

Caractérisation sensorielle du poivre produit à Azaguié, Côte d'Ivoire

**Arsène Landry Igor NOGBOU^{1,2*}, Béhibolo Antoinette YOBOUE^{2,3}, Grokoré Yvonne KOFFI¹,
M'boua Jean Marie YESSOH⁴ et Nogbou Emmanuel ASSIDJO²**

¹ *Université Nangui Abrogoua (UNA), Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Technologies des Aliments (UFR STA), Laboratoire de Biochimie Alimentaire et de Transformation des Produits Tropicaux (LBATPT), 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire*

² *Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB), Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*

³ *Université Alassane Ouattara (UAO), Département des Sciences et Techniques (DST), Laboratoire des Sciences biologiques (LaSBio), 01 BPV Bouaké 01, Côte d'Ivoire*

⁴ *Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB), Département de Formation et de Recherche Génie Rural et Sciences Géographiques (DFR GRSG), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*

(Reçu le 13 Juillet 2022 ; Accepté le 03 Septembre 2022)

* Correspondance, courriel : igornogbou@gmail.com

Résumé

Le poivre est une plante vivace dont l'exploitation culinaire dans les ménages en Côte d'Ivoire confère un intérêt social et économique. La connaissance de la variabilité sensorielle du poivre en Côte d'Ivoire constitue un enjeu commercial non négligeable. La maîtrise de cette variabilité permettrait de valoriser de façon pertinente les différentes formes de poivre commercialisées en Côte d'Ivoire. Cette étude apporte une contribution à la maîtrise de cette variabilité. Son objectif est de décrire et analyser le profil sensoriel sur le plan olfactif du poivre frais, du poivre sec et du poivre moulu commercialisés dans la région d'Azaguié. Pour atteindre cet objectif, une collecte d'échantillons de poivre frais, sec et moulu a été réalisée. La méthode du profil conventionnel a été employée pour analyser ces échantillons. Les résultats de l'analyse montrent que le profil sensoriel aromatique diffère significativement entre les formes de poivre. Les résultats révèlent également que le poivre frais est fortement caractérisé par les arômes « Boisé » et « herbacé ». Le poivre moulu est plus marqué par les arômes « épicé », « menthe », « noisette » et le poivre sec se définit fortement par l'arôme champignon.

Mots-clés : *poivre, variabilité sensorielle, profil conventionnel, arôme.*

Abstract

Sensory characterization of pepper produced in Azaguié, Côte d'Ivoire

Pepper is a perennial crop whose culinary using in households in Ivory Coast confers a social and economic interest. Knowledge of the sensory variability of pepper in Côte d'Ivoire is a significant commercial issue. The control of this variability would make it possible to valorize in a relevant way the different forms of

pepper marketed in Côte d'Ivoire. This study contributes to the control of this variability. Its objective is to describe and analyze the sensory profile on the olfactory level of fresh pepper, dry pepper and ground pepper marketed in the region of Azaguie. To achieve this aim, a collection of samples of fresh, dry and ground pepper was carried out. The conventional profile method was used to analyze these samples. The results of the analysis show that the aromatic sensory profile differs significantly between the forms of pepper. The results also reveal that fresh pepper is strongly characterized by "woody" and "herbaceous" aromas. Ground pepper is strongly marked by "spicy", "mint", "hazelnut" aromas and dry pepper is strongly defined by the mushroom aroma.

Keywords : *pepper, sensory variability, conventional profile, aroma.*

1. Introduction

Piper nigrum L. appartient à la famille des Piperaceae [1]. Il est considéré comme le roi des épices à travers le monde en raison de sa part commerciale sur le marché mondial et de son principe piquant : la pipérine [2 - 5]. Il est apprécié pour ses propriétés médicinales dans la médecine traditionnelle chinoise. Il est également apprécié pour le traitement de la douleur, des frissons, des rhumatismes, de la grippe et des douleurs musculaires [6]. *Piper nigrum* est une plante vivace [7] ayant une valeur socio-économique [8]. Il est largement cultivé pour ses fruits au Vietnam, en Inde, en Indonésie, en Malaisie, à Singapour, en Thaïlande, aux Philippines et en Chine [1, 9]. Les plus gros producteurs, le Vietnam, l'Inde et l'Indonésie dominant et approvisionnent le marché mondial à hauteur de 80 %. La production mondiale en 2020 était estimée à 714 296 tonnes [10]. *Piper nigrum* est aussi cultivé en Afrique. En Côte d'Ivoire, il y a été introduit pendant la période coloniale. L'estimation des besoins en poivre en Côte d'Ivoire variait entre 200 et 300 tonnes en 2011, pour une production de 20 tonnes. En 2020, cette production était estimée à 63 tonnes [10] soit une augmentation de 215 %. Cependant cette augmentation ne parvient toujours pas à satisfaire les besoins estimés illustrant ainsi les potentialités de cette spéculation. La production du poivre en Côte d'Ivoire est essentiellement concentrée dans le sud du pays avec quelques initiatives à l'Est et à l'Ouest [11]. La zone d'Azaguié, épice historique de la production de poivre en Côte d'Ivoire, concentre 43 % des plantations ivoiriennes. Le poivre est bien connu de tous les ménages en Côte d'Ivoire. Il se présente sur les marchés ivoiriens sous forme de grain séché (poivre noir) ou sous forme moulue de couleur grise [11]. Le poivre est utilisé pour rehausser le goût des plats. Cette exploitation culinaire lui confère un intérêt social et économique. Dans ce sens, la qualité sensorielle du poivre est donc importante. Cette qualité sensorielle dépend des pays de culture qui offrent chacun des terroirs différents. Elle dépend également des cultivars et des variétés [12]. La connaissance de la variabilité sensorielle du poivre en Côte d'Ivoire peut constituer un enjeu commercial non négligeable. En effet, une meilleure connaissance de cette variabilité sensorielle pourrait permettre de valoriser avec d'avantages de pertinences les différentes formes de poivre dans les différentes zones de production. Malheureusement, aucune étude n'a proposé un profil sensoriel des formes de poivre commercialisées dans les différents terroirs de la Côte d'Ivoire, notamment dans la zone d'Azaguié, épice de la production de poivre. Cette étude compte apporter une contribution à la caractérisation sensorielle du poivre produit à Azaguié. Elle a pour objectif de décrire et analyser le profil sensoriel, sur le plan olfactif, de trois formes de poivre.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériel végétal

Des échantillons de poivre frais (PF), sec (PS) et moulu (PM), ont été collectés à Azaguié. Ces échantillons ont été prélevés en triple. Les échantillons de poivre sec et moulu ont été conservés dans des bouteilles teintées emballées à l'extérieur avec des feuilles de papier en aluminium puis disposés dans un placard à l'abri de la lumière. Quant aux échantillons frais, ils ont été conditionnés dans des sachets plastiques alimentaires puis conservés à une température de 4°C.

2-2. Méthodes

2-2-1. Épreuve descriptive - Profil conventionnel

L'analyse descriptive quantitative, basée sur la méthode décrite par [13] a été utilisée pour la description des attributs olfactifs des trois formes de poivre commercialisées à Azaguié. La constitution du panel d'évaluation sensorielle s'est faite à Yamoussoukro au sein de l'Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny (INP-HB). Douze (12) volontaires ont été retenus et ont suivis des sessions de formation selon la méthode de [14]. La méthode du profil conventionnel a eu lieu dans une salle de classe de l'INP-HB à température ambiante (28–30 °C) et à la lumière du jour. Les panélistes ont travaillé sur des postes individuels à une distance maximale les uns des autres.

2-2-2. Caractérisation sensorielle du poivre produit à Azaguié

La caractérisation sensorielle a consisté à établir le positionnement sensoriel multidimensionnel des formes de poivres et à évaluer leurs attributs sensoriels olfactifs discriminants.

- *Évaluation du positionnement sensoriel multidimensionnel du poivre*

Le positionnement sensoriel multidimensionnel des différentes formes de poivre a été réalisé à l'aide des ellipses de confiance avec un seuil de confiance de 95 %. La construction des ellipses de confiance s'est faite à partir de 500 jurys générés par bootstrap. Le test T² de Hotelling a été utilisé pour valider les positions. La construction des ellipses de confiances et le test T² de Hotelling ont été réalisés à l'aide du logiciel R 4.1.0.

- *Évaluation des attributs sensoriels discriminants*

L'évaluation des attributs sensoriels olfactifs discriminants a été effectuée à l'aide d'une analyse de variance et d'un test t de Fischer. Cette évaluation est basée sur le modèle d'analyse de variance défini par l'expression suivante :

$$N_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

N_{ij} : Note donnée à un attribut sensoriel par un paneliste j pour le produit i ; μ : effet moyen ; α_i : effet de l'attribut sensoriel du produit i ; β_j : effet du juge j ; ε_{ij} : résidus.

L'analyse de variance et le test T de Fischer ont été effectués grâce au logiciel R 4.1.0.

3. Résultats

3-1. Profil sensoriel

La **Figure 1** expose le profil sensoriel des différentes formes de poivres sur le plan olfactif. L'observation de la figure montre que le score moyen de l'arôme herbacé est compris entre 1 et 4. L'arôme herbacé dans le poivre frais (PF), avec le score le plus élevé, est moyennement intense. Il est faiblement intense dans le poivre moulu (PM). Dans le poivre sec (PS), l'arôme herbacé est très faiblement intense. L'analyse de variance indique que les différences observées sont significatives ($P < 0,05$). En outre, la **Figure 1** montre aussi les scores moyens de l'arôme champignon. Ceux-ci varient entre 0 et 5. Dans le poivre sec, avec le score le plus élevé, l'arôme champignon est moyennement intense. Il est inexistant dans le poivre frais et le poivre moulu. L'arôme champignon dans le poivre frais et moulu n'est pas ressenti par le panel. L'analyse de variance indique aussi que les différences observées sont significatives ($P < 0,05$). L'arôme noisette arbore, quant à lui, un score moyen compris entre 1,5 et 6 (**Figure 1**). Il est intense dans le poivre moulu et faiblement intense dans le poivre frais et sec. L'analyse de variance révèle que ces différences observées sont significatives ($P < 0,05$). Concernant l'arôme épicé, le score moyen évolue entre 2 et 7 (**Figure 1**). Dans le poivre moulu, l'arôme épicé est fortement intense et faiblement intense dans le poivre sec et frais. Les différences observées sont également significatives ($P < 0,05$). Le score moyen pour l'arôme menthe fluctue entre 2 et 5 (**Figure 1**). L'arôme menthe présente la note la plus élevée dans le poivre moulu, tandis que la note moins élevée est rencontrée au niveau du poivre frais et du poivre sec. L'arôme menthe est moyennement intense dans le poivre moulu et faiblement intense dans le poivre frais et sec. Les différences observées au niveau de l'arôme menthe sont significatives ($P < 0,05$), selon l'analyse de variance. L'arôme Boisé affiche un score moyen compris entre 2 et 3 (**Figure 1**). L'arôme Boisé, dans le poivre frais est faiblement intense. L'intensité de cet arôme dans le poivre sec et le poivre moulu est moins élevée que celle observée dans le poivre frais. L'analyse de variance a révélé que ces différences observées sont significatives ($P < 0,05$). Le profil sensoriel aromatique montre des différences significatives unidimensionnelles au niveau des descripteurs entre les différentes formes de poivre. Cependant, il ne met pas en relief l'existence d'une similarité sensorielle entre ces différentes formes, au niveau multidimensionnel. Il ne met pas en évidence les attributs sensoriels pour lesquels le jury est le plus discriminant pour chaque forme de poivre. Il est donc intéressant de compléter l'analyse du profil sensoriel par une caractérisation sensorielle à travers l'analyse du positionnement sensoriel multidimensionnel des formes de poivre et l'évaluation des attributs sensoriels discriminants.

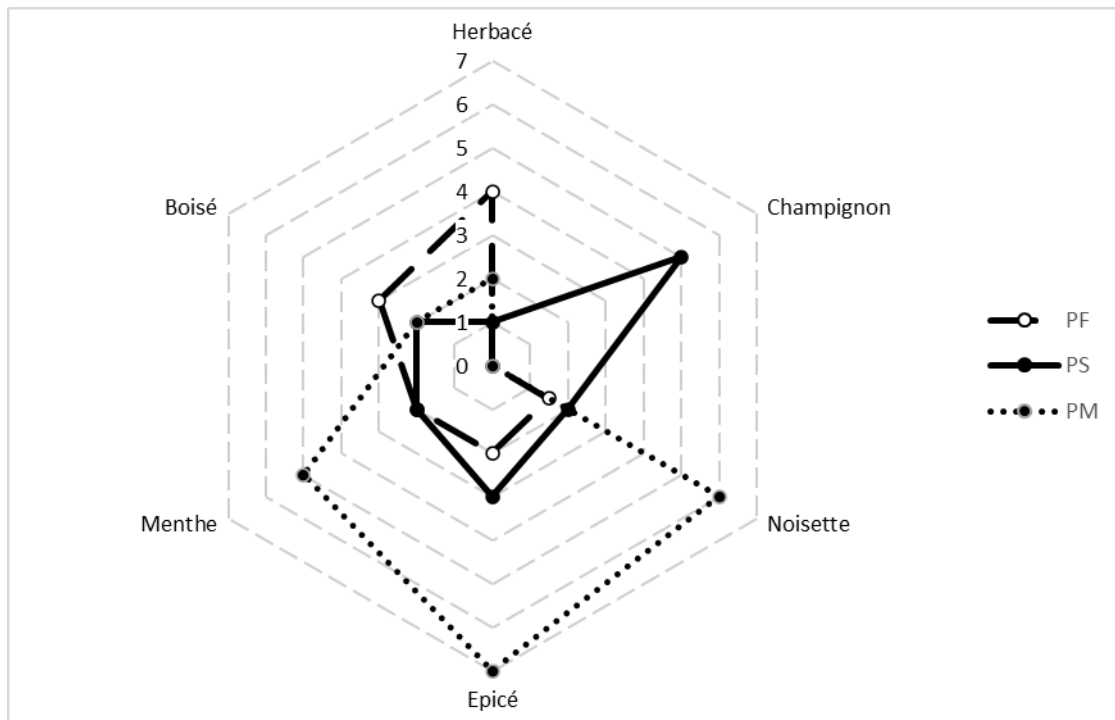


Figure 1 : Profil sensoriel de différentes formes de poivre produit à Azaguié

3-2. Caractéristiques sensorielles des produits sélectionnés

La **Figure 2** met en relief le positionnement sensoriel multidimensionnel des trois formes de poivres, sur le plan olfactif. L'analyse de cette figure montre que le poivre frais (PF), le poivre sec (PS) et le poivre moulu (PM) ont des positions différentes. Les ellipses de confiances qui contiennent 95 % des notes du jury (par rapport aux attributs étudiés) ne se superposent pas. L'égalité des positions des différentes formes de poivre a été vérifiée à l'aide du test T^2 de Hotelling (**Tableau 1**). Ce test (**Tableau 1**) présente la probabilité d'obtenir une égalité de positions entre les différentes formes de poivre. L'observation du **Tableau 1** révèle que les probabilités varient entre $3,26e^{-14}$ et $7,60e^{-10}$. Ces probabilités inférieures à 0,05 montrent que les positions sensorielles des poivres PF, PS et PM ne sont pas égales. Elles sont significativement différentes et indiquent que les PF, PS, PM produits à Azaguié sont différents sur le plan olfactif. La **Figure 3** présente les arômes qui caractérisent particulièrement chaque forme de poivre. L'analyse combinée de la **Figure 3** et de la **Figure 2** montre que les variables « arôme Boisé » et « arôme Herbacée » sont proches de la position sensorielle du PF (**Figure 2**). Elle indique que le poivre frais est fortement caractérisé par les arômes « Boisé » et « herbacé ». Toutefois les arômes « Menthe », « Noisette », « Champignon » et « Epicé » ne sont pas prononcés dans le poivre frais, comparativement aux arômes « Boisé » et « Herbacé ». L'observation simultanée de la **Figure 3** et de la **Figure 2** révèle aussi que la variable « arôme champignon » est proche de la position sensorielle du poivre sec (**Figure 2**). Cette observation montre que le poivre sec se distingue fortement par l'arôme champignon. Par contre, les arômes « Noisette », « Boisé », « Herbacée », « Epicé » et « Menthe » le caractérisent faiblement. Ces arômes ne sont pas prononcés dans le poivre sec comparativement à l'arôme champignon. La **Figure 3** couplée à la **Figure 2** indique que les variables « arôme épice », « arôme menthe », « noisette » sont proches de la position sensorielle du poivre moulu (figure 2). Cela veut dire que le poivre moulu se définit fortement par les arômes « épice », « menthe », « noisette ». Contrairement aux arômes caractérisant fortement le poivre moulu, les arômes « boisé », « herbacée » et « champignon » ne sont pas prononcés. Le **Tableau 2** présente les probabilités (P-Value) des attributs olfactifs pour lesquels l'effet produit est

significatif. Il s'agit des arômes « Epicé », « Champignon », « Menthe », « Noisette », « Boisé » et « Herbacée ». L'analyse de ce tableau montre que les attributs ont une probabilité critique fluctuant entre $6,88e^{-14}$ et $2,44e^{-6}$ et inférieure à 0,05. Cette observation signifie que pour l'ensemble de ces attributs, le jury est sensible à ces attributs. Ces attributs caractérisent sur le plan olfactif les différentes formes de poivre issues d'Azaguié. Parmi ces attributs, l'arôme « Epicé » avec la plus faible probabilité ($6,88e^{-14}$), est le plus discriminant pour l'ensemble des poivres. Autrement dit, l'arôme Epicé est le meilleur descripteur olfactif pour différencier les formes de poivre issues d'Azaguié.

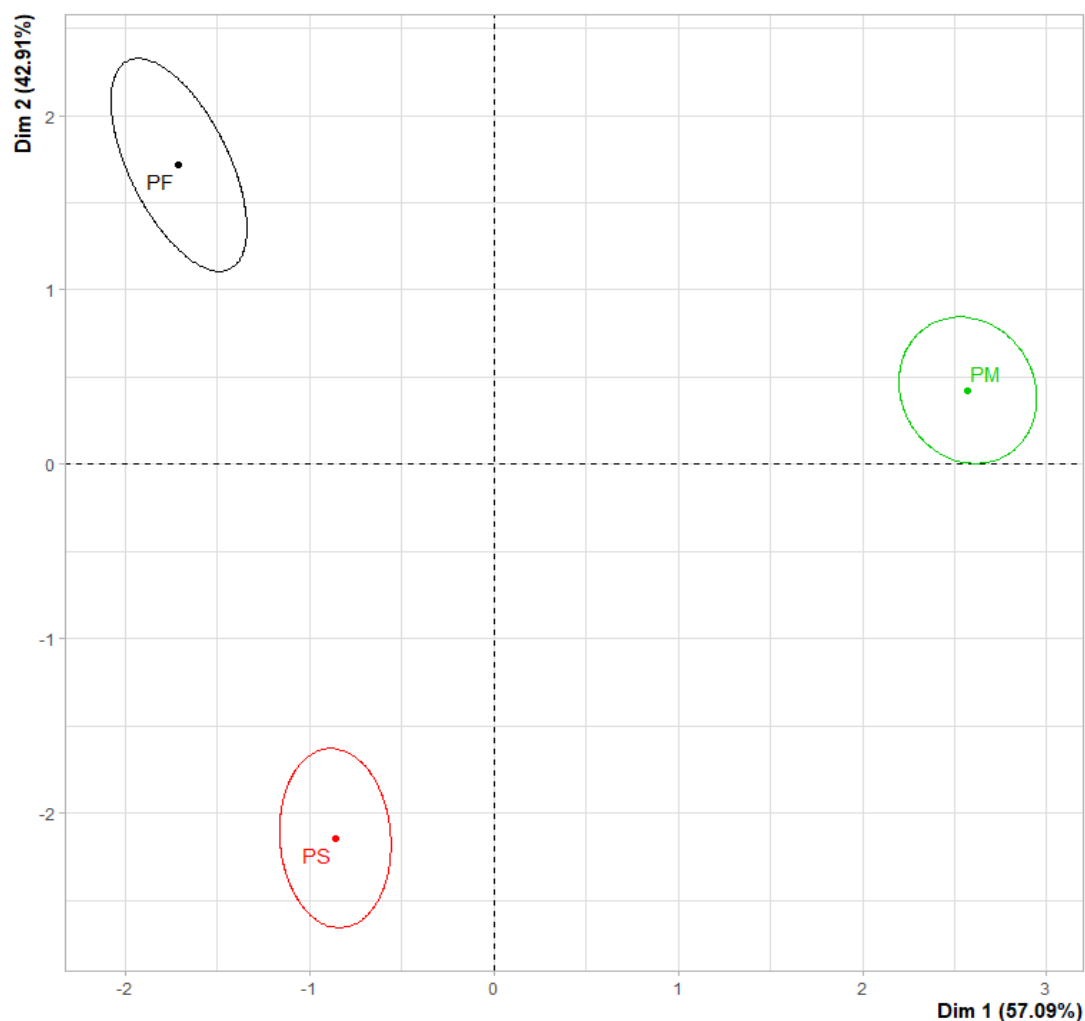


Figure 2 : Positionnement sensoriel multidimensionnel du poivre frais (PF), du poivre sec (PS), du poivre moulu (PM)

Tableau 1 : Test T^2 de Hotelling

	PF	PS	PM
PF	1	$7,60e-10$	$4,564e-14$
PS	$7,60e-10$	1	$3,626e-14$
PM	$4,564e-14$	$3,626e-14$	1

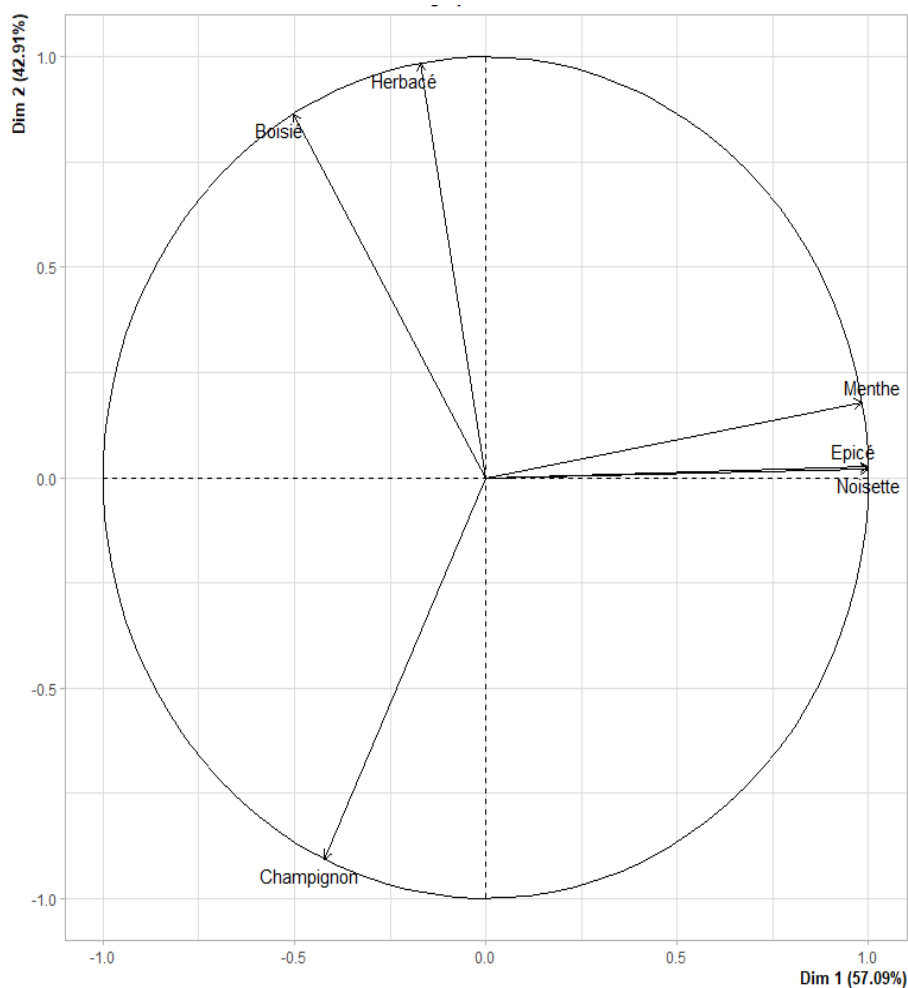


Figure 3 : *Analyse en composante principale des attributs sensoriels olfactifs*

Tableau 2 : *P-Value des descripteurs olfactifs*

Descripteur sensoriel	P-value
Arôme Epicé	$6,886e^{-14}$
Arôme Champignon	$3,13e^{-12}$
Arôme Menthe	$2,84e^{-11}$
Arôme Noisette	$7,22e^{-10}$
Arôme Boisé	$9,69e^{-07}$
Arôme Herbacé	$2,44e^{-06}$

4. Discussion

Bien que l'évaluation sensorielle soit la seule technique disponible pour l'évaluation du degré de supériorité de la qualité aromatique du poivre [15], selon [12], les travaux relatifs à la description des odeurs du poivre par les méthodes sensorielles sont rares. Parmi ces rares travaux, on peut souligner ceux de [12, 16, 17]. [17] ont par exemple mis en exergue quinze (15) descripteurs aromatiques dans le cas du poivre de Sichuan alors que [16] ont mentionné treize (13) descripteurs dans le cas de différentes variétés de poivre produit en Inde. En restant toujours en Inde, [12], ont utilisé neuf (09) descripteurs pour caractériser le profil aromatique de différentes variétés de poivre produit en Inde. L'analyse des différents descripteurs

employés dans ces études montrent des similarités et des différences. Cela confirme les propos de [12] sur la variabilité sensorielle du poivre. Dans le cas du poivre d'Azaguié, six (06) descripteurs ont été employés pour établir le profil aromatique. Ces descripteurs diffèrent de ceux obtenus par [17] dans le cas du poivre de Sichuan, à l'exception des descripteurs « épicé » et « menthe ». En outre, on retrouve les descripteurs « Boisé » et « herbacé » dans l'évaluation de la qualité aromatique de différents cultivars de poivre en Inde réalisée par [12]. Malgré des similarités sémantiques au niveau de certains descripteurs, il est difficile de positionner les poivres d'Azaguié par rapport à ceux étudiés car les références sensorielles employées pour les évaluer, diffèrent au niveau du panel, de l'intensité et de l'échelle de notation. Le profil sensoriel aromatique, dans cette présente étude, a indiqué des différences significatives au niveau des descripteurs entre les différentes formes de poivre commercialisées. L'évaluation des attributs aromatiques discriminants a montré que l'arôme épicé est le descripteur le plus discriminant. Le positionnement sensoriel multidimensionnel a montré également que les formes de poivre sont différentes sur le plan olfactif. Ces différences peuvent s'expliquer par l'intensité des arômes qui discriminent particulièrement chaque forme de poivre. La présence plus ou moins prononcée des arômes pourrait s'expliquer par les traitements technologiques tels que le séchage, le broyage et la conservation, appliqués au poivre. Plusieurs études ont montré que les procédés utilisés pour transformer [18 - 21] et conserver le poivre [22 - 25] ont été identifiés comme facteurs clés affectant le goût piquant caractéristique et la flaveur du poivre. Selon [26], le broyage, par exemple, facilite la libération des composés aromatiques. Le broyage peut donc expliquer, dans notre cas, la présence prononcée de l'arôme épicé, le descripteur le plus discriminant, dans le poivre moulu.

5. Conclusion

Cette étude a eu pour objectif de décrire et analyser le profil sensoriel sur le plan olfactif du poivre frais, du poivre sec et du poivre moulu commercialisés dans la région d'Azaguié. Pour atteindre cet objectif, des échantillons de poivre frais, sec et moulu ont été prélevés. La méthode du profil conventionnel a été utilisée pour analyser ces échantillons. Les résultats de l'analyse ont révélé que le profil sensoriel aromatique diffère significativement entre les formes de poivre commercialisés. Les résultats ont également indiqué que le poivre frais est fortement caractérisé par les arômes « Boisé » et « herbacé ». Le poivre moulu est fortement caractérisé par les arômes « épicé », « menthe », « noisette ». Et enfin, le poivre sec se définit fortement par l'arôme champignon.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier du Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles (FIRCA) et l'appui technique du Département de Formation et de Recherche Génie Chimique et Agro-Alimentaire (DFR GCAA) de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB).

Références

- [1] - R. GODARA, M. K. VERMA, R. KATOCH, A. YADAV, P. DUTT, N. K. SATTI, M. KATOCH, In vitro acaricidal activity of Piper nigrum and Piper longum fruit extracts and their active components against Rhipicephalus (*Boophilus*) *microplus* ticks. *Experimental and Applied Acarology*, 75 (3) (2018) 333 - 343. <https://doi.org/10.1007/s10493-018-0268-5>
- [2] - K. SRINIVASAN, Black pepper and its pungent principle piperine: A review of diverse physiological effects. *Critical Review Food Science Nutrition*, 47 (8) (2007) 735 - 748. <https://doi.org/10.1080/10408390601062054>
- [3] - N. AHMAD, H. FAZAL, B. H. ABBASI, S. FAROOQ, M. ALI, M. A. KHAN, Biological role of Piper nigrum L. (Black pepper) : A review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedecine*, 5 (2012) 1945 - 1953. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60524-3](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60524-3)
- [4] - K. P. SANGEETH, B. R. SUSEELA, Integrated plant nutrient system -with special emphasis on mineral nutrition and biofertilizers for Black pepper and cardamom - A review. *Critical Reviews in Microbiology*, 42 (3) (2016) 439 - 453. DOI: 10.3109/1040841X.2014.958433
- [5] - H. TAKOOREE, M. Z. AUMEERUDDY, K. R. R. RENGASAMY, K. N. VENUGOPALA, R. JEEWON, G. ZENGIN, M. F. MAHOMOODALLY, A systematic review on black pepper (*Piper nigrum* L.) : From folk uses to pharmacological applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59 (sup1) (2019) S210 - S243. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1565489>
- [6] - M. MEGHWAL, T. K. GOSWAMI, Piper nigrum and piperine: An update. *Phytotherapy Research*, 27 (8) (2013) 1121 - 1130. <https://doi.org/10.1002/ptr.4972>
- [7] - K. P. P. NAIR, The Agronomy and Economy of Black Pepper (*Piper Nigrum* L.) - The 'King of Spices'. *Advances in Agronomy*, (82) (2004) 271 - 388. DOI:10.1016/S0065-2113(03)82005-9
- [8] - L. YU, X. HU, R. XU, Y. BA, X. CHEN, X. WANG, B. CAO, X. WU, Amide alkaloids characterization and neuroprotective properties of Piper nigrum L.: A comparative study with fruits, pericarp, stalks and leaves. *Food Chemistry*, 368 (2022) 8 p. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130832>
- [9] - F. ZHU, R. MOJEL, G. LI, Physicochemical properties of black pepper (*Piper nigrum*) starch. *Carbohydrate Polymers*, 181 (2018) 986 - 993. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.051>
- [10] - FAO Statistics. <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QI> 22nd January 2022, consulted (2022)
- [11] - FIRCA, La Filière Poivre. *La Filière du Progrès*, (Acte 23), Magazine d'informations du Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles, Abidjan- Côte d'Ivoire, (2020) 60 p.
- [12] - B. S. MAMATHA, M. PRAKASH, S. NAGARAJAN, K. K. BHAT, Evaluation of the flavor quality of pepper (*Piper nigrum* L.) Cultivars by gc—ms, electronic nose and sensory analysis techniques, *Journal of Sensory Studies*, 23 (2008) 498 - 513. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2008.00168.x>
- [13] - H. STONE, J. SIDEL, S. OLIVIER, A. WOOLSEY, R. C. SINGLETON, Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technology*, 28 (1974) 24 - 32
- [14] - B. M. NATTS, G. L. YLIMAKI, L. E. JEFFERY, L. G. ELIAS, Méthodes de base pour l'évaluation sensorielle des aliments. Ottawa, Ont., CRDI, livre, (1991) 145 p.
- [15] - V. S. GOVINDARAJAN, Pepper-chemistry, technology and quality evaluation. *Critical Reviews Food Science Nutrition*, 9 (2) (1977) 115 - 225. <https://doi.org/10.1080/10408397709527233>
- [16] - M. GOPALKRISHNAN, N. MENON, K. P. PADMAKUMARI, A. JAYALAKSHMI, C. S. NARAYAN, GC analysis and odor profile of four new Indian genotypes of *Piper nigrum* L. *Journal of Essential Oil Research*, 5 (1993) 247 - 253. <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.1993.9698217>
- [17] - G. YANG, E. CHAMBERS IV, H. WANG, Flavor lexicon development (in English and Chinese) and descriptive analysis of Sichuan pepper. *Journal of Sensory Studies*, (36) (2020) 1 - 13. <https://doi.org/10.1111/joss.12636>

- [18] - C. MURTHY, N. KRISHNAMURTHY, T. RAMESH, P. SRINIVASA RAO, Effect of grinding methods on the retention of black pepper volatiles. *Journal of Food Science and Technology*, 33 (4) (1996) 299 - 301
- [19] - M. PLESSI, D. BERTELLI, F. MIGLIETTA, Effect of microwaves on volatile compounds in white and black pepper. *LWT-Food Science and Technology*, 35 (3) (2002) 260 - 264
- [20] - X. ZHONG, T. AKAI, K. OSAKI, H. IWABUCHI, Analysis of volatile compounds released during the grinding of black pepper (*Piper nigrum* L.) using solid-phase microextraction. *Koryo, Terupen oyobi Seiyu Kagaku ni kansuru Toronkai Koen Yoshishu*, 47 (2003) 28 - 30
- [21] - C. K. WAJE, H. K. KIM, K. S. KIM, S. TODORIKI, J. H. KWON, Physicochemical and microbiological qualities of steamed and irradiated ground black pepper (*Piper nigrum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (12) (2008) 4592 - 4596
- [22] - M. STEINHAUS, P. SCHIEBERLE, Characterization of odorants causing an atypical aroma in white pepper powder (*Piper nigrum* L.) based on quantitative measurements and orthonasal breakthrough thresholds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53 (15) (2005) 6049 - 6055
- [23] - D. SURESH, H. MANJUNATHA, K. SRINIVASAN, Effect of heat processing of spices on the concentrations of their bioactive principles: Turmeric (*Curcuma longa*), red pepper (*Capsicum annuum*) and black pepper (*Piper nigrum*). *Journal of Food Composition and Analysis*, 20 (3) (2007) 346 - 351
- [24] - P. NISHA, R. S. SINGHAL, A. B. PANDIT, The degradation kinetics of flavor in black pepper (*Piper nigrum* L.). *Journal of Food Engineering*, 92 (1) (2009) 44 - 49
- [25] - V. R. RAO, S. S. RAJU, V. U. SARMA, F. SABINE, K. H. BABU, K. S. BABU, Simultaneous determination of bioactive compounds in *Piper nigrum* L. and a species comparison study using HPLC-PDA. *Natural Product Research*, 25 (13) (2011) 1288 - 1294
- [26] - S. M. MATHEW, V. V. SREENARAYANAN, Study on grinding of black pepper and effect of low feed temperature on product quality. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, Vol. 16, (2) (2007) 82 - 87