

## JOURNAL OF OASIS AGRICULTURE AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT

www.joasdjournal.org



p-ISSN: 2724 – 699X  
e-ISSN: 2724-7007

### Développement d'une nouvelle saucisse de dromadaire: Effet de l'incorporation d'éleusine (*Eleusine coracana* L.) sur la qualité sensorielle et la stabilité

### Development of a new camel sausage: Effect of incorporation of finger millet (*Eleusine coracana* L.) on sensory quality and stability

Kamel Hajlaoui<sup>1,2</sup>, Ola Abdelhedi<sup>1</sup>, Ali Salem<sup>1</sup>, Nahed Fakhfakh<sup>3</sup>, Nacim Zouari<sup>3\*</sup> & Mourad Jridi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Jendouba, Institut Supérieur de Biotechnologie de Beja, Laboratoire de Physiologie Fonctionnelle et Valorisation des Bio-ressources, LR23ES08, 9000, Béja, Tunisie

<sup>2</sup> Société de Production Agricole Teboulba (société MLIHA), Ksour Essaf, 5127, Mahdia, Tunisie

<sup>3</sup> Université de Gabès, Institut Supérieur de Biologie Appliquée de Médenine, 4119, Médenine, Tunisie

#### Article info

Histoire :  
Reçu : 29 Décembre 2023  
Accepté : 28 Janvier 2024

Mots-Clés : Saucisse de dromadaire, éleusine, qualité sensorielle, stabilité oxydative, pigments héminiques, texture.

#### Résumé

Cette étude vise à développer une nouvelle saucisse à base de la viande de dromadaire qui s'aligne avec les « allégations santé » visant à réduire la consommation de viandes rouges conventionnelles. L'impact de la substitution de la fécule de pomme de terre, généralement utilisée comme agent liant dans les produits charcutiers, par la farine intégrale d'éleusine provenant de l'oasis de Chenini-Gabès a été également examiné. L'analyse de la composition de la farine d'éleusine a révélé une teneur élevée en carbohydrates (70,19%), dont 11,5% de fibres alimentaires, 13,53% de protéines, 2,75% de cendres, 1,81% de lipides et 0,25% de composés phénoliques. L'éleusine améliore la qualité de la saucisse de dromadaire en préservant ses caractéristiques sensorielles, texturales, la couleur, les pigments héminiques et en limitant l'oxydation des lipides pendant 21 jours de stockage réfrigéré. Ces résultats suggèrent que l'éleusine pourrait être un substitut prometteur à la fécule de pomme de terre dans la fabrication de saucisses, encourageant ainsi la poursuite des recherches pour explorer ses applications potentielles dans l'industrie alimentaire.

\* Auteur correspondant :  
nacim.zouari@isbam.rnu.tn

#### Article info

Article history:  
Received: 29 December 2023  
Accepted: 28 January 2024

Keywords: Camel sausage, finger millet, sensory quality, oxidative stability, heme pigments, texture.



Copyright©2024 JOASD

\* Corresponding author:  
nacim.zouari@isbam.rnu.tn

**Conflict of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

#### Abstract

This study aims to develop a novel sausage made from camel meat in line with the actual « health claims » trend aimed at reducing the consumption of conventional red meat. The impact of replacing potato starch, generally used as a binding agent in charcuterie products, with whole finger millet flour (from Chenini-Gabès oasis) was also examined. Analysis of the composition of finger millet flour revealed a high content of carbohydrates (70.19%) including 11.5% dietary fiber, 13.53% protein, 2.75% ash, 1.81% lipids and 0.25% phenolic compounds. The study also showed that finger millet enhanced the quality of camel sausage by preserving sensory and textural characteristics, color, heme pigments and by limiting lipid oxidation during 21 days of refrigerated storage. These results suggest that finger millet flour could be a promising substitute for potato starch in sausage making, encouraging further research to explore its potential applications in the food industry.

## 1. INTRODUCTION

L'éleusine (*Eleusine coracana* L.), également connue sous le nom de millet de doigt, est largement cultivé dans diverses régions d'Afrique et d'Inde. Il représente un aliment de base pour une grande proportion de la population de ces pays. C'est une céréale résistante face aux conditions climatiques difficiles, ainsi qu'aux attaques d'insectes et de ravageurs (Chandra et al., 2016 ; Basson et al., 2021). En Tunisie, elle est très cultivée dans les oasis de Gabès, où elle est connue sous le nom de « Bechna ». Les fibres, minéraux, composés phénoliques et vitamines concentrés dans la couche externe du grain offrent ses bienfaits nutritionnels et physiologiques (Patil et al., 2023). En effet, elle possède plusieurs propriétés bénéfiques pour la santé, notamment des propriétés anti-hypercholestérolémiantes, antioxydantes, antimicrobiennes et antidiabétiques. Principalement, cette céréale inhibe l'amylose pancréatique intestinale et l' $\alpha$ -glucosidase, ce qui aide à réguler l'hyperglycémie postprandiale. Ainsi, la consommation régulière d'éleusine comme aliment de base aidera à mieux gérer le diabète de type 2 (Patil et al., 2023). Cependant, les études sur l'utilisation de l'éleusine dans le développement de produits alimentaires industriels sont encore limitées. En fait, en se basant sur ses propriétés techno-fonctionnelles, l'intégration de la farine d'éleusine dans la composition de certains produits alimentaires très répandus vise à favoriser le développement et l'exploitation de sa culture.

La viande de dromadaire (*Camelus dromedarius*) est perçue comme une option alternative aux viandes rouges classiques. Du fait que le dromadaire stocke la majorité de sa graisse dans sa bosse, sa viande est ainsi considérée comme maigre, présentant une valeur calorique inférieure par rapport aux autres viandes rouges. De plus, elle renferme une proportion moindre d'acides gras saturés, ainsi qu'une teneur plus élevée d'acides gras mono-insaturés et polyinsaturés. Par ailleurs, la viande de dromadaire est consommée pour traiter des affections telles que l'hyperacidité, l'hypertension, les troubles respiratoires, et même comme un stimulant aphrodisiaque (Baba et al., 2021 ; Djenane & Aider, 2024). Ainsi, la viande de dromadaire, s'aligne avec la tendance croissante des « allégations santé » visant à réduire la consommation de viandes rouges et de graisses animales (Ayyash et al., 2019 ;

Popova et al., 2021). D'un autre côté, le dromadaire est bien adapté aux conditions arides grâce à des mécanismes physiologiques et métaboliques lui permettant de résister à des ressources pastorales de faible valeur nutritive, à une disponibilité limitée d'eau, ainsi qu'aux conditions de chaleur et de sécheresse. Par conséquent, le dromadaire a la capacité de produire de la viande à un coût moindre que les bovins et les moutons. Actuellement, des investigations multidisciplinaires sont en cours dans de nombreux pays pour développer des systèmes de production de viandes camelines, et améliorer les processus de leurs transformations et commercialisation (Djenane et al., 2020). En Tunisie, la consommation de la viande de dromadaire est limitée dans les régions éloignées aux zones d'élevages en milieu aride et semi-aride. Par conséquent, avec la demande croissante pour cette viande, il s'est avéré nécessaire d'explorer des solutions de sa transformation.

En Tunisie, les saucisses fraîches (*Salami*) sont produites à partir de la viande séparée mécaniquement de volailles ou de la viande de bœuf. Donc, le développement de saucisses à base de la viande cameline peut constituer une contribution précieuse à la croissance de la consommation de cette viande. Les recherches sur la production de saucisses à partir de la viande cameline sont limitées. Ainsi, l'objectif de cette étude, menée en collaboration avec la société MLIHA (Mahdia, Tunisie), est de développer une saucisse à base de la viande de dromadaire. En outre, la farine d'éleusine a été choisie comme étant un agent liant pour remplacer la fécule de pomme de terre couramment utilisée dans les produits charcutiers. Dans un premier temps, une analyse de la composition chimique et des propriétés techno-fonctionnelles de la farine intégrale d'éleusine a été réalisée. Ensuite, l'étude s'est concentrée sur les propriétés sensorielles et texturales et le suivi de la stabilité du nouveau produit formulé.

## 2. MATERIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Réactifs chimiques

Tous les produits chimiques utilisés sont de qualité analytique et ont été fournis par Sigma-Aldrich (Saint-Quentin-Fallavier, France).

### 2.2. Matériel végétal

Les graines d'éleusine (*Eleusine coracana* L.) ont été fournies par un agriculteur de l'oasis de

Gabès. Les graines d'éleusine ont été broyées à l'aide d'un broyeur mécanique jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène qui a été tamisée et stockée à température ambiante dans un endroit sec jusqu'à son utilisation (Fig. 1).

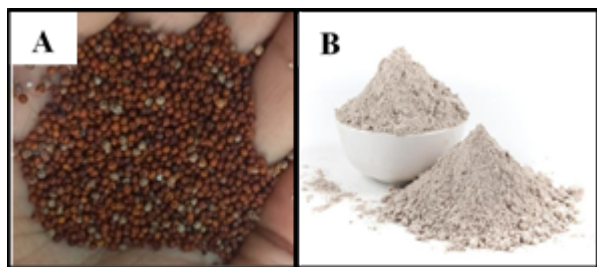


**Fig. 1.** (A) Graines d'éleusine (*Eleusine coracana* L.) ; (B) Poudre d'éleusine.

**Fig. 1.** (A) Finger millet seeds (*Eleusine coracana* L.); (B) Finger millet powder.

## 2.3. Caractérisation de la farine d'éleusine

### 2.3.1. Analyse de la composition physico-chimique

Les teneurs en humidité, protéines, lipides, carbohydrates et cendres ont été déterminé selon les méthodes standard de l'A.O.A.C. (1995). La teneur en fibres alimentaires a été déterminée selon la méthode enzymatique gravimétrique comme décrit précédemment par Prosky et al. (1988).

### 2.3.2. Dosage des composés phénoliques et activité anti-radicalaire

Au début, la farine d'éleusine a été traitée à l'aide d'un mélange de solvants éthanol/eau (1/1, v/v). La poudre (5 g) a été macérée dans 100 ml du solvant dans un erlenmeyer fermé et agitée à 200 rpm pendant 12 h. Ensuite, le macérât a été filtré à l'aide d'un papier Whatman n°1. La même procédure a été répétée deux fois avec le résidu obtenu, puis l'extract a été lyophilisé et conservé à l'obscurité à +4°C jusqu'à une analyse ultérieure. Les composés phénoliques ont été mesurés en utilisant la méthode de Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999) et leur teneur a été exprimée en mg d'équivalent d'acide gallique/100 g de farine d'éleusine (mg d'EAG/100 g). L'activité anti-DPPH• a été mesurée comme décrit précédemment par Zouari et al. (2011), et elle est exprimée par la valeur CI<sub>50</sub> définie comme étant la concentration

d'extract d'éleusine nécessaire pour inhiber 50% des radicaux DPPH•.

### 2.3.3. Propriétés techno-fonctionnelles

La capacité de rétention d'eau (CRE) a été exprimée en g d'eau/100 g de farine d'éleusine et la capacité de rétention d'huile (CRH) a été exprimée en g d'huile/100 g de farine d'éleusine. Elles ont été déterminées comme décrit par Jridi et al. (2015).

### 2.3.4. Evaluation de l'activité anti-bactérienne

L'activité anti-microbienne a été testée sur une collection de souches bactériennes. Les micro-organismes ont été obtenus à partir de la collection de cultures du Laboratoire de Génie Enzymatique et de Microbiologie (ENIS, université de Sfax). L'activité anti-bactérienne de l'extract d'éleusine (10 mg/ml) a été réalisée selon la méthode de diffusion dans l'agar. Ainsi, l'effet inhibiteur de la croissance microbienne se manifeste par l'apparition d'une zone transparente autour du puits contenant l'extract.

Les tests antibactériens ont été réalisés à partir des cultures jeunes (18 h) en phase de croissance exponentielle. La réactivation des souches a été effectuée par ensemencement de l'espèce bactérienne dans un milieu Luria-Bertani (LB) liquide. Une incubation pendant 18 h à 37°C et sous agitation de 200 rpm a été réalisée. Ensuite, 200 µl de cette pré-culture ont été étalés sur la boîte de pétri contenant le milieu LB solide de façon à entièrement recouvrir la surface gélosée. Des mouvements de rotations manuelles accélèrent le recouvrement. Ces boîtes ont été incubées à 37°C pendant 30 min pour la fixation de la souche bactérienne sur le milieu gélosé et la formation d'un tapis bactérien.

A l'aide d'une pipette stérile, on a créé des puits de diamètre 6 mm dans la gélose ensemencée. Un volume de 50 µl de l'extract à 10 mg/ml a été déposé dans les puits préparés. Ensuite, les boîtes ont été incubées à +4 °C pendant 4 h avant de les incubé à 37°C pendant 24 h. La lecture a été effectuée par la mesure du diamètre d'inhibition (mm) observé. La gentamycine (10 µg) a été utilisée comme contrôle positif.

## 2.4. Préparation de la saucisse de dromadaire

La formulation de la saucisse a été réalisée dans les conditions industrielles chez la société MLIHA (Société de Production Agricole

Teboulba, Ksour Essaf, Mahdia, Tunisie). La formulation 1 de saucisse (F1) est composée de (g/100 g de saucisse) : viande de dromadaire, 74 ; eau, 20 ; fécule de pomme de terre, 3,5 ; sels nitrités, 1,4 ; tripolyphosphate, 0,5 et acide ascorbique, 0,06. Cette formule est imitée de celle de la saucisse de bœuf. Les sels nitrités représentent un mélange de chlorure de sodium et de nitrite (E250), dont la concentration de nitrite dans la saucisse est de 150 ppm. La fécule de pomme de terre est incorporée comme un agent liant, et ajoutée seule exclusivement dans F1. Les formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) et 5 (F5) contiennent des niveaux croissants de substitution partielle/totale de la fécule de pomme de terre par la farine d'éleusine (m/m), qui sont de l'ordre de 25, 50, 75 et 100%, respectivement. L'eau froide a été ajoutée à la viande pour être broyée dans un cutter pendant 10 min à vitesse maximale. Les sels et les autres ingrédients ont été lentement ajoutés à la viande hachée pendant la transformation. Ensuite, la fécule de pomme de terre et/ou la farine d'éleusine ont été intégrés jusqu'à ce qu'ils soient complètement mélangés (2-3 min). Le remplissage a été effectué manuellement dans des boyaux. Après cela, les saucisses ont été traitées thermiquement dans un bain-marie à température contrôlée (Haake, Kalsruhe, Allemagne) maintenu à 90°C jusqu'à atteindre une température interne finale de 74°C. La température a été mesurée à l'aide d'un thermocouple de type T (cuivre-constantan) inséré au centre de l'échantillon. Enfin, les saucisses ont été immédiatement refroidies à l'eau du robinet et conservées à 4°C jusqu'à l'analyse.

## 2.5. Evaluation de la qualité des saucisses

### 2.5.1. Composition physico-chimique proximale

Les teneurs en humidité, protéines, lipides et cendres ont été déterminées selon les méthodes standard de l'A.O.A.C. (1995).

### 2.5.2. Teneurs en métmyoglobine et en fer héminique

La teneur en métmyoglobine a été déterminée selon Fernández-López et al. (2003). En bref, 5 g de saucisse ont été homogénéisés avec 50 ml de tampon phosphate (0,04 M, pH 6,8) pendant 15 s à 4°C à l'aide d'un homogénéisateur Polytron (Kinematica). Après centrifugation (15 000 rpm, 30 min, 4 °C), le surnageant a été filtré sur la laine de verre, et la solution obtenue a été analysée à l'aide d'un spectrophotomètre pour

mesurer l'absorbance à 525, 572 et 730 nm. Le pourcentage de métmyoglobine a été déterminé selon l'équation suivante :

$$\text{Métmyoglobine (\%)} = 1,395 - [(A_{572} - A_{730}) / (A_{525} - A_{730})] \times 100$$

La teneur totale en fer héminique a été déterminée comme décrit précédemment par Clark et al. (1997). Un échantillon de saucisse (1 g) a été homogénéisé avec 9 ml d'acétone acidifiée (90% acétone, 8% eau déminéralisée et 2% HCl 1 M) à l'aide d'un homogénéisateur Polytron (Kinematica) pendant 1 min. Ensuite, l'homogénat a été placé pendant 1 h à 25 °C à l'obscurité, centrifugé à 6 000 rpm pendant 15 min, puis filtré sur la laine de verre. L'absorbance du filtrat a été déterminée à 640 nm contre un blanc réactif. La teneur en fer héminique a été calculée selon l'équation suivante :

$$\text{Fer héminique (\mu g/g hématine)} = A_{640} \times 6800 \times 0,0882$$

### 2.5.3. Analyse de la couleur

La mesure des paramètres de la couleur (la clarté  $L^*$ , l'indice de rouge  $a^*$  et l'indice de jaune  $b^*$ ) a été réalisée à l'aide d'un chroma-mètre CR 400 (Konica Minolta Sensing, Osaka, Japan). La valeur  $L^*$  indique la luminosité ou la clarté et elle varie du noir (0) vers le blanc (+100). L'indice de rouge  $a^*$  varie du rouge (+100) vers le vert (-100). L'indice du jaune  $b^*$  varie du jaune (+100) vers le bleu (-100).

### 2.5.4. Analyse de la texture instrumentale

L'analyse de la texture des saucisses a été réalisée sur des échantillons cuits conservés au moins 24 h à +4°C, à l'aide d'un texturomètre (Lloyd Instruments, Ltd., West Sussex, Royaume-Uni). Des échantillons de saucisses ont été coupés (3 cm de diamètre, 2 cm de hauteur) et placés entre des plaques plates et une sonde cylindrique (12 mm de diamètre). Ensuite, le test a été effectué par la pénétration de la sonde à un niveau égal à 50% de la hauteur de l'échantillon dans un double cycle de déformation à une vitesse constante de 40 mm/min. Les paramètres du profil de texture, à savoir la dureté (N), l'élasticité (mm) et la masticabilité (N × mm) ont été calculés à partir des courbes force-déformation résultantes (Bourne, 1978).

### 2.5.4. Dénombrement de la flore totale mésophile

Au début, 10 g d'échantillon ont été homogénéisés avec 90 ml d'une solution stérile de peptone 1%, NaCl 0,85%. Après 1 min dans

un mixeur stomacal, les dilutions décimales appropriées ont été préparées et versées (1 ml) sur la gélose d'agar pour comptage sur plaque. Les plaques inoculées ont été incubées à 37°C pendant 2 jours et les comptes microbiens ont été convertis en logarithmes des unités formant colonies par gramme d'échantillon ( $\log \text{ UFC g}^{-1}$ ).

### 2.5.5. Dosage des substances réagissant avec l'acide thiobarbiturique (SRATB)

Le test des SRATB a été utilisé pour évaluer la peroxydation lipidique comme indiqué précédemment par Witte et al. (1970), avec quelques modifications. Le principe du test se base sur la réaction en milieu acide et à chaud entre une molécule de malondialdéhyde (MDA) et deux molécules d'acide thiobarbiturique (ATB), conduisant à la formation d'un pigment fluorescent. Afin d'éviter la formation artéfactuelle de MDA pendant la procédure, l'antioxydant hydroxytoluène butylé (BHT) a été ajouté. Un échantillon de saucisse (1 g) a été homogénéisé dans 10 ml du tampon Tris-HCl, (50 Mm, pH 7,4 et contenant 150 mM NaCl,) et 0,375 ml d'une solution d'acide trichloroacétique à 20%, du BHT à 1%, à l'aide d'un homogénéisateur Polytron (Kinematica) pendant 5 min. Après centrifugation (12 000 rpm, 10 min, 4°C), 4 ml du surnageant ont été mélangés avec 3,2 ml de Tris 25 mM, ATB 120 mM et 0,8 ml de HCl 0,6 M. Le mélange a été incubé à 100°C pendant 30 min, et l'absorbance a été mesurée à 532 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis (SAFAS UVmc, Monaco, France) après refroidissement. Sur la base d'une courbe standard de MDA, les valeurs SRATB (rapportées en mg d'équivalent MDA/kg de saucisse) ont été calculées.

### 2.5.6. Évaluation sensorielle

Les saucisses ont été évaluées du point de vue goût, couleur, fermeté, odeur, masticabilité et acceptabilité globale en utilisant une échelle hédonique de 4 points où les participants ( $n = 30$ ) donnent leur évaluation subjective de la perception du produit en attribuant une note qui reflète leur niveau de plaisir ou de satisfaction. Les points de l'échelle représentent différentes intensités d'appréciations, où 1 : très insatisfaisant ; 2 : insatisfaisant ; 3 : satisfaisant et 4 : très satisfaisant. Les échantillons analysés ont été présentés d'une manière anonyme avec un simple codage de trois chiffres et dans un ordre non systématique. Les échantillons ont été coupés en tranches d'épaisseur uniforme et servis avec de l'eau plate.

## 2.6. Analyse statistique

Les résultats ont été représentés sous forme de moyennes avec leurs écart-types. Les données recueillies ont été traitées par le logiciel SPSS 11.5. Les résultats ont été soumis à une analyse de la variance (ANOVA). La différence a été considérée significative si  $p$  est inférieure ou égale à 0,05.

## 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

### 3.1. Caractérisation de la farine d'éleusine

Le grain d'éleusine (Fig. 1) est principalement constituée de tégument (testa) de couleur rouge brique, embryon et endosperme. Les teneurs de carbohydrates, de fibres alimentaires, de protéines, de lipides, de cendres et de composés phénoliques de la farine d'éleusine ont été mesurées (Tableau 1).

**Tableau 1.** Composition chimique et propriétés techno-fonctionnelles de la farine d'éleusine.

**Table 1.** Chemical composition and techno-functional properties of finger millet flour.

| Composition chimique                            |            |
|-------------------------------------------------|------------|
| Humidité <sup>a</sup>                           | 11,64±0,5  |
| Carbohydrates <sup>a</sup>                      | 70,19±1,4  |
| Fibres alimentaires <sup>a</sup>                | 11,5±0,5   |
| Protéines <sup>a</sup>                          | 13,53±0,5  |
| Lipides <sup>a</sup>                            | 1,81±0,1   |
| Cendres <sup>a</sup>                            | 2,75±0,5   |
| Composés phénoliques <sup>b</sup>               | 248,24±0,1 |
| Propriétés techno-fonctionnelles                |            |
| Capacité de rétention d'eau (g d'eau/100 g)     | 150±5      |
| Capacité de rétention d'huile (g d'huile/100 g) | 140±5      |

<sup>a</sup> g/100 g; <sup>b</sup> La teneur en polyphénols totaux a été exprimée en mg d'équivalent d'acide gallique/100 g de farine d'éleusine (mg d'EAG/100 g).

Les résultats obtenus sont comparables à ceux d'autres variétés de mils et de céréales. Saleh et al. (2013) ont rapporté que le millet du doigt contient 81,5% de glucides, 18-20% de fibres alimentaires, 9,8% de protéines, 1-1,7% de lipides et 2,7% de minéraux. Il a été aussi rapporté que la teneur en composés phénoliques est de 0,3-3% (Chandra et al., 2016). Les différences observées peuvent être associées à la différence entre les régions géographiques et les variétés. Les fibres sont connues par leurs propriétés techno-fonctionnelles intéressantes qui justifient leur incorporation dans les produits alimentaires (Sabanis et al., 2009). Pour

cette raison les capacités de rétention d'eau (CRE) et d'huile (CRH) ont été mesurés, et les résultats obtenus ont indiqué des valeurs de l'ordre de 150 g d'eau/100 g pour la CRE et 140 g d'huile/100 g pour la CRH (Tableau 1). La rétention d'eau et d'huile dans une saucisse, permet d'éviter la synérèse et de favoriser la stabilité de sa texture, par l'effet des fibres contenues dans la farine d'éleusine.

Les couches de tégument de l'éleusine sont particulièrement riches en fibres alimentaires et en composés phénoliques. Le profil phénolique de l'extrait d'éleusine a montré plusieurs composés, parmi lesquels les acides gallique, syringique, coumarique et vanillique ont été identifiés comme étant les acides phénoliques majeurs (Viswanath et al., 2009). Particulièrement, les composés phénoliques contenus dans la farine d'éleusine sont des micronutriments très importants en raison de leur capacité à piéger les radicaux libres. En tant qu'antioxydants, la consommation des composés phénoliques peut jouer un rôle protecteur contre les maladies associées au stress oxydatif. D'un autre côté, les composés phénoliques incorporés dans les produits alimentaires peuvent contribuer à leur stabilité oxydative. Ainsi, plusieurs études s'intéressent à étudier le potentiel antioxydant des bio-ressources locales (Zouari et al., 2014 ; Mezhoudi et al., 2022) et de les appliquer dans la formulation de divers produits alimentaires (Fakhfakh et al., 2017 ; Najjaa et al., 2020).

L'activité anti-radicalaire de l'extrait eau/éthanol de la farine d'éleusine est estimée en utilisant le radical DPPH•. La Fig. 2 présente l'activité anti-radicalaire en fonction des concentrations croissantes de l'extrait. L'activité anti-radicalaire augmente d'une façon importante en fonction de la concentration et atteint son maximum (> 90%) à une concentration de 400 µg/ml. La concentration d'extrait nécessaire pour inhiber 50% (CI<sub>50</sub>) des radicaux de DPPH• initialement présents dans le milieu réactionnel est ~60 µg/ml. Dans le même contexte, Viswanath et al. (2009) ont montré que l'extrait des téguments du grain d'éleusine présente une activité antioxydante intéressante en termes du pouvoir réducteur et d'inhibition du blanchiment de l'émulsion β-carotène/acide linoléique.

Par ailleurs, l'activité antimicrobienne de l'extrait d'éleusine (10 mg/ml) contre huit espèces de bactéries a été évaluée en déterminant les zones d'inhibition (mm) sur

milieu solide (Tableau 2). L'extrait d'éleusine a montré une activité antimicrobienne variable contre toutes les souches testées. Les valeurs des zones d'inhibition varient entre 10 et 23 mm, mais qui sont inférieurs à la gentamycine, utilisée comme contrôle positif (20–24 mm). Les bactéries à Gram+ se trouvent plus sensibles que les bactéries à Gram-. Viswanath et al. (2009) ont montré que l'extrait des téguments du grain d'éleusine présente une activité antimicrobienne plus élevée à celle de l'extrait de farine entière, particulièrement contre *Bacillus cereus* et *Aspergillus flavus*. Ces auteurs ont attribué cette activité antimicrobienne aux composés phénoliques et ont suggéré l'utilisation des téguments d'éleusine comme un antioxydant naturel alternatif et conservateur alimentaire. D'une manière générale, les effets antimicrobiens des extraits phyto-chimiques peuvent être expliqués par le fait qu'ils peuvent provoquer une perturbation de l'intégrité cellulaire, entraînant une augmentation de la perméabilité de la membrane et en conséquence une inhibition de la multiplication (El-Mostafa et al., 2014).

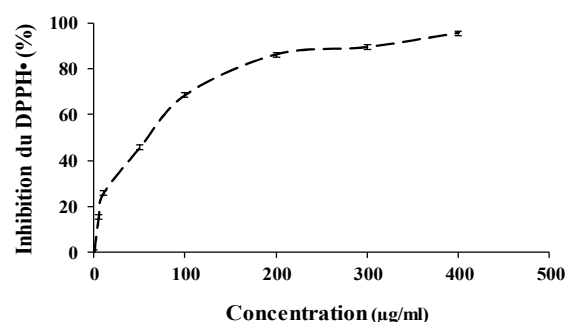


Fig. 2. Activité anti-radicalaire de l'extrait de la farine d'éleusine.

Fig. 2. Anti-radical activity of finger millet flour extract.

### 3.2. Effets de l'ajout de l'éleusine sur la qualité de la saucisse de dromadaire

La formulation des saucisses de dromadaire a été faite dans les conditions industrielles, en suivant une recette classique de saucisse de bœuf. L'innovation réside dans le remplacement de la viande bovine par de la viande cameline. Par ailleurs, la farine intégrale d'éleusine a été utilisée comme agent liant, en remplacement la féculé de pomme de terre habituellement utilisée dans les produits charcutiers. Par conséquent, une évaluation de l'impact de l'ajout de la farine d'éleusine sur la qualité de la saucisse de dromadaire a été réalisée.

**Tableau 2.** Activité anti-bactérienne de l'extrait de la farine d'éleusine.

**Table 2.** Anti-bacterial activity of finger millet flour extract.

| Micro-organismes testés      | Zone d'inhibition (mm) |                          |
|------------------------------|------------------------|--------------------------|
|                              | Extrait d'éleusine     | Gentamycine <sup>a</sup> |
| <b>Bactéries à Gram-</b>     |                        |                          |
| <i>Escherichia coli</i>      | 10±1                   | 20±1                     |
| <i>Klebsiella pneumoniae</i> | 14±1.5                 | 22±2                     |
| <i>Salmonella enterica</i>   | 16±0.5                 | 24±1                     |
| <i>Salmonella typhi</i>      | 12±1                   | 21±2                     |
| <b>Bactéries à Gram+</b>     |                        |                          |
| <i>Micrococcus luteus</i>    | 19±1                   | 22±1                     |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | 18±1                   | 23±1                     |
| <i>Bacillus cereus</i>       | 15±0.5                 | 24±1                     |
| <i>Enterococcus faecalis</i> | 17±1                   | 22±1                     |

<sup>a</sup> Antibiotique utilisé à 10 µg

### 3.2.1. Composition physico-chimique

L'analyse de la viande de dromadaire, principale composante des saucisses, montre qu'elle présente une composition proximale en humidité, protéines, lipides et cendres de 76, 18,5, 2,2 et 1,2%, respectivement. La composition de la viande de dromadaire a fait l'objet de plusieurs études dans divers pays, révélant une teneur en humidité de 70 à 77%, les protéines varient entre 17 à 23%, tandis que sa teneur en minéraux varie de 1,1 à 1,5%. La teneur en lipides présente une variation significative en fonction du stade d'alimentation de l'animal, oscillant entre 1,4 et 10%. On observe une tendance à l'augmentation de la graisse intramusculaire avec l'âge, concomitante à une diminution de la teneur en protéines. Par ailleurs, la viande de dromadaire est réputée pour sa faible teneur en cholestérol, variant entre 50 et 60 mg/100 g, une caractéristique distinctive de cette espèce qui constitue un argument de vente majeur en faveur de la santé du produit (Suliman et al., 2020). Cependant, il est essentiel de noter que la teneur en cholestérol musculaire est influencée par divers facteurs liés à l'animal tels que l'âge, le sexe, et des éléments nutritionnels, etc. (Faye et al., 2013 ; Baba et al., 2021).

Par la suite, l'analyse de la composition physico-chimique des différentes formulations de saucisses de dromadaire a révélé des valeurs approximatives de 68 g d'humidité, 20 g de protéines, 4,5 g de cendres et 3,5 g de lipides

pour 100 g. Les résultats obtenus ont montré que la substitution de la fécule de pomme de terre par la farine d'éleusine n'a pas engendré une variation significative de cette composition (données non présentées). En outre, une évaluation sensorielle effectuée par des professionnels spécialisés de la société MLIHA, portant sur la texture, l'odeur, le goût et la couleur, n'a pas révélé de différence significative entre la saucisse de dromadaire (F1) et celle de bœuf (données non présentées).

### 3.2.2. Analyse de la couleur, pigments et oxydation des lipides au cours du stockage

La couleur constitue le premier paramètre sensoriel perceptible par le consommateur et qui joue un rôle déterminant dans l'acceptabilité des produits carnés. Elle dépend de plusieurs facteurs, principalement la concentration et la nature chimique des pigments présents dans la viande (Hughes et al., 2020). Cependant, la durée de conservation est généralement associée à des petites variations de la couleur des saucisses. En effet, les résultats obtenus ont montré que la luminosité ( $L^*$ ) et l'indice de rouge ( $a^*$ ) ont diminué lors du stockage à froid pour l'ensemble des échantillons (Tableau 3). Par contre, les valeurs de l'indice de jaune ( $b^*$ ) ont augmenté légèrement pour tous les échantillons. Rojas et Brewer (2007) ont rapporté que les valeurs  $L^*$ ,  $a^*$  et  $b^*$  de la viande hachée cuite du bœuf ou du porc ont diminué pendant le stockage réfrigéré. D'autre part, Kulkarni et al. (2011) ont montré que les valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  des saucisses de bœuf ont diminué après 4 mois de stockage, alors que les valeurs de  $L^*$  ont augmenté.

La diminution de  $L^*$  suggère un changement vers des tons légèrement plus sombres, tandis qu'une augmentation de  $b^*$  indique une tendance vers des tons plus jaunes, résultant potentiellement de l'oxydation des pigments ou de la formation de composés liés aux réactions de décomposition dans la saucisse. Cependant, seule la formulation F5 a maintenu la stabilité de  $b^*$  tout au long de la période de conservation. La diminution de la valeur de  $a^*$  suggère un passage vers des tons moins rouges, avec une tendance vers des teintes brunâtres, expliquée par la formation de métmyoglobine et la baisse du fer héminique, comme détaillé dans le tableau 4. En effet, la métmyoglobine a augmenté de  $62,58 \pm 0,63$  à  $96,37 \pm 0,06\%$ , tandis que la teneur en fer héminique a notablement diminué, passant de  $8,34 \pm 0,5$  à  $4,98 \pm 0,76$  µg/g de saucisson après 21 jours de stockage pour F1.

**Tableau 3.** Évolution des paramètres colorimétriques du saucisson de dromadaire au cours du stockage à froid.

**Table 3.** Evolution of the colorimetric parameters of camel sausage during cold storage.

| Formulations |    | Jours de stockage         |                           |                           |                           |
|--------------|----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|              |    | 0                         | 7                         | 14                        | 21                        |
| L*           | F1 | 48,75 ± 0,04 <sup>a</sup> | 47,69 ± 0,93 <sup>a</sup> | 48,38 ± 0,04 <sup>a</sup> | 48,1 ± 0,03 <sup>a</sup>  |
|              | F2 | 49,79 ± 0,07 <sup>a</sup> | 49,99 ± 0,05 <sup>a</sup> | 49,09 ± 0,01 <sup>a</sup> | 48,05 ± 0,03 <sup>b</sup> |
|              | F3 | 48,46 ± 0,19 <sup>a</sup> | 47,29 ± 0,04 <sup>b</sup> | 47,48 ± 0,13 <sup>b</sup> | 46,89 ± 0,0 <sup>c</sup>  |
|              | F4 | 48,4 ± 0,09 <sup>a</sup>  | 47,9 ± 0,06 <sup>b</sup>  | 47,67 ± 0,15 <sup>b</sup> | 47,82 ± 0,01 <sup>b</sup> |
|              | F5 | 47,86 ± 0,01 <sup>a</sup> | 47,66 ± 0,21 <sup>a</sup> | 47,55 ± 0,14 <sup>a</sup> | 47,03 ± 0,04 <sup>a</sup> |
| a*           | F1 | 13,62 ± 0,3 <sup>a</sup>  | 11,52 ± 0,02 <sup>b</sup> | 11,5 ± 0,02 <sup>b</sup>  | 11,66 ± 0,08 <sup>b</sup> |
|              | F2 | 13,16 ± 0,04 <sup>a</sup> | 12,69 ± 0,02 <sup>a</sup> | 12,94 ± 0,04 <sup>a</sup> | 10,49 ± 0,06 <sup>b</sup> |
|              | F3 | 12,67 ± 0,05 <sup>b</sup> | 12,17 ± 0,04 <sup>a</sup> | 12,00 ± 0,08 <sup>a</sup> | 10,59 ± 0,09 <sup>b</sup> |
|              | F4 | 12,13 ± 0,15 <sup>b</sup> | 11,9 ± 0,02 <sup>a</sup>  | 11,4 ± 0,09 <sup>b</sup>  | 11,4 ± 0,09 <sup>b</sup>  |
|              | F5 | 12,4 ± 0,11 <sup>b</sup>  | 12,01 ± 0,12 <sup>a</sup> | 11,31 ± 0,05 <sup>b</sup> | 11,55 ± 0,06 <sup>b</sup> |
| b*           | F1 | 8,64 ± 0,11 <sup>c</sup>  | 8,94 ± 0,02 <sup>b</sup>  | 9,96 ± 0,02 <sup>a</sup>  | 9,92 ± 0,02 <sup>a</sup>  |
|              | F2 | 8,81 ± 0,5 <sup>b</sup>   | 8,91 ± 0,05 <sup>b</sup>  | 8,9 ± 0,02 <sup>b</sup>   | 10,3 ± 0,06 <sup>a</sup>  |
|              | F3 | 8,08 ± 0,12 <sup>c</sup>  | 8,49 ± 0,03 <sup>b</sup>  | 9,02 ± 0,00 <sup>b</sup>  | 10,35 ± 0,05 <sup>a</sup> |
|              | F4 | 8,4 ± 0,35 <sup>c</sup>   | 8,86 ± 0,08 <sup>c</sup>  | 9,63 ± 0,07 <sup>b</sup>  | 10,04 ± 0,03 <sup>a</sup> |
|              | F5 | 8,57 ± 0,18 <sup>a</sup>  | 8,77 ± 0,04 <sup>a</sup>  | 9,14 ± 0,09 <sup>a</sup>  | 8,87 ± 0,03 <sup>a</sup>  |

Les formulations de saucissons présentent une augmentation graduelle de substitution de féculé de pomme de terre par la farine d'éleusine. La formulation 1 (F1) renferme 100% de féculé de pomme de terre. Les formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) et 5 (F5) contiennent des niveaux de substitutions de 25, 50, 75 et 100%, respectivement. <sup>a,b,c</sup> Différentes lettres minuscules dans la même ligne indiquent des différences significatives pour la même formulation au cours de différents jours de stockage ( $p \leq 0,05$ ).

D'un autre côté, le tableau 3 montre qu'au même jour de stockage, la substitution de la féculé de pomme de terre par la farine d'éleusine n'a pas entraîné de variation significative des paramètres de la couleur ( $p \geq 0,05$ ). Par ailleurs, les variations des taux de fer héminique et de méthyoglobine sont moins prononcées lorsque la féculé de pomme de terre est substituée par la farine d'éleusine (Tableau 4). Ceci peut s'expliquer par l'effet antioxydant de la farine d'éleusine, empêchant ainsi l'oxydation de la myoglobine dans les formulations enrichies. Ensuite, l'oxydation des lipides évaluée par la mesure des SRATB (mg éq. MDA/kg) au cours du stockage a été mesurée (Figure 3). La plus forte augmentation des SRATB dans la formulation F1

a été observée après 21 j de stockage. Particulièrement, plus le taux de substitution de la féculé de pomme de terre par la farine d'éleusine est élevé dans les formulations enrichies, plus le niveau des SRATB est réduit. Ces résultats montrent clairement que la farine d'éleusine réduit considérablement l'oxydation des lipides dans la saucisse de dromadaire. Cette observation peut être attribuée au potentiel antioxydant de la farine d'éleusine. Dans le même contexte, Devatkal et al. (2010) ont trouvé une corrélation positive entre la teneur en phénols des extraits de sous-produits de grenade et de tangerine, et la réduction des SRATB dans les galettes de viande de chèvre cuite enrichies.

**Tableau 4.** Suivi des teneurs en fer héminique et en métmyoglobine du saucisson de dromadaire au cours du stockage à froid.

**Table 4.** Monitoring of heme iron and metmyoglobin contents of camel sausage during cold storage.

| Formulations                                        |           | Jours de stockage  |                       |                       |                       |
|-----------------------------------------------------|-----------|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                     |           | 0                  | 7                     | 14                    | 21                    |
| <b>Fer héminique</b><br>( $\mu\text{g/g}$ hématine) | <b>F1</b> | $8,34 \pm 0,5^A$   | $6,96 \pm 0,6^{bB}$   | $5,55 \pm 0,3^{bC}$   | $4,98 \pm 0,76^{cC}$  |
|                                                     | <b>F2</b> | -                  | $7,27 \pm 0,93^{abA}$ | $6,36 \pm 0,5^{aA}$   | $5,64 \pm 0,00^{cB}$  |
|                                                     | <b>F3</b> | -                  | $7,62 \pm 0,25^{aA}$  | $6,8 \pm 0,72^{aAB}$  | $5,97 \pm 0,3^{bB}$   |
|                                                     | <b>F4</b> | -                  | $7,83 \pm 0,55^{aA}$  | $7,22 \pm 0,72^{aAB}$ | $6,06 \pm 0,76^{abB}$ |
|                                                     | <b>F5</b> | -                  | $7,95 \pm 0,38^{aA}$  | $7,35 \pm 0,8^{aAB}$  | $6,69 \pm 0,63^{aB}$  |
| <b>Métmyoglobine</b><br>(%)                         | <b>F1</b> | $62,58 \pm 0,63^D$ | $87,11 \pm 0,5^{aC}$  | $88,58 \pm 0,3^{aB}$  | $96,37 \pm 0,06^{aA}$ |
|                                                     | <b>F2</b> | -                  | $73,95 \pm 0,46^{bC}$ | $77,42 \pm 0,76^{bB}$ | $91,97 \pm 0,66^{bA}$ |
|                                                     | <b>F3</b> | -                  | $72,85 \pm 0,3^{cC}$  | $75,76 \pm 0,46^{cB}$ | $89,9 \pm 0,03^{cA}$  |
|                                                     | <b>F4</b> | -                  | $71,33 \pm 0,15^{dC}$ | $73,09 \pm 0,36^{dB}$ | $84,62 \pm 0,46^{dA}$ |
|                                                     | <b>F5</b> | -                  | $66,47 \pm 0,07^{eC}$ | $70,97 \pm 0,14^{eB}$ | $81,68 \pm 0,34^{eA}$ |

Les formulations de saucissons présentent une augmentation graduelle de substitution de féculé de pomme de terre par la farine d'éleusine. La formulation 1 (F1) renferme 100% de féculé de pomme de terre. Les formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) et 5 (F5) contiennent des niveaux de substitutions de 25, 50, 75 et 100%, respectivement. <sup>a,b,c</sup> Différentes lettres minuscules dans la même ligne indiquent des différences significatives pour la même formulation au cours de différents jours de stockage ( $p \leq 0,05$ ).

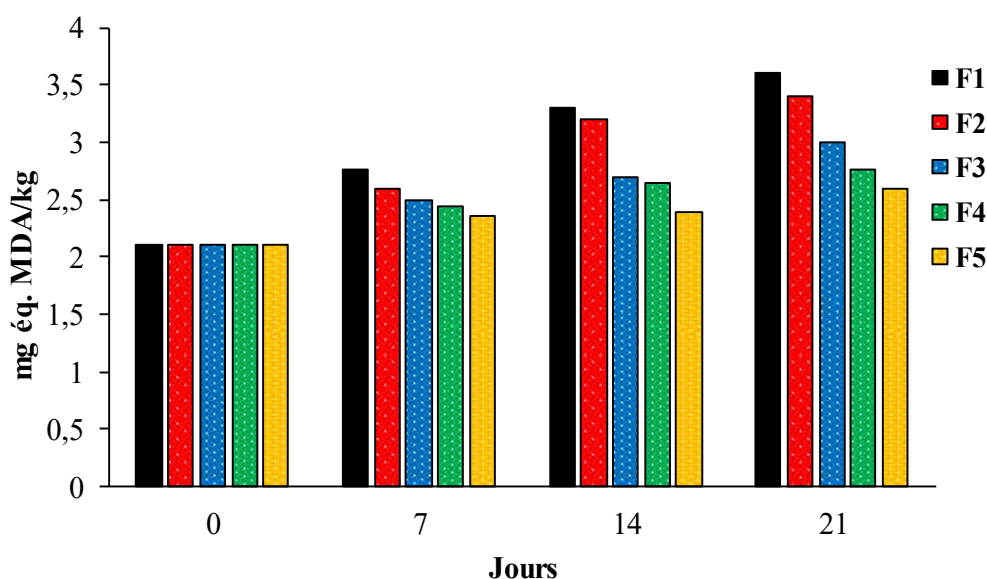


**Fig. 3.** Evolution de la peroxydation lipidique du saucisson de dromadaire au cours du stockage à froid. Les formulations de saucissons présentent une augmentation graduelle de substitution de féculé de pomme de terre par la farine d'éleusine. La formulation 1 (F1) renferme 100% de féculé de pomme de terre. Les formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) et 5 (F5) contiennent des niveaux de substitutions de 25, 50, 75 et 100%, respectivement.

**Fig. 3.** Evolution of lipid peroxidation of camel sausage during cold storage. The sausage formulations show a gradual increase in the substitution of potato starch for finger millet flour. Formulation 1 (F1) contains 100% potato starch. Formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) and 5 (F5) contain substitution levels of 25, 50, 75 and 100%, respectively.

Par conséquent, la farine intégrale d'éleusine a le potentiel d'être utilisée comme un antioxydant naturel pour diminuer l'oxydation de la myoglobine et des lipides dans la saucisse de viande de dromadaire. Ces résultats prouvent l'efficacité de la farine intégrale d'éleusine à stabiliser la couleur et limiter le rancissement des charcuteries, d'où l'intérêt apporté par son application dans le secteur agro-alimentaire.

### 3.2.3. Analyse du profil textural

L'analyse du profil textural d'une saucisse est très importante dans l'évaluation de la qualité sensorielle et de la satisfaction des consommateurs. Le tableau 5 présente une caractérisation de la texture de la saucisse en termes de dureté, élasticité et masticabilité. La dureté, définie comme la résistance de l'aliment à la force exercée par les dents, offre un indicateur de la consistance. L'élasticité, liée à la perception de l'aliment en bouche, mesure la déformation de l'aliment lors de la première compression. Quant à la masticabilité, elle reflète l'effort requis pour transformer un aliment solide en une consistance prête à être avalée.

Les résultats obtenus ont montré que la substitution de la fécule de pomme de terre par la farine d'éleusine n'a pas engendré une modification significative au niveau de la texture de la saucisse. Ceci suggère que la farine intégrale d'éleusine peut présenter aussi d'autres avantages sur le plan technologique en termes des caractéristiques texturales des saucisses de dromadaire, et elle pourra être une alternative efficace dans la formulation de produits charcutiers.

Plusieurs études ont examiné l'utilisation de fibres alimentaires issues de céréales, de légumineuses, de fruits et de légumes comme ingrédients techno-fonctionnels. Ces fibres intégrées ont amélioré la texture de divers produits à base de viande, tels que les saucisses de porc et de poulet, et les boulettes de viande, etc. (Salehi, 2021 ; Younis et al., 2022). De manière cohérente, l'inclusion de fibres provenant de fruits, de noix de cajou et de blé (jusqu'à 5%) a efficacement augmenté l'acceptabilité en améliorant le rendement, tout en remplaçant les matières grasses sans détériorer la texture et les caractéristiques sensorielles de certains produits à base de viande (Soleimanian et al., 2022).

**Tableau 5.** Paramètres de texture instrumentale du saucisson de dromadaire au cours du stockage à froid.

**Table 5.** Instrumental texture parameters of camel sausage during cold storage.

| Formulations           |    | Jours de stockage          |                            |                             |
|------------------------|----|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|                        |    | 0                          | 14                         | 21                          |
| Dureté (N)             | F1 | 13,33 ± 1,8 <sup>aA</sup>  | 13,58 ± 1,5 <sup>aA</sup>  | 13,83 ± 1,8 <sup>aA</sup>   |
|                        | F2 | 13,48 ± 2,7 <sup>aA</sup>  | 13,62 ± 0,9 <sup>aA</sup>  | 13,85 ± 2,6 <sup>aA</sup>   |
|                        | F3 | 13,29 ± 2,0 <sup>aA</sup>  | 13,54 ± 1,1 <sup>aA</sup>  | 13,78 ± 1,4 <sup>aA</sup>   |
|                        | F4 | 13,26 ± 1,2 <sup>aA</sup>  | 13,46 ± 0,7 <sup>aA</sup>  | 13,7 ± 1,1 <sup>aA</sup>    |
|                        | F5 | 13,32 ± 1,4 <sup>aA</sup>  | 13,41 ± 1,1 <sup>aA</sup>  | 13,66 ± 1,1 <sup>aA</sup>   |
| Élasticité (mm)        | F1 | 9,0 ± 0,1 <sup>aA</sup>    | 8,94 ± 0,1 <sup>aA</sup>   | 8,38 ± 0,2 <sup>aB</sup>    |
|                        | F2 | 8,93 ± 0,3 <sup>aA</sup>   | 8,62 ± 0,9 <sup>abA</sup>  | 8,33 ± 0,0 <sup>aA</sup>    |
|                        | F3 | 8,34 ± 0,9 <sup>ba</sup>   | 8,24 ± 0,4 <sup>ba</sup>   | 8,07 ± 0,4 <sup>abA</sup>   |
|                        | F4 | 8,46 ± 0,3 <sup>abA</sup>  | 8,04 ± 0,4 <sup>baB</sup>  | 7,75 ± 0,9 <sup>baB</sup>   |
|                        | F5 | 8,32 ± 0,4 <sup>ba</sup>   | 8,19 ± 0,1 <sup>baB</sup>  | 7,81 ± 0,4 <sup>baB</sup>   |
| Masticabilité (N × mm) | F1 | 53,82 ± 0,3 <sup>ba</sup>  | 52,57 ± 0,3 <sup>baB</sup> | 51,33 ± 0,63 <sup>cC</sup>  |
|                        | F2 | 50,76 ± 0,3 <sup>baB</sup> | 51,27 ± 0,1 <sup>cAB</sup> | 51,79 ± 0,72 <sup>baC</sup> |
|                        | F3 | 55,38 ± 0,1 <sup>aA</sup>  | 54,20 ± 0,3 <sup>aB</sup>  | 54,79 ± 0,4 <sup>aB</sup>   |
|                        | F4 | 51,13 ± 0,1 <sup>baB</sup> | 52,8 ± 0,0 <sup>ba</sup>   | 52,92 ± 0,32 <sup>ba</sup>  |
|                        | F5 | 52,96 ± 0,3 <sup>ba</sup>  | 52,64 ± 0,2 <sup>ba</sup>  | 52,45 ± 0,9 <sup>ba</sup>   |

Les formulations de saucissons présentent une augmentation graduelle de substitution de fécule de pomme de terre par la farine d'éleusine. La formulation 1 (F1) renferme 100% de fécule de pomme de terre. Les formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) et 5 (F5) contiennent des niveaux de substitutions de 25, 50, 75 et 100%, respectivement. <sup>a,b,c</sup> Différentes lettres minuscules pour le même paramètre textural indiquent des différences significatives entre les formulations le même jour de stockage ( $p \leq 0,05$ ). <sup>A,B,C</sup> Différentes lettres majuscules dans la même ligne indiquent des différences significatives pour la même formulation au cours de différents jours de stockage ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.2.4. Analyse sensorielle

La Fig. 4 représente une évaluation de la qualité sensorielle des différentes saucisses formulées, en termes de goût, couleur, texture, odeur, masticabilité et acceptabilité globale, sur une échelle notée de 1 à 4. Cela permet de déterminer si la substitution de la fécule de pomme de terre par la farine d'éleusine affecte favorablement ou défavorablement la perception sensorielle du produit. La formulation F1 (sans farine d'éleusine) a reçu les scores les plus élevées ( $\geq 3$ ). Cependant, l'augmentation de la teneur de farine d'éleusine incorporée a diminué la tendance des scores moyens pour tous les attributs analysés, où la formulation F2 donne des scores très proche du témoin utilisé (F1). La formule F5 (sans fécule de pomme de terre) demeure acceptable du fait que le score moyen obtenu pour l'acceptabilité globale a dépassé 2.

D'après une analyse bibliographique, il a été observé que l'éleusine n'a pas été incorporée dans la fabrication de charcuteries, mais elle a été utilisée dans certains produits à base de céréales afin de les enrichir en nutriments (Feyera et al., 2021). En effet, l'injera, un pain traditionnel éthiopien fabriqué à partir d'une farine composite composée de 75% d'éleusine et 25% de soja a suscité une préférence marquée parmi les membres du panel. Par ailleurs, les données relatives aux caractéristiques sensorielles ont révélé que la bouillie élaborée à partir d'une farine composite contenant 60% d'éleusine, 20% de soja et 2% de patate douce était particulièrement appréciée par les panélistes pour tous les aspects sensoriels évalués (Feyera et al., 2021). Ainsi, les résultats obtenus encouragent l'incorporation de l'éleusine dans la fabrication de produits à base de viande, dans le but d'obtenir des produits à la fois technologiquement performants et appréciés sur le plan sensoriel.

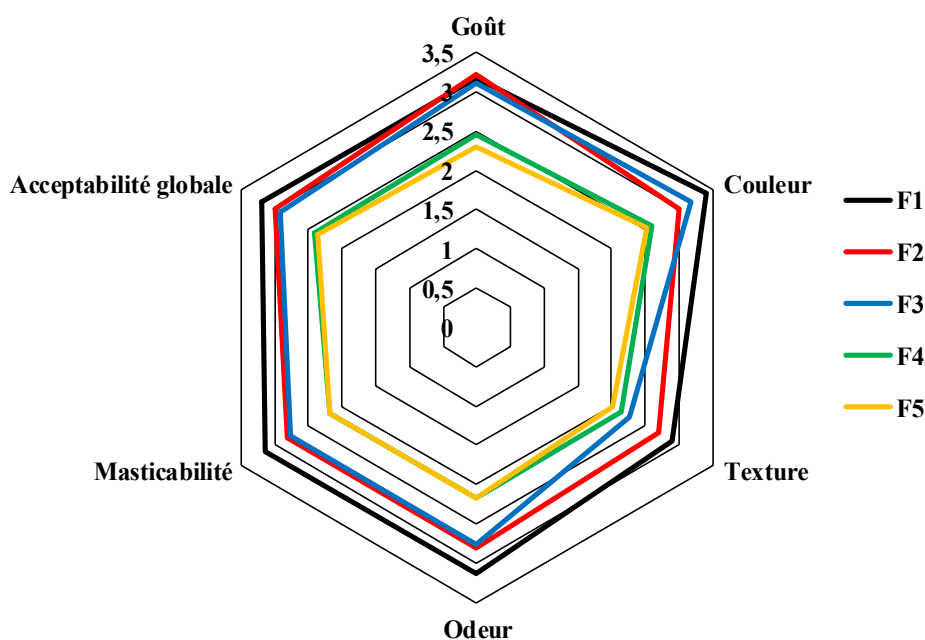


**Fig. 4.** Analyse sensorielle du saucisson de dromadaire. Les formulations de saucissons présentent une augmentation graduelle de substitution de fécule de pomme de terre par la farine d'éleusine. La formulation 1 (F1) renferme 100% de fécule de pomme de terre. Les formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) et 5 (F5) contiennent des niveaux de substitutions de 25, 50, 75 et 100%, respectivement.

**Fig. 4.** Sensory analysis of camel sausage. The sausage formulations show a gradual increase in the substitution of potato starch for finger millet flour. Formulation 1 (F1) contains 100% potato starch. Formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) and 5 (F5) contain substitution levels of 25, 50, 75 and 100%, respectively.

3.2.5. Analyse microbiologique

Le tableau 6 montre le dénombrement de la flore totale mésophile de tous les échantillons de saucisses au cours du stockage au froid. Initialement, aucune différence n’a été observée entre les différents échantillons. Ensuite, quel que soit l’échantillon analysé, la flore totale mésophile a augmenté progressivement au cours du temps du stockage. Particulièrement, on observe que l’augmentation du taux d’enrichissement en farine d’éleusine est associée à une légère réduction du nombre de bactéries mésophiles. La saucisse de référence (F1) a montré le nombre le plus élevé de bactéries mésophiles, atteignant environ 5,3 log UFC/g, tandis que la formulation F5 a présenté 4,77 log UFC/g après 21 jours. Cette légère réduction de la flore totale mésophile peut être expliquée par les composés phénoliques contenus dans la farine intégrale d’éleusine ajoutée, doués d’une activité antimicrobienne intéressante.

Dans un contexte similaire, Viswanath et al. (2009) ont mis en évidence le potentiel antimicrobien des grains entiers d’éleusine et ont recommandé leur utilisation en tant que conservateur alimentaire.

4. CONCLUSION

L’utilisation de la farine intégrale d’éleusine en tant qu’agent liant dans la saucisse de dromadaire, en remplacement la fécule de pomme de terre, couramment utilisée dans les charcuteries, représente une approche innovante et potentiellement bénéfique. En effet, la farine intégrale d’éleusine est riche en fibres et en antioxydants ce qui peut améliorer la texture, la stabilité oxydative et peut également apporter une saveur distincte au produit final. Par ailleurs, l’éleusine est une culture oasisienne locale et son application industrielle peut contribuer à réduire les dépendances envers certaines matières premières tout en soutenant la durabilité des cultures locales. Ces conclusions incitent à approfondir les recherches pour explorer davantage les applications potentielles de l’éleusine dans l’industrie alimentaire.

**Tableau 6.** Suivi de la flore mésophile totale du saucisson de dromadaire au cours du stockage à froid.  
**Table 6.** Monitoring of the total mesophilic flora of camel sausage during cold storage.

| Formulations                                         |    | Jours de stockage      |                        |                       |                       |
|------------------------------------------------------|----|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                                      |    | 0                      | 7                      | 14                    | 21                    |
| Flore mésophile<br>totale (log CFU g <sup>-1</sup> ) | F1 | 4,14± 0,5 <sup>b</sup> | 4,73±0,5 <sup>a</sup>  | 4,97±0,5 <sup>a</sup> | 5,3± 0,5 <sup>a</sup> |
|                                                      | F2 | 4,16±0,3 <sup>b</sup>  | 4,69±0,3 <sup>a</sup>  | 4,85±0,5 <sup>a</sup> | 5,09±0,3 <sup>a</sup> |
|                                                      | F3 | 4,11±0,5 <sup>b</sup>  | 4,58±0,3 <sup>b</sup>  | 4,77±0,5 <sup>a</sup> | 4,9± 0,5 <sup>a</sup> |
|                                                      | F4 | 4,04±0,3 <sup>b</sup>  | 4,47±0,5 <sup>ab</sup> | 4,78±0,5 <sup>a</sup> | 4,83±0,3 <sup>a</sup> |
|                                                      | F5 | 3,95±0,7 <sup>a</sup>  | 4,32±0,2 <sup>a</sup>  | 4,68±0,3 <sup>a</sup> | 4,77±0,2 <sup>a</sup> |

Les formulations de saucissons présentent une augmentation graduelle de substitution de fécule de pomme de terre par la farine d’éleusine. La formulation 1 (F1) renferme 100% de fécule de pomme de terre. Les formulations 2 (F2), 3 (F3), 4 (F4) et 5 (F5) contiennent des niveaux de substitutions de 25, 50, 75 et 100%, respectivement. <sup>a,b,c</sup> Différentes lettres minuscules indiquent des différences significatives pour la même formulation au cours de différents jours de stockage ( $p\leq0,05$ ).

## REFERENCES

- A.O.A.C. (1995). Official methods of analysis. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists (AOAC).
- Ayyash, M., Liu, S. Q., Al Mheiri, A., Aldhaheri, M., Raeisi, B., Al-Nabulsi, A., Tareq Osaili, T., Olaimat, A. (2019). In vitro investigation of health-promoting benefits of fermented camel sausage by novel probiotic *Lactobacillus plantarum*: A comparative study with beef sausages. LWT-Food Science and Technology, 99, 346354. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.084>
- Baba, W. N., Rasool, N., Selvamuthukumara, M., & Maqsood, S. (2021). A review on nutritional composition, health benefits, and technological interventions for improving consumer acceptability of camel meat: an ethnic food of Middle East. Journal of Ethnic Foods, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s42779-021-00089-1>
- Basson, G., Ali, A. E. E., & Ludidi, N. (2021). Indigenous African cereal crops can contribute to mitigation of the impact of climate change on food security. Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development, 3(3), 36–44. <https://doi.org/10.56027/JOASD.spiss062021>
- Bourne, M.C. (1978). Texture profile analysis. Food Technology, 32 (7), 62–66.
- Chandra, D., Chandra, S., Sharma, A. K. (2016). Review of Finger millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn): A power house of health benefiting nutrients. Food Science and Human Wellness, 5(3), 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.05.004>
- Clark, E. M., Mahoney, A. W., Carpenter, C. E. (1997). Heme and total iron in ready-to-eat chicken. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45(1), 124–126. <https://doi.org/10.1021/jf960054l>
- Devatkal, S. K., Narsaiah, K., Borah, A. (2010). Anti-oxidant effect of extracts of kinnow rind, pomegranate rind and seed powders in cooked goat meat patties. Meat Science, 85(1), 155–159. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.019>
- Djenane, D., Aboudaou, M., Djenane, F., García-Gonzalo, D., Pagán, R. (2020). Improvement of the shelf-life status of modified atmosphere packaged camel meat using nisin and *Olea europaea* subsp. *laperrinei* leaf extract. Foods, 9(9), 1336. <https://doi.org/10.3390/foods9091336>
- Djenane, D., & Aider, M. (2024). The one-humped camel: The animal of future, potential alternative red meat, technological suitability and future perspectives. F1000Research, 11, 1085. <https://doi.org/10.12688/f1000research.125246.2>
- El-Mostafa, K., El Karrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebba, M.S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. Molecules, 19, 14879–14901. <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>
- Fakhfakh, N., Jdir, H., Jridi, M., Rateb, M., Belbahri, L., Ayadi, M.A., Nasri, M., Zouari, N. (2017). The mallow, *Malva aegyptiaca* L. (*Malvaceae*): phytochemistry analysis and effects on wheat dough performance and bread quality. LWT-Food Science and Technology, 75, 656–662. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.015>
- Faye, B., Abdelhadi, O., Raiymbek, G., Kadim, I., Hocquette, J. F. J. F. (2013). La production de viande de chameau : état des connaissances, situation actuelle et perspectives. INRA Productions Animales, 26(3), 289–299. <https://hal.science/hal-01189938>
- Fernández-López, J., Sevilla, L., Sayas-Barberá, M. E., Navarro, C., Marín, F., Pérez-Alvarez, J. A. (2003). Evaluation of the antioxidant potential of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) and rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract in cooked pork meat. Journal of Food Science, 68, 660–664. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05727.x>
- Feyera, M., Dasa, F., Kebero, K. (2021). Formulation and quality evaluation of finger millet based composite food products. International Journal of Nutrition and Food Sciences, 10(3), 59–65. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:236359548>
- Hughes, J. M., Clarke, F. M., Purslow, P. P., & Warner, R. D. (2020). Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 19(1), 44–63. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12509>
- Jridi, M., Abdelhedi, O., Souissi, N., Kammoun, M., Nasri, M., Ayadi, M. A. (2015). Improvement of

- the physicochemical, textural and sensory properties of meat sausage by edible cuttlefish gelatin addition. Food bioscience, 12, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.07.007>
- Kulkarni, S., DeSantos, F. A., Kattamuri, S., Rossi, S. J., Brewer, M. S. (2011). Effect of grape seed extract on oxidative, color and sensory stability of a pre-cooked, frozen, re-heated beef sausage model system. Meat science, 88(1), 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.014>
- Mezhoudi, M., Salem, A., Bouhamda, T., Khorchani, T., Jridi, M., Zouari, N. (2022). *Moringa oleifera* leaves: LC-ESI-MS analysis of phenolic compounds and antioxidant activities. Journal of Oasis Agriculture and Sustainable Development, 4, 2724–7007. <https://doi.org/10.56027/JOASD.012022>
- Najjaa, H., Ben Arfa, A., Elfalleh, W., Zouari, N., Neffati, M. (2020). Jujube (*Zizyphus lotus* L.): Benefits and its effects on functional and sensory properties of sponge cake. PloS one, 15, e0227996. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227996>
- Patil, P., Singh, S. P., & Patel, P. (2023). Functional properties and health benefits of finger millet (*Eleusine coracana* L.): A review. The Journal of Phytopharmacology, 12(3), 196–202. doi: 10.31254/phyto.2023.12308
- Popova, T., Tejeda, L., Peñarrieta, J. M., Smith, M. A., Bush, R. D., Hopkins, D. L. (2021). Meat of south American camelids-sensory quality and nutritional composition. Meat Science, 171, 108285. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108285>
- Prosky, L., Asp N. G., Schweizer, T. F., DeVries, J. W., Furda, I. (1988). Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory study. Journal of the Association of the Official Analytical Chemists, 71, 1017–1023. <https://doi.org/10.1093/jaoac/71.5.1017>
- Rojas, M. C., Brewer, M. S. (2007). Effect of natural antioxidants on oxidative stability of cooked, refrigerated beef and pork. Journal of Food Science, 72(4), S282–S288. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00335.x>
- Sabanis, D., Lebesi, D., Tzia, C. (2009). Effect of dietary fiber enrichment on selected properties of gluten-free bread. LWT - Food Science and Technology, 42, 1380–1389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.010>
- Saleh, A. S., Zhang, Q., Chen, J., Shen, Q. (2013). Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. Comprehensive reviews in food science and food safety, 12(3), 281–295. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12012>
- Salehi, F. (2021). Textural properties and quality of meat products containing fruit or vegetable products: A review. J. Food Nutr. Res, 60, 187–202.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In Methods in enzymology, 299, 152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Soleimanian, Y., Sanou, I., Turgeon, S. L., Canizares, D., Khalloufi, S. (2022). Natural plant fibers obtained from agricultural residue used as an ingredient in food matrixes or packaging materials: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21(1), 371–415. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12875>
- Suliman, G. M., Al-Owaimer, A. N., Hussein, E. O. S., Abulfatah, K., & Othman, M. B. (2020). Meat quality characteristics of the Arabian camel (*Camelus dromedarius*) at different ages and post-mortem ageing periods. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 33(8), 1332. doi: 10.5713/ajas.19.0589
- Viswanath, V., Urooj, A., Malleshi, N. G. (2009). Evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of finger millet polyphenols (*Eleusine coracana*). Food Chemistry, 114(1), 340–346. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.053>
- Witte, V. C., Krause, G. F., Bailey, M. E. (1970). A new extraction method for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. Journal of Food Science, 35(5), 582–585. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1970.tb04815.x>
- Younis, K., Yousuf, O., Qadri, O. S., Jahan, K., Osama, K., Islam, R. U. (2022). Incorporation of soluble dietary fiber in comminuted meat products: Special emphasis on changes in textural properties. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 27, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100288>

Zouari, N., Fakhfakh, N., Zouari, S., Bougatef, A., Neffati, M., Ayadi, M. A. (2011). Chemical composition, angiotensin converting enzyme inhibitory, antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of Tunisian *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut. (Lamiaceae). Food and Bioproducts Processing, 89, 257–265. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.006>

Zouari, S., Ayadi, I., Fakhfakh, N., Jdir, H., Aloui, L., Kossentini, M., Rebai, A., Zouari N. (2014). Essential oil variation in wild populations of *Artemisia saharae* (Asteraceae) from Tunisia: chemical composition, antibacterial and antioxidant properties. Botanical Studies, 55:76. <https://doi.org/10.1186/s40529-014-0076-0>