Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2025 ; 8(4), 183-191
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Essai de fabrication des pains par incorporation de la farine de sorgho (*Sorghum bicolor*) maltée et non maltée

Angélique Feza Kamari[1], André Kimfunia Bakumona[1], Eric Kimbemuken Thasur[1], Michel Mubiala Katala[1], Jeancy Ntuka Luta[1], Joseph Kamuha Muserume[2], Freddy Bakaka Bolukola[2], Jules Bongobele Iwele[3], Vanini Gindo Mbaya[1], Eric Sumbu Zola[1]

(1)Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Chimie et industrie agricole. BP 117 Kinshasa XI (RDC). E-mail : fezange2@gmail.com
(2)Service National de Semences (SENASEM) (RDC)
(3)Institut National pour l'étude et la Recherche Agronomiques (INERA). BP 012 Kinshasa (RDC)

Reçu le 22 novembre 2025, **accepté** le 24 décembre 2025, **publié en ligne** le 27 décembre 2025

DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i4.16

RESUME

Description du sujet. En République Démocratique du Congo, il s'observe une augmentation constante de consommation du pain fabriqué entièrement par du blé (*Tritium aestivum*), principale matière première. Ce travail envisage d'optimiser l'utilisation de sorgho en panification.
Objectif. L'objectif de l'étude est d'évaluer l'effet du maltage sur la qualité nutritionnelle et technologique du sorgho utilisé en panification.
Méthode. Deux types de farine de sorgho ont été préparées, l'une maltée et l'autre non maltée. Elles ont été incorporées à la farine de blé suivant les proportions de 0 %, 20 %, 40 % et 60 %. Ces farines composites ont servi à la préparation des pains. L'élasticité et le gonflement ont été évalués lors de la préparation et les analyses physico-chimiques après cuisson. Les données sont passées par l'analyse de variance (ANOVA), le test de Tukey et l'analyse corrélationnelle.
Résultats. L'élasticité diminue de 15cm au fur et à mesure qu'on incorpore la farine de sorgho, en raison de l'absence de gluten et le pouvoir de gonflement baisse sans différence liée au maltage. Les glucides diminuent modérément dans les pains maltés en raison de l'hydrolyse de l'amidon, pour les protéines il y a une légère hausse et la teneur en cendres augmente avec la substitution.
Conclusion. Le maltage favorise l'utilisation du sorgho en augmentant la teneur en protéines, en minéraux et en réduisant les anti-nutriments. Ce qui valorise le sorgho en Afrique et réduit la dépendance au blé.
Mots-clés : Sorgho, maltage, panification, valeur nutritionnelle, substitution.

ABSTRAT

Testing the production of breads by incorporating malted and unmalted sorghum flour (*Sorghum bicolor*)
Description of the subject. In the Democratic Republic of the Congo, there is a steady increase in the consumption of bread made entirely from wheat (*Triticum aestivum*), the main raw material. This work aims to optimize the use of sorghum in breadmaking.
Objective. This study aims to evaluate the impact of malting on the nutritional and technological quality of sorghum used for bread production.
Method. Two types of sorghum flour were prepared: one malted and one unmalted. The flours were then incorporated into wheat flour at proportions of 0 %, 20 %, 40 %, and 60 %. These composite flours were then used to make bread. Elasticity and swelling were evaluated during preparation, and physicochemical analyses were performed after baking. The data were analyzed using ANOVA, Tukey's test, and correlation analysis.
Results. Elasticity decreased by 15 % as sorghum flour was incorporated. Due to the absence of gluten, swelling power decreased regardless of malting. Carbohydrate content decreases moderately in malted breads due to starch hydrolysis, while protein content increases slightly, and ash content increases with substitution.
Conclusion. Malting increases the protein and mineral content of sorghum while reducing anti-nutrients. This improves the value of sorghum in Africa and reduces dependence on wheat.

Keywords: Sorghum, malting, bread making, nutritional value, substitution.

1. INTRODUCTION

Face à des défis croissants en matière de sécurité alimentaire, aggravés par la croissance démographique et les pressions climatiques, il est essentiel de trouver des solutions durables (Meybeck *et al.*, 2017). Les céréales locales, comme le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench), jouent un rôle essentiel dans les régimes alimentaires et constituent une alternative viable aux importations onéreuses de blé (*Triticum aestivum L)* (Clavel *et al.*, 2022).

Selon les données récentes de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2024), la production mondiale de sorgho s'est stabilisée autour de 59 millions de tonnes pour la période 2023-2024, avec l'Afrique qui contribue à près de 46 % de cette production. Cela souligne l'importance de cette culture résiliente face aux sécheresses (USDA, 2024). Classée au cinquième rang mondial après le maïs (*Zea mays*), le blé, le riz (*Oriza sativa*) et l'orge (*Hordeum vulgare*), le sorgho est cultivé sur environ 40 millions d'hectares, principalement dans les régions semi-arides.

En effet, la consommation de produits de boulangerie, principalement de pain, reste centrale dans les habitudes alimentaires, y compris dans les pays non producteurs de blé. Cependant, les variations des prix du blé importé incitent à envisager des substitutions partielles par des farines locales. Si des études antérieures ont montré que la substitution complète du blé par du sorgho était limitée par l'absence de gluten, essentiel à la structure et à la levée de la pâte (Balla *et al.*, 1999), d'autres ont démontré qu'il était possible de remplacer partiellement le blé par des farines locales. Pour pallier à ce problème, des farines composites combinant le blé et le sorgho dans des proportions variables (jusqu'à 60 %) ont été proposées, offrant des avantages économiques et nutritionnels (Traoré *et al.*, 2004).

Par ailleurs, le maltage, un procédé traditionnel en Afrique pour la production de boissons, modifie la composition du sorgho en activant des enzymes telles que l'α-amylase, permettant ainsi de réduire les anti-nutriments et d'augmenter la biodisponibilité des nutriments. Ces effets ont été confirmés par des recherches ultérieures. Ainsi, une étude de 2023 sur la germination du sorgho (un procédé similaire au maltage) a démontré une augmentation de la digestibilité des protéines in vitro de 58,98 % à 68,81 % lors de substitutions au blé comprises entre 10 et 40 %, avec une réduction des facteurs antinutritionnels et une amélioration de l'acceptabilité sensorielle jusqu'à 20 % (Omoba *et al.*, 2023). D'autre part, Peanparkdee *et al.* (2022) ont rapporté qu'incorporer du sorgho germé à des niveaux inférieurs à 10 % dans des pains composites, améliorait la valeur nutritionnelle en fibres et en polyphénols, tout en atténuant les problèmes rhéologiques.

Toutefois, l'ajout de la farine de sorgho non traitée présente des défis technologiques tels qu'une diminution du volume spécifique du pain et une mie plus dure. Cependant, le maltage permet d'atténuer ces effets en augmentant l'activité enzymatique (Marston *et al.*, 2023 ; Akin *et al.*, 2024). De plus, il a été démontré que le sorgho malté pouvait enrichir les pains en antioxydants et en minéraux, réduire l'indice glycémique et favoriser la santé digestive (Taylor et Rooney, 2024). Ces avancées suggèrent que le maltage permet d'optimiser la substitution, en particulier dans les régions africaines où le sorgho est abondant.

Dans ce contexte, la présente étude vise à évaluer l'impact du maltage sur la valeur nutritionnelle du sorgho en panification. Il s'agit de produire des farines maltées et non maltées, d'évaluer leurs performances en panification et d'analyser leur valeur nutritionnelle et sensorielle. Cette étude valorise les ressources locales et permet de réduire les coûts d'importation du blé.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Matières premières

Le sorgho utilisé provenait de la ville de Goma, province du Nord-Kivu en République Démocratique du Congo, et la farine de blé (marque MIDEMA) a été achetée à Kinshasa. Les ingrédients secondaires (sel, levure, margarine, sucre et eau) étaient standard pour la panification, comme l'ont montré Omoba *et al.* (2023).

2.2. Matériel de laboratoire

Le matériel utilisé pour l'analyse comprenait un Soxhlet pour les lipides, un Kjeldahl pour les protéines, un doseur à fibres, un humidimètre, un thermomètre, un dessiccateur, une étuve et des béchers. Ces outils sont courants pour les analyses nutritionnelles (Marston *et al.*, 2023).

2.3. Préparation des farines

Deux types de farine de sorgho ont été préparés : une farine non maltée (NM) et une farine maltée (M). Le maltage suivait une méthode optimisée, basée sur celle de Dewar *et al.* (1997) et améliorée par Omoba *et al.* (2023), afin de réduire les antinutriments : pesage de 1 500 g de grains, vannage, triage, lavage, trempage à 25 °C pendant 24 heures, germination à 25 °C pendant 48 heures, touraillage à 50 °C pendant 24 heures, broyage et tamisage à 450 µm. Cette durée de germination permet de

maximiser l'activité de l'α-amylase sans excès de cyanures, éliminés par égermage manuel (Tahirou *et al.*, 2003). La farine non maltée était préparée par vannage, triage, lavage, séchage a 50 ^{0}C, broyage et tamisage.

2.4. Préparation des pains

Les formulations suivaient la formule du tableau 1 avec des substitutions à 0 %, 20 %, 40 %, 60 % (T0 à T3, NM et M). Les quantités utilisées sont : 500 g de farine composite, 20 g de sel, 20 g de margarine, 10 g de levure, 30 g de sucre et de l'eau variable comprise entre 280 et 390 ml. Le pétrissage manuel et une cuisson à 250 °C pendant 10 à 15 minutes ont été réalisées. Cette approche a été améliorée en référence à Akin *et al.* (2024), avec l'ajout d'une phase de repos permettant une meilleure évaluation de la rhéologie.

Tableau 1. Les différentes formulations de pains produits en termes de pourcentage d'incorporation des ingrédients

Farines/Traitement	**T0**	**T1**		**T2**		**T3**	
		NM	M	NM	M	NM	M
Blé	100	80	80	60	60	40	40
Sorgho	0	20	20	40	40	60	60

Légende : To : Traitement témoin ayant 100% de la farine de blé, T1 : Traitement avec 20 % de la farine de sorgho et 80% de la farine de blé, T2 : Traitement avec 40 % de la farine de sorgho et 60 % de la farine de blé, T3 : Traitement avec 60 % de la farine de sorgho et 40 % de la farine de blé, NM : Farine non maltée, M : farine maltée

Pour chaque type de pain, 500 grammes de farine composée ont été utilisés, et les autres ingrédients ont été ajoutés sans modifier leur quantité, sauf la quantité d'eau qui pouvait varier en fonction du traitement. Le tableau 2 présente les quantités en grammes des ingrédients utilisés.

Tableau 2. Quantités des matières premières utilisées

Matière première	**Quantité**
Farine	500 gr
Sel	20 gr
L' eau	280 – 390 ml
Margarine	20 gr
Levure	10 gr
Sucre	30 gr

2.6. Analyses physico-chimiques

Pour déterminer le taux d'humidité des échantillons, le procédé classique de dessiccation décrit par Vervack en 1982 a été utilisé. Le dosage des protéines a été effectué selon la méthode de Kjeldahl décrite par Pauwels (1992). La teneur en glucides totaux a été déterminée selon la méthode de Favier *et al.* (1983). Le doseur a permis de doser les fibres et les lipides (méthode Soxhlet), les cendres (méthode AACC 08-01, 1984) et les glucides par différence (Favier *et al.*, 1983).

2.7. Paramètres technologiques

Le gonflement a été mesuré en plongeant 20 g de pâte dans un pied gradué contenant 190 ml d'eau, puis en effectuant une mesure volumétrique toutes les 10 minutes. Pour évaluer l'élasticité, une extension manuelle a été réalisée selon Peanparkdee *et al.* (2022).

2.8. Analyses statistiques

Les données ont été analysées avec le logiciel R, version 4.4.3, afin de calculer les moyennes et les écarts-types, mais aussi de réaliser une analyse de la variance (ANOVA) et un test de Tukey ($p < 0,05$). La corrélation de Pearson et l'ACP ont été utilisées pour explorer les relations entre les variables nutritionnelles et technologiques.

3. RESULTATS

Les résultats sont basés sur des analyses physico-chimiques et des paramètres technologiques de pains préparés avec 0 %, 20 %, 40 % ou 60 % de farine de sorgho maltée ou non maltée, en remplacement de la farine de blé.

3.1. Humidité

La figure 1 illustre la variation du taux d'humidité, exprimé en pourcentage, en fonction de deux paramètres expérimentaux, à savoir le taux d'incorporation (de 0 à 60 %) et la nature du prétraitement malté ou non malté.

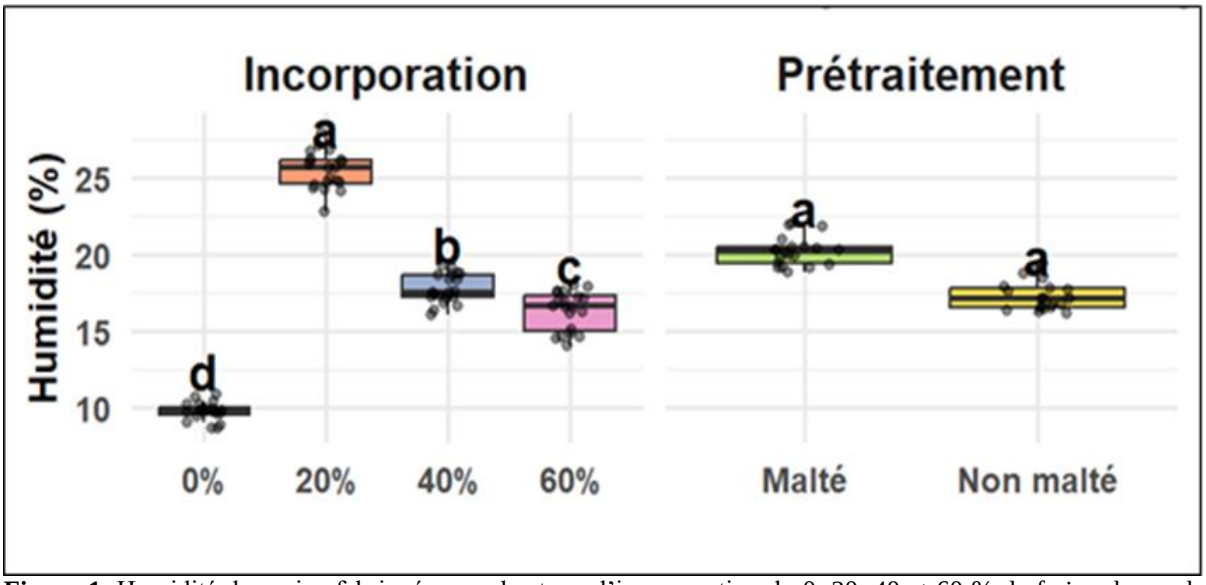

Figure 1. Humidité des pains fabriqués avec les taux d'incorporation de 0, 20, 40 et 60 % de farine de sorgho maltée et non maltée.

3.2. Glucides

La Figure 2 indiquent que la teneur en glucides des pains fabriqués avec différents taux d'incorporation de farine de sorgho est équivalente, tandis que celle des pains dont la farine a été maltée est inférieure à celle des pains non maltés.

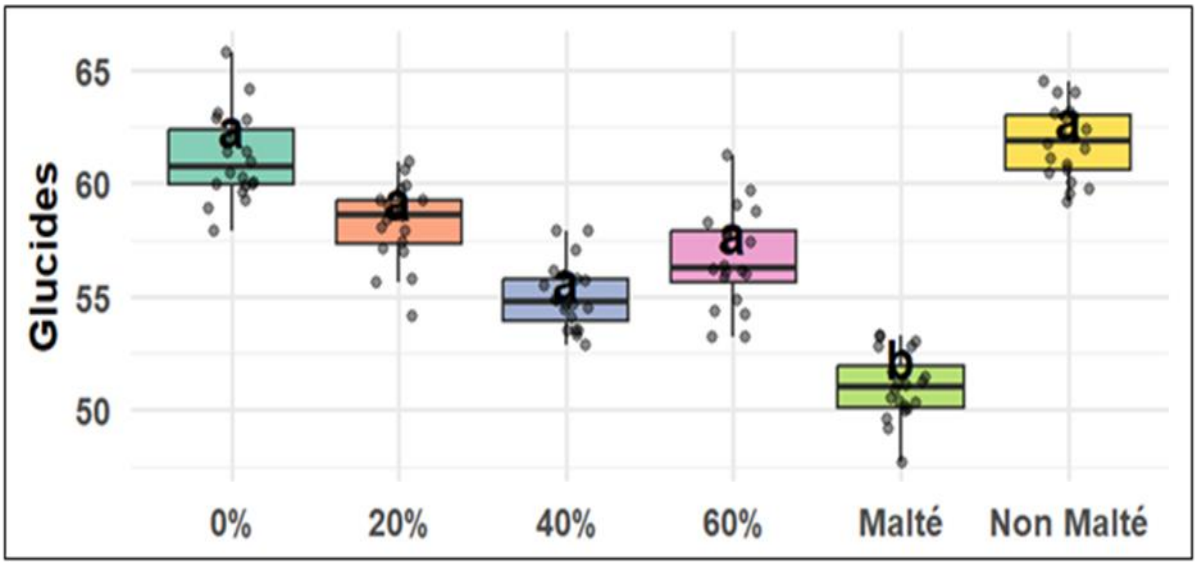

Figure 2. Teneur en glucides des pains fabriqués avec les taux d'incorporation de 0, 20, 40 et 60 % de farine de sorgho maltée et non maltée

3.3. Lipides

Les résultats de la figure 3 montrent que les pains produits à partir de farine non maltée contiennent davantage de matières grasses que les pains produits à partir de farine maltée, les histogrammes présentant des hauteurs similaires pour différents taux d'incorporation.

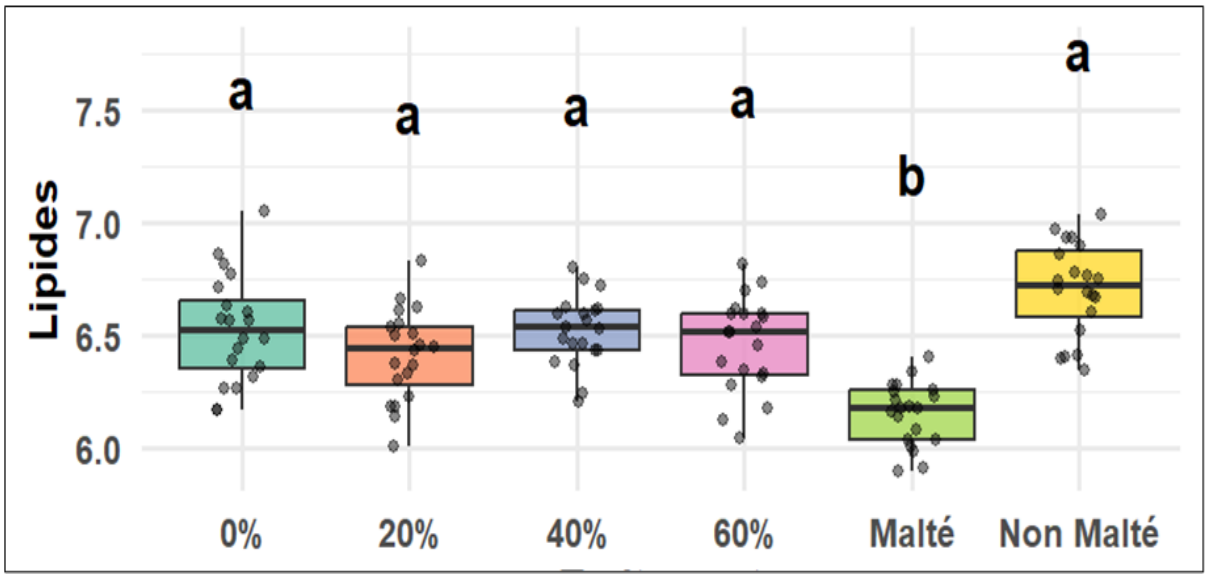

Figure 3. Teneur en lipides de pains fabriqués avec les taux d'incorporation de 0, 20, 40 et 60 % de farine de sorgho maltée et non maltée

3.4. Protéines

La teneur en protéines des pains fabriqués avec différents taux d'incorporation de farine de sorgho maltée ou non maltée est similaire, avec de petites différences.

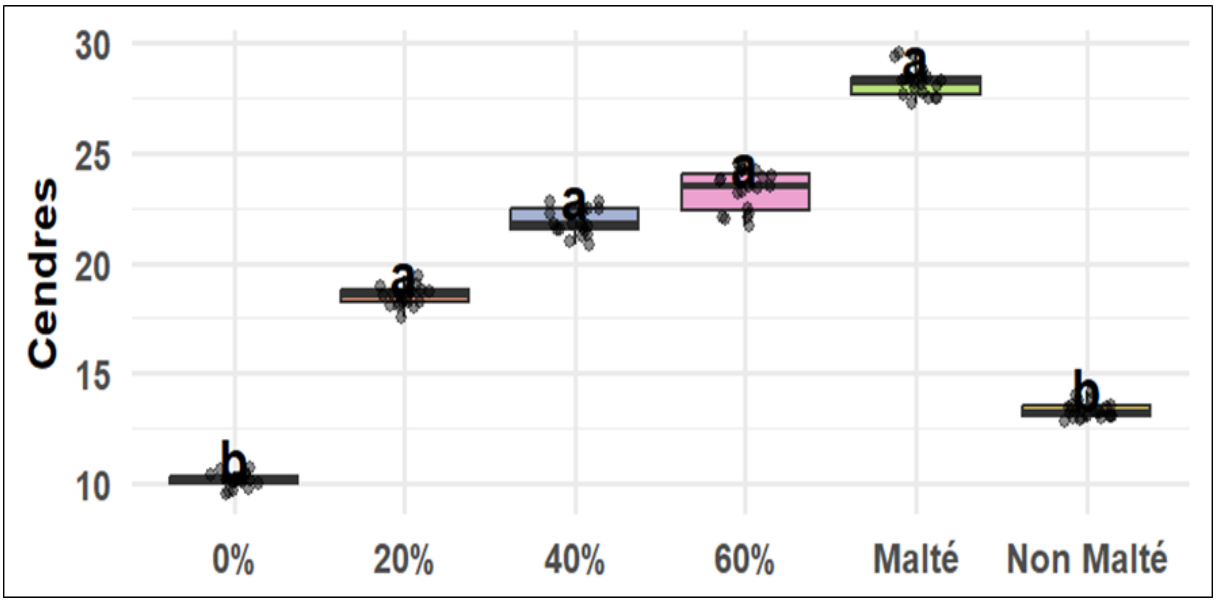

Figure 4. Teneurs en protéines de pains fabriqués avec les taux d'incorporation de 0, 20, 40 et 60 % de farine de sorgho maltée et non maltée

3.5. Cendres

Les résultats du tableau 5 révèlent un écart important entre le pain non incorporé et les autres pains incorporés. Par ailleurs, les résultats montrent une équivalence des hauteurs des histogrammes pour tous les autres niveaux d'incorporation, ainsi que des hauteurs inférieures pour les pains incorporant de la farine maltée par rapport à ceux incorporant de la farine non maltée.

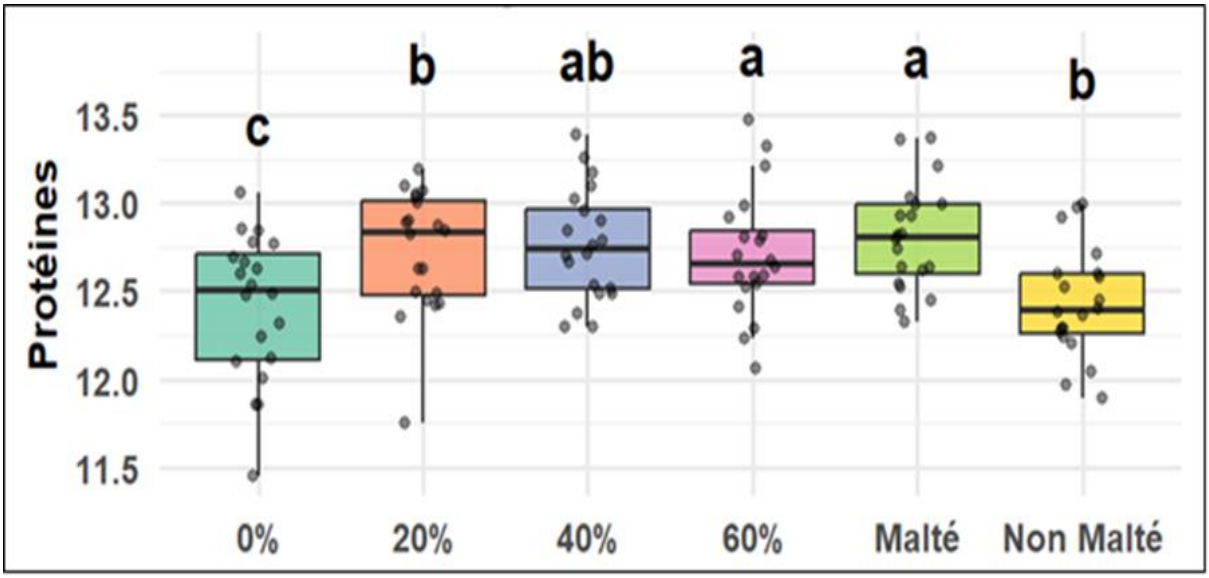

Figure 5. Teneur en cendre de pains fabriqués avec les taux d'incorporation de 0, 20, 40 et 60 % de farine de sorgho maltée et non maltée

3.6. Fibres

Les résultats montrent que le pain non incorporé et les autres pains incorporés présentent des caractéristiques différentes. Par ailleurs, les résultats montrent une équivalence des hauteurs pour tous les niveaux d'incorporation, ainsi que des hauteurs inférieures pour les pains incorporant de la farine maltée par rapport à ceux incorporant de la farine non maltée.

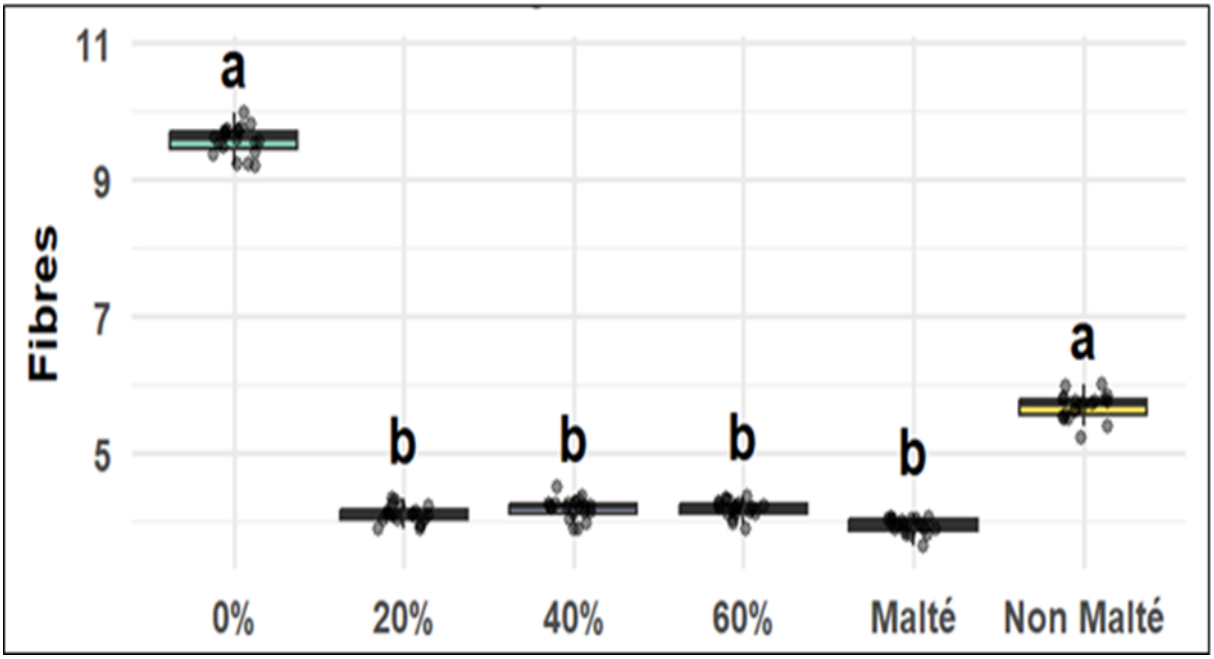

Figure 6. Teneur en fibres de pains fabriqués avec les taux d'incorporation de 0, 20, 40 et 60 % de farine de sorgho maltée et non maltée

3.7. Elasticité

Il en ressort que l'élasticité décroît avec le taux d'incorporation de la farine de sorgho, l'élasticité la plus élevée étant observée dans la farine ne contenant que du froment.

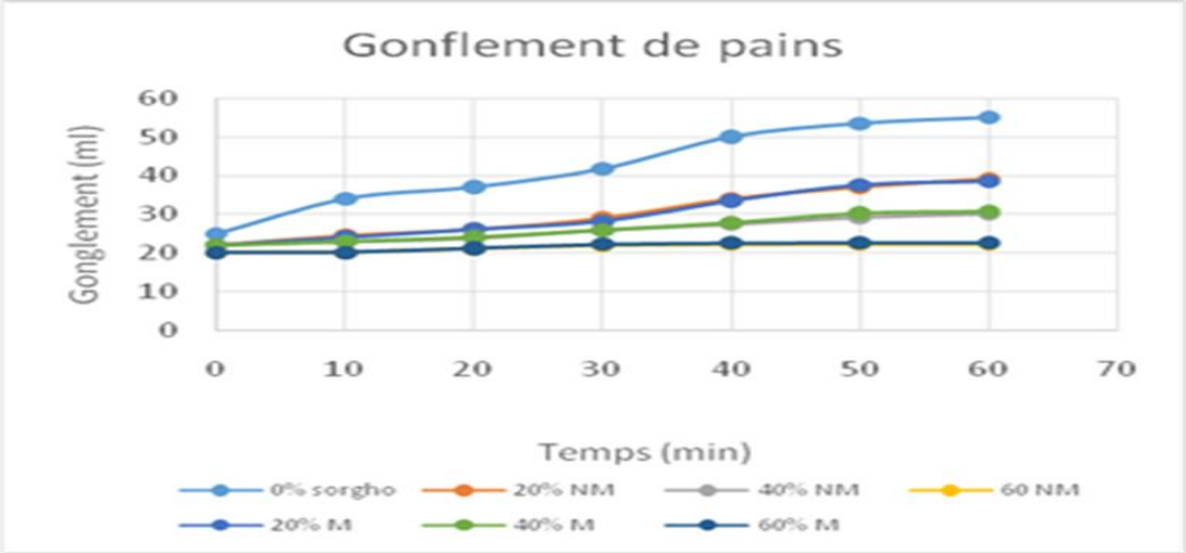

Figure 7. Elasticité de pains fabriqués avec les taux d'incorporation de farine de sorgho maltée et non maltée.

3.8. Pouvoir de gonflement

La figure 8 illustre que les cours de différents taux d'incorporation sont confondus pour les pains à farine maltée et non maltée. Par conséquent, le pouvoir de gonflement n'est pas influencé par le maltage. Deuxièmement, ces résultats montrent une tendance à la baisse du pouvoir de gonflement avec le taux d'incorporation : la farine de sorgho a donc un pouvoir d'incorporation plus faible que la farine de blé.

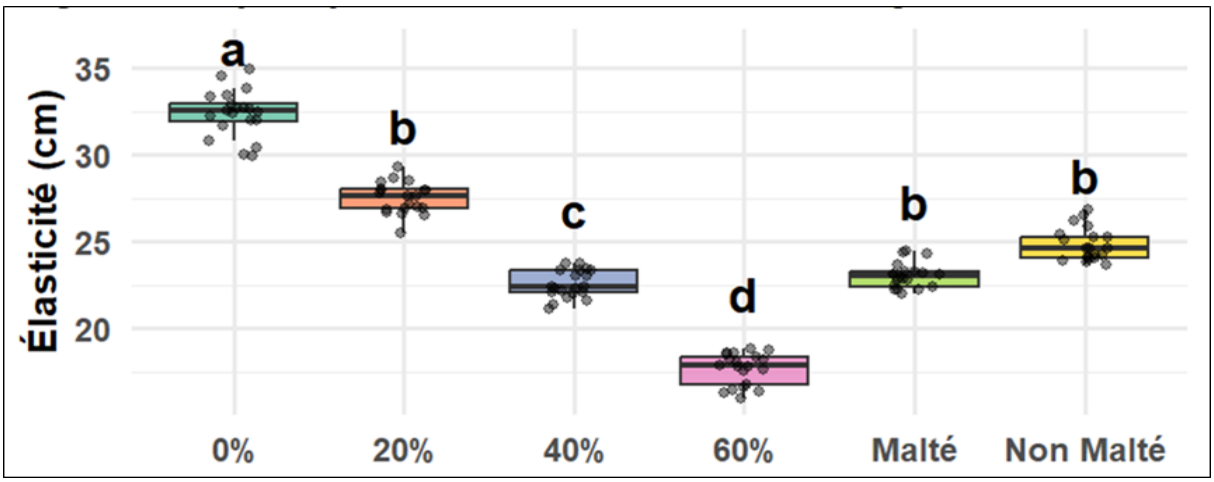

Figure 8. Gonflement de pains fabriqués avec les taux d'incorporation de farine de sorgho maltée et non maltée.

3.9. Corrélation entre les variables

Le tableau 3 ci-dessous présente la matrice de corrélation entre sept variables : incorporation, glucides, protéines, lipides, fibres, cendres et élasticité. L'élasticité est fortement et négativement corrélée à l'incorporation (-0,999), tandis que les protéines et les cendres sont très positivement liées (0,969).

Tableau 3. Matrice de corrélation de Pearson

	Incorporation	**Glucides**	**Proteines**	**Lipides**	**Fibres**	**Centres**	**Elasticité**
Incorporation	1.000						
Glucides	-0.802	1.000					
Protéines	0.839	-0.873	1.000				
Lipides	-0.191	0.520	-0.471	1.000			
Fibres	-0.769	0.858	-0.981	0.378	1.000		
Cendres	0.940	-0.915	0.969	-0.505	-0.935	1.000	
Elasticité	-0.999	0.795	-0.830	0.174	0.758	-0.934	1.000

4. DISCUSSION

Il a été constaté que le profil nutritionnel du sorgho est amélioré par le maltage en tant que substitut au blé, ce qui corrobore les conclusions d'études récentes. En effet, l'augmentation de la teneur en protéines, comprise entre 0,1 et 0,5 %, serait probablement due à l'activation protéolytique qui se produit pendant la germination, comme l'ont rapporté Omoba *et al.* (2023). Ces derniers ont constaté une augmentation de la digestibilité des pains à base de sorgho germé, comprise entre 58 et 69 %, pour un taux de substitution de 10 à 40 %. L'amélioration serait due à la réduction des anti-nutriments, notamment des phytates, dont la teneur a été réduite de 52 % dans les données originales. Cependant, la diminution des glucides reflète la dégradation de l'amidon en sucres simples sous l'action de l'amylase.

Ce phénomène rappelle les observations de Peanparkdee *et al.* (2022), qui ont noté des changements enzymatiques similaires dans les substituts de blé à base de plantes, améliorant la saveur sucrée, mais pouvant susciter des inquiétudes sur le plan glycémique. Cependant, Taylor et Rooney (2024) rétorquent que l'indice glycémique bas du sorgho atténue ce problème. Par ailleurs, la diminution de la teneur en lipides et en fibres dans les échantillons maltés peut être due à l'oxydation des lipides et à la solubilisation des fibres lors du maltage, confirmant ainsi les conclusions de Tahirou *et al.* (2003) sur le maltage des céréales. Cependant, l'augmentation de la teneur en cendres indique une mobilisation des minéraux, ce qui corrobore les conclusions de Marston *et al.* (2023) concernant l'amélioration de la biodisponibilité dans les pains à base de farine de sorgho. L'humidité augmente toutefois avec l'incorporation, peut-être en raison des amidons hydrophiles du sorgho. En revanche, l'effet mineur du maltage contraste avec les conclusions d'Akin *et al.* (2024) indiquant que l'humidité des mélanges de fruit à pain et de sorgho variait de 5 à 10 % après transformation.

Par ailleurs, l'élasticité et le pouvoir de gonflement réduits soulignent la carence en gluten du sorgho, comme l'a établi Duodu (2002), en raison de la structure de l'endosperme qui limite l'accès aux enzymes. L'absence d'avantage en termes de maltage infirme les observations de Bwanganga *et al.* (2012), qui avaient modélisé une augmentation de la β-amylase lors du maltage du sorgho afin d'améliorer l'hydrolyse. En effet, le séchage à 50 °C utilisé dans cette étude a peut-être inactivé les enzymes, contrairement à l'approche assistée par Bacillus utilisée par Bwanganga *et al.* (2012) et par Awika et Rooney (2004). L'analyse des corrélations révèle un compromis entre la densité nutritionnelle (corrélation positive avec les protéines/cendres) et la texture (corrélation négative avec l'élasticité/les fibres). Elle oppose ainsi la nutrition (protéines/cendres positives) à la texture (élasticité négative) et classe les pains à faible substitution comme équilibrés, riches en nutriments, mais fragiles. Ces conclusions rejoignent celles de Taylor *et al.* (2006) sur les nouvelles utilisations du sorgho : les composites sont excellents sur le plan nutritionnel, mais nécessitent des additifs.

En comparaison avec les travaux antérieurs, la substitution optimale de 40 % proposée dans cette étude dépasse les 30 % de Balla *et al.* (1999) pour le sorgho-blé, grâce à la réduction des anti-nutriments rendue possible par le maltage (Traoré *et al.*, 2004). Cependant, les controverses persistent, notamment sur les effets de la substitution sur la qualité nutritionnelle. Dewar *et al.* (1997) mettent en garde contre le risque de moisissure lors du trempage, problème atténué ici par l'aération. Chantereau *et al.* (2013) soulignent la variabilité variétale, ce qui suggère la résilience de sorgho de Goma.

Les données de la FAO (2024) et de l'USDA (2024) confirment la production mondiale de sorgho, qui s'élève à 59 millions de tonnes, soulignant ainsi la durabilité de cette culture par rapport aux importations de blé. Toutefois, le maltage a permis d'optimiser la nutrition, tout en nécessitant l'ajout d'adjuvants rhéologiques, comme des enzymes (Agu et Palmer, 1996 ; Dufour *et al.*, 1992), comme l'ont montré Goode *et al.* (2002) dans des moûts de sorgho et d'orge. Selon Pérez-Carrillo et Serna-Saldívar (2007), des prétraitements à la protéase permettraient d'améliorer la digestibilité (Beta *et al.*, 2001 ; Dicko *et al.*, 2006).

5. CONCLUSION

Le maltage s'est révélé efficace pour améliorer la valeur nutritionnelle du sorgho en augmentant les protéines et les minéraux tout en réduisant les antinu-triments, permettant ainsi son incorporation dans la farine de blé jusqu'à 20 à 40 % sans altération majeure de la qualité. Toutefois, au-delà de ces proportions, l'absence de gluten génère des déficits texturaux et sensoriels qui limitent la substitution totale. Pour renforcer les performances technologiques des mélanges, l'utilisation d'enzymes spécifiques et l'évaluation de l'activité amylasique via le test Hagberg Falling Number constituent des pistes prometteuses.

L'exploitation de variétés à faible teneur en tanins et la réalisation d'études in vivo pour confirmer la biodisponibilité des nutriments permettront d'affiner les perspectives d'utilisation. Enfin, une mise à l'échelle adaptée aux contextes africains demeure essentielle afin de soutenir les politiques

de valorisation des céréales locales et de promouvoir des alternatives durables aux farines importées.

Référence

Agu R.C. & Palmer G.H., 1996. Enzymic breakdown of endosperm proteins of sorghum at different malting temperatures. *Journal of the Institute of Brewing*, 102(6), 415-418. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1996.tb00924.x

Awika J.M. & Rooney L.W., 2004. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 65(9), 1199-1221. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.04.001

Balla A., Blecker C., Oumarou M., Paquot M. & Deroanne C., 1999. Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines de sorgho-blé et analyse texturale. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 3(2), 69-77.

Beta T., Rooney L.W., Marovatsanga L.T. & Taylor J.R.N., 2001. Effect of Steeping Treatment on Pasting and Thermal Properties of Sorghum Starches. *Cereal Chemistry*, 78(3), 303-306. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2001.78.3.303

Bwanganga J.-C.T., Béra F. & Thonart P., 2013. Modelling the β-amylase activity during red sorghum malting when Bacillus subtilis is used to control mould growth. *Journal of Cereal Science*, 57(1), 115-119. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.10.010

Chantereau J., Cruz J.-F., Ratnadass A., Trouche G. & Fliedel G., 2013. *Le sorgho*. Éditions Quæ. https://doi.org/10.35690/978-2-7592-2062-5

Clavel D., Guetat-Bernard H. & Verger É., 2022. Des céréales locales pour la transition climatique et alimentaire. Pratiques paysannes et pratiques féminines sur les sorghos et les mils du Sahel sénégalais au Deccan indien. *Vertigo*, 22(1), 1-22.

Dewar J., Taylor J.R.N. & Berjak P., 1997. Determination of Improved Steeping Conditions for Sorghum Malting. *Journal of Cereal Science*, 26(1), 129-136. https://doi.org/10.1006/jcrs.1996.0101

Dicko M.H., Gruppen H., Traoré A.S., Voragen A.G.J. & van Berkel W.J.H., 2006. Sorghum grain as human food in Africa: relevance of content of starch and amylase activities. *African Journal of Biotechnology*, 5(5), 384-395. https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3075

Dufour J.P., Mélotte L. & Srebrnik S., 1992. Sorghum malts for the production of a lager beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 50(3), 110-119. https://doi.org/10.1094/ASBCJ-50-0110

Duodu K.G., Nunes A., Delgadillo I., Parker M.L., Mills E.N.C., Belton P.S. & Taylor J.R.N., 2002. Effect of Grain Structure and Cooking on Sorghum and Maize in vitro Protein Digestibility. *Journal of Cereal Science*, 35(2), 161-174. https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0411

FAO, 2024. *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2024*. Rome, pp. 45-87. https://doi.org/10.4060/cd2971en

Goode D.L., Halbert C. & Arendt E.K., 2002. Mashing Studies with Unmalted Sorghum and Malted Barley. *Journal of the Institute of Brewing*, 108(4), 465-473. https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2002.tb00577.x

Guihong L., Yimeng Z., Xichang W.& Mingyu Y., 2024. Flavonoid-enriched extract from stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) regulated lipid accumulation and gut microbiota in obese mice. *International Journal of Food Science & Technology*, 59, 6065–6077. https://doi.org/10.1111/ijfs.17329

Marston K., Khouryieh H. & Aramouni F., 2023. Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Gluten-Free Bread: The Effect of Milling Conditions on the Technological Properties and in Vitro Bioaccessibility of Polyphenols and Minerals. *Foods*, 12(16), 3030. https://doi.org/10.3390/foods12163030

Meybeck A., Laval E., Lévesque R. & Parent G., 2017. Sécurité alimentaire et nutrition à l'heure des changements climatiques. *In Communication présentée au Actes du Colloque international organisé par le gouvernement du Québec en collaboration avec la FAO, Québec*, 2017, pp. 24-27.

Omoba O.S. *et al.*, 2023. Effect of sorghum pre-processing (roasting and germination) on the replacement level and quality of sorghum-wheat bread: bread characteristics, digestibility, consumer acceptability, and microbiological analysis. *Heliyon*, 9(10), e20720. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20720

Peanparkdee M., Pattra S., Grundy R.R. *et al.*, 2022. Sustainable plant-based ingredients as wheat flour substitutes in bread making. *npj Science of Food*, 6(1), 49. https://doi.org/10.1038/s41538-022-00163-1

Perez-Carrillo E. & Serna-Saldivar S.O., 2007. Effect of Protease Treatment Before Hydrolysis with α-Amylase on the Rate of Starch and Protein Hydrolysis of Maize, Whole Sorghum, and Decorticated Sorghum. *Cereal Chemistry*, 84(6), 607-613. https://doi.org/10.1094/CCHEM-84-6-0607

Reboud S. & Tanguy C., 2021. L'innovation ordinaire d'un produit du quotidien: l'exemple du pain. *Technologie et innovation*, 1(1), 1-14

Taylor J.R.N. & Rooney L.W., 2024. Current and potential future uses of sorghum to increase nutrient density for human foods. *Journal of Food Science*, 89(11), 6789-6801. https://doi.org/10.1111/1750-3841.17571

Taylor J.R.N., Schober T.J. & Bean S.R., 2006. Novel food and non-food uses for sorghum and millets. *Journal of Cereal Science*, 44(3), 252-271. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.009

Traoré A.S., Mouquet C. & Traoré S.A., 2004. Use of pearl millet and sorghum malt in the preparation of instant weaning porridges. *African Journal of Biotechnology*, 3(1), 42-48. https://doi.org/10.5897/AJB2004.000-2007

USDA Foreign Agricultural Service, 2024. Grain: World Markets and Trade - Sorghum Production Data. Washington, DC,. https://www.fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade