



Étude de l'applicabilité d'un système de triple ensachage pour la conservation de la qualité nutritive des graines de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) à partir d'un plan central composite.

FOFANA Ibrahim^{1, 2*}, DIE Gnéandé Romaric², ABOUO N'guessan Verdier², CHATIGRE Kouamé Olivier²

¹UFR Agriculture, Ressources Halieutiques et Agro-Industries (UFR-ARHAI), Université de San Pedro, BP 1800 San Pedro, Côte d'Ivoire

²UFR-Biosciences, Université Félix HOUPHOUET-BOIGNY, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant, e-mail: ibrahim.fofana@usp.edu.ci; Tél : (+225) 07 07 28 81 39.

Submission 4th September 2023. Published online at <https://www.m.elewa.org/Journals/> on 31stOctober 2023.
<https://doi.org/10.35759/JABs.190.9>

RÉSUMÉ

Objectif: Cette étude a été initiée dans le but de définir les conditions pour l'applicabilité des systèmes de triple ensachage pour le maintien ou la conservation de la qualité nutritive des graines de niébé en milieu rural.

Méthodologie et résultats: Pour la réalisation des essais de conservation du niébé, un Plan Central Composite (PCC) à 2 facteurs (durée de stockage : 0-8 mois et proportion de biopesticide : 0-5 %) a été utilisé. Un lot témoin en sac propylène et 5 lots expérimentaux contenant différentes proportions de biopesticide ont été constitués sur la base du PCC. Les glucides totaux et l'acidité des graines de niébé ont été déterminés selon les méthodes normées de laboratoire. Les résultats du PCC ont indiqué que la qualité des graines de niébé se trouve dans des conditions de détérioration maximale quand les graines sont stockées pendant 8 mois dans les systèmes de triple ensachage sans biopesticide. Dans ces conditions de détérioration, les valeurs expérimentales observées pour les glucides totaux ($68,89 \pm 1,79\%$) et l'acidité ($12,69 \pm 1,14$ meq/100 g) sont sensiblement égales à celles (glucides totaux : $65,47 \pm 2,33\%$ et acidité : $9,84 \pm 0,16$ meq/100 g) prédites par le modèle expérimental de surface réponse. Cependant, la technologie de triple ensachage utilisant les feuilles de *Lippia multiflora* (au moins 0,7%) comme biopesticide a permis de conserver les caractéristiques biochimiques des graines de niébé pendant 8 mois.

Conclusion et application des résultats: Il ressort de cette étude que les caractéristiques biochimiques (glucides totaux et acidité) des graines de niébé restent conservées pendant 8 mois lorsque les graines sont conditionnées dans les systèmes de triple ensachage associés à au moins 0,7 % de biopesticide (soit au moins 0,35 kg de feuilles séchées de *Lippia multiflora* mélangé à 50 kg de graines de niébé dans les systèmes de triple ensachage). Cette technologie de conservation pourrait contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations en milieu rural.

Mots clés: Niébé, triple ensachage, plan central composite, conservation, qualité nutritive.

Study of the applicability of a triple bagging system for conservation of the nutritional quality of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seeds from a central composite design.

ABSTRACT

Objective: This study was initiated with the aim of defining the conditions for the applicability of triple bagging systems for maintaining or preserving the nutritional quality of cowpea seeds in rural areas.

Methodology and results: For the cowpea storage trials, a 2-factor Composite Central Design (CCD) (storage duration: 0-8 months and biopesticide proportion: 0-5%) was used. A control batch in a propylene bag and 5 experimental batches containing different proportions of biopesticide were formed on the basis of the CCD. Total carbohydrates and acidity of cowpea seeds were determined using standard laboratory methods. The CCD results indicated that cowpea seed quality is at its most deteriorated when the seeds are stored for 8 months in triple bagging systems without biopesticides. Under these deterioration conditions, the observed experimental values for total carbohydrates ($68.89 \pm 1.79\%$) and acidity (12.69 ± 1.14 meq/100 g) are roughly equal to those (total carbohydrates: $65.47 \pm 2.33\%$ and acidity: 9.84 ± 0.16 meq/100 g) predicted by the experimental surface response model. However, triple bagging technology using *Lippia multiflora* leaves (at least 0.7%) as a biopesticide preserved the biochemical characteristics of cowpea seeds for 8 months.

Conclusion and application of results: This study shows that the biochemical characteristics (total carbohydrates and acidity) of cowpea seeds remain preserved for 8 months when the seeds are packed in triple bagging systems combined with at least 0.7% biopesticide (i.e. at least 0.35 kg dried leaves of *Lippia multiflora* mixed with 50 kg cowpea seeds in triple bagging systems). This conservation technology could contribute to the food and nutritional security of rural populations.

Key words: Cowpea, triple bagging, central composite design, preservation, nutritional quality.

INTRODUCTION

Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp) encore appelé « la viande du pauvre » en milieu rural est une légumineuse alimentaire à fort potentiel nutritionnel. En effet, dans les pays en voie de développement, les graines de niébé sont de plus en plus utilisées dans programmes alimentaires à travers l'enrichissement des produits locaux et la production de farines infantiles pour lutter contre la malnutrition protéino-énergétique et les carences en micronutriments (Pereira *et al.*, 2014 ; Devi *et al.*, 2015 ; Hama-Ba *et al.*, 2017). Malheureusement, le stockage tel que pratiqué en milieu rural en Côte d'Ivoire, reste souvent nocif pour la santé humaine et ne garantit pas la qualité des nutriments des graines de niébé (Konan, 2017). Cette situation est favorisée par la non maîtrise des bonnes pratiques post-récoltes. Par ailleurs, un stockage inadapté

rend les graines vulnérables aux microorganismes (mycètes et bactéries) qui détériorent qualitativement et quantitativement les grains stockés (Bhushan *et al.*, 2016; Konan, 2017). Ces problèmes de conservation ont pour conséquence la chute des rendements au champ et s'opposent à l'utilisation alimentaire du niébé dans les pays en développement. Or, l'utilisation des plantes aromatiques et leurs dérivées pour la protection des denrées alimentaires, pratique très ancienne en milieu rural, semble constituer un moyen de lutte efficace, moins onéreuse et qui garantit la biodiversité (Gueye *et al.*, 2011). Parmi les plantes aromatiques utilisées, figure *Lippia multiflora*. C'est une plante locale et accessible dans toutes les régions de la Côte d'Ivoire dont les propriétés insecticides et / ou insectifuges ont été révélées par de

récents travaux de conservation du niébé (Tatsadjieu *et al.*, 2009; Ilboudo *et al.*, 2010; Konan, 2017). Aussi, des systèmes de triples ensachages sont fréquemment utilisés dans la conservation des céréales et légumineuses, notamment le niébé. Ils sont constitués d'une double couche en polyéthylène indépendante de haute densité mise à l'intérieur d'un sac tissé en polypropylène. Ces systèmes ont

montré leur efficacité pour prolonger la durée de stockage des graines de niébé (Folefack *et al.*, 2013; Baoua *et al.*, 2013 ; Baoua *et al.*, 2014). C'est dans ce contexte que la présente étude qui a pour but de déterminer les meilleures conditions de stockage des graines de niébé pour une qualité nutritive garantie à partir d'un plan d'expérience a été initiée.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Matériel végétal

Graines de niébé : Les graines de niébé utilisées sont de morphotype blanc. Elles appartiennent à une variété locale. Ces graines sont bien connues des producteurs et restent les plus prisées par les consommateurs. Cependant, elles sont les plus sensibles aux attaques des bruches. Les graines de niébé ont été fournies à l'état mature et sec par les producteurs de la région de Loh-Djiboua (5° 50' Nord 5° 22' Ouest) juste après la récolte.

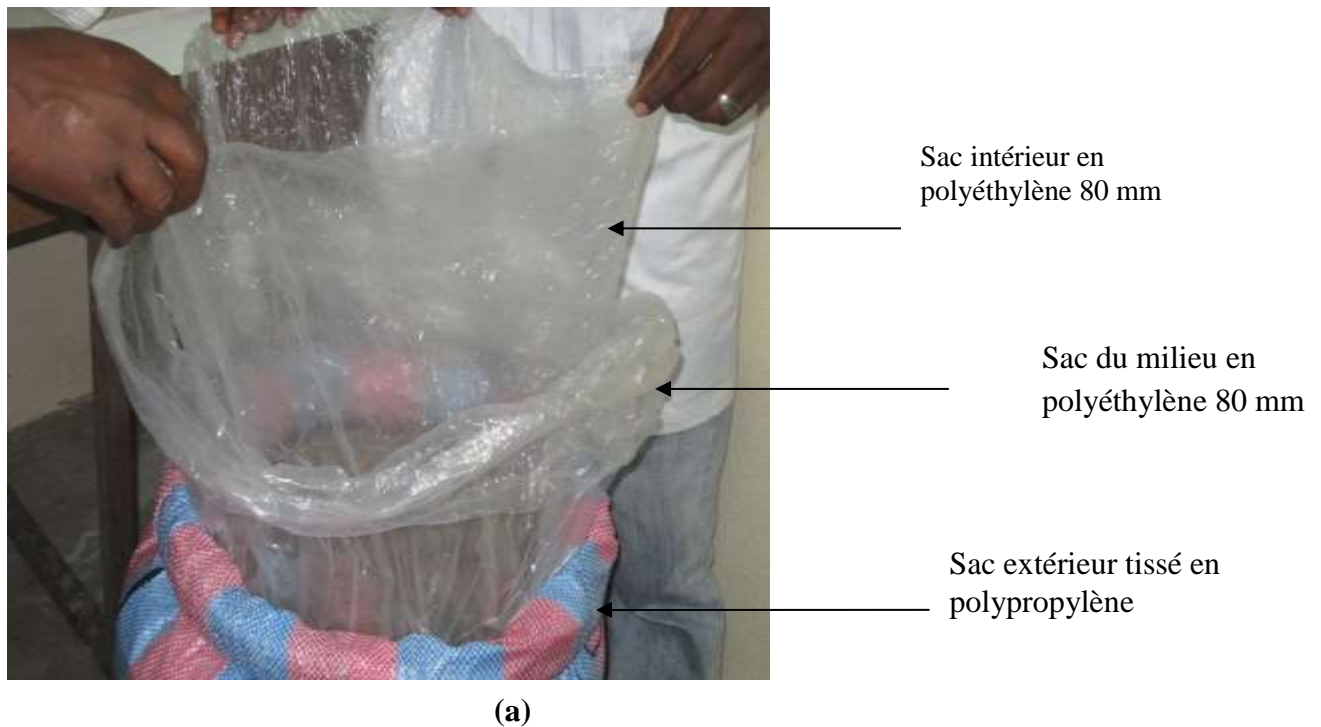
Feuilles de *Lippia multiflora* : Les feuilles fraîches et vertes de *Lippia multiflora* ont été récoltées dans la région du Gbéké (7° 41' Nord 5° 01' Ouest) et séchées au laboratoire à l'abri du soleil pendant 7 jours (Figure 1). Les feuilles séchées ont été broyées à l'aide d'un micro-broyeur (CULATTI) équipé d'un tamis de maille 10 µm.

Matériel technique : Les sacs de stockage utilisés, ont été constitués de sacs en polypropylène et de systèmes triples ensachages, tous obtenus dans la commune d'Adjamé à Abidjan. Les systèmes de triple ensachage obtenus auprès des fournisseurs étaient composés de 2 couches internes en polyéthylène indépendantes de haute densité de 80 mm d'épaisseur. Ces 2 couches internes faiblement perméables à l'air sont adaptées l'une à l'intérieure de l'autre. L'ensemble a été placé dans un sac tissé en polypropylène (Figure 2).

Ces sacs ont une capacité de stockage de 120 kg. Ainsi, la technologie des systèmes triples ensachages réalisés dans cette étude a été inspirée du modèle PICS et s'est appuyée sur les méthodes traditionnelles.



Figure 1: Les feuilles fraîches (a) et les feuilles séchées (b) de *Lippia multiflora*





(b)

Figure 2: Systèmes de triple ensachage utilisés dans l'expérimentation: sac ouvert (a); sac en cours de fermeture (b)

MÉTHODES

Échantillonnage : Juste après la récolte et le décorticage des graines, l'échantillonnage a été fait au près des grands fournisseurs de ladite localité ci-dessus mentionnée. Un total de 306 kg de graines de niébé a été obtenu chez ces fournisseurs. Les graines de niébé n'ayant subi aucun traitement ont été soigneusement mises dans des sacs tissés en polypropylène puis acheminées au Laboratoire de Biochimie et Sciences des Aliments (LaBSA) de l'Université Félix Houphouët-Boigny. Une fois au laboratoire, les graines ont ensuite été triées afin de les séparer des résidus de la récolte puis un pool a été réalisé en mélangeant les différents lots d'échantillons. Sur l'ensemble des échantillons, cinq (5) kg de graines de niébé ont été prélevés pour les premières analyses avant la mise en conservation.

Méthode de conservation des graines de niébé : La méthodologie de conservation par ensachage du niébé a été basée sur le mélange d'une proportion de feuilles séchées broyées

avec une quantité définie de graines de niébé telle que proposée par Konan *et al.* (2016) modifiée. L'expérimentation a duré 8 mois et le conditionnement de l'ensemble a été effectué dans des sacs à triple fond et un sac tissé en polypropylène. Au total un lot témoin et 5 lots expérimentaux ont été constitués comme suit:

- lot témoin: 50 kg de niébé conditionné dans un sac tissé en polypropylène sans biopesticide (TST);
- 1^{er} lot expérimental: 50 kg de niébé conditionné dans un système de triple ensachage sans biopesticide (H0);
- 2^{ème} lot expérimental: 50 kg de niébé conditionné dans un système de triple ensachage contenant 0,35 kg de feuilles de *Lippia multiflora*, soit 0,7 % de biopesticide (H1);
- 3^{ème} lot expérimental: 50 kg de niébé conditionné dans un système de triple ensachage contenant 1,25 kg de feuilles de

Lippia multiflora, soit 2,5 % de biopesticide (H2);

➤ 4^{ème} lot expérimental: 50 kg de niébé conditionné dans un système de triple ensachage contenant 2,15 kg de feuilles de *Lippia multiflora*, soit 4,3 % de biopesticide (H3) et

➤ 5^{ème} lot expérimental: 50 kg de niébé conditionné dans un système de triple ensachage contenant 2,5 kg de feuilles de *Lippia multiflora*, soit 5 % de biopesticide (H4).

Le remplissage des sacs a été fait en alternant les graines de niébé et les feuilles de *Lippia multiflora* sous forme de strate. Un plan central composite (PCC) a été utilisé pour la réalisation des essais de conservation du niébé. Il s'agit d'un plan d'expérience de modèle polynômial de second degré introduit par Box et Wilson (1951) qui vise à étudier l'effet de chaque variable indépendante et les interactions possibles entre les différents paramètres. Il a consisté à étudier ces relations en faisant varier tous les facteurs ou paramètres

et à apprécier l'effet des variations sur la réponse (Faucher, 2006) afin de mettre en évidence les interactions éventuelles entre les facteurs. Cette méthode a commencé par la définition du domaine expérimental. Ainsi, les variables indépendantes (facteurs maîtrisables) influençant la conservation des graines de niébé ont été sélectionnées et leurs niveaux bas (-1) et haut (+1) ont été définis. Il s'agit de deux (2) paramètres technologiques, à savoir la quantité de biopesticide utilisée (%) et la durée de stockage (mois) du niébé (Tableau 1). Dans ce plan, chaque facteur a présenté 5 niveaux (-1,41, -1, 0, +1 et +1,41). Ainsi, 11 essais comportant 4 essais factoriels, 4 essais en étoile et 3 essais au centre du domaine expérimental (Tableau 2) ont été réalisés selon le principe d'utilisation décrit par Feinberg (1996). Ces derniers, correspondant aux différents prélèvements effectués, ont été réalisés selon la matrice expérimentale. Les valeurs réelles des différents niveaux pour chaque facteur (X_k) ont été estimées selon la relation suivante:

$$X_k = X_{cent} + Z_k \times \left(\frac{X_{max} - X_{min}}{Z_{max} - Z_{min}} \right) \quad (1)$$

Avec: X_k , valeur codée du facteur; X_{min} , valeur réelle minimum du facteur; X_{max} , valeur réelle maximum du même facteur; X_{cent} , valeur réelle du même facteur au niveau du centre; Z_k , valeur codée de la limite de variation; Z_{min} , valeur réelle minimum de la limite de variation; Z_{max} , valeur réelle maximum de la limite de variation.

La matrice des expériences a été établie en remplaçant les valeurs codées par les valeurs réelles des niveaux des facteurs. Ainsi, pour chaque essai, la teneur en glucides totaux (Y1) et l'acidité (Y2) des différents lots de niébé ont été déterminées. Au cours de l'expérimentation, aux dates prévues pour les prélèvements, des ponctions aléatoires ont été effectuées sur chaque lot à différentes strates à

l'intérieur des sacs (au-dessus, au centre, au fond et aux côtés inférieurs). Ainsi, les prélèvements se sont déroulés sur tous ces lots expérimentaux sur une période de huit mois. À partir du plan central composite les principaux effets et les interactions entre les divers facteurs ont été déterminés en ajustant les données par l'équation du polynôme de second degré :

$$Y_n = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (2)$$

Où Y_n est la réponse expérimentale, X_1 et X_2 correspondent aux variables indépendantes à savoir la durée de conservation et la concentration de biopesticide respectivement. Les valeurs de b_n représentent les coefficients correspondants de régression.

Détermination de l'acidité titrable :
L'acidité titrable a été déterminée selon la méthode décrite par la norme 920.87 (AOAC, 1990). En effet, une masse précise de dix (10) g d'échantillons broyés est délayée dans 100 mL d'eau distillée. La solution obtenue a été filtrée sur papier filtre (whatman). Puis, dix

(10) mL du filtrat ont été prélevés et cette prise d'essai a été titrée par une solution de soude (0,1 N) en présence de phénolphtaléine jusqu'au virage au rose. Un triplica a été réalisé. L'acidité titrable a été donnée en meq/100g d'échantillons séchés comme suit:

$$\text{Acidité (meq/100g)} = \frac{N \times V_1 \times 10^4}{m \times V_0} \text{Acidité (meq/100g)} = \frac{N \times V_1}{m \times V_0} \quad (3)$$

Avec:

V_0 : volume (mL) de la prise d'essai; V_1 : volume (mL) de NaOH (0,1 N) versé à l'équivalence; m : masse (g) de l'échantillon du broyat de niébé.

Tableau 1: Variables indépendantes et leurs valeurs codées et réelles utilisées

Paramètres technologiques	Codages des niveaux / Étendu					
	Symboles	-1,41	-1	0	1	1,41
Durée de conservation (mois)	X_1	1	2	4,5	7	8
Concentration de <i>Lippia multiflora</i> (%)	X_2	0	0,7	2,5	4,3	5

Tableau 2: Établissement de la matrice expérimentale des essais du Plan Central Composite (PCC)

Groupe d'essais	Valeurs codées et réelles des niveaux des paramètres		
	N° Essai	X_1 (mois)	X_2 (%)
Essais factoriels	1	-1 (2)	-1 (0,7)
	2	1 (7)	-1 (0,7)
	3	-1 (2)	1 (4,3)
	4	1 (7)	1 (4,3)
Essais en étoiles	5	-1,41 (1)	0 (2,5)
	6	1,41 (8)	0 (2,5)
	7	0 (4,5)	-1,41 (0)
	8	0 (4,5)	1,41 (5)
Essais au centre	9	0 (4,5)	0 (2,5)
	10	0 (4,5)	0 (2,5)
	11	0 (4,5)	0 (2,5)

Détermination de la teneur en glucides totaux : Les glucides totaux ont été évalués par calcul en suivant la méthode préconisée par la FAO (2002). Cette méthode a pris en compte

les teneurs en humidité, en matière grasse, en protéines et en cendre. La teneur en glucides totaux a été exprimée en pourcentage de masse comme suit:

$$\text{Glucides totaux (\%)} = 100 - [\text{Protéines(\%)} + \text{Humidité(\%)} + \text{Lipides(\%)} + \text{Cendre(\%)}] \quad (4)$$

Analyse statistique : Tous les tests ont été effectués en triple. Le logiciel Statistica version 8 (Stat Soft, Inc., USA) a été utilisé pour traiter les données enregistrées dans les tableaux et les figures représentant les valeurs moyennes \pm les écarts types. Une analyse de régression linéaire multiple a été effectuée. Les données expérimentales ont été ajustées selon

le modèle de l'équation polynomiale de second degré et les coefficients de régression ont été obtenus. Selon les données expérimentales, le modèle approprié représenté par l'équation a été construit et la signification statistique des limites du modèle a été examinée par l'analyse de régression et l'analyse de la variance (ANOVA).

RÉSULTATS

Résultats du plan central composite : L'effet des deux paramètres technologiques (durée de conservation et concentration de biopesticide) susceptibles d'influencer la qualité des graines de niébé au cours de la conservation a été étudié à l'aide d'un plan central composite (PCC). La réalisation de ce plan central composite a été développée comme présenté dans le Tableau 3. Les onze (11) différents essais réalisés ont permis de déterminer les conditions de détériorations maximales des

graines de niébé ; avec (Y1) pour les taux de glucides totaux et (Y2) l'acidité résultant d'un mauvais stockage. Dans le domaine expérimental choisi, la teneur en glucides totaux varie entre $62,40 \pm 0,03$ % à $64,75 \pm 0,39$ %. L'acidité varie de $6,42 \pm 0,77$ meq/100 g à $9,80 \pm 0,70$ meq/100 g.

(i).Ajustement des modèles : Il existe une relation entre les paramètres étudiés et les différents résultats déterminés. Cette relation est de la forme :

$$Y_1 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (5)$$

$$Y_2 = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad (6)$$

Les différents coefficients et leur significativité ont été déterminés à l'aide du logiciel Statistica 8.0 en utilisant la matrice expérimentale déployée et les résultats des différents dosages. Les différents coefficients affectés à chaque paramètre pour chaque réponse, leur effet quadratique et les effets d'interactions obtenus sont présentés dans le tableau 4. Les différentes valeurs des coefficients de détermination R^2 et R^2 ajustés pour le modèle de régression des glucides totaux et de l'acidité ont été également

indiquées dans le tableau 4. Ces valeurs (respectivement de 0,99 et 0,96 pour R^2) et de (0,99 et 0,92 pour R^2 ajustés) étant approximativement voisines de 1 permettent de dire que les modèles du polynôme de second degré prévus ont bien définis le comportement du système étudié. Leurs défauts d'ajustement non significatifs ont également montré que ces modèles ont été bien ajustés. Ces défauts d'ajustement ont permis de justifier l'adéquation du modèle pour prévoir exactement les variations.

Tableau 3: Matrice du plan central composite et résultats expérimentaux

Niveau des paramètres en valeurs codées et réelles			Résultats expérimentaux	
N° Essais	X ₁ (mois)	X ₂ (%)	Y ₁ (%)	Y ₂ (meq/100g)
1	-1 (2)	-1 (0,7)	63,16 ± 0,53	7,87 ± 1,00
2	1 (7)	-1 (0,7)	64,75 ± 0,39	8,65 ± 1,30
3	-1 (2)	1 (4,3)	62,40 ± 0,03	6,82 ± 0,98
4	1 (7)	1 (4,3)	64,18 ± 0,53	6,51 ± 1,50
5	-1,41 (1)	0 (2,5)	62,45 ± 0,13	6,84 ± 1,33
6	1,41 (8)	0 (2,5)	64,64 ± 1,06	7,59 ± 1,40
7	0 (4,5)	-1,41 (0)	64,11 ± 0,43	9,80 ± 0,70
8	0 (4,5)	1,41 (5)	63,08 ± 0,70	6,42 ± 0,77
9	0 (4,5)	0 (2,5)	63,15 ± 0,32	6,97 ± 0,48
10	0 (4,5)	0 (2,5)	63,28 ± 0,30	7,12 ± 0,53
11	0 (4,5)	0 (2,5)	63,30 ± 0,30	7,22 ± 0,53

La détermination des résultats expérimentaux a été réalisée en triple

X₁ = valeurs codées et réelles de la durée de conservation du niébé; X₂ = valeurs codées et réelles de la proportion de biopesticide avec les chiffres entre parenthèses qui représentent les valeurs réelles pour chaque paramètre étudié; Y₁ = glucides totaux; Y₂ = acidité.

(ii). Effets des variables sur les teneurs en glucides totaux : Les résultats de l'analyse statistique des effets des variables; durée de conservation et concentration de biopesticide, sur les teneurs en glucides totaux obtenus, sont consignés dans le tableau 4. L'analyse de régression multiple a été exécutée sur les données expérimentales et les coefficients du

modèle ont été évalués pour la signification. Ainsi, la durée de conservation et la concentration de biopesticide ont des effets significatifs (P = 0,001 et P = 0,05). L'équation prédictive finale du taux d'augmentation de glucides totaux (Y₁), négligeant les facteurs non significatifs, a été donnée par l'équation suivante:

$$Y_1 = 63,26 + 1,62X_1 - 0,70X_2 \quad (7)$$

Tous les coefficients linéaires (X₁ et X₂) sont significatifs. Les termes significatifs ont un impact remarquable sur la qualité nutritive (teneurs en glucides totaux) du niébé au cours du stockage, tandis que les termes non significatifs (X²₁, X²₂ et l'interaction entre X₁ et X₂) ont une influence négligeable. Afin d'évaluer les effets de la durée de conservation et de la concentration de biopesticide sur les teneurs en glucides totaux du niébé au cours de la conservation, la figure 3 est construite à partir de l'équation ci-dessus. Cette figure montre les effets du temps et du biopesticide sur les teneurs en glucides totaux. Elle indique que lorsque la variable X₁ (durée de stockage) est à son plus haut niveau et la variable X₂ (concentration en biopesticide) à son plus bas

niveau, les teneurs en glucides totaux augmentent rapidement. Cependant à partir d'une concentration seuil atteinte de biopesticide (0,7 %), l'augmentation des teneurs en glucides totaux est inhibée jusqu'au huitième mois. Au-delà de cette concentration seuil, l'augmentation est toujours inhibée de façon progressive jusqu'au terme de la conservation (8 mois).

(iii). Influence des variables sur l'acidité : Les résultats montrent que l'acidité des graines de niébé obtenue à partir des différentes combinaisons de conservation après 4,5 mois est de 9,80 ± 0,70 meq/100g pour le triple ensachage sans biopesticide et de 6,42 ± 0,77 meq/100g dans les systèmes triples ensachages avec 5 % de biopesticide. Ainsi, une analyse de

régression multiple exécutée sur les données expérimentales a permis d'évaluer les coefficients du modèle. Ces coefficients sont

évalués pour connaître les effets significatifs selon l'équation ci-dessous.

$$Y_2 = 7,10 + 0,63X_1 - 2,52X_2 + 0,49X_2^2 \quad (8)$$

Les coefficients linéaires (X_1 et X_2) sont significatifs. Aussi existe-t-il un effet quadratique du terme X_2^2 . Ces termes significatifs ont un impact remarquable sur l'acidité des graines au cours du stockage. L'effet de la durée de conservation et de la concentration de biopesticide sont significatifs ($P = 0,05$ et $P = 0,001$). Par contre l'interaction entre (X_1 et X_2) et le terme quadratique (X_2^2) ne sont pas significatifs et ont une influence négligeable sur l'acidité. La surface extérieure de la parcelle de la figure 4 montre l'effet du temps et de la concentration du biopesticide sur l'acidité. L'acidité augmente significativement dans le temps au cours de la conservation ($P = 0,05$). Cependant, l'effet négatif de la variable X_2 , à partir d'une certaine concentration seuil, inhibe de façon significative l'augmentation de l'acidité ($P = 0,001$). Les résultats de l'analyse expérimentale montrent que la qualité des graines de niébé se trouve dans des conditions de détériorations maximales quand la variable durée de stockage est à son plus haut niveau (+1,41) et quand la valeur codée de la variable quantité de biopesticide est de (-1,41). Au-delà de cette concentration de biopesticide, le maintien de la qualité des graines de niébé est favorisé. Ainsi, le processus de détériorations des graines de niébé est maximal dans les conditions suivantes:

- Durée de conservation: 8 mois
- Quantité de biopesticide dans le système triple ensachage: 0,00 %

Vérification et validation expérimentale : La fonction de désirabilité du logiciel Statistica 8.0 a été utilisée pour prévoir les conditions de

détériorations maximales des graines de niébé; avec 0 % de biopesticide pendant 8 mois dans les systèmes triples ensachages. Les plus grandes valeurs de détériorations possibles pour la qualité nutritive (glucides totaux) et des caractéristiques physico-chimiques (acidité) ont été déterminées (Tableau 5). Dans ces conditions ci-dessus mentionnées, les résultats expérimentaux sont très proches de ceux prédits (Tableau 5). Ceci implique qu'il y a un degré convenable élevé entre les valeurs observées dans l'expérience et celles prédites par le modèle de régression. Pour l'ensemble des caractéristiques biochimiques à savoir, les glucides totaux et l'acidité, les valeurs obtenues de façon expérimentale dans les systèmes de triple ensachage en présence de biopesticide sont largement inférieures à celles obtenues dans le lot témoin en polypropylène (TST) après 4,5 mois de conservation. Également dans ces mêmes conditions (en présence de biopesticide), les valeurs expérimentales obtenues restent toujours très inférieures à celles obtenues dans le lot en système triple ensachage sans biopesticide après 8 mois de conservation. Cela est de plus en plus marqué quand la quantité de biopesticide augmente. Par ailleurs au niveau des 2 types de sac utilisés sans biopesticide (sacs en polypropylène et le triple ensachage) pour une durée de 4,5 mois, les valeurs obtenues pour l'ensemble des paramètres dans le lot en système de triple ensachage restent très inférieures à celles du lot témoin avec sac en polypropylène (Tableau4).

Tableau 4: Estimation statistique des coefficients de régression de modèles polynômes du plan central composite

Coefficients	Estimation des coefficients	
	Glucides totaux	Acidité
b₀	63,26 ^{***}	7,10 ^{***}
Linéaire		
b₁	1,62 ^{***}	0,63 ^{**}
b₂	-0,70 ^{**}	-2,52 ^{***}
Quadratique		
b₁₁	0,31 ^{ns}	0,02 ^{ns}
b₂₂	0,36 ^{ns}	0,49 ^{**}
Interaction		
b₁₂	0,09 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
R²	0,99	0,96
R² ajusté	0,99	0,92
p-défaut ajustement	0,71 ^{ns}	0,08 ^{ns}

Significatif à $P = 0,05$; *Significatif à $P = 0,001$; ns: non significatif; R^2 : Coefficient de Régression; p-défaut ajustement: Probabilité du défaut d'ajustement; b_1 , b_2 = coefficients de régression linéaire correspondant respectivement à X_1 et X_2 ; b_{12} = coefficients de régression de l'interaction entre X_1 et X_2

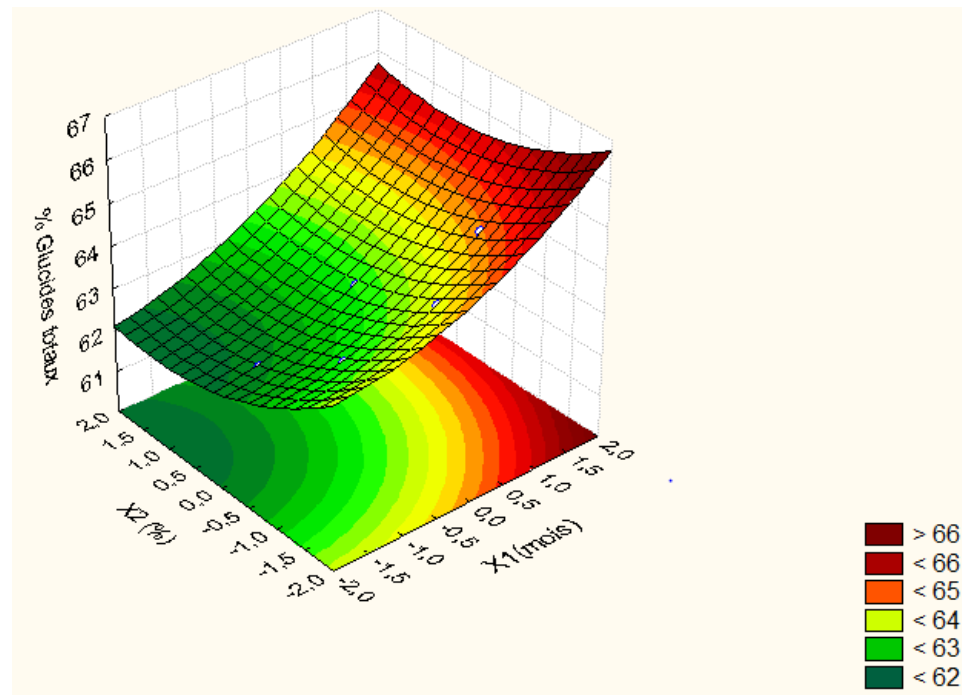


Figure 3: Effets de la durée de conservation et du biopesticide sur la teneur en glucides totaux

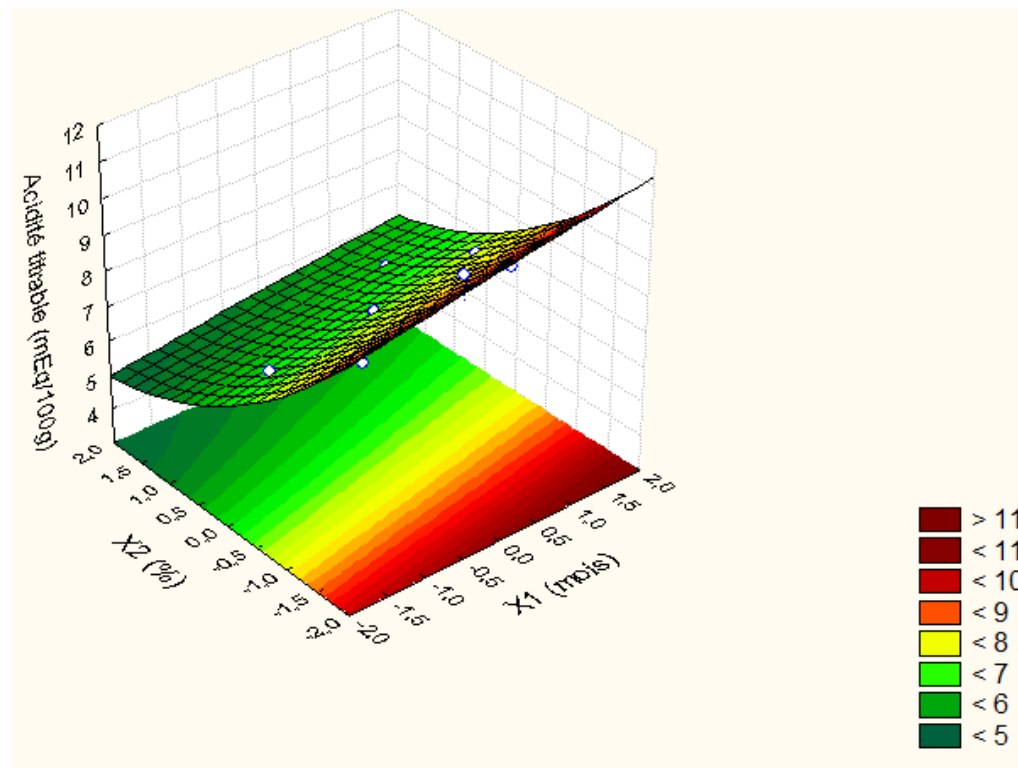


Figure 4: Effets de la durée de conservation et du biopesticide sur l'acidité

Tableau 5: Valeurs prédite et expérimentale des réponses dans les conditions de détériorations maximales de stockage et dans les systèmes triples ensachages avec biopesticide

Réponses	Conditions de dégradations maximales (H0: 8 mois)		Triples ensachages avec biopesticide	
	Valeur obtenue	Valeur prédite	H1 (8 mois)	H4 (8 mois)
Glucides totaux (%)	68,89 ± 1,79 ^a	65,47 ± 2,33 ^a	65,13 ± 0,85 ^b	64,64 ± 1,04 ^b
Acidité (meq/100 g)	12,69 ± 1,14 ^a	9,84 ± 0,16 ^{ab}	8,77 ± 1,33 ^b	6,80 ± 1,80 ^b

H0: Triples ensachages avec 0% de biopesticide. **H1:** Triples ensachages avec 0,7% de biopesticide. **H4:** Triples ensachages avec 5% de biopesticide. Les valeurs sur la même ligne présentant les mêmes signes sont statistiquement dans le même groupe homogène à $P = 0,05$

Tableau 6: Valeurs expérimentales des réponses dans les conditions de détériorations maximales de stockage, dans les sacs en polypropylène et dans les systèmes triples ensachages avec ou sans biopesticide

Réponses	Sans biopesticide		Triples ensachages avec biopesticide	
	TST (4,5 mois)	H0 (4,5 mois)	H1 (4,5 mois)	H4 (4,5 mois)
Glucides totaux (%)	71,23 ± 1,02 ^a	64,61 ± 0,45 ^b	64,22 ± 0,41 ^b	63,05 ± 0,74 ^b
Acidité (meq/100 g)	14,09 ± 0,70 ^a	9,80 ± 0,70 ^b	7,23 ± 0,87 ^c	6,48 ± 1,77 ^c

TST : Sac en polypropylène. **H0:** Triples ensachages avec 0% de biopesticide. **H1:** Triples ensachages avec 0,7% de biopesticide. **H4:** Triples ensachages avec 5% de biopesticide. Les valeurs sur la même ligne présentant les mêmes signes sont statistiquement dans le même groupe homogène à $P = 0,05$

DISCUSSION

L'applicabilité de la technologie de triple ensachage définie à partir d'un plan central composite, montre que la présence des feuilles de *Lippia multiflora* dans ces systèmes de stockage est efficace pour la préservation des caractéristiques biochimiques des graines de niébé. En effet, de faibles augmentations du pourcentage de glucides totaux (résultant de la baisse des protéines et des lipides) des graines de niébé ont été observées en présence des feuilles de *Lippia multiflora* (biopesticide) au cours de la conservation. Par ailleurs, une augmentation de l'acidité des graines de niébé qui pourrait être attribuée à une concentration croissante d'acides phytiques et de phosphate, résultant donc d'une détérioration accrue des graines par les microorganismes et métabolismes associés au cours du stockage (Sule *et al.*, 2014), a été observée en fin d'expérimentation dans les sacs de stockage sans biopesticide. Cependant, une inhibition du développement de l'acidité à partir d'une concentration seuil du biopesticide qui est de 0,7 % de feuilles de *Lippia multiflora* a été enregistrée. Cette concentration minimale du biopesticide s'est avérée efficace pour préserver ces caractéristiques biochimiques des graines de niébé sur une période de 8 mois. Au bout de 4,5 mois de stockage, les résultats obtenus pour les graines de niébé dans les systèmes de triple ensachage associés ou non aux feuilles de *Lippia multiflora* indiquent le maintien de leurs caractéristiques biochimiques. Les valeurs mesurées pour les glucides totaux et l'acidité évoluent très peu. Cependant, à partir du septième mois de conservation, les valeurs obtenues pour le lot

H0 (graines de niébé conservées dans le système triple ensachage sans biopesticide) sont élevées comparées à celles obtenues pour les graines de niébé stockées dans les systèmes de triple ensachage avec biopesticide. Ces valeurs traduisent l'efficacité des feuilles de *Lippia multiflora* pour le stockage des graines de niébé. Cette efficacité s'expliquerait par un effet insecticide et / ou insectifuge des feuilles de cette plante (Ilboudo, 2009 ; Niamketchi, 2017). L'analyse expérimentale montre que la détérioration des graines de niébé est favorisée quand la variable durée de stockage est à son plus haut niveau c'est-à-dire 8 mois et quand la valeur de la variable quantité de biopesticide est à son plus bas niveau soit 0,00 %. En utilisant la fonction de désirabilité du logiciel Statistica 8.0, les conditions de détériorations maximales des graines de niébé ont été déterminées; avec 0,00 % de biopesticide pendant 8 mois dans les systèmes triples ensachages. Dans ces conditions mentionnées ci-dessus, les résultats expérimentaux sont très proches de ceux prédits. Ceci implique qu'il y a un degré de fidélité élevé entre les valeurs observées dans l'expérience et celles prédites par le modèle de régression (Koffi *et al.*, 2015 ;Konan *et al.*, 2016), ce qui a permis de valider le modèle mathématique de l'expérimentation. Ainsi, cette étude a permis de définir les conditions idéales pour un stockage efficace à partir d'un plan central composite car l'ajout d'au moins 0,7 % de feuilles de *Lippia multiflora* permet de maintenir les caractéristiques biochimiques des graines de niébé sur une période de 8 mois.

CONCLUSION ET APPLICATION DES RESULTATS

Cette étude nous a permis de définir les conditions pour l'applicabilité des systèmes de triple ensachage pour la conservation de la qualité nutritive des graines de niébé en milieu rural. Sur la base des teneurs en glucides totaux et de l'acidité choisies comme réponses du

plan central composite, la validation du modèle mathématique pour une qualité nutritive garantie a été réalisée quand les graines de niébé sont stockées pendant 8 mois dans les systèmes de triple ensachage associés à au moins 0,7 % de biopesticide. Soit au moins

0,35 kg de feuilles séchées de *Lippia multiflora* mélangé à 50 kg de graines de niébé dans les systèmes de triple ensachage. Ce niveau minimum de biopesticide permet de préserver les caractéristiques biochimiques (glucides totaux acidité) du niébé pendant 8 mois. La prise en compte de cette technologie de

conservation des denrées peut contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations vulnérables. Cependant, il serait intéressant d'entreprendre un travail supplémentaire relatif à la réalisation une étude nutritionnelle des graines de niébé conservées chez le rat de race wistar.

RÉFÉRENCES

- AOAC, 1990.- Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists Ed., Washington DC, USA, 684 p.
- Baoua I. B., Amadou L. & Murdock L. L., 2013. -Triple bagging for cowpea storage in rural Niger: Questions farmers ask. *Journal of Stored Products Research*, **52**: 86-92.
- Baoua I. B., Amadou L., Baributsa D. & Murdock L. L., 2014. - Triple bag hermetic technology for postharvest preservation of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.). *Journal of Stored Products Research*, **58**: 48-52.
- Bhushan G., Sharma S. Kr., Dwivedi S., Kumar S., Tandon R. & Singh A. P., 2016.- Effect of different storage structure on biochemical alterations in seeds of *Penisetum americanum* (Linn.) during storage. *Asian journal of Agriculture & Life Sciences*, **1**: 8-14.
- Box G. E. P. & Wilson K. B., 1951.-On the experimental attainment of optimum conditions. *Journal of the Royal Statistical Society B*, **13**: 1-45.
- Devi C. B., Kushwaha A. & Kumar A., 2015. -Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Journal of Food Science and Technology*, **52**: 6821-6827.
- FAO (Food and Agriculture Organisation), 2002.-Food energy methods of analysis and conversion factors. FAO Ed, Rome, Italie, 97 p.
- Faucher J., 2006.- Les plans d'expériences pour le réglage de commandes à base de logique floue. Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, France, 160 p.
- Feinberg M., 1996.-La validation des méthodes d'analyse: approche chimométrique de l'assurance qualité au laboratoire, Masson, Paris (France), 395 p.
- Folefack D. P., Sobda A. G., Tengomo S., Boukar O. & Tahirou A., 2013. Vulgarisation de la méthode du triple ensachage pour le stockage amélioré du niébé en zone sahélienne du Nord Cameroun: Enjeux et perceptions paysannes. *Tropicicultura*, **31**: 170-178.
- Guèye M. T., Seck D., Wathelet J. P. & Lognay G., 2011.-Lutte contre Les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale: synthèse bibliographique. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **15**: 183-194.
- Hama-Ba F., Siedogo M., Ouedraogo M., Dao A., Dicko HM. & Diawara B., 2017. - Modalités de consommation et valeur nutritionnelle des légumineuses alimentaires au BURKINA FASO. *African Journal of Food, Agriculture Nutrition and Development*, **17**: 12871-12888.
- Ilboudo Z., 2009.-Activité biologique de quatre huiles essentielles contre *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera: Bruchidae), insecte ravageur des stocks de niébé au

- Burkina Faso. Thèse de Docteur de l'Université de Ouagadougou, Burkina Faso 150 p.
- Ilboudo Z., Dabiré L. C. B., Nébié R. C. H., Dicko I. O., Dugravot S., Cortesero A. M. & Sanon A., 2010.-Biological activity and persistence of four essential oils towards the main pest of stored cowpeas, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). *Journal of Stored Products Research*, **46**: 124-128.
- Koffi N. E., Cissé I., Kassi A. B. B., Lozano P. R., Adima A. A., Assidjo N. E. & Bekro Y. A. 2015.Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Antioxidants from *Tectona grandis* Leaves, Using Experimental Design. *European Journal of Medicinal Plants*, **10** (3): 1-10.
- Konan K. C., 2017.-Évaluation de la qualité sanitaire des graines de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) stockées dans un système de triple ensachage en présence de biopesticides issus de *Lippia multiflora* moldenke. Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 168 p.
- Konan K. C., Fofana I., Coulibaly A., Koffi N. E., Chatigre O. & Biego G. H. M., 2016. - Optimization of storage methods of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) bagged PICS containing biopesticide (*Lippia Multiflora*) by central composite experimental design in Côte d'Ivoire. *International Journal of Environmental & Agriculture Research*, **2**: 46-56.
- Niamketchi L. 2017.Contribution à l'amélioration de la qualité du maïs (*Zea mays* L.) conservé en milieu paysan en Côte d'Ivoire : Suivi de la qualité au cours du stockage dans des greniers en présence de biopesticides issus de *Lippia multiflora* et *Hyptis suaveolens*. Thèse de doctorat en Biochimie et Sciences des Aliments, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire. p.286.
- Pereira E. J., Carvalho L. M. J., Dellamora-Ortiz G. M., Cardoso F. S. N., Carvalho J. L. V., Viana D. S., Freitas S. C. & Rocha M. M., 2014.- Effects of cooking methods on the iron and zinc contents in cowpea (*Vigna unguiculata*) to combat nutritional deficiencies in Brazil. *Food & Nutrition Research*, **58**: 1-7.
- Sule O. S., Emmanuel O. I., Oladipupo D. & Bukola B. O. S., 2014.- Effect of *Callosobruchus maculatus* infestation on the nutrient-antinutrient composition, phenolic composition and antioxidant activities of some varieties of cowpeas (*Vigna unguiculata*). *Advance Journal of Food Science and Technology*, **6**: 322-332.