg/kg suivi du Benzo (a) Anthracène dont la concentration moyenne était de 21,72 µg/kg. Le Benzo (a) Pyrène et le Benzo (b) Fluoranthène avaient les valeurs respectives de 5,55 µg/kg et 1,3 µg/kg. Quant à la somme des HAP elle présentait une teneur de 733,55 µg/kg. Les résultats ont montré que la teneur en HAP du mâchoiron était plus élevée que celle du thon avec la technologie améliorée.

Tableau 3. Teneur en HAP dans les poissons fumés au four thiaroye

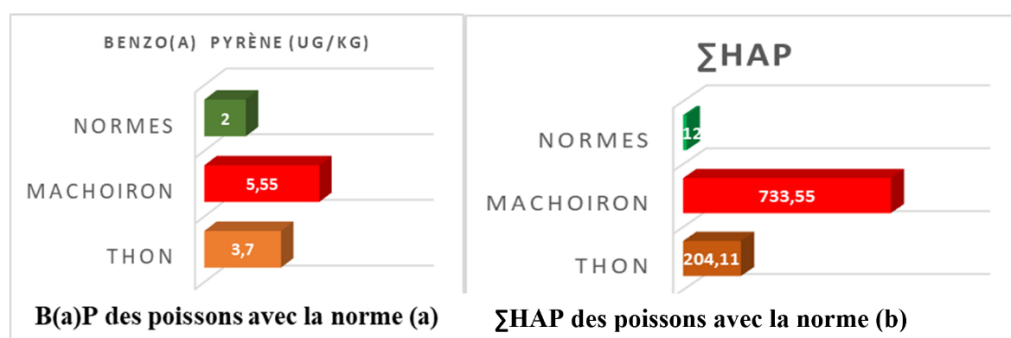
THON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Moyenne	181,51	6,89	12,01	3,7	204,11
Maximum	413,65	18,2	64,29	12,27	508,41
Minimum	43,15	0,1	1,19	0,21	44,65
Médiane	159,58	2,38	3,76	1,44	
MACHOIRON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Moyenne	704,98	21,72	1,3	5,55	733,55
Maximum	2703,71	64,34	4,02	7,24	2779,31
Minimum	184,07	7,43	0,38	2,88	194,76
Médiane	382,75	19,72	1,88	3,51	

3.4 COMPARAISON DES TENEURS EN HAP DES POISSONS FUMÉS AU FOUR THIAROYE ET LES VALEURS DE RÉFÉRENCES DE L'UE

La figure 1 donne la comparaison des concentrations moyennes en Benzo (a) Pyrène et la somme des HAP obtenues avec les échantillons fumés au four thiaroye avec la norme de l'Union européenne.

Le mâchoiron présente une teneur de 5,55 µg/kg et le thon une valeur de 3,7 µg/kg alors que la concentration limite fixée par l'UE est de 2 µg/kg pour le Benzo (a) Pyrène (figure 1 a).

La figure 1 b est relatif à la somme des HAP. Le mâchoiron présentait une teneur de 733,55 µg/kg et le thon une valeur de 204,11 µg/kg. Ces valeurs sont supérieures à la norme de l'UE dont la valeur limite de la somme des HAP est fixée à 12 µg/kg.

**Fig. 4.** Comparaison des teneurs en HAP des poissons fumés au four Thiaroye et les valeurs de références de l'UE

3.5 TENEUR EN HAP DANS LE THON EN FONCTION DU TYPE DE FOUR DE FUMAGE

Le tableau 4 présente les teneurs en HAP dans le thon en fonction du type de four de fumage. Les résultats ont montré que le four thiaroye réduit considérablement les teneurs en HAP dans le thon. En comparant les teneurs par rapport au four traditionnel, il permet de réduire jusqu'à 87,34 % pour le Chrysène, 17,98 % pour le Benzo (a) Anthracène, 86,04 % pour le Benzo (b) Fluoranthène et 61,70 % le Benzo (a) pyrène. Quant à la somme des HAP la réduction est de 86,73 %.

Tableau 4. Niveau de contamination du thon par les HAP en fonction du type de four

THON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Four traditionnel	1434,29	8,4	86,05	9,66	1538,4
Four thiaroye	181,51	6,89	12,01	3,7	204,11
Pourcentage des HAP éliminé (%)	87,34	17,98	86,04	61,70	86,75

3.6 TENEUR EN HAP DANS LE MÂCHOIRON EN FONCTION DU TYPE DE FOUR DE FUMAGE

Le tableau 5 présente les teneurs en HAP dans le mâchoiron en fonction du type de four de fumage. Les résultats ont montré une forte diminution de la concentration en HAP avec le four Thiaroye. En comparant les teneurs par rapport au four traditionnel, les résultats ont indiqué une diminution de l'ordre de 98 %, 95 %, 90 %, 74 % respectivement du Chrysène, du Benzo (a) Anthracène, du Benzo (b) Fluoranthène et du Benzo (a) pyrène. Concernant la somme des HAP le taux a été réduit de 98 %.

Tableau 5. Niveau de contamination du mâchoiron par les HAP en fonction du type de four

MACHOIRON	Chrysène (ug/kg)	Benzo (a) Anthracène (ug/kg)	Benzo (b) Fluoranthène (ug/kg)	Benzo (a) pyrène (ug/kg)	ΣHAP
Four traditionnel	46516,56	411,35	12,43	21,29	46961,63
Four thiaroye	704,98	21,72	1,3	5,55	733,55
Pourcentage des HAP éliminé (%)	98,48	94,72	89,54	73,93	98,44

4 DISCUSSION

Dans cette étude l'accent a été mis sur quatre HAP conformément au règlement (CE) no 835/2011 de la Commission européenne. Dans cette réglementation, le benzo (a) pyrène seul ne constitue pas un marqueur approprié de l'apparition de HAP dans les denrées alimentaires mais qu'un système de quatre HAP spécifiques [benzo (a) pyrène, chrysène, benzo (b) fluoranthène, benzo (a, h) anthracène] serait le meilleur indicateur de la présence des HAP dans les aliments.

Dans tous les échantillons, la quantité des quatre HAP prioritaires dépasse largement la limite fixée par la commission de l'Union européenne. Avec la technique de fumage traditionnelle, les résultats ont montré des concentrations élevées pour le Benzo (a) Pyrène et pour la somme des HAP aussi bien pour le thon que pour le mâchoiron. L'un des principaux facteurs qui a probablement contribué à obtenir des niveaux aussi élevés d'HAP dans les échantillons de poisson est la technique appliquée. En effet, avec le four traditionnel la distance entre le poisson et la fumée n'est pas grande. Ce four permet un contact direct entre la fumée et le poisson lors du fumage, ce qui entraînerait un dépôt massif de fumer contenant les HAP sur le poisson d'où des concentrations élevées. Certains auteurs [12] ont montré que fumer du poisson en utilisant des méthodes traditionnelles augmentait la quantité d'HAP formée dans les poissons fumés. Le deuxième facteur important qui pourrait expliquer les teneurs élevées en HAP est le combustible utilisé lors du fumage. Certes le bois est un combustible qui génère de la fumée et donne au poisson un goût et un arôme particuliers mais la plupart des HAP présents dans les aliments fumés, en particulier les poissons, proviennent de la fumée de bois dont certains sont cancérigènes [7], [13].

En plus du type de four et du combustible utilisés lors du fumage qui sont autant de facteurs favorisant la formation des HAP, le temps et la température de fumage pourraient contribuer à leur apparition. Plus le processus de cuisson est long, plus le poisson reste longtemps au feu avec une température très élevée dans le processus de fumage. La fumée de bois contient un grand nombre d'HAP dont la formation dépend essentiellement de la température [13]. La température de la fumée est importante, car la quantité d'HAP formés lors de la pyrolyse augmente à mesure que la température augmente [14]. Dans l'étude sur le fumage des poissons en Afrique

de l'Ouest pour les marchés locaux et d'exportation, [7] avaient démontré l'importance du processus de fumage dans l'apparition des HAP dans les poissons.

Bien qu'ayant utilisé le même type de combustible, l'étude a montré qu'avec le four amélioré les concentrations en HAP étaient moindres. En effet, avec le four thiaroye, les teneurs pour le Benzo (a) Pyrène et la somme des HAP sont respectivement de 3,7 et 204,11 µg/kg pour le thon. Le mâchoiron présente des teneurs de 5,55 µg/kg pour le Benzo (a) Pyrène et 733, 55 µg/kg. Les différences observées dans les concentrations des HAP entre les espèces de poisson pourraient être attribuées aux différences de composition de graisse de chaque espèce. Les travaux de certains auteurs [12], [15] ont révélé que le mâchoiron était riche en matière grasse comparativement au thon. Certaines études avaient examiné l'effet de la composition de l'échantillon sur la formation d'HAP dans des échantillons de poisson. Les résultats ont montré que la fumée induite par la graisse pendant les processus de chauffage augmentait et pénétrait dans le poisson [16], [17]. Par ailleurs, cette étude a révélé également que les concentrations en Benzo (a) Pyrène et la somme des quatre HAP sont plus élevées dans les échantillons de mâchoiron (poissons gras) fumés que ceux du thon (poissons moins gras) quel que soit la technologie utilisée.

Bien que les poissons fumés au four Thiaroye ne respectent pas le seuil critique selon les recommandations de l'UE, ce four a réduit considérablement les teneurs en HAP dans les poissons fumés. Le four Thiaroye qui a été construit pour corriger l'insuffisance des autres fours est doté d'un collecteur de graisse. Ce système permet de collecter des matières grasses durant la cuisson. Ce qui empêche ces matières d'être en contact avec le feu afin de générer en retour des dépôts de particules de goudron sur le poisson. Le système de filtre dont dispose ce four permet de filtrer et d'abaisser la température de la fumée lors du fumage.

Au terme de cette étude, il ressort que le four Thiaroye a un impact majeur quant à la diminution des HAP dans le poisson fumé. Il serait important que l'usage de ce type de four soit généralisé auprès des acteurs du fumage de poisson. Il faudrait que des études soient conduites afin de trouver le meilleur combustible à utiliser avec ce type de four.

5 CONCLUSION

Ce travail avait pour but de montrer l'influence du four Thiaroye dans la réduction de la teneur en HAP des poissons fumés. Pour ce faire, nous avons comparé les teneurs en HAP des poissons fumés avec le four Thiaroye et des poissons fumés au four traditionnel avec le même combustible. Les résultats de notre étude prouvent que les quatre HAP étudiés ont été détectés dans tous les deux espèces de poisson, mais à des degrés divers. Les plus grandes concentrations sont généralement observées chez le mâchoiron. Le four Thiaroye permet d'éliminer 61,70 % de Benzo (a) pyrène et 86,73 % pour la somme des HAP concernant le thon. Pour le mâchoiron, il permet une réduction de 73,93 % de Benzo (a) Pyrène et 98,44 % pour la somme des HAP. Malgré cette réduction considérable de la teneur en HAP grâce au four Thiaroye, les teneurs observées dépassent le seuil critique de la nouvelle législation Européenne. Afin de répondre à la norme de l'Union européenne et de réduire davantage le niveau de contamination des aliments, il est donc important de poursuivre le travail avec le four Thiaroye afin d'approfondir l'impact d'autres combustibles sur la teneur en HAP lors du fumage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous les acteurs du secteur particulièrement les femmes fumeuses de poissons dans la ville de Guéssabo de leur vive collaboration dans la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- [1] FAO, State Of World Fisheries And Aquaculture 2020: sustainability in action. Food and Agriculture Organization, 2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- [2] N. W. Chabi et al., "Performance of an improved smoking device (Chorkor furnace) on the quality of smoked fish in the municipality of Aplahoue (Southeast Benin)", *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 9, no 3, pp. 1383-1391, 2014, [En ligne]. Disponible sur: <http://www.ijias.issr-journals.org/abstract.php?article=IJIAS-14-264-06>.
- [3] K. A. Kouamé, R. N. D. Etilé, A. T. Bedia, S. S. Yao, B. G. Goore Bi, et E. P. Kouamelan, "Transformation et conservation des principales espèces de poissons à intérêt économique du département de Fresco (Côte d'Ivoire)", *Agronomie Africaine*, no 8, pp. 127-137, 2019.
- [4] P. Dossou-Yovo, I. Bokosssa, H. Ahouandjinou, S. Zolotokopova, et I. Alaguina, "Performance d'un dispositif amélioré de séchage de poisson fermenté appelé lanhouin au Bénin", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 4, no 6, pp. 2272-2279, 2010, doi: 10.4314/ijbcs.v4i6.64973.
- [5] V. B. Anihouvi, J. D. Hounhouigan, et G. S. Ayernor, "Production et commercialisation du « lanhouin », un condiment à base de poisson fermenté du golfe du Bénin", *Cahiers Agricultures*, vol. 14, no 3, 323-330, 2005. [En ligne]. Disponible sur: <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30525>.
- [6] FAO, Report and papers presented at the second workshop on fish technology, utilization and quality assurance in Africa: Agadir, Morocco, 24 - 28 November 2008=Rapport et documents présentés au deuxième atelier sur la technologie, l'utilisation et

- l'assurance de qualité du poisson en Afrique: Victoria, Mahe, Seychelles, 22 - 25 November 2011. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [7] M. Rivier, F. Kebe, et T. Goli, Fumage de poissons en Afrique de l'Ouest pour les marchés locaux et d'exportations. Rapport intermédiaire, 2009.
- [8] P. Failler, H. El Ayoubi, et A. Konan, Industrie des pêches et de l'aquaculture. Rapport no 7 de la Revue de l'industrie des pêches et de l'aquaculture dans la zone de la COMHAPAT, 2014.
- [9] International Agency for Research on Cancer (IARC), Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures, vol. 92. France: International Agency for Research on Cancer, 2010. Consulté le 23 avr., 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK321712>.
- [10] Agence Canadienne d'inspection des aliments (ACIA), Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans certains aliments - 1 avril 2018 au 31 mars, Canada. Consulté le 23 avr., 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://inspection.canada.ca/salubrite-alimentaire-pour-l-industrie/chimie-et-microbiologie-alimentaires/bulletin-d-enquete-et-rapports-d-analyse-sur-la-sa/rapport-final/fra/1578610274684/1578610437111>.
- [11] O. Ndiaye, B. K. Sodoke, et Y. Diei-Ouadi, La technique FAO-Thiaroye de transformation (FTT-Thiaroye), FAO, Rome, 2014.
- [12] B. O. Silva, O. T. Adetunde, T. O. Oluseyi, K. O. Olayinka, et B. I. Alo, " Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in some locally consumed fishes in Nigeria", *AJFS*, vol. 5, no 7, pp. 384-391, 2011, doi: 10.5897/AJFS.9000235.
- [13] A. Stołyhwo et Z. E. Sikorski, " Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish – a critical review", *Food Chemistry*, vol. 91, no 2, pp. 303-311, 2005, doi: 10.1016/j.foodchem.2004.06.012.
- [14] P. Simko, " Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives", *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, vol. 770, no 1-2, pp. 3-18, 2002, doi: 10.1016/s0378-4347(01)00438-8.
- [15] A. H. Hampoh, Evaluation et atténuation des risques alimentaires probables liés à la consommation des poissons de la lagune de Grand-Lahou (Côte d'Ivoire) exposés aux micropolluants environnementaux (PCB et HAP), Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2016.
- [16] L. Rey-Salgueiro, M. S. García-Falcón, E. Martínez-Carballo, et J. Simal-Gándara, " Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread", *Food Chemistry*, vol. 108, no 2, pp. 607-615, 2008, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.11.026.
- [17] A. Farhadian, S. Jinap, H. N. Hanifah, et I. S. Zaidul, " Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat", *Food Chemistry*, vol. 1, no 124, pp. 141-146, 2011, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.05.116.