

QUALITE NUTRITIONNELLE DES GRAINES GERMEES DE SESAME (*SESAMUM INDICUM* L.) CULTIVEES EN CÔTE D'IVOIRE

F. M. T. KONE*, I. A. D. KOUAME, M. B. FAULET

Département des Sciences et Technologies des Aliments, Laboratoire de Biocatalyse et Bioprocédés, Université
NANGUI ABROGOUA (Abidjan, Côte d'Ivoire), 02 BP 801 Abidjan 02, Tel : 00225 0748038466,

*Email correspondant : fankrom@yahoo.fr

RESUME

En Côte d'Ivoire, le sésame (*Sesamum indicum* L.) est l'une des nombreuses ressources végétales exploitables à des fins alimentaires ; cependant, il s'agit d'une culture de légumineuse à graines moins connue et sous-exploitée. L'objectif de cette étude est de contribuer à la valorisation alimentaire des graines de sésame en améliorant la qualité nutritionnelle de ses farines. Pour ce faire, la germination est appliquée aux graines de sésame et les farines dérivées ont été analysées. Les résultats de la caractérisation biochimique des farines obtenues ont montré que les teneurs en matière sèche, protéines, glucides, potassium, phosphore, calcium, fer et vitamine C, puis en certains composés phytochimiques (polyphénols, tanins et flavonoïdes) augmentent au cours de la germination. Contrairement aux lipides qui diminuent, tout comme certains composés antinutritionnels tels que les oxalates (17%) et les phytates (67%), respectivement après 1 et 2 jours de germination. De façon générale, les teneurs en nutriments les plus élevées ont été enregistrées à 2 jours de germination. Ainsi, la consommation des farines issues des graines de sésame crues germées pourrait contribuer à réduire les problèmes liés aux carences en protéines, minéraux et certains phytonutriments couramment rencontrés par la population ivoirienne.

Mots clés : *Sesamum indicum*, Germination, Composition biochimique, Phytonutriment.

ABSTRACT

NUTRITIONAL QUALITY OF GERMINATED SESAME (*SESAMUM INDICUM* L.) SEEDS GROWN IN COTE D'IVOIRE

*In Côte d'Ivoire, sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of several vegetable exploitable resources for food purposes, however it is a lesser known and under-exploited seed legume crop. The objective of this study is to contribute to food valorization of sesame seeds by improving the nutritional quality of its flours. For this, germination is applied to the sesame seeds and derived flours were analyzed. As for biochemical characterization, it appears that the contents of dry matter, protein, carbohydrates, potassium, phosphorus, calcium, iron and vitamin C, then in some phytochemical compounds (polyphenols, tannins and flavonoids) increase during germination. Contrary to the lipid content which decreases like some anti-nutritional compounds, such as oxalates (17%) and phytates (67%), respectively after 1 and 2 days of germination. In general, the highest nutrient contents were obtained at 2 days of germination. Therefore, the consumption of flours from raw sesame seed germinated could help reduce the problems related to deficiencies in proteins, minerals and certain phytonutrients commonly encountered in the Ivorian population.*

Keywords : *Sesamum indicum*, Germination, Proximate composition, Phytonutrient.

INTRODUCTION

Le sésame (*Sesamum indicum* L.) est une légumineuse alimentaire appartenant à l'ordre des Turbiflorae et à la famille des Pedaliaceae. La plante pousse sur des sols relativement pauvres dans des climats généralement peu propices à d'autres cultures (Makinde et Akinoso, 2013). Elle est fortement utilisée dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques. En effet, les graines de sésame contiennent 19 à 25 % de protéines, 5 % de cendres, 57 à 63 % de matières grasses (Elleuch *et al.*, 2007). Elles sont également riches en phosphore, en fer, en magnésium, en calcium et en certains composés nutraceutiques potentiels tels que les composés phénoliques et les tocophérols à activité antioxydante qui ont un effet significatif sur la santé humaine (Hahm *et al.*, 2009).

En Côte d'Ivoire, le sésame est l'une des nombreuses ressources végétales exploitables à des fins alimentaires ; cependant, c'est une légumineuse à graines moins connue et sous-exploitée. Même si la graine de sésame a une importance nutritionnelle dans certaines parties du monde, peu d'informations scientifiques sont actuellement disponibles sur son potentiel nutritionnel et ses utilisations dans les aliments au niveau local. En effet, le sésame est produit et consommé par les populations locales sous des formes traditionnelles. Les grains de sésame dans l'alimentation subissent, en général, un certain nombre de traitements indispensables à leur consommation. Ces traitements technologiques, au nombre desquels nous avons la cuisson à l'eau et la torréfaction permettent de réduire certains composés antinutritionnels et augmenter le rendement d'extraction d'huile (Agiang *et al.*, 2010). Cependant, ces techniques présentent des inconvénients dont la perte en éléments nutritifs dans l'eau de cuisson ainsi que la formation de composés toxiques au cours de la réaction de Maillard (Yaacoub, 2009; Agiang *et al.*, 2010). C'est pourquoi, il s'avère nécessaire d'évaluer l'impact d'autres techniques de transformation traditionnelles faciles à mettre en œuvre et applicables aux grains de sésame en vue d'optimiser leur valeur nutritionnelle. Le trempage, la fermentation et la germination sont des traitements technologiques visant à améliorer la valeur nutritionnelle des aliments et la digestibilité

des protéines (Brou *et al.*, 2008). En ce qui concerne la germination, c'est une technologie peu coûteuse et efficace pour améliorer la qualité des graines en augmentant leur valeur nutritionnelle (Vidal-Valverde *et al.*, 2002). Au cours du processus, des enzymes d'hydrolyse endogènes considérables sont formées, modifiant la structure de la graine, ce qui signifie que les macromolécules (lipides, glucides, protéines) sont décomposées en molécules simples (Joshi et Varma, 2016). Par conséquent, il y a une augmentation des sucres simples, des acides aminés libres et des acides organiques (Brou *et al.*, 2008). Parmi d'autres procédés, il a été largement utilisé pour sa capacité à réduire les teneurs en composés antinutritionnels dans les graines, tout en améliorant la concentration et la biodisponibilité de leurs nutriments (Mohammed *et al.*, 2016).

L'objectif de la présente étude est d'évaluer la qualité nutritionnelle des graines germées de sésame cultivées en Côte d'Ivoire en vue de contribuer à leur valorisation alimentaire. Plus précisément, il s'agira de déterminer les compositions biochimique, minérale, phénoliques et en facteurs antinutritionnels.

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL VEGETAL

Les graines de sésame (*Sesamum indicum* L.) utilisées dans cette étude ont été achetées au marché de Méagui, une localité Bakwé du Département de Soubré, dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest).

METHODES

Préparation des farines de sésame

Préparation de la farine de sésame frais

Les graines de sésame ont été soigneusement triées afin d'éliminer les débris végétaux post-récolte et autres corps étrangers. Ensuite, 200 g de graines ont été lavés et séchés à température ambiante (25°C) pendant 48 h, puis broyées pour obtenir de la farine de sésame fraîche. Celle-ci a été conservée dans un bocal hermétiquement fermé pour les éventuelles analyses (Figure 1).

Préparation des farines de sésame germé

Les graines de sésame (1 kg) ont été soigneusement lavées à l'eau du robinet pour éliminer les graines usées et immatures puis trempées pendant 24 h dans 5 L d'eau (ratio 1/5 : p/v) contenus dans un récipient en plastique. Après

trempage, les graines ont été rincées puis étalées sur un tissu (100 % coton) dans une pièce (humidité = 85 % ; température = 28°C). Les graines en germination ont été arrosées une fois par jour durant 4 jours et des échantillons ont été prélevés pour la préparation des farines (Figure 1).

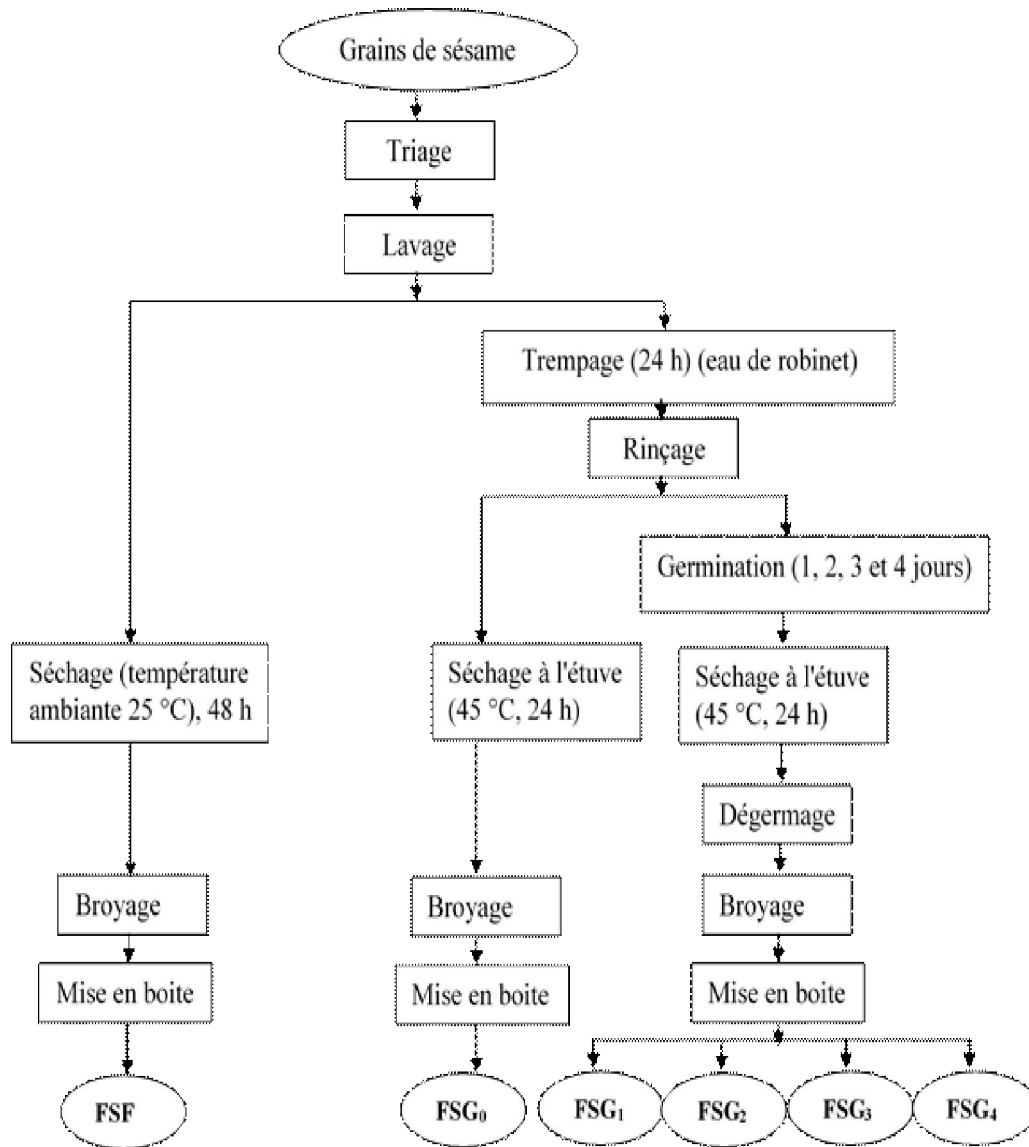


Figure 1 : Diagramme de production des farines de sésame frais et germé.

Production diagram of fresh and sprouted sesame flour.

FSF : Farine de grains de sésame frais ; FSG0 : Farine de grains de sésame trempés pendant 24 h ; FSG1 : Farine de grains de sésame germés pendant 1 jour ; FSG2 : Farine de grains de sésame germés pendant 2 jours ; FSG3 : Farine de grains de sésame germés pendant 3 jours ; FSG4 : Farine de grains de sésame germés pendant 4 jours.

Caractérisation biochimique des farines de sésame

La composition proximale des échantillons a été déterminée selon la méthode AOAC (1990). La teneur en humidité a été déterminée par séchage dans un four à 105°C pendant 24 h jusqu'à un poids constant. La matière sèche a été obtenue par la formule : 100 - Humidité. La teneur en protéines brutes a été calculée à partir des teneurs en azote (Nx6,25) obtenues par la méthode Kjeldahl. La teneur en matière grasse a été déterminée par extraction continue dans un appareil Soxhlet pendant 8 h en utilisant l'hexane comme solvant. La teneur en cendres

a été déterminée en incinérant de la farine (2 g) dans un four à 550°C pendant 6 h, puis en pesant le résidu après refroidissement à température ambiante dans un dessiccateur. Pour les fibres brutes, 2 g d'échantillon ont été digérés avec une solution contenant 50 mL d'acide sulfurique (0,25 N) et 50 mL d'hydroxyde de sodium (0,3 N). Le résidu insoluble obtenu a été lavé avec de l'eau chaude et séché dans un four à 100°C jusqu'à obtention d'un poids constant. Le résidu séché a ensuite été incinéré (à 550°C), puis pesé pour déterminer la teneur en fibres brutes. Quant à la teneur en carbohydrates, elle a été déterminée par calcul selon la méthode de différence suivante :

$$\% \text{ Glucides} = 100 \% - (\% \text{ Humidité} + \% \text{ Protéines} + \% \text{ Matière grasse} + \% \text{ Cendres})$$

Teneur en vitamine C

La teneur en vitamine C des échantillons a été déterminée par titrage (Pongracz, 1971). Vingt (20) g de farine de sésame ont été trempés pendant 10 min dans 40 mL d'une solution d'acide métaphosphorique-acide acétique (2%, p/v). Le mélange a été centrifugé à 3000 rpm pendant 20 min et le surnageant obtenu a été dilué et ajusté avec 50 mL d'eau distillée. Dix (10) mL de ce mélange ont été titrés jusqu'au virage avec du dichlorophénol-indophénol (DCPIP) 0,5 g/L.

Détermination des polyphénols

Les composés phénoliques ont été extraits au méthanol selon la méthode de Singleton *et al.*, (1999). Un (1) g de farine de graines de sésame germées a été suspendu dans 10 mL de méthanol (70 % ; v/v). Le mélange obtenu a été centrifugé à 4200 trs/min pendant 5 min. Le culot a été récupéré dans 10 mL de méthanol (70 % ; v/v) et centrifugé de nouveau. Une troisième extraction a été réalisée dans les mêmes conditions. Les trois (3) surnageants ont été réunis dans une fiole de 50 mL et le volume a été ajusté avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Ce mélange a constitué l'extrait phénolique total.

Détermination du taux de composés phénoliques totaux

Les polyphénols totaux ont été déterminés selon la méthode utilisée par Singleton *et al.*, (1999). Un (1) mL de chaque extrait méthanolique a été

ajouté à 1 mL de réactif de Folin-ciocalteu dans un tube à essai. Le mélange a été homogénéisé par agitation manuelle pendant 2 min à température ambiante, puis laissé reposer sur la paillasse pendant 3 min. Un (1) mL d'une solution aqueuse de carbonate de sodium (20%, p/v) y a été ajouté et le volume a été ajusté à 10 mL avec de l'eau distillée (7 mL), puis placé à l'obscurité pendant 30 min. La lecture de l'absorbance a été faite au spectrophotomètre à 725 nm contre le blanc. La teneur en polyphénols totaux des échantillons a été estimée en utilisant une courbe d'étalonnage de l'acide gallique de concentration allant de $5 \cdot 10^{-2}$ à 10^{-3} mg/mL.

Détermination des tannins

Les teneurs en tanins des farines de sésame ont été quantifiées par la méthode spectrophotométrique de Broadhurst et Jones (1978). Environ 1 mL d'extrait méthanolique a été mélangé avec 5 mL de réactif à la vanilline et le mélange a été laissé à incuber 30 min à température ambiante. Ensuite, l'absorbance a été lue à 500 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. La teneur en tanins des échantillons a été estimée en utilisant une courbe d'étalonnage de l'acide tannique (2 mg/mL) comme standard.

Détermination des flavonoïdes

Les flavonoïdes totaux ont été évalués en utilisant la méthode spectrophotométrique décrite par Meda *et al.*, (2005). Brièvement, 0,5 mL de l'extrait méthanolique a été mélangé avec 0,5 mL de méthanol, 0,5 mL de chlorure d'aluminium

(AlCl_3 10 %, p/v), 0,5 mL d'acétate de potassium (1 M) et 2 mL d'eau distillée, L'absorbance a été mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre à 415 nm après 30 min d'incubation. Les flavonoïdes totaux ont été calculés en utilisant une courbe d'étalonnage de la quercétine (0,1 mg/mL) comme étalon.

Détermination des facteurs anti-nutritionnels

Détermination des phytates

La méthode colorimétrique de Latta et Eskin (1980) a été utilisée pour la détermination de la teneur en phytates. Environ 1 g d'échantillon de farine de sésame a été mélangé avec 20 mL d'acide chlorhydrique (0,65 N) pendant 12 h sous agitation continue. Le mélange a été centrifugé à 12 000 rpm pendant 40 min. Une aliquote (0,5 mL) du surnageant obtenu a ensuite été mélangée à 3 mL de réactif de Wade. Le mélange réactionnel a été incubé pendant 15 min et l'absorbance a été lue à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. La teneur en phytates a été estimée en utilisant une courbe d'étalonnage du phytate de sodium (10 mg/mL) comme standard.

Détermination des oxalates

La méthode titrimétrique décrite par Day et Underwood (1986) a été appliquée pour déterminer la teneur en oxalates. Deux (2) g d'échantillon de farine de sésame ont été pesés dans un bécher de 100 mL. Une quantité (75 mL) de H_2SO_4 (3 M) a été ajoutée et agitée pendant 1 h avec un agitateur magnétique. Le mélange a été filtré à travers du papier Whatman et 25 mL du filtrat ont été titrés à chaud contre une solution de KMnO_4 (0,05 M) jusqu'au virage

Teneur en minéraux

Les minéraux tels que le calcium (Ca), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le magnésium (Mg), le manganèse (Mn), le phosphore (P), le potassium (K), le sodium (Na) et le zinc (Zn) ont été déterminés par la méthode AOAC (1990). Les farines ont été soumises à une digestion acide avec un mélange d'acide perchlorique concentré (11,80 mol/L), d'acide nitrique (14,44 mol/L) et d'acide sulfurique (18,01 mol/L), puis analysées par spectrophotométrie d'absorption atomique (VARIAN, modèle AA - 20).

Analyse statistique

Toutes les mesures ont été effectuées en triple. Les analyses statistiques des données ont été

réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1. Les comparaisons entre les variables dépendantes ont été déterminées en utilisant l'ANOVA à un facteur et le test de Duncan. La signification statistique a été définie à $P < 0,05$.

RESULTATS ET DISCUSSION

COMPOSITION BIOCHIMIQUE DES FARINES DE SESAME FRAÎCHE ET GERME

L'analyse des résultats a montré des différences significatives au seuil de 5% au niveau de la composition biochimique des graines de sésame brutes et germées (Tableau 1).

La matière sèche (MS) a augmenté de manière significative ($P < 0,05$) de 94,93 % dans la farine de sésame frais à 96,48 % dans celle de sésame germé. Au cours du processus de germination, une dégradation considérable des constituants des graines, et une synthèse des constituants de la paroi cellulaire, des protéines structurales, des vitamines et des composés secondaires ont lieu. Ainsi, l'augmentation de MS pourrait s'expliquer par une forte activité enzymatique qui va favoriser l'hydrolyse des macromolécules en éléments simples facilement assimilables par le germe pendant la germination. Après le premier jour de germination, une diminution significative ($P < 0,05$) de la MS est observée. Ceci serait due à une intense respiration cellulaire et à la biogenèse des mitochondries (Tian *et al.*, 2010). Pendant cette période, les substances de réserve sont dégradées et généralement utilisées pour la respiration et la synthèse de nouvelles cellules afin d'assurer le développement de l'embryon (Joshi et Varma, 2016). L'augmentation de la teneur en MS entraîne par conséquent une diminution de la teneur en eau des farines ; ce qui améliorerait leur durée de conservation en empêchant la croissance des micro-organismes au cours de la conservation et la détérioration due aux attaques des insectes et des champignons (Rizki *et al.*, 2015).

La teneur en protéines de la farine de sésame frais (FSF) a augmenté de 21,88 % à 24,30 % après 2 jours de germination (FSG₂), puis a diminué à la fin de la germination (FSG₄). L'augmentation du taux de protéines pourrait être liée à l'activation des enzymes métaboliques telles que les protéinases au cours de la germination. Leur action hydrolytique conduit à la libération de certains acides aminés et peptides dont la synthèse ou l'utilisation conduirait à la formation de nouvelles protéines (Bau *et al.*, 1997). Cela pourrait aussi

être dû à la décomposition de certains constituants non protéiques pour la synthèse d'acides aminés indispensables aux activités biochimiques et de croissance du germe (Ijarotimi, 2012 ; Mora-Lopez *et al.*, 2018). En effet, des études ont montré que la teneur en protéines des grains germés augmente suite à la dégradation des glucides et de la matière grasse (Chinma *et al.*, 2009 ; Devi *et al.*, 2015). La teneur relativement élevée en protéines confère un avantage nutritionnel aux farines de sésame germé et en fait une source importante de protéines qui peut être utilisée pour enrichir d'autres aliments. Toutefois, après le second jour de germination, la diminution significative du taux de protéines observée pourrait être due à leur utilisation au cours de la germination. En effet, les protéines sont hydrolysées par les protéases actives en éléments simples (peptides et acides aminés) facilement assimilables par le germe pour assurer son développement vers l'autotrophie (Nonogaki *et al.*, 2010). En somme, pour disposer d'une teneur élevée en protéines dans la farine de sésame, il est conseillé de ne pas faire germer les graines au-delà de 2 jours.

La teneur en lipides des graines de sésame était de 55,25 % dans la farine de sésame frais (FSF) et de 51,42 % dans la farine de sésame germé pendant 4 jours (FSG₄). Ces valeurs ont diminué de manière significative ($P < 0,05$) avec l'augmentation du temps de germination. Cette diminution serait liée aux changements biochimiques et physiologiques survenant au cours de la germination. En effet, les lipides ont été utilisés comme la principale source de carbone pour la croissance des graines (Bau *et al.*, 1997 ; Joshi et Varma, 2016). Par conséquent, la diminution de la teneur en matière grasse observée dans les graines de sésame pourrait être attribuée à l'augmentation des activités des enzymes lipolytiques pendant la germination. Ces enzymes hydrolysent les lipides en acides gras libres et en glycérol pour la synthèse des glucides.

La teneur en cendres a augmenté de manière significative ($P < 0,05$) pendant la germination de 4,85 % (pour la farine FSF) à 5,25 % (pour la farine FSG₁) ; ce qui indique que la germination, en particulier durant 24 h, serait une bonne méthode pour augmenter la teneur en cendres de la farine de sésame. Cette augmentation serait due à l'hydrolyse enzymatique des composés organiques complexés pour libérer plus de

nutriments. Pendant la germination, il y a une activation des phytases qui vont hydrolyser les phytates et libérer les minéraux dans les graines (Azeke *et al.*, 2010). En effet, les phytates sont des chélateurs de minéraux qui forment ainsi des complexes indigestes pour l'homme, ce qui réduit leur biodisponibilité. De plus, au cours de la germination, l'augmentation de la teneur en cendres est corrélée à la teneur en matière sèche et varie proportionnellement.

La teneur en fibres brutes diminue significativement ($P < 0,05$) lorsque le temps de germination augmente. Cela serait dû au fait qu'une partie des fibres de la graine peut être solubilisée par voie enzymatique pendant la germination. En effet, au cours de la germination, une dégradation partielle des hydrates de carbone de la paroi cellulaire peut se produire et par conséquent, le contenu en hydrates de carbone structurels tels que la lignine et la cellulose peut être affecté négativement avec le temps de germination (Shirvani *et al.*, 2016).

Des différences significatives ($P < 0,05$) ont été également observées entre les teneurs en glucides (11,25 à 19,93 %) des farines de graines de sésame fraîches et germées. Cette diminution des glucides pourrait être due à leur utilisation au cours du métabolisme cellulaire. En effet, selon Vidal-Valverde *et al.*, (2002), le germe utilise les glucides comme source d'énergie indispensables à son développement. Cette dégradation est la conséquence de l'activation des enzymes au cours du trempage des grains. Les travaux de Tian *et al.* (2010) confirment cette hypothèse en montrant une augmentation de l'activité de la α -amylase, enzyme qui hydrolyse l'amidon. L'amidon et d'autres constituants glucidiques contenus dans les grains sont ainsi dégradés en élément simple (glucose, fructose et saccharose) pour fournir l'énergie nécessaire à la division cellulaire pendant la croissance du germe (Nonogaki *et al.*, 2010). Cette même diminution du taux de glucides de la farine (FSG₂) pourrait s'expliquer par sa teneur en protéines car la détermination des glucides a été obtenue par calcul (méthode de différence). Par ailleurs, l'augmentation des glucides dans les farines FSG₃ et FSG₄ serait probablement due à la dégradation des lipides (sous l'action des lipases dont l'activité a été mise en évidence ici, dès le début de la germination des grains de sésame) pour la synthèse des glucides (Mora-Lopez *et al.*, 2018).

COMPOSES PHYTOCHIMIQUES ET VITAMINE C DES FARINES DE SESAME

Le tableau 1 montre la présence de la vitamine C dont la teneur augmente significativement ($P < 0,05$) de 2,60 (FSG₀) à 20,92 mg/100g MS (FSG₄) pendant la durée de germination. En effet, l'acide ascorbique est directement impliqué dans la modulation de la croissance des plantes, y compris au stade précoce de la germination des embryons (Shirvani *et al.*, 2016). L'augmentation de la vitamine C au cours de la germination des graines de sésame serait due à une synthèse de l'acide ascorbique comme rapportée par Devi *et al.*, (2015). Les travaux de Xu *et al.*, (2005) ont également montré que l'activité de la L-Galactono- α -lactone déshydrogénase (GLDH, EC1.3.2.3), une enzyme qui catalyse l'oxydation de la L-galactono-1,4-lactone en acide ascorbique, augmente au cours de la germination. Cette augmentation pourrait être attribuée à l'augmentation de la respiration cellulaire car selon Sangronis et Machado (2007), le processus respiratoire est déclenché par

l'acide ascorbique au cours de la germination. Ce résultat est similaire à celui de Devi *et al.*, (2015) sur la germination du niébé *Vigna unguiculata*.

Une augmentation significative ($P < 0,05$) a été également observée entre le niveau des composés phénoliques des farines de graines de sésame pendant la germination (Tableau 1). Ceci serait dû au fait qu'au cours de la germination, il y a une reprise d'activité du grain qui entraîne une importante consommation d'oxygène. Il s'ensuit la formation de radicaux libres appelés espèces réactives de l'oxygène (ROS) toxiques pour la plante (Mora-Lopez *et al.*, 2018). Ainsi, les composés phénoliques interviennent pour protéger les cellules contre le stress induit par l'oxydation de ces radicaux libres (Shirvani *et al.*, 2016) à partir de leur biosynthèse enzymatique (phénylalanine ammonia-lyase) (Diaz-Sanchez *et al.*, 2018). Cela expliquerait l'augmentation des composés phénoliques au cours de la germination des grains de sésame, augmentant ainsi le pouvoir antioxydant de ces farines.

Tableau 1 : Effet de la germination sur les propriétés biochimiques des farines de sésame frais et germé.
Effect of sprouting on the biochemical properties of fresh and sprouted sesame flour.

Paramètres	Farines					
	FSF	FSG ₀	FSG ₁	FSG ₂	FSG ₃	FSG ₄
Matière sèche (%)	94,93±0,13 ^a	95,81±0,18 ^b	96,48±0,15 ^c	95,47±0,27 ^b	95,46±0,48 ^b	94,70±0,33 ^a
Protéines (%)	21,88±0,12 ^d	21,83±0,05 ^d	21,24±0,18 ^c	24,30±0,20 ^e	20,75±0,18 ^b	18,40±0,10 ^a
Lipides (%)	55,25±0,05 ^d	57,8±0,18 ^f	55,7±0,04 ^e	54,25±0,03 ^c	52,89±0,14 ^b	51,42±0,06 ^a
Cendres (%)	4,85±0,07 ^{a,b}	4,93±0,05 ^b	5,25±0,02 ^c	4,75±0,02 ^a	4,83±0,05 ^{a,b}	4,95±0,7 ^b
Fibres (%)	5,98±0,01 ^f	5,74±0,04 ^e	5,44±0,04 ^d	5,34±0,00 ^c	4,73±0,02 ^b	4,28±0,01 ^a
Glucides (%)	12,96±0,09 ^c	11,25±0,34 ^a	14,29±0,19 ^d	12,17±0,31 ^b	17,99±0,32 ^e	19,93±0,14 ^f
Vitamine C (mg/100g MS)	0,00±0,00 ^a	2,60±0,82 ^b	6,78±0,51 ^c	13,81±0,61 ^d	24,31±0,82 ^e	20,92±0,55 ^f
Polyphénols totaux (mg/100g MS)	342,94±4,23 ^a	537,82±5,87 ^b	561,57±5,00 ^c	586,02±6,74 ^d	811,76±8,42 ^e	874,34±8,49 ^f
Tanins (mg/100g MS)	229,52±4,37 ^a	265,21±4,23 ^b	268,24±1,78 ^b	284,56±5,40 ^c	368,28±3,34 ^d	445,07±2,23 ^e
Flavonoïdes (mg/100g MS)	6,45±0,17 ^a	11,92±0,29 ^b	19,56±0,41 ^d	18,77±0,27 ^c	20,75±0,17 ^e	25,29±0,31 ^f

Les moyennes de la même colonne portant en exposant des lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$ selon le test statistique.

FSF : Farine de grains de sésame frais ; FSG₀ : Farine de grains de sésame trempés pendant 24 h ; FSG₁ : Farine de grains de sésame germés pendant 1 jour ; FSG₂ : Farine de grains de sésame germés pendant 2 jours ; FSG₃ : Farine de grains de sésame germés pendant 3 jours ; FSG₄ : Farine de grains de sésame germés pendant 4 jours.

COMPOSES ANTINUTRITIONNELS DES FARINES DE SESAME

La teneur en phytates dans cette étude a diminué de manière significative ($P < 0,05$) de 134,66 pour le sésame frais (FSF) à 48,96 mg/100g MS pour le sésame germé pendant 4 jours (FSG₄) (Figure 2). La diminution de la teneur en phytates pourrait être attribuée initialement à la lixiviation dans l'eau de trempage. En effet, lors du trempage des graines, les ions phytates sont diffusés dans l'eau de trempage sous l'influence du gradient de concentration qui régit la vitesse de diffusion (Mohammed *et al.*, 2016). Plusieurs études ont rapporté que cette diminution est due à l'activation des phytases intrinsèques présentes dans les graines et à l'augmentation de leur activité pendant la germination (Azeke *et al.*, 2010). Les phytases hydrolysent le phytate en phosphate et en phosphates de myo-inositol pendant la germination de ces graines. De plus, la diminution du contenu en phytate peut être due à l'action de la phytase néo-synthétisée en plus d'autres protéines (Azeke *et al.*, 2010). Les phytates représentent environ 89 % du phosphore total dans les graines alimentaires. Par conséquent, leur hydrolyse pendant la germination des graines

de sésame augmenterait les niveaux de phosphore.

La germination des graines de sésame a entraîné une réduction significative ($P < 0,05$) de la teneur en oxalates des farines (Figure 2). La réduction maximale est observée après le trempage des graines de sésame pendant 24 h avant de procéder à la germination. Cette réduction pourrait être attribuée à la lixiviation pendant l'hydratation (Makinde et Akinoso, 2013), car 50 - 75 % des oxalates sont présents sous forme hydrosoluble (Noonan et Savage, 1999). Après le trempage et pendant la germination, une augmentation du niveau d'oxalates de 104,12 à 165,98 mg/100g MS est observée. Cette augmentation peut être due à la biosynthèse de l'oxalate dans les graines pendant la germination. En effet, des études ont indiqué que la photorespiration contribue à la biosynthèse des oxalates (Noonan et Savage, 1999). Par ailleurs, l'oxalate (acide oxalique) intervient dans le métabolisme des glucides, des lipides et des protéines, d'autant plus que ses précurseurs (glycolate, glyoxylate, oxaloacétate et citrate) sont impliqués dans différents cycles métaboliques (Briens, 1978). L'oxalate est également impliqué dans le système de défense des plantes, ce qui explique l'augmentation des taux lors de la germination.

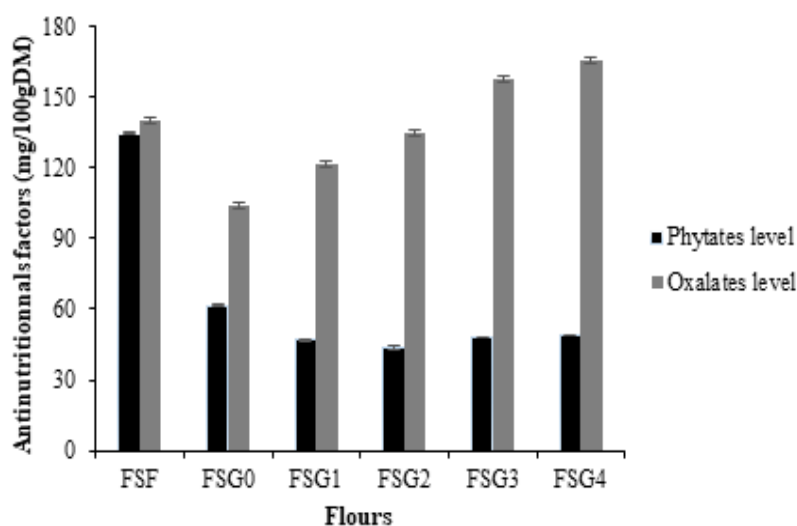


Figure 2 : Teneurs en oxalates et phytates des farines de grains de sésame au cours de la germination.

Oxalate and phytate content of sesame seed flours during germination.

Les moyennes des histogrammes surmontés de lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$ selon le test statistique. FSF : Farine de grains de sésame frais ; FSG0 : Farine de grains de sésame trempés pendant 24 h ; FSG1 : Farine de grains de sésame germés pendant 1 jour ; FSG2 : Farine de grains de sésame germés pendant 2 jours ; FSG3 : Farine de grains de sésame germés pendant 3 jours ; FSG4 : Farine de grains de sésame germés pendant 4 jours.

COMPOSITION MINÉRALE DE LA FARINE DE SESAME FRAIS ET GERME

Les teneurs en minéraux des farines de graines de sésame crues et germées variaient de manière significative ($P < 0,05$) comme indiqué dans le tableau 2. Ces résultats montrent que les teneurs en minéraux des farines de graines de sésame germées sont plus élevées que celles de l'échantillon de sésame brut. Cette observation pourrait être attribuée à la biosynthèse pendant le processus de germination (Ijarotimi, 2012). Les farines de graines de sésame ivoirien étudiées représenteraient des sources potentielles en minéraux et notamment en calcium, potassium, phosphore, sodium et magnésium, dont la rareté constitue un problème de santé publique. En effet, le potassium (498,75 - 1154,51 mg/100g) s'est révélé être le minéral prédominant, suivi du phosphore (290,84 - 331,17 mg/100g) et du calcium (70,07-166,36 mg/100g). Les teneurs en potassium et en calcium ont augmenté pendant 2 jours de germination (FSG₂) avant de diminuer. Cependant, après 4 jours de germination (FSG₄), ces valeurs sont restées supérieures à

celles du sésame frais (FSF). Le sésame après germination pourrait servir de bonne source de potassium et de calcium. La teneur en phosphore a augmenté jusqu'au 3^{ème} jour de germination, car la translocation du phosphate joue un rôle important dans le métabolisme des graines de sésame pendant la germination (Hahm *et al.*, 2009).

Les micronutriments, tels que le fer (1,98 à 10,72 mg/100g), le cuivre (2,62 à 8,79 mg/100g) et le zinc (0,95 à 3,14 mg/100g) sont des composants essentiels de la défense antioxydante du corps, qui joueraient un rôle important dans la prévention des dommages induits par les radicaux libres. Les résultats ont également montré que les valeurs de ces micronutriments augmentaient pendant la germination. Cela pourrait s'expliquer par leur implication dans diverses réactions. En effet, le fer et le cuivre sont impliqués dans le transport de l'oxygène dans les cellules, tandis que le zinc participe aux réactions enzymatiques. Notons que dans cette étude, la technique de germination a amélioré la composition minérale des échantillons de farine des graines de sésame. La plupart des minéraux quantifiés ont des teneurs plus élevées à 2 jours de germination.

Tableau 2 : Effet de la germination sur la composition minérale les farines de sésame frais et germé.
Effect of sprouting on the mineral composition of fresh and sprouted sesame flours.

Minéraux	Farines					
	FSF	FSG ₀	FSG ₁	FSG ₂	FSG ₃	FSG ₄
Mn	6,00±0,07 ^c	3,87±0,04 ^b	13,01±0,14 ^e	6,61±0,11 ^d	4,00±0,00 ^b	3,23±0,18 ^a
Na	14,07±0,13 ^a	21,83±0,18 ^c	15,64±0,15 ^a	17,24±0,20 ^{a,b}	31,73±3,75 ^d	21,00±1,41 ^{b,c}
K	544,81±1,36 ^b	498,75±0,50 ^a	652,99±4,35 ^d	1154,51±6,82 ^f	855,74±9,73 ^e	560,17±3,30 ^c
Mg	12,62±0,08 ^a	12,49±0,48 ^a	13,38±0,27 ^b	13,35±0,21 ^b	13,47±0,08 ^b	13,52±0,12 ^b
Cu	2,62±0,01 ^a	3,89±0,06 ^c	2,76±0,00 ^a	3,57±0,00 ^b	6,70±0,14 ^d	8,79±0,04 ^e
Zn	0,95±0,01 ^b	0,18±0,00 ^a	1,69±0,00 ^c	3,14±0,20 ^e	2,91±0,11 ^d	1,52±0,04 ^c
P	293,39±2,74 ^a	307,83±2,36 ^b	290,84±0,97 ^a	313,92±5,54 ^b	331,17±2,36 ^c	293,52±6,11 ^a
Fe	1,98±0,01 ^a	3,35±0,87 ^b	7,71±0,06 ^d	10,72±0,62 ^e	5,80±0,07 ^c	2,95±0,07 ^{a,b}
Ca	70,07±0,11 ^a	77,79±0,20 ^c	91,03±0,70 ^d	166,36±1,17 ^f	134,55±0,29 ^e	75,82±0,95 ^b

Les moyennes de la même colonne portant en exposant des lettres différentes sont significativement différentes à P<0,05 selon le test statistique.
 FSF : Farine de grains de sésame frais ; FSG₀ : Farine de grains de sésame trempés pendant 24 h ; FSG₁ : Farine de grains de sésame germés pendant 1 jour ; FSG₂ : Farine de grains de sésame germés pendant 2 jours ; FSG₃ : Farine de grains de sésame germés pendant 3 jours ; FSG₄ : Farine de grains de sésame germés pendant 4 jours.

CONCLUSION

L'objectif général de cette étude est de contribuer à la valorisation alimentaire des graines de sésame (*Sesamum indicum* L.) par l'amélioration de la qualité nutritionnelle des farines dérivées. Au terme de cette étude, il ressort que la germination est une technique simple pour améliorer la qualité nutritive des farines de sésame.

La germination a réduit les taux d'humidité et de lipides des farines, engendrant ainsi une longue durée de conservation. Elle a aussi augmenté les taux de protéines et de glucides, puis a amélioré le pouvoir antioxydant des farines en augmentant leurs teneurs en composés phénoliques et vitamine C. La baisse des teneurs en facteurs antinutritionnels a contribué à accroître la teneur en minéraux, améliorant ainsi leur biodisponibilité. Les temps de germination qui ont permis une meilleure optimisation de la qualité des farines sont de 1 à 2 jours.

REFERENCES

- Agiang M. A., I. B. Umoh, A. I. Essien and M. U. Eteng. 2010. Nutrient changes and antinutrient contents of beniseed and beniseed soup during cooking using a Nigerian traditional method. *Pak. J. Biol. Sci.* 13 (20) : 1011 - 1015.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of Analysis*, 14th edition, Washington, DC, USA, 150 p.
- Azeke M. A., S. J. Egielewa, M. U. Eigbogbo, I. G. Ihimire. 2011. Effect of germination on the phytase activity, phytates and total phosphorus contents of rice (*Oryza sativa*), maize (*Zea mays*), millet (*Panicum miliaceum*), sorghum (*Sorghum bicolor*) and wheat (*Triticum aestivum*). *J. Food. Sci. Technol.* 48 (6) : 724 - 729.
- Bau H-M., C. Villaume, J-P. Nicolas and L. Me-Jean. 1997. Effect of germination on chemical composition, biochemical constituents and antinutritional factors of soya bean (*Glycine max*) seeds. *J. Sci. Food Agric.* 73 : 1 - 9.
- Briens M. 1978. Biogénèse de l'acide oxalique chez *Suaeda macrocarpa* Moq., *Bull. Soc. Bot. France. Act. Bot.* 125 (3 - 4) : 215 - 221.
- Broadhurs R. B. and W. T. Jones. 1978. Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. *J. Sci. Food Agric.* 29 (9) : 788 - 794.
- Brou K., K. S. A. Kouamé, A. Dadié, K. M. Djè and D. Gnakri. 2008. Biochemical changes occurring during germination and fermentation of millet and effect of technological processes on starch hydrolysis by the crude enzymatic extract of millet. *J. Appl. Sci. Res.* 4 (11) : 1502 - 1510.
- Chinma C. E., O. Adewuyi and J. O. Abu. 2009. Effect of germination on the chemical, functional and pasting properties of flour from brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Food Res. Int.* 42 (8) : 1004 - 1009.
- Day R. A. and A. L. Underwood. 1986. *Quantitative Analysis*. 5th ed., Prentice-Hall Publication, London, 701 p.
- Devi C. B., A. Kushwaha and A. Kumar. 2015. Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*). *J. Food. Sci. Technol.* 52 (10) : 6821 - 6827.
- Diaz-Sanchez E. K., D. Guarjardo-Flores, D. Serna-Guerrero, J. A. Gutiérrez-Urbe and D. A. Jacobo-Velazquez. 2018. The application of chemical elicitors improves the flavonoid and saponin profiles of black beans after soaking. *Rev. Mex. Ing. Quim.* 17 (1) : 123 -130.
- Dicko M. H., H. Gruppen, O. C. Zouzouho, A. S. Traore, W. J. H. Van Berkel, A. G. J. Voragen. 2006. Effect of germination on the activities of amylases and phenolic enzymes in sorghum varieties grouped according to food end - use properties. *J. Sci. Food Agric.* 86 : 953 - 963.
- Elleuch M., S. Besbes, O. Roiseux, C. Blecker and H. Attia. 2007. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chem.* 103 (2) : 641 - 650
- Hahm T. S., S. J. Park and Y. Martin. 2009. Effects of germination on chemical composition and functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds. *Biores. Technol.* 100 (4) : 1643 - 1647.
- Ijarotimi O. S. 2012. Influence of germination and fermentation on chemical composition, protein quality and physical properties of wheat flour (*Triticum aestivum*). *J. Cereals Oilseeds.* 3 (3) : 35 - 47.
- Joshi P. and K. Varma. 2016. Effect of germination and dehulling on the nutritive value of soybean. *Nutr. Food Sci.* 46 (4) : 595 - 603.
- Latta M. and M. Eskin. 1980. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. *J. Agric. Food Chem.* 28 (6) : 1313 - 1315.

- Makinde F.M. and R. Akinoso. 2013. Nutrient composition and effect of processing treatments on anti nutritional factors of Nigerian sesame (*Sesamum indicum* Linn) cultivars. *Int. Food Res. J.* 20 (5) : 2293 - 2300.
- Meda A., C. E. Lamien, M. Romito, J. Millogo and O. G. Nacoulma. 2005. Determination of total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Faso honeys as well as well as their radical scavenging activity. *Food Chem.* 91 (3) : 571 - 577.
- Mohammed M. A., E. A. Mohamed, A. E. A. Yagoub, A. R. Mohamed and E. E. Babiker. 2016. Effect of processing methods on alkaloids, phytate, phenolics, antioxidants activity and minerals of newly developed lupin (*Lupinus albus* L.) cultivar. *J. Food Process Preserv.* 41 (1) : 1 - 9.
- Mora-Lopez G. S., J. Lopez-Cervantes, R. Gutiérrez-Dorado, E. O. Cuevas-Rodriguez, J. Milan-Carrillo, D. I. Sanchez-Machado and C. Reyes-Moreno. 2018. Effect of optimal germination conditions on antioxydant activity, phenolic content and fatty acids and amino acids profiles of *Moringa oleifera* seeds. *Rev. Mex. Ing. Quim.* 17 (2) : 547 - 560.
- Nonogaki H., G. W. Bassel and D. J. Bewley. 2010. Germination-Still a mystery. *Plant. Sci.* 179 (6) : 574 - 581.
- Noonan S. C. and G. P. Savage. 1999. Oxalate content of foods and its effect on humans. *Asia. Pac. J. Clin. Nutr.* 8 (1) : 64 - 74.
- Pongracz G., H. Weiser and D. Matzinger. 1971. Tocopherols-Antioxydant. *Fat. Sci Technol.* 97 : 90 - 104.
- Rizki H., F. Kzaiber, M. Elharfi, A. Nablousi and H. Hanine. 2015. Chemical composition and morphological markers of 35 cultivars of sesame (*Sesamum indicum*. L) from different areas in Morocco. *IJTEEER.* 3 (1) : 50 - 55.
- Sangronis E. and C. J. Machado. 2007. Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *LWT-Food. Sci. Technol.* 40 (1) : 116 - 120.
- Shirvani A., M. Jafari, S. A. H. Goli, N. S. Tehrani and M. Rahimmale. 2016. The changes in proximate composition, antioxidant activity and fatty acid profile of germinating safflower (*Carthamus tinctorius*) seed. *J. Agr. Sci. Tech.* 18 (20) : 1967 - 1974.
- Singleton V. L., R. Orthofer and R. M. LamuelaRaventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxydant substrates and antioxydants by means of FolinCiocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299 (1) : 152 - 178.
- Tian B., B. Xie, J. Shi, J. Wu, Y. Cai, T. Xu, S. Xue and Q. Deng. 2010. Physicochemical changes of oat seeds during germination. *Food Chem.* 119 : 1195 - 1200.
- Vidal-Valverde C., J. Frias, I. Sierra, I. Blazquez, F. Lambein and Y-H. Kuo. 2002. New functional legume foods by germination: effect on the nutritive value of beans, lentils and peas. *Eur. Food Res. Technol.* 215 : 472 - 477.
- Xu M-J., J-F. Dong and M-Y. Zhu. 2005. Effects of germination conditions on ascorbic acid level and yield of soybean sprouts. *J. Sci. Food. Agric.* 85 (6) : 943 - 947.
- Yaacoub R. 2009. Nutritional and sanitary impact of nuts and seeds roasting: the interest of using fluorescence spectroscopy as a tool to control neoformed compounds. Thèse de doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Paris, France. 338 p.