



The 1st International Conference on Local Resource Exploitation

www.lorexp.org / info@lorexp.org

REF: LOREXP_2021_A1058 Pages: 288–300

LOREXP

LOCAL RESOURCE EXPLOITATION

Production des pâtes alimentaires à base de quelques céréales locales du Cameroun.

Production of pasta based on some local cereals from Cameroon.

Ishaga Hamatoukour¹, Bienvenu Fogang Zogang^{1,*}, Yvette Jiokap Nono¹

¹ Laboratoire d'Analyses, Simulation et Essais (LASE), Département de Génie Chimique et Environnement, IUT, Université de Ngaoundéré-CAMEROUN, B.P. 455.

* Auteur Correspondant : fobiezogang@yahoo.fr

RÉSUMÉ :

L'objectif de ce travail était d'investiguer les potentialités de quelques denrées locales camerounaises en pastification. Les méthodes normalisées ont été utilisées pour la caractérisation de la matière première et des produits finis. La formulation du mélange maïs, sorgho et criquets a été effectuée par programmation linéaire, avec des contraintes précises sur les facteurs, pour tenir compte du cahier de charge. L'optimisation a été effectuée sur la valeur énergétique du mélange. Le mélange optimum a été séché après extrusion et les cinétiques de séchage modélisées à l'aide de onze modèles de la littérature. Le produit séché optimal, après cuisson à la vapeur, a fait l'objet d'une analyse sensorielle à l'aide d'un test hédonique. La caractérisation de la matière a montré une grande différence de composition entre les denrées utilisées. Les céréales (Maïs et sorgho) ont présenté un profil très riche en glucides (supérieur à 70 %) et pauvres en protéines (inférieure à 15 %) tandis que les criquets ont une teneur faible en glucides (inférieure à 30 %) et très riches en protéines (supérieure à 60 %). Ces trois ressources sont très pauvres en lipides dont les teneurs sont de $5,88 \pm 0,31$ % pour le maïs, de $6,93 \pm 1,00$ % pour le sorgho et de $4,09 \pm 1,57$ % pour les criquets. Un plan de mélange réalisé suivant un cahier de charge pour l'alimentation d'un adulte bien portant a donné 9 formules dont l'une (Formule-1) à 65 % de maïs ; 15 % de sorgho et 20 % de criquets, maximisant la fonction-objectif et l'autre (Formule-2) constituée de 18,88 % de maïs ; 61,11 % de sorgho et 20 % de criquets obtenue par minimisation de la fonction-objectif. Les deux formules apportent respectivement, par gramme de chaque produit, 3,64 et 3,39 kcal. Un séchage par convection à 50 °C et en couche mince de ces pâtes fournit, au bout de 4 h, des produits ayant une teneur en eau base humide inférieure à 10 %. La modélisation des cinétiques de séchage de ces pâtes à l'aide de onze modèles classiques de séchage montre que c'est le modèle à deux termes exponentiels qui décrit le mieux le comportement de ces pâtes. Le profil sensoriel a révélé que les deux formules optimales des pâtes formulées sont appréciées de façon générale par les dégustateurs.

Mots clés : *Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Caelifera*, Formulation, Pastification, Cinétique de séchage.

ABSTRACT:

The objective of this work was to investigate the potential of some local Cameroonian foodstuffs in pastification. Standardized methods were used for the characterization of raw material and finished products. The formulation of the maize, sorghum and locust mixture was carried out by linear programming, with precise constraints on the factors, to take into account the specifications. Optimization was carried out on the energy value of the mixture. The optimum mixture was dried after extrusion and the drying kinetics modeled using eleven models from the literature. The optimal dried product, after steaming, was subjected to sensory analysis using a hedonic test. The characterization of the material showed a great difference in composition between the foodstuffs used. Cereals (Corn and Sorghum) exhibited a very high carbohydrate (over 70 %) and low protein (below 15 %) profile while locusts were low in carbohydrates (below 30 %) and very high in protein (greater than 60 %). These three resources are very poor in lipids, the contents of which are 5.88 ± 0.31 % for maize, 6.93 ± 1.00 % for sorghum and 4.09 ± 1.57 % for locusts. A mixing plan carried out according to specifications for the diet of a healthy adult yielded 9 formulas including one (Formula-1) at 65 % corn; 15 % sorghum and 20 % locusts, maximizing the objective function and another (Formula-2) consisting of 18.88 % maize; 61.11 % sorghum and 20 % locusts obtained by minimizing the objective function. The two formulas provide, respectively, per gram of each product, 3.64 and 3.39 kcal. Convection drying at 50 °C and in a thin layer of these pastes provides, after 4 h, products with a wet basis water content of less than 10 %. The modeling of the drying kinetics of these pastes using eleven classical drying models shows that the model with two exponential terms best describes the behavior of these pastes. The sensory profile revealed that the two optimal formulas of the formulated pasta were overall well appreciated by tasters.

Keywords: *Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Caelifera*, Formulation, Pastification, Drying kinetics.

1. INTRODUCTION

Les céréales occupent une place très importante comme source d'alimentation humaine et animale dans le monde (Allaya et al., 2006). Elles constituent la principale denrée car elles peuvent croître dans les sols et sous les climats les plus variés. De plus, elles peuvent être entreposées pendant de longues périodes et transportées de manière économique sur de longues distances sans occuper beaucoup d'espace (Bourdreau et al., 1992).

Depuis quelques années, les importations de blé augmentent rapidement dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne (Jean, 1982). Au Cameroun, les importations de blé sont passées de 377 510 tonnes en 2010 à 745 000 en 2018 soit une facture de 115,9 milliards de FCFA (MINEPAT, 2020). Ces valeurs devraient culminer les 900 000 tonnes en 2020 contre 830 000 tonnes en 2019 (MINEPAT, 2020). Cette hausse des importations de blé résulterait de l'augmentation démographique d'une part et d'autre part de la consommation accrue des produits issus de la farine de blé qui se manifeste par l'accroissement des entreprises produisant les pâtes alimentaires à base de blé et des produits de boulangerie pâtisserie. Ces produits à base de blé ont des effets nocifs sur la santé des populations intolérantes au gluten. Plus de 10% de la population mondiale serait intolérante au gluten (OMS, 2016). C'est l'un des troubles digestifs chroniques les plus fréquents avec des études montrant que la prévalence de la maladie est en augmentation (Elli et al., 2015 ; Ludvigsson et al., 2014). Par ailleurs, leurs utilisations induisent une non valorisation des denrées locales.

Dans la littérature très peu des travaux ont été développés pour proposer des alternatives à l'utilisation du blé dans les préparations boulangères et ou de pastification. Karima et al. (2018) ont produit des spaghettis sans gluten à partir de farines de légumineuses à l'instar des farines de haricot, des lentilles et fève. Ces spaghettis ont un temps optimal de cuisson variant de 9 à 11 minutes avec une texture spécifique, différente de celle d'une pâte de blé conventionnelle. Par ailleurs, Achonduh (2019) a utilisé différents mélanges de farines (ignames, patates douces et manioc) afin d'évaluer leur efficacité dans la production de pâtes alimentaires sans gluten. Les pâtes ont été enrichies par les ingrédients tels que la gomme de xanthane, le blanc d'œuf et la farine de pistache. Les pâtes obtenues présentent un temps optimal de cuisson variant de 4 à 6 minutes avec des pertes allant jusqu'à 45%. Mais les cinétiques de séchage ainsi que l'optimisation de la valeur énergétique n'ont pas été réalisées ainsi que l'enrichissement des pâtes par des insectes.

Pourtant, le Cameroun regorge de plusieurs ressources qui sont non ou très peu valorisées jusqu'ici, à l'instar des céréales (maïs, sorgho, mil, riz) ; des féculents (manioc, igame, pommes de terre) ; des légumineuses (haricots) et des insectes (termites et criquets).

C'est dans cette optique de mise en place d'une nouvelle gamme des pâtes alimentaires à base de quelques ressources locales camerounaises que s'inscrit ce travail, dont l'objectif général est d'investiguer les potentialités de quelques denrées locales camerounaises en pastification.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Les matières premières

Il se compose du maïs de la variété (zeya mays) « CMS 8502 » et du sorgho (sorghum bicolor) de la Variété « Muskuari » achetées au petit marché de Ngaoundéré dans la région de Adamaoua ainsi que des criquets

(caelifera) dont l'espèce est *Locusta migratoria* achetés à Yagoua dans la région de l'Extrême Nord du Cameroun.

2.2. Caractérisation physico-chimique des matières premières

Les méthodes normalisées ont été utilisées pour la caractérisation de la matière première et des produits finis. Le taux de matière sèche a été déterminé par la méthode AFNOR (1982) ; la teneur en cendres par la méthode AOAC (2002), la teneur en lipides selon la méthode Russe décrite par Bourely (1982) et la teneur en protéines selon la méthode de Kjeldahl (AFNOR, 1984).

2.3. Détermination de la granulométrie des farines

Des tamis d'ouvertures de mailles 200µm, 280µm, 300µm et 350µm ont été utilisés. Les refus ont ensuite été pesés.

2.4. Formule de l'étude

Le programme linéaire est conçu en fonction des compositions moyennes en nutriments (protéines, glucides et lipides) des différentes matières premières que sont les farines de maïs de sorgho et de criquets tout en respectant un cahier de charge pour une alimentation équilibrée. Les codes des paramètres entrants dans l'établissement du programme linéaire ont été les suivants :

CODE	Denrées	Nutriments
1	Maïs	Protéines
2	Sorgho	Glucides
3	Criquets	Lipides

Avec : i et $j = \{1,2,3\}$;

- Z : Fonction objectif ;
- t_{ij} : Teneurs en nutriment (i) dans la denrée (j) en g/g de MS ;
- x_j ; Teneurs massiques de chacune de denrée ;
- e_i : Apport énergétique par gramme de nutriment en kcal/g.

Ainsi, la fonction-objectif à maximiser (Formule-1) ou à minimiser (Formule-2) selon les objectifs à atteindre, s'écrit (équation 1) :

$$Z = \sum_{i,j=1}^3 t_{ij} e_i x_j \tag{1}$$

Cette fonction-objectif est soumise aux contraintes suivantes (inéquations 2, 3 et 4) :

$$\sum_{j=1}^3 t_{1j} x_j \geq 20 \quad ; \quad \sum_{j=1}^3 t_{1j} x_j \leq 35 \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^3 t_{2j} x_j \geq 45 \quad ; \quad \sum_{j=1}^3 t_{2j} x_j \leq 65 \tag{3}$$

$$\sum_{j=1}^3 t_{3j} x_j \geq 10 \quad ; \quad \sum_{j=1}^3 t_{3j} x_j \leq 37 \tag{4}$$

2.5. Essai de pasticcation

D'après Feillet (2000) ; Petitot et al. (2010) le procédé de fabrication des pâtes est représenté sur la Figure 1 :

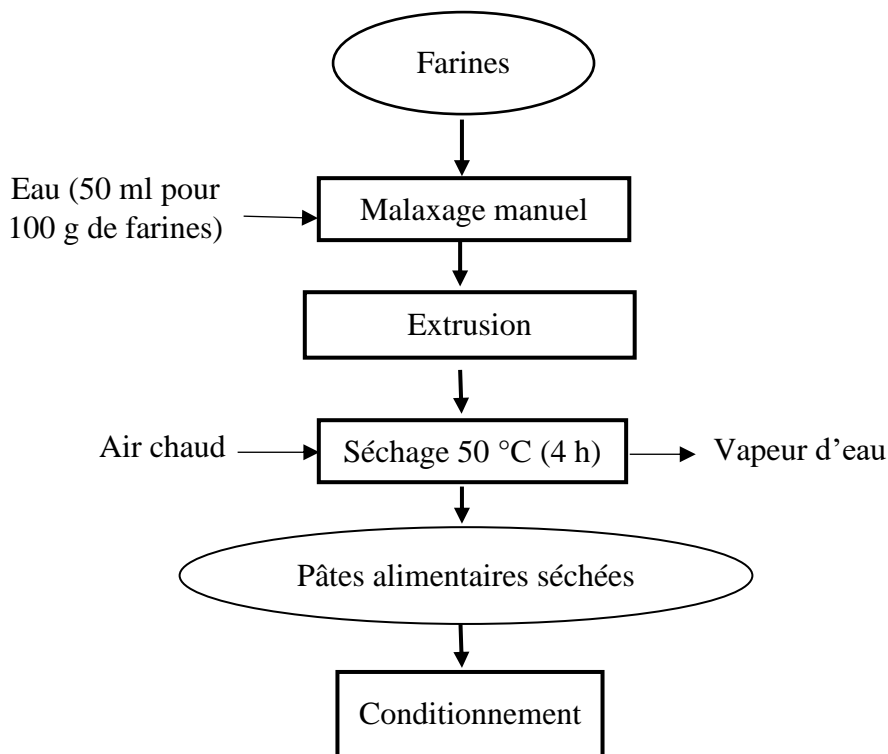


Figure 1 : Block diagram du procédé de pastification

Le dispositif d'extrusion est présenté sur la Figure 2. Il est muni d'une manivelle, d'un dispositif de façonnage muni d'un régulateur d'épaisseur et de deux filières qui servent de moule pour la mise en forme.



Figure 2 : Extrudeuse manuelle de marque Vimax (Chine).

2.6. Modélisation des cinétiques de séchage des pâtes

Les cinétiques de séchage permettent de déterminer l'influence des différents paramètres (température et vitesse de séchage, épaisseur de la couche du produit) sur le comportement du produit au cours de son séchage et d'en déduire une courbe caractéristique du produit intégrant le maximum de paramètres. Dans ce travail, il est présenté les courbes de teneur en eau réduite (MR) en fonction du temps. Ainsi 13 modèles semi-empiriques issus de la loi Newton sur le refroidissement et la seconde loi de Fick ont été choisis dans la littérature. Les modèles dérivant de la seconde loi de Fick ont l'avantage de mettre en jeu dans leurs expressions, une constante K qui permet déterminer le coefficient de diffusion et l'énergie d'activation. Le Tableau 1 présente ces modèles :

Tableau 1 : Modèles mathématiques.

Nom du modèles	Modèles	Références
Modèles dérivant de la loi de Newton sur le séchage		
Modèle de Lewis (Newton)	$MR = \exp(-kt)$	Mohammadpour et al. (2008), McMinn (2006), Akpinar et al. (2006)
Modèle de page	$MR = \exp(-kt^n)$	Hii et al. (2009), Mohammadpour et al. (2008),
Modèle de Page modifié I	$MR = \exp(-kt)^n$	Mohammadpour et al. (2008), Akpinar et al. (2006)
Modèles dérivant de la seconde loi de la diffusion de Fick		
Modèle de Henderson et Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Mohammadpour et al. (2008), McMinn (2006),
Modèle Logarithmique	$MR = a \exp(-kt) + c$	Mohammadpour et al. (2008), McMinn (2006)
Modèle de Midilli et al.	$MR = a \exp(-k \cdot t^n) + b * t$	Midilli et al. (2002)
Modèle de Midilli modifié	$MR = \exp(-kt) + b * t$	Mohammadpour et al. (2008), McMinn (2006)
Modèle à deux termes	$MR = a \exp(-K_1t) + b \exp(-k_2t)$	Mohammadpour et al. (2008), Akpinar et al. (2006)
Modèle à deux termes exponentiels	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Mohammadpour et al. (2008), Akpinar et al. (2006)
Modèle de Verma	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	Mohammadpour et al. (2008), Akpinar et al. (2006)
Modèle de Henderson et Pabis modifié (à trois termes exponentiels)	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-kt) + c \exp(-kt)$	Mohammadpour et al. (2008), McMinn (2006)

Notation : a, b, c, d, j, k, g, n : constantes dans les modèles de séchage ; MR : Teneur en eau réduite (sans dimension) ; t : Temps (min)

La modélisation à partir des données expérimentales a été conduite sur MATLAB 2017.

2.7. Appréciation de la qualité des modèles

Le R carré, le R carré ajusté et l'erreur quadratique moyenne (RMSE) ont servi à apprécier la qualité des modèles. La grandeur Cmin (équation 5) a permis de classer les modèles. Le meilleur modèle est celui présentant la plus petite valeur de Cmin.

$$Cmin = [(1 - R^2) + (1 - R_{ajusté}^2) + RMSE] \tag{5}$$

2.8. Appréciation de la qualité des pâtes

Elle a été réalisée essentiellement à l'aide d'un test hédonique. Pendant ce test, les échantillons des pâtes sont présentés de façon monadique pour être appréciés sur une échelle de cotation de 1 à 5 points sur cinq paramètres sensoriels que sont le goût, la fermeté sous la dent, les gerçures, la texture et l'appréciation générale.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Caractéristiques physico-chimiques des matières premières

Le Tableau 2 présente la composition physico-chimique des farines des céréales (maïs et sorgho) et des criquets à P < 0,05.

Tableau 2 : La composition physico-chimique des matières premières

FARINES	MS en %	Cendres en %MS	Lipides en %MS	Protéines en %MS	Glucides en %MS
Maïs	91,86 ± 3,52 ^a	2,16 ± 0,77 ^a	5,88 ± 0,31 ^{ab}	14,86 ± 1,29 ^a	77,08 ± 0,83 ^b
Sorgho	89,79 ± 0,75 ^a	1,15 ± 0,18 ^a	6,93 ± 1,00 ^{ab}	14,20 ± 2,17 ^a	77,70 ± 0,98 ^b
Criquets	91,34 ± 0,05 ^a	5,60 ± 0,24 ^b	4,09 ± 1,57 ^a	62,04 ± 2,40 ^b	28,24 ± 1,08 ^a

Sur une même colonne de ce tableau, les valeurs ayant la même lettre en exposant ne sont pas différents à P < 0,05.

Les résultats obtenus lors de l'analyse physicochimique et présentés dans le tableau 2, montrent que la teneur en eau des différentes farines (maïs, sorgho et criquets) varie entre 8,13 ± 3,52 % (maïs) et 10,20 ± 0,75 % (Sorgho) et 8,65 ± 0,05 % (criquets). Ces valeurs ne sont pas significativement différentes. La teneur en eau de toutes ces farines est inférieure à 12 % ce qui favoriserait une bonne tenue lors du stockage car à ce pourcentage il serait difficile aux micro-organismes de se développer sous réserve de la confirmation de cette hypothèse par la réalisation des isothermes de sorption de ces farines.

Les cendres constituent par définition le résidu solide restant après combustion d'un matériel biologique. Elles se composent uniquement de la matière minérale (sels minéraux). Les teneurs en cendres des farines de maïs, de sorgho et de criquets obtenues sont respectivement de 2,16 ± 0,77 %, de 1,15 ± 0,18 % et de 5,60 ± 0,24 %. Les criquets ont une teneur en cendres deux fois plus élevée que celle de maïs et cinq fois supérieure à celle de sorgho. Ces résultats ne s'accordent pas avec les travaux de Picard (1991), Waston, (1987) et Burge et al. (1989) qui donnent la teneur en cendres du maïs variant entre 1 - 1,5 %. La différence

observée serait essentiellement liée à l’environnement de ces insectes, qui impacte sur leur alimentation et donc sur leur composition physico-chimique.

Les teneurs en lipides des farines de maïs, de sorgho et de criquets obtenues sont respectivement de $5,88 \pm 0,31 \%$, de $6,93 \pm 1,00 \%$ et de $4,09 \pm 1,57 \%$. Les deux céréales ont des teneurs en lipides très proche, cependant les proportions en lipides sont très faibles pour les trois denrées. Ces résultats sont en accord avec FAO (1995) qui donne la teneur en lipides de sorgho de 2,1 % à 7,6 % ; Picard (1991) et Waston (1987) pour le maïs de 4 à 6 % et les travaux de Zakari et al. (2015) donnant la teneur en lipide des criquets à 9,80 %.

Les résultats montrent que les céréales ont une faible teneur protéique. Ainsi les farines de maïs et de sorgho ont respectivement $14,86 \pm 1,29 \%$ et $14,20 \pm 2,17 \%$ de protéines. Tandis que les criquets présentent une teneur en protéine de l’ordre de $62,04 \pm 2,40 \%$. Ces résultats sont en adéquation avec les travaux de Picard (1991), Waston (1987) et Zakari et al. (2015).

Les glucides sont les constituants majeurs des céréales. Les farines de maïs et de sorgho présentent des teneurs de $77,08 \pm 0,83 \%$ et de $77,70 \pm 0,98 \%$. Par contre les criquets présentent une teneur très faible en glucides de l’ordre de $28,24 \pm 1,08 \%$.

Ces résultats montrent clairement la nécessité de travailler avec un mélange de ces différentes denrées pour bénéficier des atouts nutritionnels des unes et des autres.

3.2. Classification granulométrique

La granulométrie des différentes fractions des matières premières utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires et leurs proportions respectives sont représentées sur la Figure 3 :

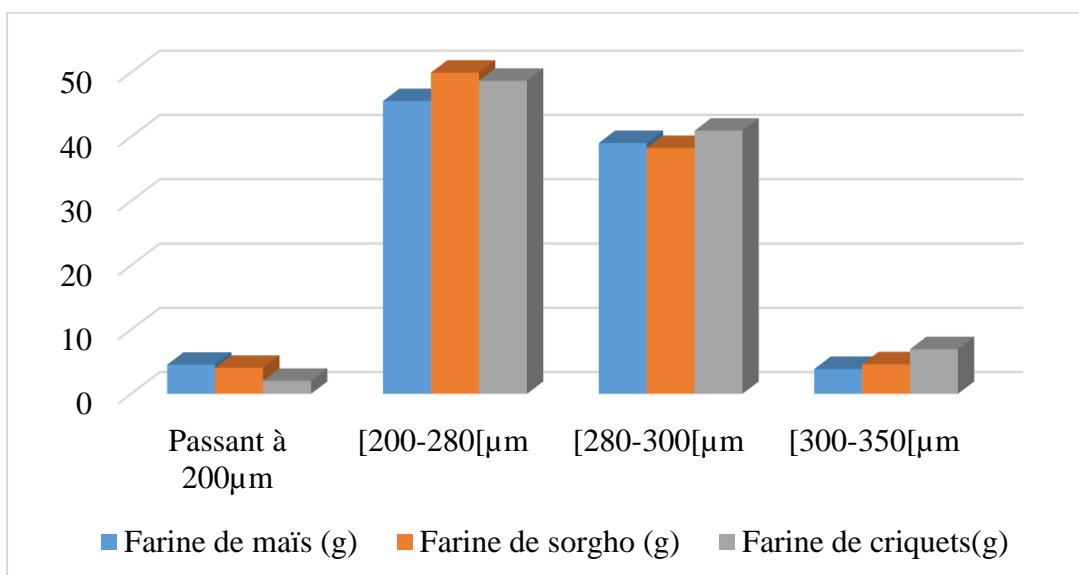


Figure 3 : Granulométrie des farines utilisées dans la fabrication des pâtes alimentaires en pourcentage massique.

De cette figure, il ressort que la proportion des particules les plus importantes des échantillons étudiés se situe dans l'intervalle [200 - 280] µm avec respectivement 50, 45 % pour la farine de maïs, 49,96 % pour la farine de sorgho et de 48,69 % pour la farine de criquets. la seconde fraction la plus importante est celle se situant dans l'intervalle [280 - 300] µm avec respectivement 39,02 % pour la farine de maïs, 38,23 % pour la farine de sorgho et de 40,93 % pour la farine de criquets.

3.3. Formules de l'étude

Le diagramme ternaire de la Figure 4 présente les différentes quantités des constituants nécessaires pour conduire les expériences.

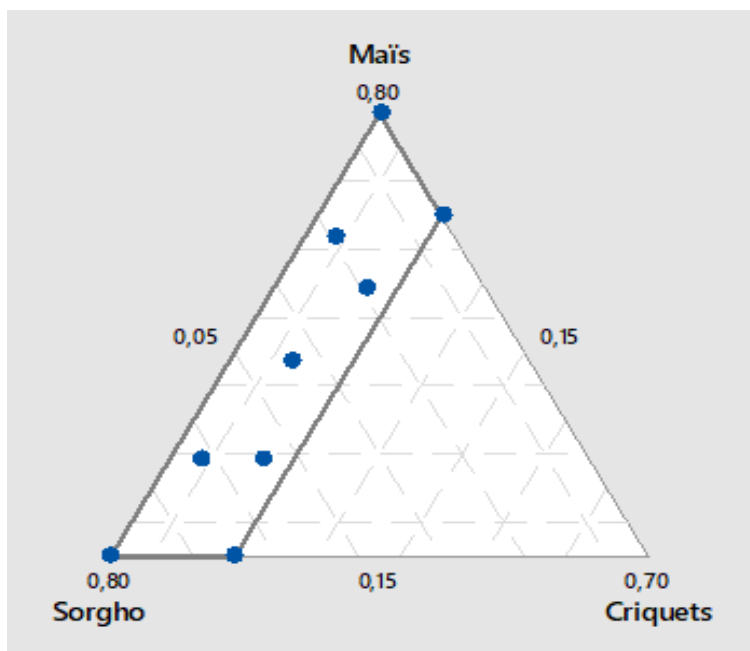


Figure 4 : Représentation du domaine expérimental dans un simplexe.

Equation du modèle (équation 6) :

$$Y = 3,670 * X_1 + 3,140 * X_2 + 3,925 * X_3 \tag{6}$$

Avec : Y : Energie ; X₁ : Maïs ; X₂ : Sorgho et X₃ : Criquets.

Le Tableau 3 présente les résultats de l'optimisation des formules des pâtes à partir du programme linéaire prédéfini au préalable.

Tableau 3 : Formulations optimales

Formules	Maïs (%)	Sorgho (%)	Criquets (%)	Energie (kcal/g)
Formule-1	65	15	20	3,64
Formule-2	18,88	61,11	20	3,39

Du Tableau 3, il ressort deux formules. D'une part, la Formule-1, constituée de 65 % de maïs ; 15 % de sorgho et 20 % de criquets, dont l'apport énergétique est maximal (3,64 kcal/g de produit) et d'autre part, la Formule-2, composée de 18,88 % de maïs ; 61,11 % de sorgho et 20 % de criquets et dont l'apport énergétique est de 3,39 kcal/g de produit. Les Figures 5A et 5B, présentent respectivement, les pâtes fraîchement extrudées et les pâtes séchées.



Figure 5 : Aperçu des pâtes formulées : (A) pâtes fraîches (B) pâtes séchées.

3.3. Appréciation de la qualité des pâtes formulées

Les résultats de dégustation des pâtes cuites de la formule optimale, par un panel constitué de 20 personnes (enseignants et étudiants), sont présentés sur la Figure 6.

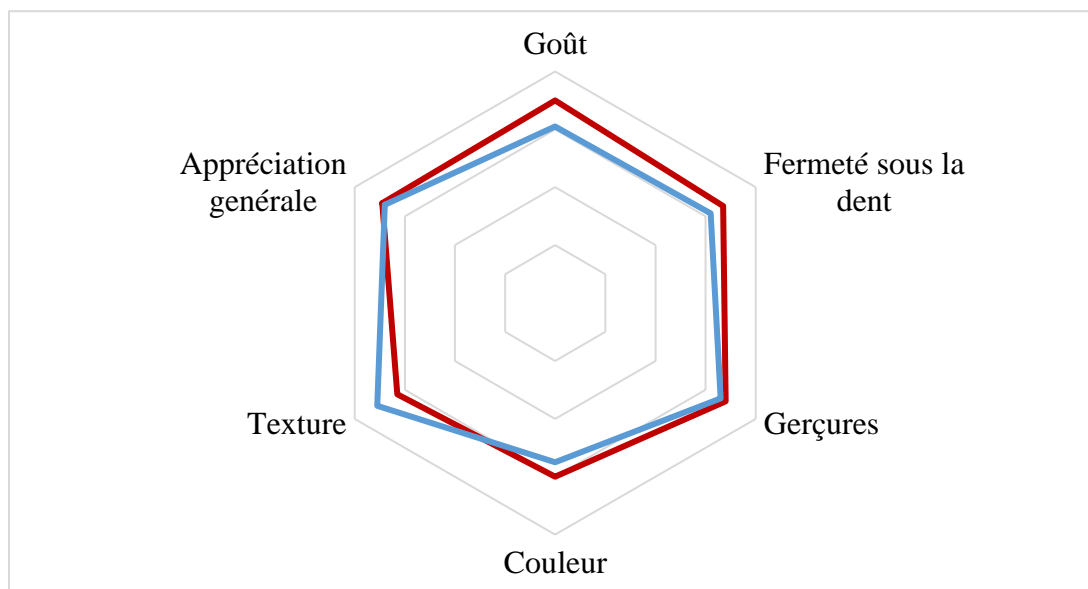


Figure 6 : Profil sensoriel des pâtes cuites. Formule-1 ; Formule -2

Après dégustation des différentes pâtes par un panel expérimenté, il est constaté que les dégustateurs ont perçu plus intensivement et de manière très singulière les paramètres sensoriels caractérisant les indicateurs relatifs aux aspects des pâtes cuites. Le panel a eu une appréciation générale positive des différentes pâtes

avec une préférence des aspects goûts, fermeté sous la dent et couleur pour les pâtes de la Formule-1 tandis que celles de la Formule-2 sont beaucoup plus appréciées pour leur texture.

3.4. Modélisation des cinétiques de séchage des pâtes

Les Tableaux 4 et 5 présentent les résultats de modélisation des cinétiques de séchage à 50°C des pâtes alimentaires à base des denrées locales (maïs, sorgho et criquets).

Tableau 4 : Modélisation des cinétiques de séchage à 50 °C, des pâtes de la Formule-1.

Modèles	R ²	R ² ajusté	RMSE	Cmin
Newton	0,98	0,98	0,0403	0,0803
Page	0,991	0,991	0,0271	0,0451
Page modifié	-	-	-	-
Henderson	0,982	0,981	0,0392	0,0762
Logarithmique	0,992	0,992	0,0262	0,0422
Midilli et al.	0,992	0,991	0,0271	0,0441
Midilli modifié	0,992	0,991	0,0265	0,0435
Deux termes	0,982	0,98	0,0401	0,0781
Deux termes exponentiels	0,994	0,994	0,0227	0,0347
Verma	0,993	0,992	0,0252	0,0402
Trois termes	0,982	0,98	0,0401	0,0781

Tableau 5 : Modélisation des cinétiques de séchage à 50°C, des pâtes de la Formule-2.

Modèles	R ²	R ² ajusté	RMSE	Cmin
Newton	0,983	0,983	0,0343	0,0683
Page	0,99	0,989	0,0269	0,0479
Page modifié	-	-	-	-
Henderson	0,983	0,983	0,0345	0,0685
Logarithmique	0,994	0,994	0,0206	0,0326
Midilli et al.	0,994	0,994	0,021	0,033
Midilli modifié	0,993	0,993	0,0223	0,0363
Deux termes	0,983	0,982	0,0352	0,0702
Deux termes exponentiels	0,994	0,994	0,0204	0,0324
Verma	0,992	0,991	0,0245	0,0415
Trois termes	0,983	0,982	0,0352	0,0702

A la lecture des tableaux 4 et 5, il ressort que 11 des 13 modèles étudiés permettent de décrire les cinétiques de séchage des pâtes. Le modèle de Page modifié n’a pas donné de bons résultats. En se basant sur le critère de sélection basé sur la plus petite valeur de Cmin, c’est le modèle à deux termes exponentiels qui décrit le

mieux les données expérimentales. Ce modèle présente une somme des erreurs de 0,0347 pour les pâtes de la Formule-1 et de 0,0324 pour les pâtes la Formule-2.

Des résultats de modélisation des cinétiques de séchage à 60 °C des pistaches (Mohammadpour et al., 2008), des prunes (Doymaz, 2005) et du gombo (Kuitche et al., 2007) indiquent le modèle à deux termes, le modèle de Midilli et al. et le modèle de Henderson & Pabis modifié sont les trois modèles qui décrivent le mieux le comportement de ces produits pendant le séchage.

La Figure 7 présente le tracé des cinétiques de séchage des pâtes de la Formule-1 (courbe rouge) et des pâtes de la Formule-2 (courbe bleue) en tranche de 5 mm d'épaisseur à 50 °C. Les points expérimentaux sont comparés au meilleur modèle à deux termes exponentiels, obtenu sur Matlab 2017.

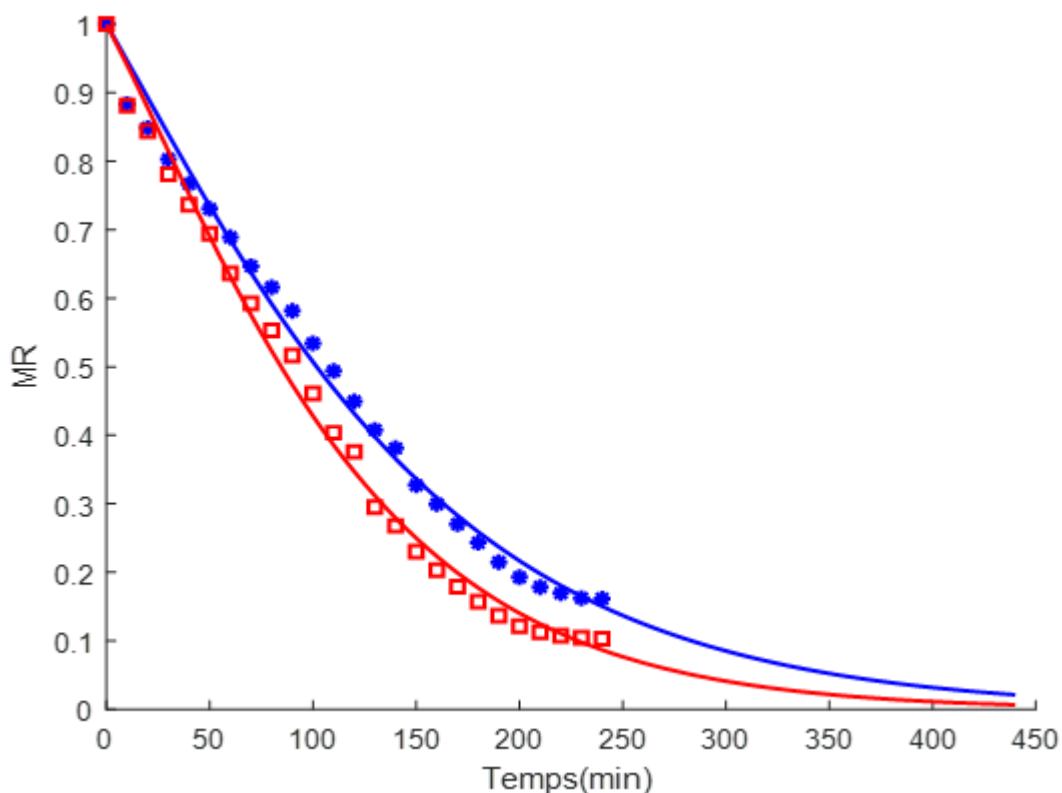


Figure 7 : Résultats de Modélisation des cinétiques de séchage des pâtes de la Formule-1 (symboles carré) et des pâtes de la Formule-2 (symboles ronds), sur Matlab 2017. Les lignes continues représentent le modèle à deux termes exponentiels.

La Figure 7 montre une bonne concordance entre les points expérimentaux des cinétiques de séchage des pâtes optimales formulées et le modèle à deux termes exponentiels (équations 7).

$$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt) \tag{7}$$

	a	k	b
Modèle de la Formule-1 :	-14,134	0,015428	0,95845
Modèle de la Formule-2 :	-10,596	0,012143	0,95123

4. CONCLUSION

Ce travail avait pour objectif d'investiguer les potentialités de quelques denrées locales camerounaises en pastification par la mise en place d'une nouvelle gamme des pâtes alimentaires. La caractérisation de la matière a montré une grande différence de composition entre les denrées utilisées, conduisant à un produit final plus attrayant en terme de composition. L'optimisation a permis d'aboutir à deux formules de pâtes, différant par la valeur énergétique par gramme de produit. Ces deux formules ont reçu des bonnes notes par un jury d'évaluation. La modélisation des cinétiques de séchage par convection à 50 °C de ces pâtes montre que le modèle à deux termes exponentiels décrit le mieux, les cinétiques de séchage des pâtes optimales. Cette étude montre que des alternatives locales aux céréales importées existent, et peuvent faire l'objet de vulgarisations dans les systèmes de production.

5. CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

6. REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les laboratoires LARESH et LAGETA de l'ENSAI de l'Université de Ngaoundéré pour les facilités accordées lors de la réalisation des essais.

7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achonduh S.A., 2019. Technical feasibility study on the production of pasta with the complete replacement of durum wheat semolina with local cereals and tubers, 43–52.
- AFNOR, 1982. Association Française de Normalisation, Recueil des normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes. Jus de fruits. 1ère éd., Paris la défense (France).
- AFNOR, 1984. Recueil de normes françaises. Produits agricoles alimentaires : directives générales pour le dosage de l'azote avec minéralisation selon la méthode de Kjeldahl. AFNOR, Paris (France).
- Akpinar E. Kavak, Bicer Y. et Cetinkaya F., 2006. Modelling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun. *Journal of Food Engineering*, **75**, 308–315.
- Allaya M., Rucheton G., 2006. Agriculture, pêche, alimentation, et développement rural durable dans la région méditerranéenne : situations et perspectives, Chap2 : L'approvisionnement céréaliers des pays méditerranéens. Agri. Med. Rapport annuel du CIHEAM, Paris, P 35, 47.
- AOAC (1975). Methods of analysis of the association of Official Analytical Chemists, 10th ed. AOAC, Washington, DC.
- Bourelly J. (1982). Observation sur le dosage de l'huile des graines de cotonnier. *Cot. Fib. Trop.*, **27**(2), 183–196.
- Burge R.M., Duensing W. J., 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. *Cereal Foods World (USA)*, **34**(7), 535–538.

- Doymaz I., 2005. Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of food engineering*, **69**, 275–279.
- Elli L., Branchi F., Tomba C., Villalta D., Norsa L., Ferretti F., Roncoroni L., Bardella M.T., 2015. Diagnosis of gluten related disorders: Celiac disease, wheat allergy and non-celiac gluten sensitivity. *World Journal of Gastroenterology*, **21**(23), 7110–7119.
- FAO., 1995. Le sorgho et les mils dans la nutrition humaine, p-12.
- Feillet P., 2000. Le grain de blé, composition et utilisation. Institut national de la recherche agronomique, INRA, Paris, 308p.
- Karima L., Denis C., Cécile B., Sylvie C., Pascal S., Stéphane W., Valérie M., 2018. Qualités culinaires, sensorielles et nutritionnelles de pâtes alimentaires sans gluten à base de légumineuses, 14p.
- Kuitche A., Edoun M. et Takamte G., 2007. Influence of pre-treatment on drying kinetic of local Okro (*Hibiscusesculentus*) variety, *World Journal of Dairy & Food Sciences*, **2**(2), 83–88.
- McMinn W.A.M., 2006. Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave-convective and microwavevacuum. *Journal of Food Engineering*, **72**, 113–123.
- Ludvigsson J.F., Bai J.C., Biagi F., Card T.R., Ciacci C., Ciclitira P.J., Green P.H.R., Hadjivassiliou M., Holdoway A., van Heel D.A., Kaukinen K., Leffler D.A., Leonard J.N., Lundin K.E.A., McGough N., Davidson M., Murray J.A., Swift G.L., Walker M.M., Zingone F., Sanders D.S., Grp B.S.G.C.D.G.D., 2014. Diagnosis and management of adult coeliac disease: guidelines from the British Society of Gastroenterology. *Gut*, **63**(8), 1210–1228.
- Midilli A., Kucuk H. and Yapar Z.A., 2002. New model for single-layer drying. *Drying Technol.*, **20**(7), 1503–1513
- MINEPAT, 2020. Rapport de la concertation de 13 janvier 2020 entre le MINEPAT et les opérateurs de différentes filières de production.
- Mohammadpour V., Hamed Mosavian M.T., Etemadi A., 2008. Determination of effective diffusivity coefficient and activation energy of shelled pistachio by using fluidized bed dryer. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, **3**(2), 1–12.
- OMS, 2016. Réseau international des autorités de sécurité sanitaire des aliments. Les allergies alimentaires. Note d'information INFOSAN N°3/2016-Allergies alimentaires.
- Petitot M., Boyer L., Minier C., Micard V., 2010. Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, **43**, 634–641.
- Picard, D. (1991). Physiologie et production du maïs. Paris, Éditions Quae, 15–78.
- Waston, S.A., 1987. Structure and composition. In: Corn Chemistry and technology, Watson S.A. and Ramstad P.E. Ed., American Association of cereal Chemists, St Paul, MN, USA, 55–82.
- Zakari A., Abasse T., Ramatou S., 2015. Une évaluation de Criquets comestibles au Niger : *Ornithacris turbida cavroisi* (Finot, 1907), *Anacridium melanorhodon* (Walker, 1870) et *Accanthacris ruficornis citrina* (Serville, 1838). *Journal of Applied Biosciences*, **90**, 8348– 8354.