Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2026 ; 9(2), 724-732
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les produits alimentaires fumés en Afrique de l'Ouest : connaissances et perspectives pour la sécurité sanitaire (synthèse bibliographique)

Aminata Sissoko[1]*, Boubacar Madio dit Aladiogo Maiga[1], Issiaka Togola[2], Daouda Diabaté[2], Fousseini Diallo[1], Moussa Dembele[1], Fassé Samake[2]

[(1)]Service Contrôle de Qualité. Laboratoire Vétérinaire Central (LCV). BP 2295 Bamako (Mali). E-mail : sissokomi@yahoo.fr
[(2)]Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTT-B). Institut des Sciences Appliquées. BPE 3206 Bamako (Mali).

Reçu le 04 mai 2026, **accepté le** 24 juin 2026, **publié en ligne le** 27 juin 2026
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i2.67

RESUME

Introduction. Le fumage est une pratique traditionnelle largement répandue en Afrique de l'Ouest pour conserver et commercialiser les produits halieutiques. Cependant, ce procédé génère des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), notamment le Benzo[a]pyrène, composé cancérogène et génotoxique, ce qui soulève d'importantes préoccupations sanitaires et économiques.
Littérature. L'étude repose sur une revue synthétique de travaux réalisés dans plusieurs pays ouest-africains ainsi que sur l'analyse de projets pilotes d'amélioration des techniques de fumage. Une attention particulière est accordée aux expériences menées au Mali sur différents fours, combustibles et pratiques opératoires. Les données montrent que les poissons fumés selon des procédés traditionnels présentent souvent des concentrations en HAP supérieures aux seuils admis. Cette contamination est favorisée par l'usage de bois humides ou résineux, des températures élevées, une exposition directe à la fumée et l'absence de maîtrise du procédé. Les essais réalisés au Mali indiquent qu'une réduction de 60 à 90 % des teneurs en HAP est possible grâce à des fours améliorés, des combustibles adaptés et de meilleures pratiques. Le présent article vise à faire un état des lieux des niveaux de contamination par les HAP dans les produits alimentaires fumés traditionnels en Afrique de l'Ouest, à identifier les principaux facteurs technologiques à l'origine de cette contamination, et à évaluer l'efficacité des solutions alternatives disponibles pour réduire significativement ces teneurs.
Conclusion. La maîtrise des HAP constitue un enjeu majeur de santé publique et de compétitivité des filières artisanales. Le renforcement des capacités techniques, la sensibilisation des acteurs et l'harmonisation des pratiques sont essentiels pour promouvoir un fumage plus sûr et durable.
Mots-clés : Fumage, hydrocarbures aromatiques polycycliques, sécurité sanitaire des aliments, fours améliorés, Afrique de l'Ouest.

ABSTRACT

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Smoked Foods in West Africa: Current Knowledge and Implications for Food Safety (A review)
Introduction. Smoking is a traditional practice widely used in West Africa to preserve and market fishery products. However, this process generates polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), particularly benzo[a]pyrene, a carcinogenic and genotoxic compound, which raises significant health and economic concerns.
Literature. This study is based on a comprehensive review of research conducted in several West African countries, as well as on an analysis of pilot projects aimed at improving smoking techniques. Particular attention is given to experiments conducted in Mali using different types of ovens, fuels, and operational practices. The data show that fish smoked using traditional methods often contain PAH concentrations exceeding acceptable thresholds. This contamination is exacerbated by the use of damp or resinous wood, high temperatures, direct exposure to smoke, and a lack of process control. Trials conducted in Mali indicate that a 60–90 % reduction in PAH levels is possible through the use of improved ovens, appropriate fuels, and best practices. This article aims to provide an overview of PAH contamination levels in traditional smoked food products in West Africa,

identify the main technological factors contributing to this contamination, and evaluate the effectiveness of available alternative solutions for significantly reducing these levels.
Conclusion. Controlling PAHs is a major challenge for public health and the competitiveness of artisanal food sectors. Building technical capacity, raising awareness among stakeholders, and harmonizing practices are essential to promoting safer and more sustainable smoking methods.

Keywords: Smoking, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), food safety, improved ovens, West Africa**.**

1. INTRODUCTION

Le fumage demeure, en Afrique de l'Ouest, une technique de transformation et de conservation profondément ancrée dans les pratiques alimentaires et économiques locales. Cette filière artisanale assure la sécurité alimentaire et les revenus de milliers de ménages côtiers et fluviaux, tout en alimentant des marchés locaux et transfrontaliers où la demande en produits alimentaires fumés reste élevée.

Parmi les contaminants formés pendant le fumage, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) retiennent une attention particulière en raison de leur caractère mutagène et cancérigène, et de leur persistance dans les matrices alimentaires (Ingenbleek *et al*., 2019). Les concentrations de certains HAP notamment le benzo[a]pyrène (BaP) et le groupe PAH_4 (benzo[a]anthracène, chrysène, benzo[b]fluoranthène et BaP) ont été mesurées dans de nombreuses enquêtes menées aux échelles nationales et régionales en Afrique de l'Ouest, révélant souvent des valeurs supérieures aux limites recommandées par les standards internationaux (Dwumfour-Asare *et al*., 2023). Ces travaux montrent aussi une variabilité marquée selon l'espèce, le combustible, la conception du four, la durée et la température du fumage (Okonkwo *et al*., 2022).

Des études d'intervention menées dans la région confirment que des pratiques et équipements améliorés peuvent réduire drastiquement la charge en HAP. Par exemple, l'emploi de fours améliorés et de filtres, ou l'utilisation de charbon sec au lieu de bois résineux, a démontré des réductions significatives des concentrations en BaP et PAH_4 par rapport aux dispositifs traditionnels tels que les barils ou fourneaux cylindriques (Assogba *et al.*, 2024). Ces résultats illustrent la transition possible vers des procédés plus sûrs, tout en maintenant la qualité organoleptique et l'acceptabilité par les consommateurs.

L'enjeu dépasse la seule qualité des denrées : l'exposition chronique aux HAP par l'alimentation pose des risques pour la santé publique, en particulier pour les consommateurs quotidiens et les travailleurs du fumage artisanal. Les évaluations de risque réalisées en Afrique de l'Ouest suggèrent un fardeau sanitaire évitable si des mesures préventives sont mises en place (Ingenbleek *et al.*, 2019; FAO, 2023;). À l'échelle régionale, le manque d'harmonisation réglementaire, les capacités analytiques limitées et le déficit d'actions de maîtrise technologique freinent aujourd'hui la réduction des HAP dans la chaîne de valeur des produits fumés.

Au vu de ces constats, une revue synthétisant les niveaux de contamination, les déterminants de la formation des HAP et les impacts sanitaires documentés apparaît nécessaire pour éclairer les priorités de recherche, d'action technique et de réglementation en Afrique de l'Ouest, en intégrant les résultats d'évaluations de techniques mitigatrices validées sur le terrain (FAO, 2023; Assogba *et al*., 2024).

2. METHODOLOGIE

Cette revue de la littérature a été conduite selon une approche systématique visant à rassembler, analyser et synthétiser les connaissances disponibles sur la présence des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les produits alimentaires fumés en Afrique de l'Ouest, ainsi que leurs implications pour la santé publique.

2.1. Sources d'information et stratégie de recherche

Les recherches bibliographiques ont été menées entre janvier et août 2025 dans les bases de données ScienceDirect, PubMed, Scopus et Google Scholar. La stratégie de recherche a combiné les mots-clés suivants : *"polycyclic aromatic hydrocarbons"*, *"smoked fish"*, *"smoked meat"*, *"food safety"*, *"West Africa"*, *"benzo[a]pyrene"*, *"toxicology"*, reliés par les opérateurs booléens *AND* et *OR*. La sélection des études a suivi les recommandations PRISMA (Page *et al*., 2021), Au total, 22 études ont été incluses après application des critères d'inclusion et d'exclusion (Figure 1).

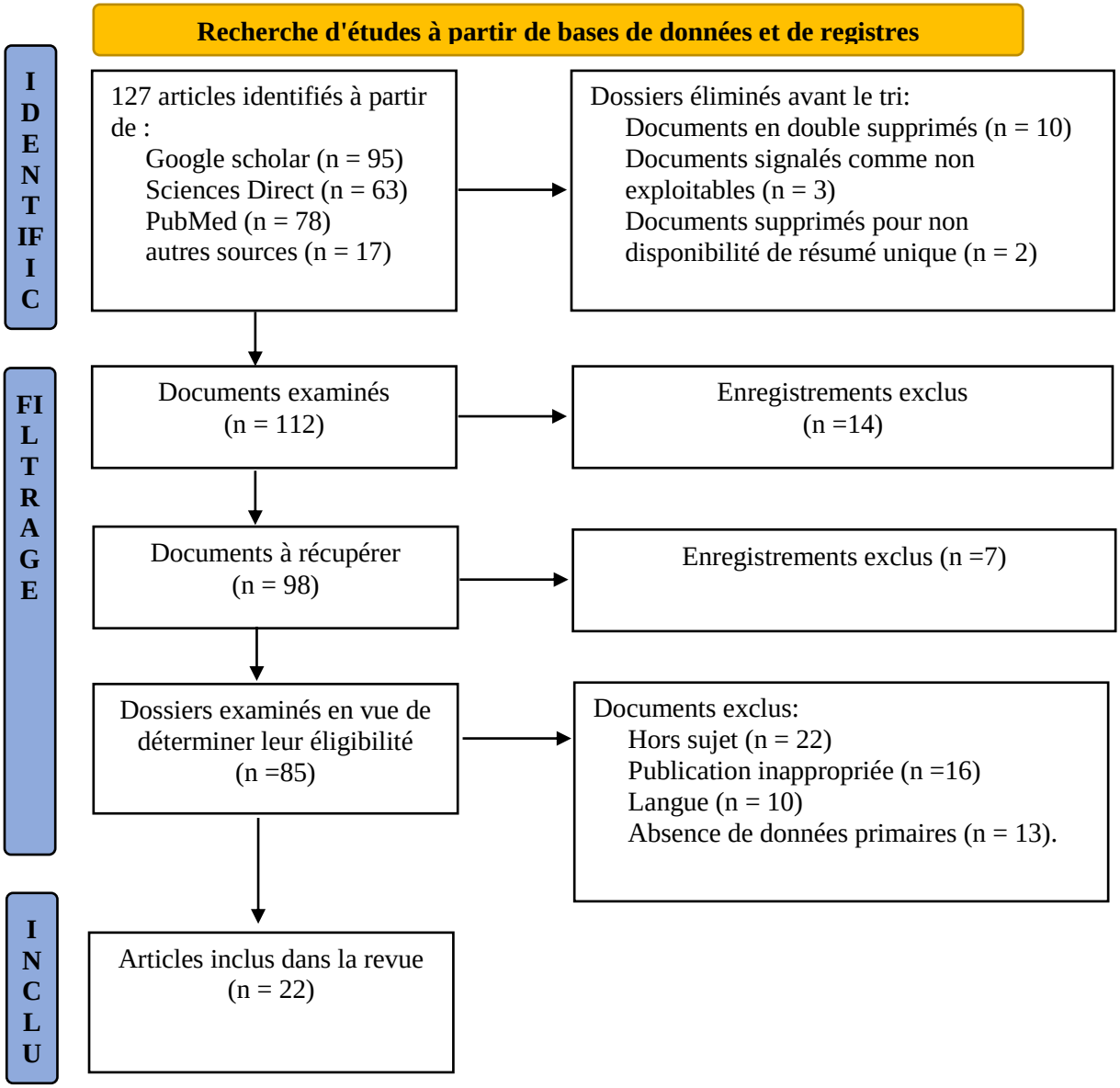

Figure 1. Sélection des études sur les HAP suivant le Diagramme PRISMA 2020

2.2. Critères d'exclusion et d'inclusion

Les publications ont été exclues de la revue lorsqu'elles ne répondaient pas aux objectifs de l'étude, à savoir lorsqu'elles ne concernaient pas directement la consommation alimentaire par exemple en se focalisant sur les émissions atmosphériques ou les sols contaminés, lorsqu'elles portaient sur des zones géographiques situées en dehors de l'Afrique de l'Ouest, ou encore lorsqu'elles ne rapportaient aucune donnée analytique relative aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

La revue a inclus les études répondant à quatre critères principaux : il s'agit de publications scientifiques ou de rapports techniques parus entre 2000 et 2025, rédigés soit en français soit en anglais, portant spécifiquement sur les produits alimentaires fumés qu'il s'agisse de poissons, de poulets, de viandes ou de produits dérivés en Afrique de l'Ouest tout en fournissant des données quantitatives, que celles-ci concernent les concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les méthodes de fumage mises en œuvre ou les évaluations du risque sanitaire associé.

2.3. Critères d'évaluation de la qualité des études incluses

Pour garantir la fiabilité des résultats synthétisés, chaque étude retenue a fait l'objet d'une évaluation critique indépendante par deux examinateurs (A.S. et B.M.A.M.), les désaccords étant résolus par consensus ou par l'intervention d'un troisième (D.D.). La grille d'évaluation, adaptée des référentiels ANSES et PRISMA, a porté sur les sept aspects suivants :

(i) Clarté des objectifs et adéquation du design : les études doivent formuler des objectifs explicites

(évaluation des niveaux de contamination ou des risques sanitaires) et adopter un design adapté.
(ii) Description détaillée des procédés de fumage : les paramètres essentiels (type de four, combustible, durée et température) doivent être renseignés ; la distance source-produit est documentée lorsque cela est disponible.
(iii) Méthode d'échantillonnage : une stratégie rigoureuse est exigée (taille de l'échantillon et couverture géographique), avec prise en compte et discussion des biais potentiels.
(iv) Méthode analytique : les techniques validées (ex. GC-MS) sont privilégiées, avec indication des limites de détection (LOD) et de quantification (LOQ) doivent être rapportées.
(v) Contrôle qualité interne : l'usage de matériaux de référence, de blancs, de duplicatas et d'essais de récupération est requis comme gage de robustesse des données.
(vi) Présentation des résultats : les concentrations de HAP doivent être exprimées en moyenne accompagnée de son écart-type pour caractériser la variabilité.
(vii) Pertinence pour la région : seules les études menées dans un ou plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest (Bénin, Ghana, Sénégal, Nigeria, Côte d'Ivoire et Mali) seront incluses, afin d'assurer la contextualisation géographique des résultats et leur représentativité pour la sous-région.

Chaque critère a été noté de manière ordinale (« satisfaisant », « partiellement satisfaisant », « non satisfaisant » ou « non renseigné »). Seules les études ayant obtenu au moins une note « satisfaisant » ou « partiellement satisfaisant » pour les critères iv, v et vi ont été conservées pour l'extraction finale, conduisant à l'exclusion des travaux dépourvus de validation analytique ou de données quantitatives exploitables.

2.4. Analyse et extraction des données

Pour chaque étude retenue, les informations extraites ont été consignées dans une matrice de synthèse incluant le pays et le site d'étude, le type de produit analysé, les techniques de fumage utilisées (traditionnelles, améliorées ou semi-industrielles), ainsi que les méthodes analytiques mises en œuvre pour la détection et la quantification des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), telles que la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (Dovonou *et al*., 2019). Les niveaux de concentration des HAP, incluant le Benzo[a]pyrène (BaP) ainsi que les groupes PAH4 et PAH8, ont été relevés systématiquement, de même que les conclusions relatives au risque sanitaire, permettant ainsi une comparaison structurée des profils de contamination et des niveaux d'exposition selon les contextes technologiques et géographiques (Bah *et al.*, 2025).

3. SYNTHESE DES DONNEES

Une fois la liste des produits fumés couramment consommés en Afrique de l'Ouest établie, l'analyse a mis en évidence des résultats concernant les pratiques technologiques, les niveaux de HAP, les risques toxicologiques, ainsi que les stratégies potentielles de réduction.

3.1. Produits fumés en Afrique de l'Ouest

Les produits fumés couramment consommés en Afrique de l'Ouest appartiennent à plusieurs catégories : poissons, crustacés, viandes, fromage, féculents et plats cuisinés. Le Tableau 1 dresse une liste non exhaustive des principaux produits rencontrés dans la région.

Tableau 1. Principaux produits alimentaires fumés consommés en Afrique de l'Ouest (FAO, 2023)

Catégorie	**Principaux produits**	**Types ou Espèces**	**Répartition géographique**
Poissons	Kong, Lanhouin, Bonga, Panla, Adwene, Agbodo, Koobi, Barracuda, Catfish	*Arius heudelotii*, *Pseudotolithus sp*, *Ethmalosa fimbriata*, *Bagrus* spp., *Clarias* spp.	Sénégal, Bénin, Togo, Ghana, Nigeria, Côte ouest-africaine
Crustacés	Crayfish	Crevettes / écrevisses fumées	Toute la région
Viandes grillées	Suya, Kilishi, Chichinga, Afra, Dibi, Balangu	Bœuf, agneau, chèvre, poulet, abats	Toute la région (Nigeria, Ghana, Gambie, Mali, Guinée-Bissau, Sénégal)
Fromage	Wagashi	Fromage de vache fumé	Toute la région (Nigeria, Ghana, Gambie, Mali, Guinée-Bissau,

			Sénégal)
Féculents	Gari, Igname, Plantain, Patate douce, Maïs	Manioc, tubercules, banane plantain, maïs	Toute la région
Plat cuisiné	Smoky Jollof rice	Riz cuit au feu de bois	Toute la région

NB : Les dénominations locales sont indiquées lorsque disponibles. Les produits listés sont ceux fréquemment cités dans la littérature sur les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) en Afrique de l'Ouest.

3.2. Méthodes d'analyse et de détection des HAP

Techniques analytiques de référence

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les produits fumés sont généralement déterminés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) ou par chromatographie liquide à haute performance couplée à la détection par fluorescence (HPLC-FLD). Ces techniques sont conformes aux normes européennes EN 16619 : 2015 et ISO 15302 : 2020. Les limites de détection (LOD) rapportées varient de 0,01 à 0,5 µg/kg, selon la matrice alimentaire et la méthode employée (Yakubu *et al*., 2023).

Protocoles et capacités analytiques en Afrique de l'Ouest

Les laboratoires de référence en Afrique de l'Ouest, soutenus par la FAO, l'OMS et l'UEMOA, utilisent de plus en plus des protocoles validés basés sur l'extraction par solvant (Soxhlet ou extraction sur phase solide, SPE) suivie d'une analyse par GC-MS (FAO, 2020; Jørgensen *et al*., 2021). Néanmoins, les capacités analytiques demeurent limitées dans plusieurs pays de la région, ce qui freine la mise en place d'une surveillance systématique des niveaux de HAP dans les produits locaux (STDF/FAO, 2021).

3.3. Niveaux de HAP dans les produits fumés

Synthèse des données disponibles

La stratégie de recherche documentaire, fondée sur le diagramme PRISMA 2020, a permis d'identifier 127 articles, dont 22 ont été retenus pour l'analyse finale après élimination des doublons, des hors-sujets et des publications sans données primaires. Ces études incluses font état de teneurs en Benzo[a]pyrène (BaP) et en hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH4) dans divers produits fumés, principalement du poisson, selon des méthodes de fumage traditionnelles ou améliorées. Le tableau 2 synthétise les données disponibles pour quatre pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre (Bénin, Ghana, Nigeria et Mali). Ces résultats soulignent l'influence déterminante des pratiques de fumage sur les niveaux de contamination.

Tableau 2. Niveaux de BaP et PAH4 dans les produits fumés de quelques pays d'Afrique de l'Ouest

Pays	Produit	Méthode de fumage	BaP (µg/kg)	PAH4 (µg/kg)	Référence
Bénin	Poisson	Traditionnel	Jusqu'à 18,5	–	Houssou *et al*., 2019
Ghana	Poisson	Traditionnel	4,2 – 8,6	–	Asamoa *et al*., 2020
Nigeria	Poisson	Traditionnel	–	> 20	Adebayo *et al*., 2022
Mali	Poisson	Four amélioré	Réduction 60-90 %	Réduction 60-90 %	STDF/FAO, 2021

Les concentrations de HAP mesurées varient considérablement selon les pays et les procédés de fumage. Les résultats regroupés dans le Tableau 2 mettent en évidence des concentrations de BaP atteignant 18,5 µg/kg au Bénin, ainsi que des réductions de 60 à 90 % des PAH4 au Mali grâce à l'utilisation de fours améliorés. Les valeurs les plus élevées sont observées dans les systèmes traditionnels, avec des dépassements fréquents des seuils réglementaires.

Contamination dans les systèmes traditionnels

Au Bénin, Houssou *et al*. (2019) ont rapporté des teneurs en Benzo[a]pyrène (BaP) atteignant 18,5 µg/kg dans certains poissons fumés traditionnellement, dépassant les seuils fixés par la Commission Européenne (2 µg/kg pour le BaP et 12 µg/kg pour les PAH4). Au Ghana, Asamoa *et al*. (2020) ont observé des concentrations moyennes de BaP comprises entre 4,2 et 8,6 µg/kg, selon la durée et la température du fumage. Des valeurs comparables ont été rapportées au Nigeria, où Adebayo *et al*. (2022) ont détecté des niveaux de PAH4 dépassant 20 µg/kg dans des poissons séchés-fumés, particulièrement lorsque du bois de manguier ou de karité était utilisé. Ces résultats mettent en évidence une contamination plus élevée dans les systèmes de fumage traditionnels, principalement en raison du contact direct avec la fumée et du manque de contrôle thermique (Jørgensen *et al*., 2021; Yakubu *et al*., 2023).

Efficacité des fours améliorés

Au Mali, la FAO et le Standards and Trade Development Facility (STDF) ont introduit, dans le cadre du projet PG/611*« Amélioration de la sécurité des poissons fumés au Mali »*, des fours améliorés de type *Sabu-Mania* pour réduire la contamination par les HAP. Les évaluations réalisées ont montré une diminution de 60 à 90 % des concentrations de HAP par rapport aux méthodes traditionnelles, tout en maintenant la qualité des produits (STDF/FAO, 2021; FAO, 2023). Ces initiatives s'inscrivent dans les efforts régionaux visant à renforcer la sécurité sanitaire et la compétitivité des produits de fumage en Afrique de l'Ouest (FAO, 2020). Au Sénégal, Diouf *et al*. (2023) ont confirmé cette tendance, avec une réduction significative des taux de BaP dans les poissons fumés à l'aide de foyers améliorés à tirage contrôlé.

3.4. Facteurs influençant la formation des HAP

Plusieurs paramètres technologiques déterminent la quantité et la nature des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) formés lors du fumage. Le type de combustible constitue un facteur majeur : les bois durs secs (acacia et goyavier) produisent moins de HAP que les bois résineux ou humides (Adebayo *et al*., 2022). La température de combustion joue également un rôle clé : au-delà de 400 °C, la pyrolyse incomplète des matières organiques génère davantage de HAP. Par ailleurs, la durée du fumage, souvent prolongée (> 12 h) dans les procédés artisanaux, accroît les dépôts de HAP à la surface des produits (Asamoa *et al*., 2020). D'autres facteurs, tels que la distance entre la source de fumée et le produit, l'humidité du bois, ainsi que la ventilation du foyer, influencent également la condensation des HAP sur les matrices alimentaires (FAO, 2020). Enfin, l'utilisation de fours améliorés qui séparent physiquement la chambre de combustion de la chambre de fumage constitue une stratégie efficace pour réduire les dépôts de HAP sur les denrées (STDF/FAO, 2021; Diouf *et al*., 2023).

La présente revue de littérature, synthétisée à travers le diagramme PRISMA 2020 (Figure 1) et le tableau des données régionales (Tableau 2), met en évidence une contamination significative des produits de fumage par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en Afrique de l'Ouest et du Centre. Les concentrations de HAP mesurées varient considérablement selon les pays et les procédés (Tableau 2). Les résultats regroupés dans ledit tableau montrent des concentrations de Benzo[a]pyrène (BaP) atteignant 18,5 µg/kg au Bénin (Houssou *et al*., 2019), des valeurs comprises entre 4,2 et 8,6 µg/kg au Ghana (Asamoa et al., 2020), et des dépassements de 20 µg/kg pour les PAH4 au Nigeria (Adebayo *et al*., 2022). Ces niveaux excèdent fréquemment les seuils réglementaires internationaux, notamment ceux de la Commission européenne (2 µg/kg pour le BaP et 12 µg/kg pour les PAH4). À l'inverse, l'introduction de fours améliorés de type Sabu-Mania au Mali a permis une réduction de 60 à 90 % des concentrations de HAP (STDF/FAO, 2021; FAO, 2023), confirmant l'efficacité d'interventions technologiques adaptées au contexte artisanal.

3.5. Comparaison régionale des niveaux de contamination

Les études incluses révèlent une hétérogénéité marquée des teneurs en HAP selon les pays et les procédés. Au Bénin, les valeurs les plus élevées sont observées dans les systèmes traditionnels, avec un dépassement systématique des seuils européens (Houssou *et al*., 2019). Au Ghana, la variabilité des concentrations de BaP (4,2-8,6 µg/kg) est principalement liée à la durée et à la température du fumage (Asamoa *et al*., 2020). Au Nigeria, l'utilisation de bois de manguier ou de karité aggrave la formation de PAH4, avec des niveaux supérieurs à 20 µg/kg (Adebayo *et al.* 2022). Au Sénégal, Diouf *et al*. (2023) confirment une tendance similaire, avec une réduction significative du BaP grâce à des foyers améliorés à tirage contrôlé. Ces résultats montrent que la contamination est plus élevée dans les systèmes traditionnels en raison du contact direct avec la fumée et de l'absence de contrôle thermique (Jørgensen *et al*., 2021; Yakubu *et al*., 2023).

3.6. Facteurs technologiques influençant la formation des HAP

Plusieurs paramètres déterminent la production et le dépôt des HAP lors du fumage, il s'agit de : (i) type de combustible : les bois durs et secs (acacia et goyavier) génèrent moins de HAP que les bois résineux ou humides (Adebayo *et al*. 2022) ; (ii) la température de combustion : au-delà de 400 °C, la pyrolyse incomplète des matières organiques est favorisée, augmentant la formation de HAP ; (iii) la durée du fumage : les procédés artisanaux prolongés (> 12 h) accroissent les dépôts de HAP en surface (Asamoa *et al*., 2020), (iv) la distance source-produit, l'humidité du bois et la ventilation influencent également la condensation des HAP sur les matrices alimentaires (FAO, 2020). Les fours améliorés réduisent ces risques par une séparation physique entre la chambre de combustion et la chambre de fumage, limitant ainsi le dépôt direct de particules contaminées (STDF/FAO, 2021 ; Diouf *et al.*, 2023).

3.7. Considérations toxicologiques et populations vulnérables

Les HAP et notamment le BaP (classé cancérogène groupe 1 par le CIRC), exercent leur toxicité par la

formation de métabolites réactifs intercalant l'ADN, provoquant les mutations et l'instabilité génomique (IARC, 2012 ; WHO, 2021). Selon EFSA (2008), l'exposition chronique est associée à des cancers digestifs (œsophage, foie, estomac), des perturbations endocriniennes, des altérations de la fertilité et des effets immunotoxiques, particulièrement marqués chez les enfants. Les principales voies d'exposition sont : (i) alimentaire : ingestion de produits fumés contaminés, source majeure dans les zones côtières et fluviales ; (ii) respiratoire : chez les fumoirs artisanaux exposés aux fumées de combustion (IARC, 2012) ; (iii) cutanée : contact avec les dépôts carbonés.

Les populations à risque incluent les femmes transformatrices, les consommateurs réguliers en milieu rural et les enfants/femmes enceintes, en raison de leur sensibilité immunitaire et développementale (WHO, 2021). Des évaluations menées en Afrique de l'Ouest indiquent que l'exposition journalière aux HAP dépasse fréquemment les seuils toxicologiques de référence, notamment en l'absence de systèmes de contrôle thermique (EFSA, 2008).

3.8. Enjeux socioéconomiques et réglementaires

Au niveau international, la Commission européenne "European Commission" (2023), règlement n° 835/2011) a fixé des limites maximales à 2 µg/kg pour le BaP et 12 µg/kg pour les PAH4 dans les produits d'origine animale, valeurs reprises par la FAO/OMS et le Codex Alimentarius. Or, les études ouest-africaines révèlent des dépassements fréquents dans les procédés traditionnels (Adebayo *et al.*, 2022; Diouf *et al.*, 2023). Ces écarts ont des conséquences socioéconomiques majeures : perte de confiance des consommateurs, restrictions d'exportation vers des marchés réglementés (Union européenne), et menace sur la sécurité alimentaire des communautés dépendantes du poisson fumé comme source protéique. Un renforcement réglementaire régional au sein de la sous-région Ouest Africaine est donc essentiel pour harmoniser les normes et garantir la conformité des produits.

3.9. Stratégies de réduction et perspectives

La diminution des HAP repose sur l'amélioration des procédés de fumage et l'adoption de bonnes pratiques adaptées aux réalités locales. L'introduction de fours améliorés (combustion contrôlée, circulation optimisée de la fumée, éloignement du produit) a montré une réduction de 60 à 90 % des concentrations de BaP et PAH4, tout en améliorant l'efficacité énergétique et les conditions de travail (FAO, 2023). Le choix de combustibles appropriés (bois secs non résineux), le contrôle de la température et de la durée de fumage, ainsi que l'entretien régulier des surfaces sont des mesures complémentaires efficaces (FAO & WHO, 2018).

La sensibilisation et la formation des femmes transformatrices et des organisations artisanales sont indispensables à l'appropriation durable de ces techniques. Parallèlement, le renforcement des capacités analytiques locales (GC-MS, HPLC) via des protocoles standardisés (EN 16619 : 2015, ISO 15302 : 2020) est crucial pour une surveillance systématique, actuellement limitée par le manque d'infrastructures et de personnel formé. Les initiatives soutenues par la FAO, l'OMS et l'UEMOA vont dans ce sens, mais nécessitent une pérennisation et une extension à l'échelle régionale.

3.10. Limites de l'étude

Cette revue présente certaines limites. D'une part, l'hétérogénéité des méthodes d'analyse (seuils de détection, matrices, protocoles d'extraction) entre les études incluses rend difficile la comparaison directe des valeurs absolues. Cette disparité méthodologique constitue une limite métrologique majeure, empêchant toute comparaison quantitative rigoureuse entre les études. Par conséquent, les valeurs brutes ne sont pas directement comparables et il n'est pas possible d'établir une moyenne globale ni une plage de concentrations robuste à l'échelle de l'ensemble des pays considérés. D'autre part, le faible nombre d'études disponibles pour certains pays limite la représentativité régionale. D'un point de vue épistémologique, l'existence d'un biais de couverture géographique constitue une limite substantielle.

L'hétérogénéité de la représentation des territoires ouest-africains dans la littérature analysée ne permet pas de considérer les résultats comme pleinement généralisables à l'ensemble de la région, ce qui atténue la validité externe des conclusions formulées. Enfin, l'absence de données d'exposition alimentaire quantitative dans la plupart des travaux ne permet pas de réaliser une évaluation complète du risque sanitaire. D'un point de vue sanitaire et réglementaire, cette limite apparaît comme la plus critique. Elle compromet directement la capacité à caractériser le risque encouru par les populations exposées, en empêchant toute comparaison rigoureuse entre les niveaux d'exposition estimés et les valeurs toxicologiques de référence. Par conséquent, il demeure impossible de déterminer si les concentrations observées sont susceptibles d'entraîner un dépassement des seuils admissibles, notamment les doses journalières tolérables (DJT) et les doses journalières sans effet (DJS), ce qui constitue une restriction majeure pour l'interprétation des enjeux de santé publique. Au-delà des limites énumérées ci-dessus, les résultats de cette étude fournissent des informations détaillées sur les seuils de sécurité, ainsi que sur la

présence avérée d'HAP dans les produits alimentaires fumés.

4. CONCLUSION

Cette revue de la littérature confirme que les produits alimentaires fumés, largement consommés en Afrique de l'Ouest, présentent fréquemment des concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en particulier le Benzo[a]pyrène (BaP) supérieures aux limites sanitaires internationales. Les procédés traditionnels de fumage, caractérisés par un contact direct avec la fumée, des combustibles inappropriés (bois humides ou résineux) et un faible contrôle des paramètres de combustion, sont les principaux facteurs de cette contamination. Cependant, des initiatives menées dans la région, notamment au Mali avec l'introduction de fours améliorés de type *Sabu-Mania*, démontrent qu'une réduction de 60 à 90 % des teneurs en HAP est techniquement et localement réalisable, sans altération majeure des qualités organoleptiques des produits.

Ces résultats ouvrent la voie à une double avancée : sanitaire, par la diminution des risques de cancers et de toxicité chronique ; et socioéconomique, par l'amélioration de la compétitivité et de l'accès aux marchés réglementés. Malgré ces avancées, plusieurs difficultés subsistent encore. Les méthodes utilisées pour analyser les HAP ne sont pas toujours les mêmes d'une étude à l'autre, ce qui rend les résultats difficiles à comparer. De plus, de nombreux pays de la région ne disposent pas de moyens suffisants pour surveiller régulièrement la contamination des produits fumés. Il manque également des données précises sur les quantités de HAP réellement ingérées par les populations à travers leur alimentation quotidienne. Enfin, il n'existe pas encore de règles communes et harmonisées au sein de la sous-région ouest africaine pour fixer des limites sanitaires applicables par tous les pays membres.

Ainsi, seules des études longitudinales fondées sur des protocoles harmonisés, un échantillonnage géographiquement équilibré et l'intégration d'enquêtes alimentaires permettront de dépasser les limites actuelles de la littérature, de caractériser avec précision l'exposition des populations ouest-africaines et de fournir aux décideurs les données nécessaires à l'élaboration de politiques efficaces de protection de la santé publique.

Références

Adebayo I. A., Adeola A. & Oladipo O., 2022. Levels and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat and fish products in Nigeria. *Food Control*, 134, 108693. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108693

Asamoa E. F., Agyei D. & Essumang D. K., 2020. Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish from selected coastal communities in Ghana : Levels and potential health risks. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(22), 28043-28054. https://doi.org/10.1007/s11356-020-09044-5

Assogba M. F., Ahouansou R. H., Djohi N. O. R., Kpoclou Y. E., Anihouvi G. D., Iko Afé H. O., Tchibozo B. F., Douny C., Mahillon J., Scippo M.-L., Hounhouigan D. J. & Anihouvi V. B., 2024. Development of Innovative Technology Reducing the Levels of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Grilled Meat and Smoked Fish. *Journal of Food Composition and Analysis*, 125, 105773. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105773

Bah F., Amegandji E. A. C., Sarr M. N., Lam Faye A., Diop C. & Touré A., 2025. Évaluation du niveau de contamination en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) de poissons fumés commercialisés au Sénégal : Étude pilote. *Journées Scientifiques de la Sécurité Sanitaire des Aliments*. https://www.researchgate.net/publication/395242183

Diouf M., Ndiaye B., Faye B., Sarr S. & Thiam M., 2023a. Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish from Senegal : Influence of smoking methods and health risk assessment. *Journal of Food Composition and Analysis*, 116, 105084. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105084

Dovonou F. E., Ibikounle M., Akouedegni C. G., Aissi V., Dossou M. P. & Mama D., 2019. Impacts des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques sur les poissons : Cas des Tilapias du lac Nokoué au Sud du Bénin (Afrique de l'Ouest). *European Scientific Journal*, 15(36), 458-475. https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n36p458

Dwumfour-Asare B., Teye G. A. & Amoafo O., 2023. Effect of smoking and grilling on polycyclic aromatic hydrocarbons in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Environmental Health Insights*, 17, 1-10. https://doi.org/10.1177/11786302231213546

EFSA (*E*uropean Food Safety Authority), 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons in food : Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. *EFSA Journal*, 724, 1-114.

European Commission, 2023. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, (L119), 103-158. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R0915

FAO, 2020. *Fisheries and Aquaculture Report No. 990 : Smoking of fish and its implications for food safety*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/i3093b/i3093b.pdf

FAO, 2023. *Report of the stakeholder meeting to present and discuss the FAO study report on cross-border trade in artisanal smoked fish in West Africa*. Food Agriculture Organization, (p.52). https://openknowledge.fao.org/handle/123456789/25271

FAO & WHO, 2018. *Code of Practice for Fish and Fishery Products (CAC/RCP 52-2003, Rev. 2018)*. Codex Alimentarius Commission. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/codes-of-practice/en/

Houssou P. A., Dossa C. P. A., Adjahouinou D. C. & Soumanou M. M., 2019. Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in traditionally smoked fish in Benin : Occurrence and dietary exposure. *African Journal of Food Science*, 13(5), 103-111. https://doi.org/10.5897/AJFS2019.1774

IARC (International Agency for Research on Cancer), 2012. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans : Chemical Agents and Related Occupations* (Vol. 100 F). International Agency for Research on Cancer.

Ingenbleek L., Veyrand B., Adegboye A. O. *et al*., 2019. Polycyclic aromatic hydrocarbons in foods from the first regional total diet study in Sub-Saharan Africa : Contamination profile and occurrence data. *Food Control*, 133-144. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.04.006

Jørgensen L. V., Huss H. H. & Gram L., 2021. Fish smoking and safety : A review of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked seafood. *Food Control*, *121*, 107648. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107648

Okonkwo T. M., Ezeonu F. C. & Umeh E. C., 2022. Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked fish from traditional kilns in Nigeria. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 39(8), 1421-1432. https://doi.org/10.xxxxxx

Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M. *et al*., 2021. The PRISMA 2020 statement : An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

STDF/FAO, 2021. *Improving the safety of smoked fish in Mali (Project PG/611)*. Standards and Trade Development Facility and Food and Agriculture Organization of the United Nations, 40 p. https://www.standardsfacility.org/PG-611

WHO, 2021. *Human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons as ambient air pollutants—Report of the Working Group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons of the Joint Task Force on the Health Aspects of Air Pollution* . Organization World Health, 72 p.

Yakubu Y., Adetunji C. O. & Sanni L. O., 2023. Occurrence and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked fish from West Africa : A systematic review. *Journal of Food Safety*, 43(4), e13002. https://doi.org/10.1111/jfs.13002