

Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des farines de chenilles (*Imbrasia oyemensis*) et de poisson (*Thunnus albacares*)

[Physicochemical and functional properties of flours from *Imbrasia oyemensis* larvae and fish (*Thunnus albacares*)]

Massé DIOMANDE, Casimir Anauma KOKO, and Benjamin Kan KOUAME

Département de Biochimie et Microbiologie,
Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2017 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: This study was aimed to determine the physicochemical and functional characteristics of flours from *Imbrasia oyemensis* larvae and fish (*Thunnus albacares*) in order to identify appropriate uses (nutrition and food technology). As dried fishes, dried larvae were purchased and ground in a blender to produce raw flours. The physicochemical parameters and functional properties were determined following conventional methods. Data recorded were subjected to statistical analyses. The results showed that the larvae flour is richer in protein ($33.57 \pm 0.23\%$) and carbohydrates ($38.27 \pm 0.38\%$) than fish one. By cons, it was a low ash content food ($3.17 \pm 0.01\%$). Besides, larvae flour is richer in energy with 462.25 ± 3.22 kcal/100 g. While considering their low moisture content (4.70 - 5.56%), flours can be stored for a relatively long period. Furthermore, larvae flour presented the best water absorption capacity ($159 \pm 3\%$) and oil absorption one ($113 \pm 13\%$). In addition, the values of emulsifying activity ($63.88 \pm 0.92\%$) and emulsion stability ($103 \pm 1\%$) of larvae flour are statistically identical to those of fish. Despite their low foam capacity ($2.21 \pm 0.01\%$), the larvae flour recorded the most stable foam ($2.31 \pm 0.01\%$). Its bulk density (0.54 ± 0.01 g/cm³) is lower than that of fish (0.61 ± 0.01 g/cm³). Thus, these flours can be used in the broiler diet. In addition, the study of the functional properties revealed that larvae flours can be recommended in the manufacture of foods for infants and children. It also showed that these flours can be used in the formulation of foods as texturing agent and thickening one. Besides, they could contribute to the fight against certain nutritional diseases due to protein and energy deficiencies. The use of these flours in these areas could add value to these products.

KEYWORDS: *Imbrasia oyemensis*, functional properties, caterpillar, fish, physicochemical characteristics.

RESUME: La présente étude a eu pour objectif de déterminer les caractéristiques physicochimiques et fonctionnelles des farines de chenille (*Imbrasia oyemensis*) et de poisson (*Thunnus albacares*) en vue d'identifier les usages appropriés (en nutrition et technologie alimentaire). Tout comme les poissons secs, les chenilles sèches ont été achetées et broyées au mixeur, pour produire des farines brutes. Les paramètres physicochimiques et les propriétés fonctionnelles ont été déterminés selon des méthodes conventionnelles. Les données obtenues ont été soumises à des traitements statistiques. Les résultats ont révélé que la farine de chenille est plus riche en protéines ($33,57 \pm 0,23 \%$) et en matière grasse ($20,78 \pm 0,24 \%$) que la farine de poisson. Par contre, elle a été plus pauvre en cendres ($3,17 \pm 0,01 \%$) que la farine de poisson. De plus, la farine de chenille est plus riche en énergie avec $462,25 \pm 3,22$ kcal/100 g. Compte tenu de leur humidité relativement faible (4,70-5,56 %), toutes ces farines peuvent être conservées sur une période relativement longue. Par ailleurs, la farine de chenille a présenté les meilleures capacités d'absorption en eau ($159 \pm 3 \%$) et en huile ($113 \pm 13 \%$). En outre, les valeurs de l'activité émulsifiante ($63,88 \pm 0,92 \%$) et de la stabilité de l'émulsion ($103 \pm 1 \%$) des farines de chenilles sont statistiquement identiques à celles des farines de poisson. Bien qu'ayant enregistré le pouvoir moussant le plus faible ($2,21 \pm 0,01 \%$), la farine de chenille a obtenu la mousse la plus stable ($2,31 \pm 0,01 \%$). La densité en bloc de la farine de chenille ($0,54 \pm 0,01$ g/cm³) est inférieure à celle de poisson ($0,61 \pm 0,01$ g/cm³). Ces farines peuvent être utilisées dans l'alimentation du poulet de

chair. De plus, l'étude des propriétés fonctionnelles a révélé que les farines de chenilles peuvent être recommandées dans la fabrication d'aliments pour nourrissons et enfants. Cette étude a montré également que ces farines peuvent être utilisées dans la formulation d'aliments comme agent texturant et agent épaississant. Elles pourraient par ailleurs, contribuer à la lutte contre certaines maladies nutritionnelles liées à la carence en protéines et en énergies. L'utilisation de ces farines dans ces domaines pourrait ajouter de la valeur à ces produits très peu valorisés.

MOTS-CLEFS: *Imbrasia oyemensis*, propriétés fonctionnelles, chenille, poisson, caractéristiques physicochimiques.

1 INTRODUCTION

La nécessité de nourrir une population mondiale croissante pose inévitablement une pression constante sur la production agricole qui, à son tour, contribue davantage à la dégradation des ressources naturelles [1]. En outre, les difficultés apparaissant avec le changement climatique vont se combiner avec les problèmes actuels de production. Ainsi, les activités en cours de la FAO sur les régimes alimentaires durables explorent les liens et les synergies entre la biodiversité alimentaire, la nutrition, la composition des aliments, la production alimentaire, l'agriculture et la durabilité. L'objectif sous-jacent est l'amélioration des aliments et de la sécurité alimentaire, ainsi que de proposer aux responsables politiques et aux consommateurs des recommandations plus respectueuses de l'environnement, y compris ce que signifie un système alimentaire écologiquement durable [2].

Les insectes comestibles conviennent parfaitement à un tel scénario écologiquement responsable et, de surcroît, doivent être considérés comme des candidats de premier ordre à la fois comme aliments de base et comme compléments alimentaires ainsi que, plus généralement, pour leur rôle dans les régimes alimentaires durables. Il existe actuellement 1 700 à 2 000 espèces d'insectes comestibles répartis en 16 ordres dont 4 représentent plus de 80 % des espèces comestibles [3]. La valeur nutritionnelle des insectes comestibles est très variable, ne fut-ce qu'en raison de la grande diversité des espèces [4]. Même au sein d'un seul groupe d'espèces d'insectes comestibles, ces valeurs nutritionnelles peuvent différer en fonction du stade de développement des insectes, de leur habitat et de leur alimentation [3]. Comme pour la plupart des aliments, la préparation et les méthodes de production appliquées avant consommation influenceront également la composition nutritionnelle. Par ailleurs, dans les lieux où ils sont communément consommés, les insectes ne constituent qu'une part des régimes alimentaires locaux. En effet, dans certaines communautés africaines les insectes représentent 5 à 10 pour cent des protéines consommées [5]. De nombreux travaux, dans diverses régions du globe, ont porté sur différents insectes comestibles [3] ; [6] ; [7] ; [8] ; [9]. Ceux portant notamment sur la valeur nutritionnelle des chenilles comestibles en République Démocratique du Congo ont révélé qu'elles demeurent une source hautement significative de nutriments pour les populations humaines [4].

En Côte d'Ivoire, les chenilles de l'espèce *Imbrasia oyemensis* sont beaucoup consommées notamment en zone forestière ouest du pays où elles sont largement disponibles [8]. Pourtant, très peu de travaux y ont été consacrés. Selon [8] qui ont déterminés les caractéristiques physicochimiques de sa matière grasse, cette chenille est consommée en remplacement de la viande et du poisson. Il importe donc de déterminer les caractéristiques physicochimiques et fonctionnelles des farines de chenilles d'une part et de poissons d'autre part aux fins de comparaison en vue d'une valorisation efficiente.

La présente étude a donc pour objectif de déterminer les propriétés physicochimiques et fonctionnelles des farines de Chenilles (*Imbrasia oyemensis*) et de poissons (*Thunnus albacares*). Elle vise en outre, à comparer les deux matrices sur la base des paramètres étudiés en vue d'apprécier les différents usages en nutrition et technologie alimentaire.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La présente étude a été réalisée à Daloa, une ville du centre-ouest de la Côte d'Ivoire. La ville se situe à 6°53 de latitude Nord et 6°27 de longitude Ouest et fait partie de la région du *Haut-Sassandra*. La région du *Haut-Sassandra* est limitée au Sud par les régions du *Bas-Sassandra* (actuelle région de *Nawa*) et du *Fromager* (actuelle région du *Gôh*), au Nord par le *Worodougou*, à l'Ouest par les régions des 18 montagnes (actuelle région du *Tonkpi*) et du *Moyen Cavally* (actuelle région du *Guemon*) et à l'Est par la *Marahoué*. Daloa est située à 141 km de Yamoussoukro (la capitale politique) et à 383 km d'Abidjan (la capitale économique). Avec une population de 261 789 habitants et une superficie de 5,305 km², elle est la troisième ville la plus peuplée du pays après Abidjan et Bouaké (Figure 1).

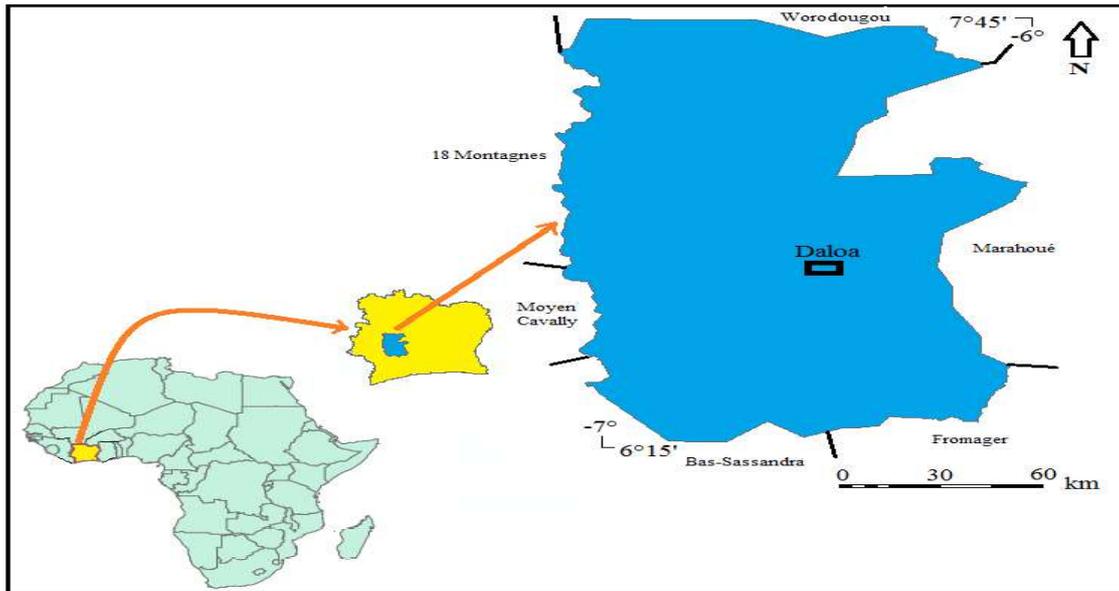


Fig. 1. Zone d'étude (Daloa)

2.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Des farines de chenilles de l'espèce *Imbrasia oyemensis* (Figure 2) et de poissons de l'espèce *Thunnus albacares* (Figure 3) ont été utilisées comme matériel biologique dans cette étude.



Fig. 2. Farine de chenille (*Imbrasia oyemensis*)

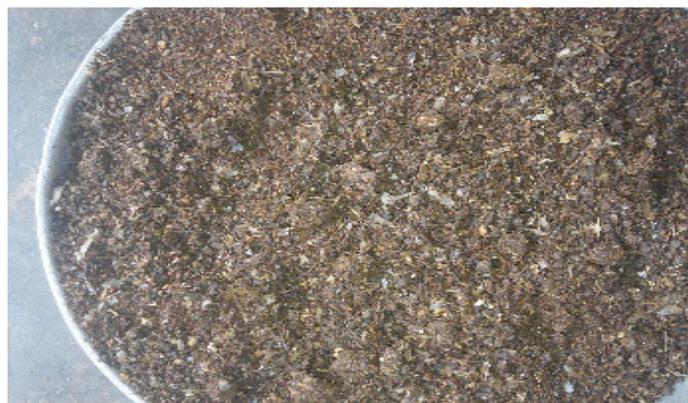


Fig. 3. Farine de poisson (*Thunnus albacares*)

2.3 ECHANTILLONNAGE

Pour cette étude, trois échantillons de chenilles sèches d'environ 2 kg chacun ont été achetés sur trois sites du grand marché de la ville de Daloa. Ces échantillons ont été conditionnés dans des sachets PET pour les différentes analyses. De même, trois échantillons de poissons secs ont été prélevés dans les mêmes conditions que précédemment.

2.4 FABRICATION DES FARINES DE CHENILLES ET DE POISSONS

Après un tri manuel de chacun des échantillons, les chenilles ont été broyées au moyen d'un mixeur. La farine brute obtenue a été utilisée pour la détermination des propriétés physicochimiques et fonctionnelles. Pour les poissons secs entiers ou étêtés, un broyage au mixeur a été également effectué. La farine obtenue a été utilisée dans les mêmes conditions que précédemment pour la détermination des propriétés physicochimiques et fonctionnelles.

2.5 CARACTÉRISATION PHYSICOCHIMIQUE DES FARINES DE CHENILLES ET DE POISSONS

Sur les farines obtenues, des caractéristiques physicochimiques telles que les taux d'humidité et de cendres, de protéines brutes, de matières grasses, de glucides et la valeur énergétique ont été déterminées. Les teneurs en eau, en cendres et en matières grasses ont été quantifiées selon la méthode AOAC [10]. Les protéines brutes ont été dosées selon la méthode de BIPEA [11]. Les glucides ont été déterminés par calcul selon la formule :

$$\text{Glucides totaux (\%)} = 100 - [\text{cendres (\%)} + \text{protéines (\%)} + \text{lipides (\%)} + \text{humidité (\%)}]$$

La valeur énergétique a été calculée en tenant compte des coefficients d'Atwater [12] selon l'expression suivante :

$$\text{Valeur énergétique (kcal/100 g)} = [(\% \text{ glucides} \times 4) + (\% \text{ protéines} \times 4) + (\% \text{ lipides} \times 9)]$$

2.6 PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES DE LA FARINE DE CHENILLE ET DE POISSON

2.6.1 CAPACITÉ D'ABSORPTION EN EAU DES ÉCHANTILLONS DE FARINE (CAE)

Une quantité d'un (1) gramme de farine est pesée par échantillon et introduite dans un tube à centrifugeuse. Trois (3) essais, pour chaque type de farine, ont été réalisés. Les tubes contenant les farines ont été pesés et les masses sont notées (m_e). Ensuite, une quantité de dix (10) mL d'eau a été ajoutée dans chaque tube et le tout a été agité pendant 30 minutes. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 25 minutes à 5000 trs/min grâce à une centrifugeuse JOUAN, (N° série 39707312, N° Réf. 11174301). Le surnageant de chaque tube est versé et les nouvelles masses notées (m_e'). La capacité d'absorption d'eau pour chaque échantillon est déterminée selon la formule suivante :

$$C A E = (m_e' - m_e) \times 100 / PE$$

avec m_e : Masse du tube contenant la farine avant centrifugation ;
 m_e' : Nouvelle masse du tube contenant la farine après centrifugation ;
PE : Prise d'essai.

2.6.2 CAPACITÉ D'ABSORPTION EN HUILE DES ÉCHANTILLONS DE FARINE (CAH)

Pour chaque échantillon, une quantité de 0,5 g de farine est pesée et introduite dans un tube à centrifugeuse. Trois (3) essais, pour chaque type de farine, ont été réalisés. Les tubes contenant les farines ont été pesés et les masses notées (m_e). Ensuite, une quantité de 6 mL d'huile de tournesol a été ajoutée dans chaque tube et le tout a été agité pendant 30 minutes. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 25 minutes à 5000 trs/min grâce à une centrifugeuse JOUAN, (N° série 39707312, N° Réf. 11174301). Le surnageant de chaque tube est versé. Les tubes sont séchés à l'étuve (à 50 °C) et les nouvelles masses sont notées (m_e''). La capacité d'absorption en huile pour chaque échantillon est déterminée selon la formule :

$$C A H = (m_e'' - m_e) \times 100 / PE$$

Avec m_e : Masse du tube contenant la farine avant centrifugation ;
 m_e'' : Nouvelle masse du tube contenant la farine après centrifugation et étuvage ;
 PE : Prise d'essai.

2.6.3 ACTIVITÉ ÉMULSIFIANTE (AE) ET STABILITÉ DES ÉMULSIONS (SE)

Une quantité d'un (1) gramme de farine est pesée par échantillon et introduite dans un tube à centrifugeuse. Trois (3) essais sont réalisés pour chaque type de farine. Les tubes contenant les farines sont pesés et les masses sont notées. Ensuite, ont été ajoutés successivement dans chaque tube, 3 mL d'huile et 3 mL d'eau. Pendant 30 minutes, les différents tubes ont été agités. Enfin, la centrifugation a été faite pendant 25 minutes à 5000 trs/min grâce à une centrifugeuse JOUAN, (N° série 39707312, N° Réf. 11174301). Les tubes ont été retirés et les hauteurs (hauteur totale et hauteur d'eau) ont été mesurées et notées. L'activité émulsifiante est calculée selon la formule suivante :

$$A E = (H_e/H_t) \times 100$$

avec H_e : Hauteur eau ;
 H_t : Hauteur totale.

Pour la détermination de la stabilité des émulsions, les tubes à centrifugeuse ont été conduits au bain-marie bouillant à 100 °C pendant 30 minutes. Au terme de cette période, les tubes sont retirés et les nouvelles hauteurs de l'eau ont été notées (H_e'). La stabilité est calculée selon la formule suivante :

$$S E = (H_e'/H_e) \times 100$$

avec H_e : hauteur eau ;
 H_e' : nouvelle hauteur de l'eau.

2.6.4 DENSITÉ EN BLOC DES ÉCHANTILLONS DE FARINE (DB)

Pour chaque échantillon, une quantité de quinze (15) grammes de farine est pesée (m) et introduite dans une éprouvette graduée (en plastique). La farine de chaque éprouvette est tassée et le volume est lu (v). La densité en bloc est déterminée selon la formule suivante :

$$D B = m/v$$

avec m : Masse (g) de la farine introduite dans l'éprouvette ;
 v : Volume occupé (cm^3) par la farine dans l'éprouvette.

2.6.5 POUVOIR MOUSSANT (PM) ET STABILITÉ DE LA MOUSSE (SM)

Une quantité de trois (3) grammes de farine est pesée par échantillon et introduite dans un bécher. Ensuite, 100 mL d'eau y sont ajoutés et le tout est agité pendant quelques minutes. La solution obtenue est filtrée. Après avoir quantifié le filtrat, le liquide est agité dans une éprouvette graduée pour faire mousser et la hauteur de la mousse est notée. Le pouvoir moussant est déterminé selon la formule suivante :

$$P M = ((V_2 - V_1) / V_1) \times 100$$

avec V_1 : Volume du filtrat avant moussage ;
 V_2 : Volume du filtrat après moussage.

Après avoir agité les éprouvettes contenant les différentes solutions, les éprouvettes sont abandonnées à température ambiante pendant 30 minutes et une nouvelle lecture du niveau de la mousse est faite. La stabilité de la mousse est déterminée selon la formule :

$$S M = (V_f / (V_2 - V_1)) \times 100$$

avec V f : Volume final de la mousse après repos de 30 minutes ;
 V1 : Volume du filtrat avant moussage
 V2 : Volume du filtrat après moussage.

2.7 TRAITEMENTS STATISTIQUES DES DONNÉES

Les données recueillies à l'issue de la caractérisation physicochimique et fonctionnelle des échantillons de farines ont été soumises à des analyses statistiques. Ainsi, une analyse de variance multidimensionnelle a été réalisée aux fins d'apprécier l'existence de différence entre les échantillons étudiés. Par ailleurs, des analyses de variance ont été également effectuées sur ces données. Des tests de comparaison multiples (Tukey HSD) ont été conduits lorsque la différence a été révélée comme significative ($p < 0,05$) aux fins de séparer les différents échantillons. En addition, une analyse en composantes principales a été effectuée pour visualiser les différents échantillons dans un espace bidimensionnel. Ces traitements statistiques ont été réalisés grâce au logiciel STATISTICA 7.1.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISATION PHYSICOCHIMIQUE DES FARINES DE CHENILLES ET DE POISSONS

La composition chimique des échantillons de farines de chenille et de poisson a été déterminée. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 1. A l'analyse, les farines de chenille ont une humidité moyenne de l'ordre de $5,56 \pm 0,41$ %. De plus, avec une teneur moyenne en cendres de $3,17 \pm 0,01$ % et un taux de matières grasses de l'ordre de $19,43 \pm 0,32$ %, ces chenilles renferment des glucides totaux ($38,27 \pm 0,38$ %). Elles contiennent par ailleurs, des protéines ($33,57 \pm 0,28$ %). En outre, la consommation des farines de chenilles fournit en moyenne une énergie de $462,25 \pm 3,22$ kcal/100 g. Au niveau des échantillons de farines de poissons, le taux moyen d'humidité est de $4,70 \pm 0,13$ %. Ces farines de poissons contiennent également des glucides ($18,23 \pm 0,66$ %), des cendres ($37,73 \pm 0,10$ %), des protéines ($18,56 \pm 0,17$ %) et des matières grasses ($20,78 \pm 0,29$ %). De plus, elles fournissent une énergie de $334,17 \pm 1,03$ kcal/100 g. Par ailleurs, une analyse de variance multidimensionnelle a été réalisée sur les caractéristiques physicochimiques des échantillons de farines. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 2. A l'analyse, il ressort que les effets de la farine sont significatifs ($p < 0,05$) sur l'ensemble des caractéristiques physicochimiques étudiées. De plus, l'analyse de variance à un facteur a révélé que tous les paramètres physicochimiques étudiés varient significativement ($p < 0,05$) d'une farine à l'autre.

Tableau 1. Composition chimique des farines de chenilles et de poissons

Farines	Glucides (%)	Humidité (%)	Cendres (%)	Matière grasse (%)	Protéines (%)	Valeur énergétique (kcal/100 g)
FC	$38,27 \pm 0,38$ a	$5,56 \pm 0,41$ a	$3,17 \pm 0,01$ a	$19,43 \pm 0,32$ a	$33,57 \pm 0,28$ a	$462,25 \pm 3,22$ a
FP	$18,23 \pm 0,66$ b	$4,70 \pm 0,13$ b	$37,73 \pm 0,10$ b	$20,78 \pm 0,29$ b	$18,56 \pm 0,17$ b	$334,17 \pm 1,03$ b

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes dans la même colonne sont significativement différentes ($p < 0,05$);

FP : farine de poisson ; FC : farine de chenille

Tableau 2. Résultats de l'analyse de variance multidimensionnelle sur les paramètres physicochimiques des différentes farines

Effet	Test	Valeur	F	Effet dl	Erreur dl	P
Farines	Wilk	0,000005	54418,93	4	1	0,00

Les effets sont significatifs à $p < 0,05$.

3.2 PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES DES FARINES DE CHENILLE ET DE POISSON

Le tableau 3 présente les propriétés fonctionnelles des farines de chenille et de poisson. Il ressort que la capacité d'absorption en eau de ces farines est comprise entre 94 ± 2 % (poissons) et 159 ± 1 % (chenilles). La capacité d'absorption en huile et le pouvoir moussant de la farine de poisson sont respectivement de l'ordre 82 ± 6 % et $4,65 \pm 0,01$. De plus, l'activité émulsifiante et la stabilité de l'émulsion de la farine de poisson sont de $62,73 \pm 0,23$ % et 103 ± 2 % respectivement. Avec une densité en bloc de $0,61 \pm 0,01$ g/cm³, cette farine a une stabilité nulle pour la mousse ($0,00 \pm 0,00$). Au niveau de la farine de chenille par ailleurs, le pouvoir moussant et la stabilité de la mousse obtenue ont enregistré les valeurs respectives

de $2,21 \pm 0,01$ et $2,31 \pm 0,01$ %. De plus, l'activité émulsifiante et la stabilité de l'émulsion de la farine de chenille sont de $63,88 \pm 0,92$ % et 103 ± 1 % respectivement. Avec une capacité d'absorption en huile de 113 ± 13 %, la farine de chenille a une densité en bloc de $0,54 \pm 0,01$ g/cm³. Par ailleurs, une analyse de variance multidimensionnelle a été réalisée sur les propriétés fonctionnelles des échantillons de farines. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 4. A l'analyse, il ressort que les effets de la farine sont significatifs ($p < 0,05$) sur l'ensemble des propriétés fonctionnelles étudiées. En addition, l'analyse de variance à un facteur a révélé que certaines propriétés fonctionnelles telles que CAE, CAH, PM, SM et DB varient significativement ($p < 0,05$) d'une farine à l'autre.

Tableau 3. Propriétés fonctionnelles des farines de chenille et de poisson

Farines	CAE (%)	CAH (%)	PM (%)	SM (%)	AE (%)	SE (%)	DB (g/cm ³)
FC	159 ± 1 a	113 ± 13 a	$2,21 \pm 0,01$ a	$2,31 \pm 0,01$ a	$63,88 \pm 0,92$ a	103 ± 1 a	$0,54 \pm 0,01$ a
FP	94 ± 2 b	82 ± 6 b	$4,65 \pm 0,00$ b	$0,00 \pm 0,00$ b	$62,73 \pm 0,23$ a	103 ± 2 a	$0,61 \pm 0,01$ b

Les valeurs avec des lettres alphabétiques différentes dans la même colonne sont significativement différentes ($p < 0,05$); Fp : farine de poisson ; Fc : farine de chenille ; CAE : capacité d'absorption en eau de la farine ; CAH : capacité d'absorption en huile de la farine ; PM : Pouvoir moussant ; SM : stabilité de la mousse ; AE : activité émulsifiante de la farine ; SE : stabilité de l'émulsion de la farine ; DB : densité en bloc de la farine

Tableau 4. Résultats de l'analyse de variance multidimensionnelle sur les propriétés fonctionnelles des farines

Effet	Test	Valeur	F	Effet dl	Erreur dl	P
Farines	Wilk	0,000000	583307	4	1	0,00

Les effets sont significatifs à $p < 0,05$.

3.3 COMPARAISON ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES DES FARINES DE CHENILLES ET DE POISSONS

Les analyses de variance effectuées sur les paramètres physicochimiques d'une part et sur les propriétés fonctionnelles d'autre part ont donné des résultats présentés respectivement sur les tableaux 1 et 2. Ces analyses ont révélé que la farine de chenille a les teneurs en glucides ($38,27 \pm 0,38$ %), en humidité ($5,56 \pm 0,41$ %), en protéines ($33,57 \pm 0,28$ %) et la valeur énergétique ($462,25 \pm 3,22$ kcal/100 g) les plus élevées au risque de 5 %. Les teneurs en cendres ($37,73 \pm 0,10$ %) et en matières grasses ($20,78 \pm 0,29$ %) les plus élevées ont été enregistrées dans la farine de poisson. Par ailleurs, une analyse en composantes principales a été effectuée sur les échantillons de farines en tenant compte de l'ensemble des caractéristiques (physicochimiques et fonctionnelles) étudiées. Les résultats obtenus sont présentées sur la figure 4. A l'analyse, en prenant en compte 96,65 % des différenciations, deux groupes distincts sont obtenus :

- un groupe formé par des échantillons de farines de chenille ;
- un deuxième qui rassemble les farines de poissons.

La figure 5 présente Le cercle de corrélation entre les variables. Il ressort de l'analyse que les farines de poissons sont caractérisées dans l'ensemble par des valeurs plus élevées en cendres, en matières grasses, et par leur densité en bloc et pouvoir moussant.

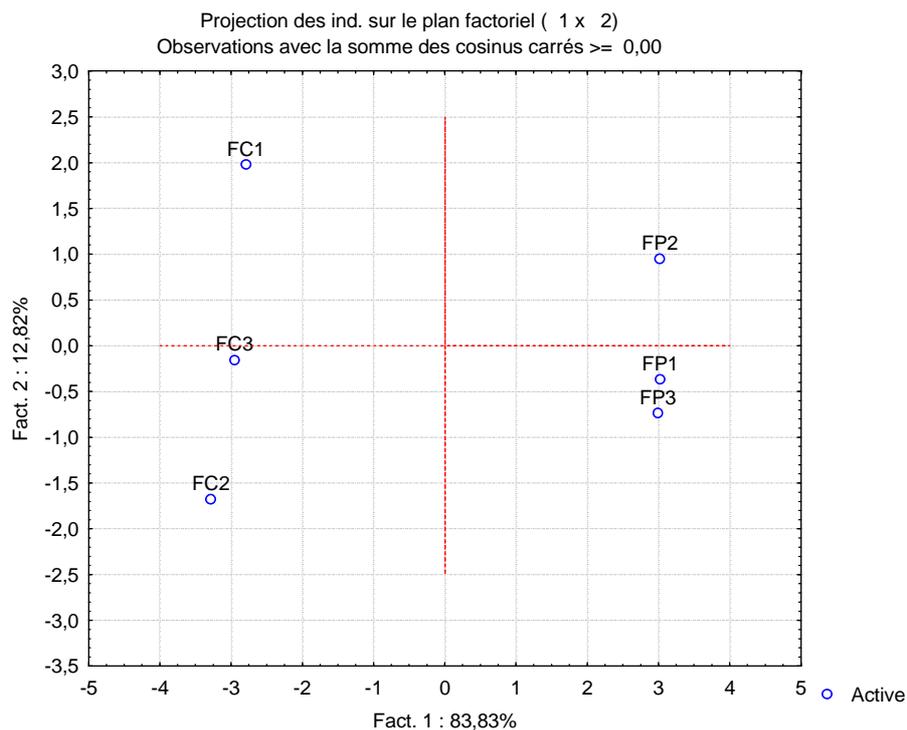


Fig. 4. Résultats de l'analyse en composantes principales sur les échantillons de farines de chenilles (FC) et de poissons (FP)

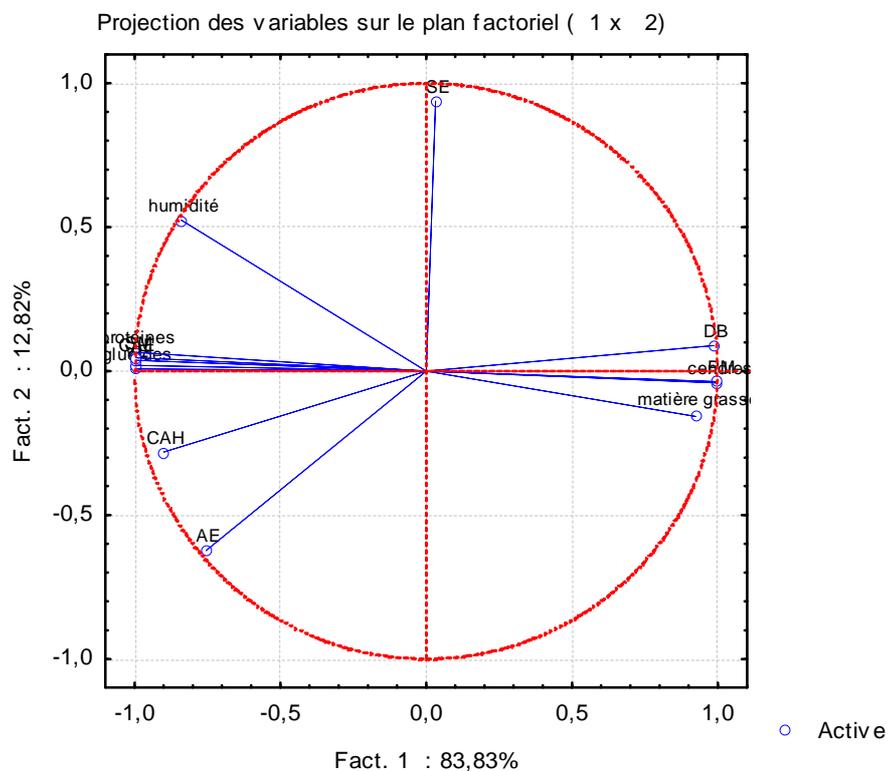


Fig. 5. Cercle de corrélation entre les variables

4 DISCUSSION

Les paramètres physicochimiques des échantillons de farines de chenilles et de poissons ont été déterminés. Cette étude a indiqué que les farines analysées sont riches en protéines (18,56 - 33,57 %). De plus, l'analyse de variance a révélé une différence significative ($p < 0,05$) au niveau de ces teneurs et a montré clairement que la farine de chenille a la teneur en protéines la plus élevée. Celle-ci constitue donc une importante source de protéine (33 %) pour l'alimentation humaine d'une part et pour l'alimentation animale d'autre part. La teneur élevée en protéines au niveau des chenilles a déjà été rapportée [9] ; [13]. Cependant, sa teneur en protéine est inférieure à celle d'asticot (59,65 %) et de farine de coproduit de volaille (61,54 %) selon les travaux de [14]. Cette différence pourrait être due au mode de traitement thermique utilisé par les paysannes pour sécher les chenilles. En effet, il est admis qu'un traitement thermique intense influence notablement la teneur en protéines en les dénaturant. En outre, les taux de protéines obtenus dans la présente étude sont inférieurs à ceux rapportés par [15]. Ces auteurs ont travaillé sur des farines d'escargot (*Achatina fulica*) comparées à celles de poisson dans l'alimentation de poulet de chair en Côte d'Ivoire. Du fait sa teneur élevée en protéines la farine de chenille peut être valorisée dans l'alimentation de poulet. Toutefois, leur faible teneur en cendres ($3,17 \pm 0,01$ %) comparativement à la farine de poisson ($37,73 \pm 0,10$ %) implique que l'incorporation de la farine de chenille dans les rations alimentaires de poulet doit s'accompagner de leur complémentation en minéraux. Par ailleurs, la teneur en matières grasses des farines analysées varie entre $19,43 \pm 0,32$ % et $20,78 \pm 0,29$ %. Cette variation a été révélée comme étant significative par l'analyse de variance. Dès lors, les farines de poissons ont la teneur en lipides la plus élevée. La teneur en matières grasses des farines de chenilles enregistrée dans cette étude est supérieure à celle de poisson (10 %) et d'escargot (4 %) rapportée par [15]. Ce résultat indique que la farine de chenilles peut être utilisée pour l'engraissement des poulets (finition). En addition, la farine de chenilles est plus riche en glucides ($38,27 \pm 0,38$ %) que les farines de poissons ($18,23 \pm 0,66$ %). Compte tenu de sa teneur élevée en glucides et en protéines, la farine de chenille est hautement énergétique ($462,25 \pm 3,22$ kcal/100 g). En effet, la consommation d'un kilogramme de farines de chenilles permet largement de couvrir les besoins énergétiques journaliers d'un homme adulte qui s'élèvent à 3050 kcal. Des valeurs de l'ordre de 421 kcal/100 g ont été enregistrées sur les chenilles de l'espèce *Pseudanthera discrepans* en République Démocratique du Congo [4]. Les chenilles sont donc toutes, aussi énergétiques que les farines de manioc fermenté [16]. En outre, l'humidité (4,70 - 5,56 %) relativement faible de ces farines est un atout pour leur conservation sur une période relativement longue.

En prélude à une valorisation de ces farines en technologie alimentaire, les propriétés fonctionnelles ont été caractérisées. Les résultats ont révélé que les capacités d'absorption en eau et en huile des farines de chenilles sont statistiquement ($p < 0,05$) supérieures à celles de poisson. Ces résultats suggèrent que la farine de chenille (*I. oyemensis*) est plus hydrophile que celle de poisson (*Thunnus albacares*). De plus, ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par [9] qui travaillaient sur la chenille *Imbrasia oyemensis*. En effet, des valeurs comprises entre 56,9 et 63,4 % pour la CAE et entre 56,71 et 78,12 % pour la CAH ont été enregistrées dans la farine brute. Dans les larves de *Cirina forda*, des valeurs plus élevées variant entre $300 \pm 0,15$ % (pour CAE) et $358 \pm 0,21$ % (pour CAH) ont été signalées [17]. Les valeurs enregistrées dans la présente étude sont largement inférieures à celles des farines de champignons comestibles qui sont comprises entre 260 – 390 % (CAE) et 450 – 480 % (CAH) [18]. Par ailleurs, la forte capacité de rétention en huile de la farine de chenille (113 ± 13 %) implique qu'elle entraînerait une forte palatabilité. De plus, les constituants de cette farine présenteraient des textures agréables au palais et favoriseraient le plaisir alimentaire [19].

L'activité émulsifiante de la farine de chenille ($63,88 \pm 0,92$ %) est statistiquement identique à celle de poisson ($62,73 \pm 0,23$ %). Il en est de même pour la stabilité de l'émulsion de ces deux farines. Les valeurs des propriétés émulsifiantes enregistrées dans la présente étude sont supérieures à celles rapportées par [9] qui sont de l'ordre de 16,84 – 46,66 % pour l'AE et de 79,75 - 91,22 % pour la SE. La farine de chenille peut bien être utilisée dans la fabrication des vinaigrettes. En effet, la formation et la stabilité de l'émulsion sont très importantes dans la fabrication de vinaigrette [20] ; [21].

Par ailleurs, la masse volumique apparente ou densité en bloc des farines a été mesurée. Elle est très importante pour des exigences d'emballage en industrie alimentaire [22]. La densité en bloc de la farine de chenille de l'espèce *I. oyemensis* ($0,54 \pm 0,01$ g/cm³) est inférieure à celle de poisson ($0,61 \pm 0,01$ g/cm³). Elle est aussi inférieure à la densité de $1,00 \pm 0,0005$ g/cm³ rapportée par [9] qui travaillaient sur les chenilles de la même espèce. En outre, les densités en bloc de la farine de chenille sont proches de celles de *I. belin* qui varient entre 0,67 et 0,71 g/cm³ [7]. De même, elles sont proches de celles des farines de maïs (0,60) et de blé (0,62 g/cm³) [23]. Les résultats indiquent que la farine de chenille peut être utilisée dans les aliments infantiles comme agent épaississant conformément à l'étude de [24].

Les propriétés moussantes des farines de chenilles et de poissons ont été aussi déterminées. C'est ainsi que les résultats ont révélé que la capacité moussante de la farine de chenille (2,21 %) est plus faible que celle de farine de poisson ($4,65 \pm 0,01$). En revanche la mousse formée par la farine de chenille ($2,31 \pm 0,01$ %) est plus stable que celle de poisson (0,00 %). La capacité moussante d'une farine est liée à la nature et à la structure des protéines de cette farine alors que la stabilité de la

mousse est liée à la capacité de la protéine à faire face aux contraintes gravitationnelles et mécaniques [25]. Des valeurs plus élevées tant pour la capacité moussante ($18 \pm 2,37$ %) que pour la stabilité de la mousse ($27,19 \pm 0,98$ %) ont été rapportées dans la farine de chenille délipidée [9]. La faible capacité moussante pourrait donc être due à une importance des protéines globulaires dans ces farines qui résisteraient plus à la tension superficielle. En effet, il a été établi un lien entre la forte capacité moussante et la flexibilité de molécules protéiques qui réduit la tension superficielle [26]. Par ailleurs, la mousse est utilisée pour améliorer la texture, la consistance et l'apparence des aliments [27].

Sur la base de l'ensemble des caractéristiques étudiées, la comparaison entre les farines de chenilles et celles de poissons a montré des différences. En effet, l'analyse en composantes principales effectuées sur les différents échantillons a permis de distinguer deux groupes : l'un formé par les farines de chenilles et l'autre par celles de poissons. Ce regroupement prend en compte plus de 96 % des différenciations entre les farines, attestant de l'existence de différences. Par ailleurs, le cercle de corrélation entre les variables a révélé clairement que les farines de poissons sont caractérisées par leur DB, leur PM, leurs teneurs en matières grasses et en cendres élevés. En outre, les farines de chenilles se distinguent de celles de poissons par leur CAE, leur CAH, leur SM et leurs teneurs en glucides, en protéines, en humidité et en énergie plus élevées.

5 CONCLUSION

La farine de chenille (*Imbrasia oyemensis*) a été riche en protéines, en glucides et en énergie que la farine de poisson (*Thunnus albacares*). Par contre, elle a été plus pauvre en cendres et en matières grasses que celle de poisson. De plus, la faible teneur en eau des farines est un atout pour leur conservation sur une période relativement longue. La farine de chenille a présenté les meilleures propriétés d'absorption en eau et en huile et les meilleures propriétés émulsifiantes pendant que les farines de poissons sont caractérisées par leur densité en bloc et leur pouvoir moussant plus élevés. Les farines de chenille peuvent être recommandées dans la fabrication d'aliment pour nourrissons et enfants. Elles pourraient contribuer à la lutte contre certaines maladies nutritionnelles liées à la carence en protéines et en énergies. En alimentation animale, ces farines peuvent être utilisées dans les rations du poulet de chair. Enfin, l'étude des propriétés fonctionnelles de ces farines a montré qu'elles peuvent être utilisées dans la formulation d'aliments comme agent texturant, agent épaississant. L'utilisation des farines de chenilles dans ces domaines pourrait ajouter de la valeur à ce produit très peu valorisé.

RÉFÉRENCES

- [1] FAO, *How to feed the world in 2050*, 2009a. (Disponible: www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf).
- [2] FAO, *Biodiversity and nutrition, a common path*, FAO, 2009b. (Disponible : http://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/upload/Interodocumento.pdf).
- [3] P.B. Durst, D.V. Johnson, R.N. Leslie, K. Shono. *Forest insects as food: humans bite back*, FAO, 2008.
- [4] E. Okangola, E. Solomo, W.B. Tchatchambe, M. Mate, A. Upoki, A. Dudu1, Justin A. Asimonyio, G.N. Bongo, Pius T. Mpiana, and Koto-te-Nyiwa Ngbolua, "Valeurs nutritionnelles des chenilles comestibles de la ville de Kisangani et ses environs (Province de la Tshopo, République Démocratique du Congo)," *International Journal of Innovation and Scientific Research*, Vol. 25, no. 1, pp. 278-286, 2016.
- [5] M.A. Ayieko, and V. Oriaro, "Consumption, indigeneous knowledge and cultural values of the lakefly species within the Lake Victoria region," *African Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 2, no. 10, pp. 282–286, 2008.
- [6] J.E. Losey and M. Vaughan, "The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects," *BioScience*, Vol. 56, pp. 311-323, 2006.
- [7] K.E. Ekpo, M.A. Azeke and A.M. Ugbenyen, "Functional properties of dried *Imbrasia belina* larvae flour as affected by mesh size and pH." *Nig. An. Nat. Sci.*, Vol. 8, no. 1, pp. 6-9, 2008.
- [8] R. A. Akpoussan, E. A. DUE, J. P. E.N. Kouadio and L. P. Kouamé, "Valeur nutritionnelle et caractérisation physicochimique de la matière grasse de la chenille (*Imbrasia oyemensis*) séchée et vendue au marché d'Adjamé (Abidjan, Côte d'Ivoire)," *Journal of Animal & Plant Sciences*, Vol. 3, no. 3, pp. 243 – 250, 2009
- [9] R.A. Akpoussan, Y.D. Digbeu, M.D. Koffi, J.P.E.N. Kouadio, A.E. DUE and P.L Kouamé, "Protein fractions and functional properties of dried *Imbrasia Oyemensis* larvae full fat and defatted flours," *International Journal of Biochemistry Research and Review*, Vol. 5, no. 2, pp. 116-126, 2015.
- [10] AOAC, *Official methods of Analysis of AOAC International*, 16th Ed. AOAC International Arlington, VA, 1995.
- [11] BIPEA, *Recueil des méthodes d'analyse des communautés européennes*. Bureau Interprofessionnel d'Études Analytiques, Gennevilliers. France, 1976.

- [12] FAO, *Food energy - methods of analysis and conversion factors*, Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome, 2003.
- [13] FAO, *Les insectes comestibles, importante source de protéines en Afrique centrale*, FAO, Rome, 2004.
- [14] B. Ouedraogo, I.B. Gnanda, R. SANFO, S.I. Zoundi and B. Bayala., "Etude comparative des performances réalisées avec l'incorporation de la farine de co-produits de volaille et la farine des asticots dans des rations de poulets de chair au Burkina faso," *Rev. Ivoir.Sci. Technol.*, Vol. 25, pp. 148-161, 2015.
- [15] M. Diomandé, M. Koussémon, K.V. Allou and A. Kamenan, "Effect of snail (*Achatina fulica*) meal broiler production and meat sensorial quality," *Livestock Research for Rural Developpement*, 20 (12) paper 2. 2008.
- [16] C. A. Koko, B. K. Kouame, E. Assidjo and G. Amani, "Characterization and utilization of fermented cassava flour in breadmaking and placali preparation," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 8, no. 6, pp. 2478-2493, 2014.
- [17] O.T. Omotoso, "Nutritional quality, functional properties and anti-nutrient compositions of the larvae of *Cirina forda* (westwood) (Lepidoptera: Sutuniidae)," *J Zhejiang univ. Science B.*, Vol. 7, no. 1, pp. 51-55, 2006
- [18] M.O. Aremu, S.K. Basu, S.D. Gyar, A. Goyal, P.K. Bhowmik, S. D. Banik, "Proximate composition and fonctional properties of Mushroom flours from *Ganoderma* spp., *Omphalolus olearius* (DS) Sing. and *Hebeloma mesophaeum* (pers.) Qué. used in Nasarawa State, Nigeria," *Mal. J. Nutr.*, Vol. 15, no. 2, pp. 233-241, 2009
- [19] J.E. Kinsella, "Functional properties of proteins in food, a Survey," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, Vol. 7, pp. 219-222, 1976.
- [20] Fekria A.M, Isam A.M.A, Suha O.A, Elfadil E.B., "Nutritional and functional characterization of defatted seed cake flour of two Sudanese groundnut (*Artchis hypogea*)," *Cultvars. J Amer oil chemists soc.*, Vol. 56, pp. 242-258, 2012.
- [21] J. Yu, M. Ahmedna, and I. Goktepe, "Peanut protein concentrates: production and functional properties as affected by processing," *Food Chem.*, Vol. 103, pp. 121-129, 2007.
- [22] Zayas J. F., *Water holding capacity of proteins*, In: *functionality of proteins in food*, Berlin: Springer, pp. 76-125, 1997.
- [23] FAO, *Bases de données FAO/INFOODs sur la densité –Version 2.0*, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2015.
- [24] T. S. Padmashree, L. Vijayalakshmi and S. Puttaraj, "Effect of traditional processing on the functional properties of cowpea (*vigna catjang*) flour," *Journal food science and technology*, Vol. 24, pp. 221-224, 1987.
- [25] R.O. Fennema, *Food chemistry, 3rd Ed.* Marcel Dekker. Inc. New york, Basel, 1996.
- [26] D. E. Graham, and M. C. Phillips, *Foams*, Academic press, London, 1976.
- [27] P.I. Akubor, and J.K. Chukwu, "Proximate composition and selected functional properties of fermented and unfermented African oil bean (*Pentaclethra macrophylla*) seed flour," *Plant Food Hum. Nutr.*, vol. 54, pp. 227-238, 1999.