

## PROPRIÉTÉS NUTRITIONNELLES DE LA POUDRE DES FEUILLES DE *MORINGA OLEIFERA* ET SON EFFET SUR LA QUALITÉ DES PÂTES ALIMENTAIRES

BOUASLA Abdallah<sup>1\*</sup>, LEMMADI Sara<sup>2</sup> et MERAGHNI Raouya<sup>2</sup>

1. Université Frères Mentouri Constantine 1 – Institut de la Nutrition, de l’Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA) – Département de Nutrition – Laboratoire de Génie Agro-Alimentaire, Algérie
2. Université Frères Mentouri Constantine 1 – Institut de la Nutrition, de l’Alimentation et des Technologies Agro-Alimentaires (INATAA) – Département de Technologie Alimentaire, Algérie

Reçu le 09/10/2020, Révisé le 26/12/2020, Accepté le 31/12/2020

### Résumé

**Description du sujet :** Incorporation des feuilles de moringa dans les pâtes alimentaires.

**Objectifs :** Évaluation de la qualité nutritionnelle de la poudre des feuilles de *Moringa oleifera* (PFM) et de l’effet de son incorporation sur la qualité des pâtes alimentaires.

**Méthodes :** Les teneurs en polyphénols totaux, en caroténoïdes et l’activité antioxydante ont été déterminées pour la PFM et pour les pâtes alimentaires (taux d’incorporation : 1-5%). Ces dernières, ont été caractérisées aussi par des analyses culinaires et sensorielles.

**Résultats :** La PFM était riche en polyphénols totaux et en caroténoïdes avec une activité antioxydante importante. L’enrichissement des pâtes avec la PFM a entraîné une diminution du temps de cuisson et de la capacité d’absorption de l’eau et une augmentation des pertes à la cuisson (<10%). Toutes les pâtes ont été jugées acceptables au cours des analyses sensorielles. L’incorporation de la PFM a amélioré considérablement la qualité nutritionnelle des pâtes en augmentant la teneur en polyphénols totaux et l’activité antioxydante.

**Conclusion :** La PFM a été utilisée avec succès dans la fabrication des pâtes alimentaires. Nos résultats ouvrent des perspectives quant à la valorisation de la PFM dans la fabrication des aliments enrichis.

**Mots clés :** *Moringa oleifera* ; polyphénols totaux ; activité antioxydante ; pâte alimentaire ; qualité.

## NUTRITIONAL PROPERTIES OF *MORINGA OLEIFERA* LEAF POWDER AND ITS EFFECT ON PASTA QUALITY

### Abstract

**Description of the subject:** Incorporation of moringa leaves into pasta.

**Objective:** Evaluation of the nutritional quality of *Moringa oleifera* leaf powder (MLP) and the effect of its incorporation on pasta quality.

**Methods:** Total phenolic content, carotenoids content and antioxidant activity were determined for MLP and pasta (incorporation level: 1-5%). The latter were also characterized by cooking and sensory analyzes.

**Results:** MLP was rich in total phenolics and carotenoids with a significant antioxidant activity. Enrichment of pasta with MLP resulted in a decrease in cooking time and water absorption capacity and an increase in cooking losses (<10%). All pasta products were found to be acceptable during sensory analysis. The incorporation of MLP significantly improved the nutritional quality of the pasta by increasing the total phenolic content and the antioxidant activity.

**Conclusion:** MLP has been used successfully in the manufacture of pasta. Our results open perspectives for MLP valorization in the production of fortified foods.

**Keywords:** *Moringa oleifera*; total phenolic content; antioxidant activity; pasta; quality.

\*Auteur correspondant: BOUASLA Abdallah, E-mail: abdallah.bouasla@umc.edu.dz

## INTRODUCTION

Les pâtes alimentaires sont un aliment de base consommé dans le monde entier en raison de leur faible coût, leur facilité de préparation et leur longue durée de conservation [1, 2, 3]. Les pâtes sont produites à partir de semoule de blé dur connue pour être la matière première la plus appropriée pour la fabrication de pâtes [4]. Elles sont riches en amidon mais pauvres en vitamines, minéraux, fibres alimentaires et composés phénoliques [5]. Cependant, les pâtes alimentaires sont de bons véhicules pour l'ajout de nutriments, car des ingrédients non traditionnels peuvent être ajoutés à leur formulation sans perte apparente de la qualité des pâtes [4]. En conséquence, des efforts substantiels ont été faits pour mettre au point des pâtes alimentaires enrichies [3]. Les ingrédients considérés pour l'enrichissement des pâtes comprennent les céréales, les pseudo-céréales, les légumineuses, les fruits, les herbes, les concentrés et isolats de protéines, les fibres alimentaires, et les micro-algues. L'enrichissement vise à compenser les carences nutritionnelles, telles que les faibles teneurs en lysine et thréonine, ou à fournir des sources supplémentaires de fibres, de minéraux, d'antioxydants ou de composants bioactifs [2]. *Moringa oleifera* est considéré comme l'un des arbres les plus utiles au monde, car presque toutes les parties de l'arbre peuvent être utilisées à des fins alimentaires, pharmaceutiques et industrielles [6, 7, 8]. Récemment, un grand intérêt renouvelé a été porté aux propriétés nutritionnelles du moringa dans la plupart des pays où il n'était pas indigène. Les feuilles de *M. oleifera* peuvent être consommées fraîches, cuites ou conservées sous forme de poudre séchée pendant de nombreux mois sans perte majeure de leur valeur nutritive [7, 9]. Le moringa est considéré comme un arbre miracle en raison de sa richesse en certains macro- et micro-nutriments de grande importance dans la nutrition humaine [10]. Les feuilles sont riches en composés phytochimiques (caroténoïdes, tocophérols, acide ascorbique, polyphénols totaux et flavonoïdes), en vitamines (A, C et group B), en minéraux (calcium, fer et potassium) et en acides aminés (lysine, méthionine et cystéine) [11, 12, 13, 14, 15]. Les objectifs de notre étude étaient d'évaluer la qualité nutritionnelle de la poudre des feuilles de *Moringa oleifera* (teneurs en polyphénols et en caroténoïdes et son activité antioxydante)

et d'étudier l'effet de son incorporation sur la qualité nutritionnelle, culinaire et sensorielle des pâtes alimentaires.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Matières premières

Une semoule de blé dur de qualité supérieure (granulométrie inférieure à 500 µm) a été utilisée pour la préparation des pâtes alimentaires. La poudre des feuilles de *Moringa oleifera* a été obtenue par broyage de feuilles sèches de moringa cultivée au niveau de la wilaya d'Oued-Souf (Sud-Est de l'Algérie). La PFM a subi un tamisage manuel à fin d'obtenir la fraction inférieure à 500 µm qui a été utilisée dans toutes les analyses et la préparation des pâtes enrichies.

### 2. Evaluation de la qualité nutritionnelle de la PFM et des pâtes

#### 2.1. Extraction et dosage des polyphénols totaux

Un gramme d'échantillon (PFM ou pâtes broyées) est mélangé avec 20 ml d'acétone à 70% suivi d'une agitation pendant 30 min puis une centrifugation à 1700 g pendant 5 min. Le mélange obtenu est ensuite filtré à l'aide d'un papier filtre [16]. La teneur en polyphénols totaux est déterminée en trois répétitions selon la méthode de Singleton et Rossi [17]. Un volume de 150 µl d'extrait est mélangé avec 750 µl de réactif de Folin-Ciocalteu et 600 µl de carbonate de sodium (7,5%). Après 30 min d'incubation à l'obscurité, l'absorbance est mesurée à 750 nm. La teneur en polyphénols totaux, déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique, est exprimée en milligramme équivalent d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ms).

#### 2.2. Extraction et dosage des caroténoïdes

L'extraction et la détermination de la teneur en caroténoïdes ont été réalisées en trois répétitions selon la méthode de Kuti [18]. Un gramme d'échantillon est additionnée à 10 ml d'un mélange contenant 5 ml d'hexane, 2,5 ml d'acétone et 2,5 ml d'éthanol. Le mélange est agité pendant 30 min puis centrifugé pendant 5 min à 1700 g. La phase supérieure de l'hexane est récupérée et son absorbance est mesurée à 450 nm. La teneur en caroténoïdes, déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec le β-carotène, est exprimée en milligramme équivalent de

$\beta$ -carotène par gramme d'extrait sec (mg E $\beta$ C/g ms).

### 2.3. Capacité de piégeage des radicaux DPPH

La capacité de piégeage des radicaux DPPH est déterminée en triplicata selon la méthode de Brand-Williams *et al.* [19]. Un volume de 100  $\mu$ l des différents extraits (préparé pour le dosage des polyphénols) est ajouté à 1 ml de solution de DPPH (3,3 mg de DPPH+175 ml méthanol). La diminution de l'absorbance est déterminée à 517 nm après une incubation de 30 min à l'obscurité. L'activité antioxydante est calculée par le pourcentage d'inhibition du DPPH (AA%) qui est calculé selon la formule suivante :

$$AA\% = \frac{(A_{\text{contrôle}} - A_{\text{échantillon}})}{A_{\text{contrôle}}} \times 100$$

A contrôle : absorbance du contrôle (1 ml de DPPH + 100  $\mu$ l de méthanol). A échantillon : absorbance du composé d'essai (solution de DPPH + 100  $\mu$ l de l'extrait).

### 3. Préparation des pâtes alimentaires

Les pâtes témoins (PT) ont été préparées en hydratant de la semoule de blé dur avec de l'eau distillée (42,5 mL/ 100 g de semoule) tout en malaxant (Kenwood, modèle KM 300, Havant, Royaume-Uni) jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène. Cette pâte a subi un pétrissage manuel pendant 7 min suivi d'un repos de 10 min. Après le repos, la pâte est laminée avec la machine à pâtes Marcato Ampia 150 (Marcato S.r.l. - P.lva, Campodarsego, Italie). Les feuilles de pâtes obtenues ont été découpées en utilisant la même machine à pâtes pour obtenir des pâtes de type tagliatelle (largeur=0,5 cm, longueur=15-20 cm, et épaisseur=0,5 mm). Les pâtes ont été séchées à 25°C pendant 24 h (humidité moins de 12%) puis stockées dans des sacs en plastique hermétiquement fermés. Les pâtes enrichies ont été préparées comme décrit pour les pâtes témoins avec trois modifications: (i) la semoule de blé a été remplacée par l'incorporation de la PFM en quantités de 1, 2, 3, 4, et 5% (les pâtes sont codées P1, P2, P3, P4 et P5 respectivement), (ii) la semoule de blé et la PFM ont été mélangées pendant 5 min avant l'hydratation, et (iii) le niveau d'hydratation a été augmenté progressivement jusqu'à 46 mL/100 g de semoule. Les pâtes ont ensuite été façonnées et séchées comme décrit pour les pâtes témoins.

## 4. Evaluation de la qualité des pâtes

### 4.1. Qualité culinaire

La qualité culinaire des pâtes alimentaires a été déterminée en triplicata selon la méthode 66-50.01 de l'AACC [20].

*-Temps optimal de cuisson :* Pour déterminer le temps optimal de cuisson, 25 g de pâtes ont été cuits dans 300 ml d'eau distillée bouillante. Toutes les 30 s pendant la cuisson, un brin de pâtes a été prélevé et immédiatement pressé entre deux plaques de verre transparent. Le temps optimal de cuisson correspondait au temps à partir duquel le centre sec des pâtes a disparu.

*-Capacité d'absorption de l'eau :* La capacité d'absorption d'eau a été déterminée en cuisant des pâtes (25 g) dans de l'eau distillée bouillante (300 ml) jusqu'au temps optimal de cuisson. Les pâtes cuites ont ensuite été rincées à l'eau froide, égouttées et pesées. L'augmentation de poids des pâtes pendant la cuisson a été calculée et divisée par le poids des pâtes sèches pour calculer la capacité d'absorption d'eau (exprimée en %).

*-Pertes à la cuisson :* Les pertes à cuisson (en tant que quantité de matières solides perdues dans l'eau de cuisson) ont été déterminées en évaporant l'eau de la cuisson des pâtes dans une étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Le poids du résidu obtenu a été divisé par le poids des pâtes sèches pour calculer les pertes à la cuisson (exprimées en %).

### 4.2. Qualité sensorielle

Les analyses sensorielles ont été réalisées à l'aide d'un jury composé de 20 membres. Chaque échantillon de pâtes a été cuit au temps optimal de cuisson requis, égoutté et servi dans un ordre randomisé au jury qui ont évalué chaque échantillon pour l'aspect, la couleur, le goût et l'adhésivité en utilisant une échelle de 5 points où 1= mauvais et 5= bon. Le même jury a évalué l'acceptabilité globale de chaque échantillon de pâtes en utilisant une échelle hédonique verbale à neuf points, et la note a été convertie en scores numériques, où 1= n'aime pas extrêmement et 9 = aime extrêmement. Les pâtes avec un score moyen d'acceptabilité global supérieur ou égale à 5 ont été considérées comme acceptables [21].

## 5. Analyses statistiques

Les résultats obtenus sont exprimés en moyenne  $\pm$  écart type. Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) suivie par le test *post-hoc* de Fisher LSD pour comparer les moyennes à un niveau de signification de 5 % en utilisant le logiciel Statistica version 10.

## RÉSULTATS

### 1. Qualité nutritionnelle de la PFM et des pâtes

#### 1.1. Teneur en polyphénols totaux et en caroténoïdes

Les teneurs en polyphénols totaux et en caroténoïdes de la PFM et des pâtes sont présentées dans le Tableau 1. La teneur en polyphénols totaux de la PFM était de 7,32 mg EAG/g ms. L'addition de 5% de la PFM (pâte P5) a engendré une augmentation significative de la teneur en polyphénols totaux (1,67 mg EAG/g ms) par rapport à la pâte témoin (0,67 mg EAG/g ms) et à la pâte P1 (1,67 mg EAG/g ms). La PFM avait une teneur en caroténoïdes de 3,14 mg E $\beta$ C/g ms. Par ailleurs, nous avons noté des teneurs très faibles en caroténoïdes pour la pâte témoin et les pâtes enrichies (entre 0,05 et 0,07 mg E $\beta$ C/g ms).

Tableau 1 : Teneurs en polyphénols totaux et en caroténoïdes de la PFM et des pâtes

Echantillons	Polyphénols totaux (mg EAG/g ms)	Caroténoïdes (mg E $\beta$ C/g ms)
PT	0,67 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	0,05 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
P1	0,68 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,06 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
P5	1,67 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>	0,07 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
PFM	7,32 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>	3,14 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>

<sup>a-c</sup>: des lettres différentes dans la même colonne indiquent qu'il y a une différence significative ( $p < 0,05$ ).

Tableau 3 : Qualité culinaire des différentes pâtes.

Pâtes	Temps optimal de cuisson (min)	Capacité d'absorption de l'eau (%)	Pertes à la cuisson (%)
PT	5 $\pm$ 0,0 <sup>d</sup>	213,37 $\pm$ 1,20 <sup>f</sup>	3,83 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>
P1	4,5 $\pm$ 0,0 <sup>c</sup>	206,53 $\pm$ 1,22 <sup>e</sup>	5,13 $\pm$ 0,02 <sup>ab</sup>
P2	3,5 $\pm$ 0,0 <sup>b</sup>	204,13 $\pm$ 0,30 <sup>d</sup>	5,50 $\pm$ 0,03 <sup>b</sup>
P3	3,5 $\pm$ 0,0 <sup>b</sup>	200,03 $\pm$ 0,814 <sup>c</sup>	5,90 $\pm$ 0,06 <sup>bc</sup>
P4	3 $\pm$ 0,0 <sup>a</sup>	186,13 $\pm$ 1,01 <sup>b</sup>	6,80 $\pm$ 0,10 <sup>c</sup>
P5	3 $\pm$ 0,0 <sup>a</sup>	169,90 $\pm$ 1,67 <sup>a</sup>	8,97 $\pm$ 0,10 <sup>d</sup>

<sup>a-f</sup>: des lettres différentes dans la même colonne indiquent qu'il y a une différence significative ( $p < 0,05$ ).

### 3. Qualité sensorielle des pâtes

Le Tableau 4 représente le profil sensoriel et l'acceptabilité sensorielle globale des différentes pâtes. Pour l'aspect, les pâtes témoins ont reçu une bonne note (4,05) et les

### 1.2. Activité antioxydante

L'activité antioxydante de la PFM et des pâtes est représentée dans le Tableau 2. La PFM présentait un pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH important atteignant 79,74%. Pour la pâte témoin, le pourcentage d'inhibition était négligeable (0,51%). L'addition de la PFM a augmenté de manière significative ( $p < 0,05$ ) l'activité antioxydante des pâtes enrichies (7,76% et 49,49% pour la pâte P1 et la pâte P5 respectivement).

Tableau 2 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH pour la PFM et les pâtes

Echantillons	Inhibition du radical libre (%)
PT	0,51 $\pm$ 0,13 <sup>a</sup>
P1	7,76 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>
P5	49,49 $\pm$ 0,40 <sup>c</sup>
PFM	79,74 $\pm$ 0,17 <sup>d</sup>

<sup>a-d</sup>: des lettres différentes dans la même colonne indiquent qu'il y a une différence significative ( $p < 0,05$ ).

### 2. Qualité culinaire des pâtes

L'incorporation de la PFM a provoqué une diminution significative du temps de cuisson qui a passé de 5 min pour la pâte témoin à 3 min pour la pâte P5 (Tableau 3). La même observation a été notée pour la capacité d'absorption de l'eau qui a passé de 213,37% pour la pâte témoin à 169,90% pour la pâte P5. Au contraire, nous avons remarqué une augmentation significative des pertes à la cuisson avec l'augmentation du taux d'incorporation de la PFM. Les pertes à la cuisson ont passé de 3,83% pour la pâte témoin à 8,97% pour la pâte P5.

pâtes P3, P4 et P5 ont reçu des notes acceptables (3,35) significativement moins élevées que celles des pâtes témoins. Pour la couleur,

les résultats ont indiqué que les pâtes témoins semblent avoir une couleur plus agréable (note de 4,25) par rapport aux pâtes enrichies (notes entre 3 et 3,55) ( $p < 0,05$ ). Aucune différence significative n'a été observée entre la pâte témoin et les pâtes enrichies concernant le goût et l'adhésivité. Les dégustateurs ont attribué des notes qui ont variées entre 2,95 et 3,55

pour le goût et des notes entre 3,00 et 3,55 pour l'adhésivité. Pour l'acceptabilité sensorielle globale, toutes les pâtes ont reçu des notes acceptables ( $\geq 5$ ) qui ont variées de 5,00 à 6,70. La note la plus élevée a été enregistrée pour la pâte témoin et la note la moins élevée a été attribuée à la pâte P5.

Tableau 4 : Profil sensoriel et acceptabilité sensorielle globale des pâtes

Pâte	Aspect	Couleur	Goût	Adhésivité	Acceptabilité globale
PT	4,05±0,89 <sup>b</sup>	4,25±0,79 <sup>b</sup>	3,55±1,19 <sup>a</sup>	3,35±1,09 <sup>a</sup>	6,70±1,90 <sup>b</sup>
P1	3,80±0,89 <sup>ab</sup>	3,55±0,83 <sup>a</sup>	3,55±0,95 <sup>a</sup>	3,55±0,95 <sup>a</sup>	6,00±1,56 <sup>ab</sup>
P2	3,35±0,10 <sup>ab</sup>	3,20±0,89 <sup>a</sup>	3,20±0,70 <sup>a</sup>	3,35±0,99 <sup>a</sup>	5,55±1,47 <sup>a</sup>
P3	3,35±1,04 <sup>a</sup>	3,25±1,02 <sup>a</sup>	3,25±0,64 <sup>a</sup>	3,25±0,97 <sup>a</sup>	5,85±1,53 <sup>ab</sup>
P4	3,35±1,27 <sup>a</sup>	3,00±1,21 <sup>a</sup>	2,95±1,05 <sup>a</sup>	3,25±1,21 <sup>a</sup>	5,25±1,71 <sup>a</sup>
P5	3,35±1,23 <sup>a</sup>	3,00±1,21 <sup>a</sup>	2,95±1,32 <sup>a</sup>	3,00±1,21 <sup>a</sup>	5,00±2,03 <sup>a</sup>

<sup>a-b</sup> : des lettres différentes dans la même colonne indiquent qu'il y a une différence significative ( $p < 0,05$ ).

## DISCUSSION

La PFM avait une teneur en polyphénols totaux de 7,32 mg EAG/g ms. Nos résultats sont supérieurs à ceux rapportés par Ayodele et Dolapo [22], qui ont trouvé une teneur en polyphénols totaux de 5,28 mg EAG/g ms. Au contraire, la teneur en polyphénols totaux de la PFM que nous avons obtenu était inférieure à celle rapportée par Bourekoua et al. [13] (33,13 mg EAG/g ms) et à celle trouvée par Simonato et al. [15] (62,71 mg EAG/g ms). La comparaison de nos résultats avec ceux trouvés par d'autres auteurs est difficile car différents facteurs pourraient être impliqués : les méthodes d'extraction, les méthodes de calcul et les standards utilisés pour le tracé de la courbe d'étalonnage. Les différences pourraient également être dues à la variation des polyphénols totaux au sein des variétés, le lieu de production, le moment de la récolte et des facteurs environnementaux [23]. L'analyse d'extraits hydro-méthanoliques de feuilles de moringa a révélé une large gamme de composés phénoliques [24]. Ces composés sont considérés comme les principaux antioxydants de l'alimentation. Leurs propriétés fonctionnelles sont liées aux activités antibactériennes, antivirales, anti-inflammatoires et anti-cancérigènes qui ont un impact positif sur la santé humaine [25]. En effet, les pâtes enrichies en PFM (P5) étaient significativement plus riches en polyphénols totaux que les pâtes témoins. La teneur en caroténoïdes de la PFM était de 3,14 mg E $\beta$ C/g ms. Saini et al. [26], ont trouvé que les feuilles de moringa contenaient respectivement 23,2 et 126,5 fois plus de caroténoïdes totaux que les

fruits et les fleurs. Selon les mêmes auteurs, All-E-lutéine était le principal caroténoïde des feuilles, suivie par All-E- $\beta$ -carotène. Cependant, les pâtes enrichies avaient des contenus très faibles en caroténoïdes. L'activité antioxydante de la PFM, déterminée par le pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH, était élevée (79,74%). Ce chiffre est proche de celui trouvé par Kumbhare et al. [27], qui ont rapporté une activité de piégeage du radical DPPH de 78,49%. En effet, de nombreux auteurs ont rapporté que les feuilles de *M. oleifera* fraîches ou séchées sont connues pour être une excellente source d'antioxydants [12, 26, 28, 29]. En outre, les pâtes enrichies avec la PFM avaient une activité antioxydante significativement plus importante que les pâtes témoins. Concernant la qualité culinaire des pâtes, l'addition de la PFM a provoqué une diminution significative du temps de cuisson de la capacité d'absorption de l'eau et une augmentation significative des pertes à la cuisson. Le temps de cuisson plus court des pâtes enrichies pourrait être lié à l'ajout de la PFM qui induit des changements dans la composition et la microstructure des pâtes. En effet, la quantité d'eau nécessaire pour gélatiniser l'amidon pourrait être diminué avec l'enrichissement en diluant la teneur en amidon des pâtes, réduisant ainsi le temps de cuisson. L'incorporation de la PFM pourrait également diminuer la quantité de gluténine et augmenter la quantité de composés de faible poids moléculaire qui ont un temps d'hydratation plus court [30]. En addition, l'ajout de la PFM riche en fibres pourrait provoquer une discontinuité dans le réseau de gluten,

ce qui facilite la pénétration de l'eau à l'intérieur des pâtes et donc une durée de cuisson plus courte [4, 5, 14, 15, 31, 32]. La diminution de l'absorption de l'eau pour les pâtes enrichies pourrait être expliquée par le piégeage des granules d'amidon de la semoule par les particules de fibres, réduisant le gonflement des granules d'amidon pendant la cuisson. Par ailleurs, la dilution de l'amidon peut diminuer la quantité d'eau requise pour la gélatinisation et réduire ainsi la quantité d'eau absorbée pendant cuisson [2]. Pour les pâtes à base de blé dur, le poids approprié des pâtes cuites est environ trois fois le poids sec [33]. C'était le cas des pâtes témoins et des pâtes enrichies avec 1, 2 et 3% de la PFM. L'augmentation des pertes à la cuisson pour les pâtes enrichies pourrait être due à la dilution de la force du gluten par l'incorporation d'un matériau non glutineux qui affaiblit la structure des pâtes. Cela conduit à plus de solides lessivés des pâtes pendant la cuisson [2, 4, 15]. Les pertes à la cuisson de toutes les pâtes étaient inférieures à 10% rapportée comme limite de qualité pour les pâtes [21], indiquant ainsi la bonne qualité de tous les échantillons de pâtes évalués dans notre étude. L'incorporation de la PFM n'a pas engendré un effet négatif sur la qualité sensorielle des pâtes enrichies. En effet, toutes les pâtes ont reçu des scores acceptables lors de l'analyse sensorielle. Cela peut être justifié par le taux d'incorporation faible (maximum 5%).

## CONCLUSION

Notre travail visait la valorisation des feuilles de *Moringa oleifera* tant par sa caractérisation nutritionnelle (composés bioactifs et activité antioxydante) que par son incorporation dans un aliment de large consommation (les pâtes alimentaires). Il en ressort de cette étude, que la poudre des feuilles de *Moringa oleifera* représente une source intéressante en polyphénols totaux et en caroténoïdes avec une activité antioxydante intéressante. L'incorporation de la PFM a affecté la qualité culinaire des pâtes en diminuant le temps de cuisson et la capacité d'absorption de l'eau et en augmentant les pertes à la cuisson sans dépasser 10%. Les pâtes enrichies ont été jugées acceptables au cours de l'évaluation sensorielle. Plus important encore, l'incorporation de la PFM a considérablement augmenté la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante des pâtes enrichies.

Ces résultats indiquent que l'incorporation de la PFM aux pâtes alimentaires améliore leur qualité nutritionnelle et présente, par conséquent, un bon matériau pour enrichir les pâtes ou autres produits alimentaires avec des composants bioactifs.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Li, M.; Zhu, K.X.; Guo, X.N.; Brijs, K.; Zhou, H.M. (2014). Natural additives in wheat-based pasta and noodle products: opportunities for enhanced nutritional and functional properties. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 13: 347–357.
- [2]. Mercier, S.; Moresoli, C.; Mondor, M.; Villeneuve, S.; Marcos, B. (2016). A Meta-analysis of enriched pasta: what are the effects of enrichment and process specification on the quality attributes of pasta. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 15: 685–704.
- [3]. Simonato, B.; Trevisan, S.; Tolve, R.; Favati, F.; Pasini, G. (2019). Pasta fortification with olive pomace: Effects on the technological characteristics and nutritional properties. *LWT-Food Sci. Technol.*, 114: 108368.
- [4]. Petitot, M.; Boyer, L.; Minier, C.; Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Res. Inter.*, 43: 634–641.
- [5]. Jalgaonkar, K.; Jha, S.K.; Mahawar, M.K. (2018). Influence of incorporating defatted soy flour, carrot powder, mango peel powder, and moringa leaves powder on quality characteristics of wheat semolina-pearl millet pasta. *J. Food Proces. Preserv.*, 42(4): 1–11.
- [6]. Moyo, B.; Masika, P.J.; Hugo, A.; Muchenje, V. (2011). Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African J. Biotech.*, 10(60): 12925–12933.
- [7]. Ijarotimi, O.S.; Adeoti, O.A.; Ariyo, O. (2013). Comparative study on nutrient composition, phytochemical, and functional characteristics of raw, germinated, and fermented Moringa oleifera seed flour. *Food Sci. Nutr.*, 1(6): 452–463.
- [8]. Ankita, D.; Sauryya, B.; Kumar, P.T. (2014). Antioxidant activities of *Moringa concanensis* flowers (fresh and dried) Grown in west Bengal. *Inter. J. Res Chem. Envir.*, 4(3): 64–70.
- [9]. Abou-Zaid, A.A.; Nadir, A.S. (2014). Quality evaluation of nutritious chocolate and Halawa Tahinia produced with Moringa (*Moringa oleifera*) leaves powder. *Mid. East J. App. Sci.*, 4(4): 1007–1015.
- [10]. Oyeyinka, A.T.; Oyeyinka, S.A. (2018). *Moringa oleifera* as a food fortificant: recent trends and prospects. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 17(2): 127–136.
- [11]. Sengeev, A.I.; Abu, J.O.; Gernah, D.I. (2013). Effect of Moringa oleifera leaf powder supplementation on some quality characteristics of wheat bread. *Food Nutr. Sci.*, 4:270–275.
- [12]. Gopalakrishnan, L.; Doriya, K.; Kumar, D.S. (2016). *Moringa oleifera*: a review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Sci. Human Wellness* 5:49–56.

- [13]. Bourekoua, H.; Rózyło, R.; Gawlik-Dziki, U.; Benatallah, L.; Zidoune, M.N.; Dziki, D. (2018). Evaluation of physical, sensorial, and antioxidant properties of gluten-free bread enriched with *Moringa Oleifera* leaf powder. *Eur. Food Res. Technol.*, 244:189–195.
- [14]. Rocchetti, G.; Rizzi, C.; Pasini, G.; Lucini, L.; Giuberti, G.; Simonato, B. (2020). Effect of *Moringa oleifera* L. leaf powder addition on the phenolic bioaccessibility and on in vitro starch Digestibility of durum wheat fresh pasta. *Foods*, 9:628.
- [15]. Simonato, B.; Tolve, R.; Rainero, G.; Rizzi, C.; Sega, D.; Rocchetti, G.; Lucini, L.; Giuberti, G. (2021). Technological, nutritional, and sensory properties of durum wheat fresh pasta fortified with *Moringa oleifera* L. leaf powder. *J. Sci. Food Agric.*, <https://doi.org/10.1002/jsfa.10807>
- [16]. Chaalal, M.; Touati, N. (2012). Extraction of phenolic compounds and in vitro antioxidant capacity of prickly pear seeds. *Acta Botanica Gallica*, 159(4): 467–475.
- [17]. Singleton, V.L.; Rossi, J.A. (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.*, 16:144–158.
- [18]. Kuti, J.O. (2004). Antioxidant compounds from four *Opuntia cactus* pear fruit varieties. *Food Chem.*, 85: 527–533.
- [19]. Brand-William, W.; Cuvelier, E.; Berset, C.M. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.*, 28:25–30.
- [20]. AACC (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 10<sup>th</sup> edition. St. Paul, Minn., USA. American Association of Cereal Chemists International.
- [21]. Bouasla, A., Wójtowicz, A., Zidoune, M.N. (2017). Gluten-free precooked rice pasta enriched with legumes flours: Physical properties, texture, sensory attributes and microstructure, *LWT-Food Sci. Technol.*, 75: 569–577.
- [22]. Ayodele, O.D.; Dolapo, E.O. (2015). Total antioxidant activity, total phenolic and total flavonoid content of some plant leaves in South-West Nigeria. *Inter. J. Sci. Eng. Res.*, 6: 418–427.
- [23]. Słowianek, M.; Leszczyńska, J. (2016). Antioxidant properties of selected culinary spices. *Herba Pol.*, 62(1): 29–41.
- [24]. Nouman, W.; Anwar, F.; Gull, T.; Newton, A.; Rosa, E.; Domínguez-Perles, R. (2016). Profiling of polyphenolics, nutrients and antioxidant potential of germplasm's leaves from seven cultivars of *Moringa oleifera* Lam. *Ind. Crops Prod.*, 83:166–176.
- [25]. Lisiecka, K.; Wójtowicz, A.; Dziki, D.; Gawlik-Dziki, U. (2019). The influence of *Cistus incanus* L. leaves on wheat pasta quality. *J. Food Sci. Technol.*, 56: 4311–4322.
- [26]. Saini, R.K.; Shetty, N.P.; Giridhar, P. (2014). Carotenoid content in vegetative and reproductive parts of commercially grown *Moringa oleifera* Lam. Cultivars from India by LC–APCI–MS. *Eur. Food Res. Technol.*, 238: 971–978.
- [27]. Kumbhare, M.R.; Guleha, V.; Sivakumar, T. (2012). Estimation of total phenolic content, cytotoxicity and in-vitro antioxidant activity of stem bark of *Moringa oleifera*. *Asian Pac. J. Trop. Dis.*, 2(2): 144–150.
- [28]. Moyo, B.; Oyedemib, S.; Masika, P.J.; Muchenje, V. (2012). Polyphenolic content and antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with *Moringa oleifera* leaves/sunflower seed cake. *Meat Sci.*, 91:441–447
- [29]. Vongsak, B.; Sithisarn, P.; Mangmool, S.; Thongpraditchote, S.; Wongkrajang, Y.; Gritsanapan, W. (2013). Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaf extract by the appropriate extraction method. *Ind. Crops Prod.*, 44:566–571.
- [30]. Vernaza, M.G.; Biasutti, E.; Schmiele, M.; Jaekel, L.Z.; Bannwart, A.; Chang, Y.K. (2012). Effect of supplementation of wheat flour with resistant starch and monoglycerides in pasta dried at high temperatures. *Inter. J. Food Sci. Technol.*, 47: 1302–1312.
- [31]. Chillo, S.; Laverse, J.; Falcone, P.M.; Protopapa, A.; Del Nobile, M.A. (2008). Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *J. Cereal Sci.*, 47: 144–152.
- [32]. Samta, Jood, S. (2018). Cooking quality and acceptability of nutrient rich pasta developed from composite flour. *Inter. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 7(4): 556–562.
- [33]. Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., Cubadda, R. (2012). Methods used to assess and predict quality of durum wheat, semolina, and pasta. In: *Durum wheat: chemistry and technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists., 2<sup>nd</sup> edition. Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., Carcea, R. (Eds.), pp. 213–234.