

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Alimentaires
Spécialité Qualité des Produits et Sécurité Alimentaire QPSA



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Incorporation de poudre des feuilles de
Moringa oleifera dans des pâtes
alimentaires.**

Présenté par :

HADDAD Jugurta & CHOUICHA Bilal

Soutenu le : **26 Juin 2018**

Devant le jury composé de :

M. MOUSSI Kamal

M. ZAIDI Farid

Mme. MEZIANI Saida

MCB

Professeur

MCB

Président

Encadreur

Examinatrice

Année universitaire : 2017 / 2018

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, nous remercions Dieu le tout puissant, Qui nous a donné la volonté et le courage pour avoir réalisé ce travail, ainsi qu'aux personnes qui nous ont apportés leur aide. La réalisation de ce travail a été possible grâce à l'aide de plusieurs personnes, c'est l'occasion de les remercier et de leurs avouer nos profondes reconnaissances. Nous tenons à remercier notre promoteur Pr. ZAIDI.F, Nous remercions M. MOUSSI Kamal de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury, et Mme MEZIANI Saida d'avoir acceptés de juger notre travail.

*Toute notre gratitude à tous nos enseignants qui nous ont formées.
Nous tenons également à remercier infiniment tous ceux qui nous ont Aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce travail ; nous pensons Plus spécialement aux doctorantes du laboratoire de Nutrition et alimentation :
Notre Co-promotrice Melle BENHAMOUCHE Tassadit pour sa présence, sa gentillesse et toute l'attention et la sollicitude avec laquelle elle nous a entourés et Sara pour son aide, sa modesté et sa générosité.*

Merci à vous tous

Dédicace

Je dédie ce travail :

- *A la mémoire de mon cher oncle et de ma chère grand-mère que dieux les accueils dans son vaste paradis.*
 - *A mes chers parents que j'aime beaucoup.*
 - *A mes sœurs : Fairouz et Yasmine.*
 - *A mon frère : Dany.*
 - *A mes grandes mères : Yema Ounissa et Yema l'Ouiza.*
 - *A mes grands-pères : Arab et mouloud.*
 - *A mes oncles : Kamel, Zaidi et Zahir.*
- *A mes amies : Nacer, Lotfi, Farid, Bachir, Bilal, Yanisse, Yacine, Mourad, Salim, Baha, Sabah, Sliman, youba, Farah, Sabrina, Melissa et Yasmine.*
 - *A ma très chère Speedy qui a toujours cru en moi.*
 - *Et a toutes ma famille.*

Djigou

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A mon très mes chers frères DADA AHMED & FOUAD :

*Pour m'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour,
pour leurs amour, leurs encouragement. Que ce travail soit pour vous
un faible témoignage de ma profonde affection et tendresse. Que Dieu
le tout puissant te préservent, t'accordent santé, bonheur, quiétude de
l'esprit et te protège de tout mal.*

A ma très chère mère :

*Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer
le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu n'as cessé de
me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes
études. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce
travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.
Quisse le puissant te donner santé, bonheur et longue vie afin que je
puisse te combler à mon tour.*

*A mes très chères ami(e)s DJUGOU , AZZDINE, ZAHIR, FARID, KARIM, MERZOUK, YOUVA,
TOUFIK, EL HACHEMI, M'HAND, KOUKOU, LOTFI, MELISSA, FARAH, FATIMA , FERIEL, AMEL,*

SABRINA , SIHAM, OUISSAM mes sœurs

*FAHIMA, HAKIMA, RAZKIA et FADILA, pour toute l'ambiance,
amours dont ils m'ont entouré, pour toutes leurs spontanités et leurs
élans, pour leurs patiences, pour leurs aides précieux, pour leurs
encouragements durant toutes les phases de mes études. Dieu leurs
garde et leurs montre le droit chemin.*

Bilal

Liste des abréviations

ABS : Absorbance.

AG: Acide gallique.

AOAC: Association of Official Analytical Chemists.

DPPH: 1,1 diphényl-2-picryl hydrazyle.

DNS : Acide 3,5-dinitrosalicylique.

db : Dry basis.

Eq : Equivalent.

FDA : Food and Drug Administration.

FAO : Food and Agriculture Organisation.

MM : Matière minérale.

MO : *Moringa Oleifera*.

MS : Matière sèche.

OMS : Organisation Mondiale de Santé.

PTS : Polyphénol totaux soluble.

TH : Taux d'humidité.

TOC : Temps Optimum de Cuisson.

TCA : Acide Trichloracétique.

Liste des tableaux

Tableau I : Composition biochimique des pâtes alimentaires.....	4
Tableau II : Classification systématique du <i>Moringa oleifera</i>	7
Tableau III : Quelques usages médicaux communs des différentes parties de MO.....	9
Tableau IV : Dispositif expérimental utilisé pour l' α -amylase.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau V : Pâtes alimentaires enrichies par la poudre des feuilles de <i>Moringa Oleifera</i>	Erreur ! Signet non défini.

Liste des figures

Figure 1: Feuilles, Fleurs, Tronc, Gousses et Grain de <i>Moringa oleifera</i>	7
Figure 2: Photographie des feuilles de moringa oleifera.....	12
Figure 3: Diagramme de fabrication des pâtes alimentaires.	13
Figure 4: Protocole de détermination de la teneur en matière sèche et humidité.....	14
Figure 5: Protocole d'extraction des composés phénoliques	16
Figure 6: Protocole de dosage des flavonoïdes	17
Figure 7: Schéma sur la réaction de test FRAP (Ferric reducing antioxidant power).....	18
Figure 8: Mécanisme de piégeage du DPPH.....	18
Figure 9: Protocole d'évaluation de l'activité antiradicalaire	19
Figure 10: Temps optimal de cuisson des pâtes alimentaires enrichies.	23
Figure 11: Taux d'humidité des pâtes alimentaires.....	24
Figure 12: Teneur en cendre des pâtes alimentaires enrichies.	25
Figure 13: Teneur en phénols totaux solubles (PTS) des pates enrichies.	25
Figure 14: Teneur en flavonoïdes des pâtes alimentaires enrichies	26
Figure 15: Le pouvoir réducteur des pâtes alimentaires enrichies	27
Figure 16: L'activité antiradicalaire du DPPH des pâtes alimentaires enrichies.	27
Figure 17: Le pouvoir chélateur du fer des pâtes alimentaires enrichies.	28
Figure 18: Effet des extraits de pâtes enrichies sur l'activité d l' α -amylase.....	29

Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des Figures

Introduction 1

Partie théorique

Chapitre I. Les pâtes alimentaires

I.1. Historique et l'origine des pâtes alimentaires 3

I.2. Définition des pâtes alimentaires 3

I.3. Composition biochimique 3

I.4. Etapes de fabrication 4

I.5. Enrichissement des pâtes alimentaires 5

Chapitre II. Généralités sur *Moringa oléifera*

II.1. Historique et distribution de *Moringa oleifera* 6

II.2. Description botanique et taxonomie 6

II.2.1 Description botanique..... 6

II.2.2. Systématique et nomenclature..... 7

II.3. Composition chimique 8

II.4. Activités biologiques de *Moringa oleifera* 8

II.5. Domaine d'utilisation du *Moringa oleifera* 9

Partie pratique

Chapitre III. Matériels et Méthodes

III.1. Origine et provenance de l'échantillon..... 12

III.2. Préparation de l'échantillon..... 12

III.2.1. Préparation de la poudre de feuilles MO 12

III.2.2. Préparation des pâtes..... 12

III.3. Détermination du temps optimale de cuisson..... 13

III.4. Préparation de la poudre de pâte cuite 14

III.5. Caractérisation chimique des pâtes alimentaires 14

III.6. Evaluation de la teneur en composés phénoliques des pâtes alimentaires 15

III.6.1. Extraction des composés phénoliques.....	15
III.6.2. Dosage des phénols totaux solubles	16
III.6.3. Dosage des flavonoïdes.....	17
III.7. Evaluation de l'activité antioxydante des pâtes cuites enrichies.....	17
III.7.1. Pouvoir reducteur.....	17
III.7.2. Activité antiradicalaire DPPH.....	18
III.7.3. Chélation du fer ferreux	19
III.8. Effets des extraits de pâte alimentaire enrichie sur l'activité de l' α -amylase.	20
III.9. Etude statistique.....	21
Chapitre IV. Résultats et discussions	
IV.1.Préparation des pâtes cuites et détermination du temps optimal de cuisson.....	23
IV.2. Caractérisation chimique des pâtes alimentaires	24
IV.2.1. Taux d'humidité.....	24
IV.2.2. Teneur en cendres	24
IV.3. Composés phénoliques.....	25
IV.3.1. Teneur en PTS	25
IV.3.2. Teneur en flavonoïdes.....	26
IV.4. Activité antioxydante des pâtes cuites	26
IV.4.1. Pouvoir reducteur.....	26
IV.4.2. Activité anti-radicalaire DPPH	27
IV.4.3. Chélation du fer ferreux	28
IV.5. Effets de extraits de pâtes sur l'activité de l' α -amylase	28
Conclusion et perspectives	32
Références bibliographique	
Annexes	

Introduction

Partie
Théorique

Chapitre I :
Les pâtes
Alimentaires

Chapitre II :
Moringa
Oleifera

Partie
Pratique

*Matériels et
méthodes*

Résultats et Discussion

*Conclusion et
Perspectives*

Références
Bibliographiques

Annexes

Introduction

L'un des grands défis aujourd'hui consiste à mettre au point des aliments bon marché qui soient supérieurs sur le plan nutritionnel et en même temps acceptables pour le consommateur visé. Ces dernières années, les pâtes se sont transformées en une partie importante du développement de l'industrie céréalière (**Rafiq *et al.*, 2018**).

Les pâtes alimentaires (macaronis, spaghettis, vermicelles et nouilles) sont l'un des aliments de base les plus populaires dans de nombreux pays. En raison de leur teneur élevée en glucides complexes, elles constituent une source d'énergie précieuse pour l'alimentation humaine (**Sęczyk *et al.*, 2015**). Son acceptation dans le monde entier est attribuée à son faible coût, sa facilité de préparation, ses attributs sensoriels polyvalents, sa longue durée de conservation et sa facilité de transport (**Riley, 1987**).

Les nutritionnistes considèrent que les pâtes sont très digestes (**Alireza Sadeghi and Bhagya, 2008**). Elles sont reconnues comme pauvres en sodium et en graisse, sans cholestérol et riche en fer et en vitamine B (**Giese, 1992**). Cependant, elles sont pauvres en protéines et en acides aminés essentiels tels que la lysine et la thréonine (**Stephenson, 1983**), communes à la plupart des produits céréaliers (**Abdel-Aal and Hucl, 2002**). Selon l'OMS et la FDA, les pâtes sont considérées comme un bon véhicule pour l'apport de nutriments. Cela permet d'utiliser des matières premières non traditionnelles pour améliorer la qualité nutritionnelle des pâtes (**Brennan *et al.*, 2004, Chillo *et al.*, 2008**). A cet effet, la complémentation qui consiste à l'identification d'un ou plusieurs aliments potentiellement intéressants sur le plan nutritionnel pour compléter un autre aliment en vue d'améliorer la qualité nutritionnelle de l'ensemble (**Mensah and Tomkins, 2003**), est suggérée comme une approche intéressante. Parmi ces matières premières non traditionnelles, les feuilles de *moringa oleifera* peuvent être un excellent choix pour améliorer la valeur nutritionnelle des farines de blé, au regard de leur richesse en protéines et fibres alimentaires. Diverses études ont déjà été conduites et ont montré les bienfaits de l'utilisation de la poudre de feuilles de MO comme complément nutritionnel dans des biscuits (**Ellis *et al.*, 2011**).

La présente étude vise à étudier différents niveaux de substitution de la farine ou de la semoule du blé par la poudre de feuilles de MO, dans la fabrication de pâtes enrichies et son impact sur la qualité culinaire, la composition chimique, la teneur en phénol totaux soluble, flavonoïdes, l'activité antioxydante et enzymatique (α -amylase) des pâtes cuites.

Le présent travail s'articule autour des points suivants :

- Synthèse bibliographique.
- Etude expérimentale qui comporte deux parties :
 - Matériels et méthodes.
 - Résultats et discussion.
- Une conclusion générale suivi de quelques perspectives terminera le travail.

I.1. Historique et l'origine des pâtes alimentaires

Les pâtes sont connues comme l'une des nourritures les plus anciennes et un plat très polyvalent ; à la fois du point de vue nutritif et gastronomique (**Antognelli, 1980**), elles sont originaires du moyen orient (Mésopotamie), la technique rudimentaire de la fabrication de ces dernières est ensuite transmise à l'Inde, puis à la Chine 5000 ans av. J.C .et au Japon 600 ans apr. J.C d'où elles gagnent les pays méditerranéens via la Grèce et l'Italie en 1279 (**Boudreau et Dubois, 1992**).

Ce n'est qu'en 1934 que le premier système de presse continue (où la semoule et l'eau sont transformées en pâtes humides dans un système entièrement automatisé) a été développé remplaçant la méthode de préparation des pâtes par lots et aujourd'hui toutes les presses sont de type continu (**Sissons, 2004**).

I.2. Définition des pâtes alimentaires

Les pâtes alimentaires sont un produit traditionnel à base de céréales consommés dans le monde entier (**Chillo et al., 2008**), en raison de leur saveur, leur faible coût et leur valeur nutritive (**Simonato et al., 2015**).

D'autre part, les pâtes sont un aliment populaire avec un taux élevé d'acceptabilité dans de nombreux groupes de population (amateurs de fitness, enfants, adolescents et personnes âgées) (**Goñi et Valentín-Gamazo, 2003**).

I.3. Composition biochimique

Les pâtes sont l'un des aliments de base les plus populaires dans de nombreux pays. En raison d'une teneur élevée en hydrates de carbone complexes, c'est une source d'énergie précieuse dans l'alimentation humaine (**Sęczyk et al., 2016**).

Les composants bioactifs présents dans les produits céréaliers influencent le bien-être humain en piégeant les radicaux libres, chélatant les particules métalliques qui catalysent les réactions d'oxydation, entravant le mouvement des catalyseurs oxydants et activant les agents chimiques de prévention du cancer (**Heimler et al., 2005, Kaur et Kapoor, 2001, Lambert et al., 2005, Vita, 2005**).

La Composition biochimique des pâtes alimentaires est représentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau I : Composition biochimique des pâtes alimentaires (**Mohtadji-Lamballais, 1989, Sissons, 2004**).

Eléments	Teneurs (/100g de pâtes)
Calories (Kcal)	335-350
Eau (g)	12-12,8
Protéines (g)	74-76,5
Glucides (g)	1,2-1,8
Lipides (g)	22-25
Fibres (g)	2-3
Minéraux	
Calcium (mg)	2-3
Fer (mg)	1,5-2,1
Phosphore (mg)	165-190
Potassium (mg)	220-260
Sodium (mg)	2-4
Vitamines	
Acide ascorbique (mg)	0
Thiamine (mg)	0,09-0,22
Riboflavine (mg)	0,06-0,31
Niacine (mg)	2-3,1
Vitamine B6 (µg)	0,15-0,2
Folacine (µg)	30-36
Vitamine B12 (µg)	0
Vitamine A (IU)	

I.4. Les étapes de fabrication

De nos jours, les conditions optimales de production de pâtes sont généralement déterminées par des essais empiriques et par l'expérience acquise par les producteurs au fil des années (**Andrieu, 1986, Migliori *et al.*, 2005, Veladat *et al.*, 2012**), la production de pâtes est un processus composé de trois étapes principales : l'hydratation, l'extrusion et le séchage (**Veladat *et al.*, 2012**).

➤ Hydratation et malaxage

Dans cette première étape, la semoule et l'eau sont mélangées jusqu'à atteindre un taux d'humidité d'environ 50% (db). Un réseau de gluten se forme alors, qui représente la structure principale pour maintenir l'intégrité physique des pâtes. Des ingrédients supplémentaires qui

augmentent la valeur nutritionnelle du produit peuvent également être ajoutés à ce stade (**Mercier *et al.*, 2016**).

➤ **Extrusion**

Le mélange obtenu après le malaxage est ensuite extrudé, en utilisant des matrices en Téflon ou en bronze pour mouler les pâtes fraîches dans la taille et la forme désirées (**Mercier *et al.*, 2016**). Après extrusion, les pâtes sont directement soumises à un courant d'air chaud pour minimiser le collement des franges. Les franges entrent ensuite dans le pré-sécheur (**Sissons, 2004**).

➤ **Séchage**

Le séchage est reconnu comme l'étape de la production de pâtes qui a le plus d'impact sur la qualité du produit final. Cette opération est généralement réalisée dans des conditions de température et d'humidité relativement sévères qui peuvent affecter de manière significative les propriétés physiques, esthétiques, texturales, organoleptiques et de cuisson des pâtes produites (**Andrieu, 1986, Owens, 2001**).

Le but du séchage est de diminuer la teneur en eau des pâtes à une valeur inférieure à environ 14% (db) afin de réduire le risque de croissance microbienne, d'augmenter la durée de conservation du produit et d'obtenir des pâtes suffisamment fortes pour être stockées et transportées facilement (**Owens, 2001**).

I.5. L'enrichissement des pâtes alimentaires

Les pâtes sont considéré comme un vecteur efficace d'ingrédients pro-sains dans la fortification alimentaire (**Sęczyk *et al.*, 2015**). Afin d'améliorer la qualité nutritionnelle et /ou de préparer des pâtes spéciales, certains ingrédients peuvent être ajoutés à la semoule. En effet, les pâtes étaient l'un des premiers aliments à être autorisés par la FDA pour l'enrichissement en vitamines et en fer en 1949 (**Food et Administration, 1999**).

Selon **Mercier *et al.*, (2011)**, l'enrichissement affecte la qualité des pâtes en termes de texture, couleur et qualité de cuisson, mais aussi l'aspect sensoriel et les propriétés rhéologiques. De nombreuses études ont été entreprises afin d'améliorer la qualité nutritionnelle des pâtes alimentaires sans altérer leur qualité organoleptique (**Manthey et Hall, 2007, Nasehi *et al.*, 2011, Petitot *et al.*, 2010**).

II.1. Historique et distribution de *Moringa oleifera*

Moringa Oleifera est une plante originaire du Sub-Himalaya, étendue dans les régions tropicale et subtropicale, elle été utilisé par les anciens Romains, les Grecs et les Égyptiens (Fahey, 2005). Les diverses parties de cette plante comme les feuilles, racines, fleurs, gousses, graines et les écorces sont employée dans le traitement des différents maladies (Dubey *et al.*, 2013).

Le *Moringa oleifera* est l'espèce la plus distribué (Nadkarni, 1976, Ramachandran *et al.*, 1980), dans certaines régions du monde, MO est connu sous le nom de « drumstick tree » ou « horse radish tree », alors que dans d'autres régions, il est connu comme arbre de kelor « kelor tree » (Anwar et Bhanger, 2003), alors que dans la vallée du Nile, le nom de l'arbre est « Shagara al Rauwaq » (Von Maydell, 1986).

II.2. Description botanique et taxonomie

II.2.1 Description botanique

Moringa oleifera est un arbre tropical dicotylédone pérenne à feuilles caduques (Saini *et al.*, 2016). La tige est fragile avec une écorce liégeuse, gris blanchâtre, avec des branches tombantes, des feuilles vert pâle et bipennées ou plus communément tripennées (30-60 cm de long) avec des folioles ovales opposées (Pandey *et al.*, 2011).

Les fleurs sont blanches, parfumées en grandes panicules axillaires, les gousses sont pendantes, côtelées (Roloff *et al.*, 2009).

Les graines sont rondes avec une coque semi-perméable et brunâtre varie de 130 à 320 mg en fonction des régions, avec trois ailes blanchâtres sur les angles (Panchal *et al.*, 2010).

Le tronc est généralement droit, mais il est parfois très peu développé. En général, il atteint 1,5 à 2 mètres de haut avant de se ramifier, bien qu'il puisse parfois atteindre les 3 mètre (Foidl *et al.*, 2001).

La figure 01 présente des photos des feuilles, fleurs, tronc, gousses et grain de MO.



Figure 01 : Feuilles (Leone *et al.*, 2015), Fleurs (Saini *et al.*, 2016), Tronc (Rolloff *et al.*, 2009), Gousses (Dubey *et al.*, 2013) et Grain de *Moringa oleifera* (Leone *et al.*, 2015).

Cet arbre pousse dans tous les pays tropicaux et subtropicaux avec des caractéristiques environnementales particulières, dont les précipitations annuelles varient de 760 à 2500 mm (moins de 800 mm d'irrigation) et une température entre 18 et 28 ° C. Il pousse dans tout type de sol (Nouman *et al.*, 2014, Palada, 1996).

II.2.2. Systématique et nomenclature

Le genre *Moringa* comprend 13 espèces réparties à travers le sud-ouest de l'Asie, le sud-ouest de l'Afrique, le nord-est de l'Afrique et Madagascar (Rani *et al.*, 2018).

Moringa oleifera est l'espèce d'arbre la plus cultivée de la famille des Moringaceae (Bellostas *et al.*, 2010), la systématique de *Moringa oleifera* est représenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau II : Classification systématique du *Moringa oleifera* (Mishra *et al.*, 2011).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta.
Super division	Spermatophyta.
Division	Magnoliophyta.
Classe	Mangoliopsida.
Sous classe	Dilleniidae.
Ordre	Capparales.
Famille	Moringaceae.
Genre	<i>Moringa.</i>
Espèce	<i>Oleifera.</i>

II.3. Composition chimique

Chaque partie de la plante MO, y compris la feuille, la racine, l'écorce, la graine, la fleur et la gousse est comestible et contient des composés importants pour le bien-être de l'Homme et du bétail (**Kadhim and AL-Shammaa, 2014**).

Essentiellement la partie la plus utilisée de cette plante sont les feuilles (**Adedapo et al., 2015**), dont les analyses phytochimiques ont montré particulièrement sa richesse en potassium, calcium, phosphore, fer, vitamines (A et D), acides aminés essentiels pour l'organisme, ainsi que des antioxydants connus tels que le β -carotène, l'acide ascorbique et les flavonoïdes (**Mbikay, 2012**).

Les feuilles de MO sont également établies comme une source riche en oméga-3 (ω 3) et oméga-6 (ω 6) acides gras polyinsaturés (PUFA), sous la forme d'acide linoléique (C18 : 3, ω 3, 49-59 %), et l'acide linoléique (C18 : 2, ω 6, 6-13%). L'acide palmitique (C16 : 0) est enregistré en tant que majeur acide gras saturé, représentant 16-18% des acides gras totaux dans les feuilles de Moringa (**Saini et al., 2016**).

En ce qui concerne sa composition nutritionnelle, les feuilles de *Moringa oleifera* contiennent plus de vitamines C et A, de calcium, de potassium, de fer et de protéines que d'autres produits alimentaires tels que l'orange, les carottes, le lait, les bananes, le yaourt et épinards, respectivement (**Falowo et al., 2018**).

II.4. Activités biologiques de *Moringa oleifera*

MO a un énorme potentiel médicinal, presque chaque partie de cette plante, y compris la racine, la gomme, les feuille, le fruit, les fleurs, les graines et l'huile de graine ont été utilisé pour le traitement de plusieurs maladies, mais des recherche plus récente ont indiqué que plusieurs composants actifs sont accepté pour l'application dans la médecine moderne ; qui ont des activités anti-oxydante, anti-microbienne, anti-diabétique, anti-inflammatoire, anti-asthmatique, anti-ulcère anti-tumoral anti-cancéreux, hypocholestérolémie et hypotension. (**Farooq et al., 2012**). Certaines applications médicinales sont citées dans le tableau III.

Tableau III : Quelques usages médicaux communs des différentes parties de MO (Anwar *et al.*, 2007).

Parties	Usage médical
Racines	Anti fertilité, anti-inflammatoire, utilisé comme un laxatif, traiter le rhumatisme, inflammations, douleurs articulaires et constipation, etc.
Feuilles	Un purgatif (laxatif), Appliquée pour les maux de tête, fièvres, mal de gorge, anémie bronchitique, infections de l'oreille, scorbut et catarrhe ; le jus de la feuille cru est utilisé pour contrôler la glycémie, hyper-glycémie, anti-hyperglycémie, etc.
Gomme	Utilisé pour soulager les maux de tête, fièvres, plaintes intestinales...
Tige	Utiliser pour détruire les tumeurs, guérir les ulcères et une activité antituberculeuse, etc.
Fleurs	Guérir les inflammations, maladies du muscle, hystérie, tumeurs, baissez le cholestérol (hypercholestérolémie), activité antibactérienne et antifongique.
Graines	L'extrait de graines exerce son effet protecteur en diminuant la lipoperoxydation hépatique ainsi qu'une activité antihypertensifs.

II.5. Domaine d'utilisation du *Moringa oleifera*

Toutes les parties de *Moringa oleifera* sont traditionnellement utilisées à différentes fins, mais les feuilles sont généralement les plus utilisées (Popoola and Obembe, 2013, Sivasankari *et al.*, 2014). Parmi les domaines d'utilisation on trouve :

➤ Alimentation

Alimentation humaine

Toutes les parties de l'arbre Moringa sont comestibles et ont longtemps été consommés par les humains (Sabale *et al.*, 2008), par exemple les feuilles de MO peuvent être consommées

fraîches, cuites ou conservées en poudre pendant de nombreux mois sans réfrigération, et sans perte de valeur nutritionnelle (**Fahey, 2005**) et les jeunes gousses vertes sont très savoureuses et peuvent être bouillies et consommées comme des haricots verts (**Foidl et al., 2001**).

Alimentation animale

MO est riche en nutriments et en composés bioactifs qui offrent un grand potentiel pour son utilisation en tant que ressource d'alimentation du bétail. Les feuilles, les graines et l'écorce de MO sont facilement consommées par les animaux d'élevage tel que les bovins, les moutons et les chèvres en tant qu'ingrédients dans l'alimentation (**Falowo et al., 2018**).

➤ Médical et thérapeutique

M.O est souvent appelé une panacée et peut être utilisé pour soigner plus de 300 maladies. Le moringa a longtemps été utilisé en phytothérapie par les Indiens et les Africains, la présence de composés phytochimiques en fait un bon agent médicamenteux (**Gopalakrishnan et al., 2016**). Notamment les différentes parties de cet arbre, y compris les racines, l'écorce, les feuilles, les fleurs, les fruits et les graines sont traditionnellement utilisées dans diverses applications thérapeutiques, en particulier les tumeurs abdominales, l'hystérie (trouble psychologique), le scorbut, la paralysie vésicale et la prostate (**Saini et al., 2016**).

➤ Purification des eaux

La poudre de graine de *Moringa* peut être utilisée pour la purification de l'eau, en remplaçant les produits chimiques dangereux et coûteux tels que le sulfate d'aluminium (**Leone et al., 2015**). Les graines de MO agissent comme des absorbants naturels et agent antimicrobien, elles contiennent 1% de poly-électrolyte actif qui neutralise le colloïde de charge négative dans l'eau sale, Cette protéine peut donc être un polypeptide naturel non toxique pour la sédimentation des particules minérales et organiques dans la purification de l'eau potable (**Mangale Sapana et al., 2012**).

➤ Autres utilisations

Parmi les utilisations de cet arbre, on peut citer, la production de biodiesel (**Leone et al., 2015**), lubrification des montres et d'autres machines délicates (huile), la fabrication du papier et du textile (bois), de teinture (écorce) (**Patel et al., 2010**), engrais (tourteau), fumier vert (des feuilles mortes) et de biopesticide (**Sabale et al., 2008**), domaine cosmétique (**Dubey et al., 2013, Foidl et al., 2001**).

III.1. Origine et provenance de l'échantillon

Les feuilles de *Moringa Oleifera* utilisé dans cette étude sont récoltées en Juin 2016 dans la région d'Oued-Souf. La figure 02 présente une photos des feuilles de MO.



Figure 02 : Photographie des feuilles de *Moringa oleifera*.

III.2. Préparation de l'échantillon

III.2.1. Préparation de la poudre de MO

Après la récolte, les feuilles sont triées et nettoyées de toutes les impuretés tel que les débris de tiges, les feuilles jaunes, etc. Elles sont ensuite séchées à l'air libre et à l'abri de la lumière. Ces dernières sont broyées à l'aide d'un broyeur électrique. La poudre obtenue a été ensuite tamisée par un tamis électrique (Retsch-AS 200), afin d'avoir une poudre de taille des particules inférieure à 500 μm puis conservée dans des bocaux en verre à l'abri de la lumière pour éviter toute détérioration de l'échantillon.

III.2.2. Préparation des pâtes

La semoule / farine : Dans notre étude nous avons utilisé la semoule et la farine du commerce emballée (Safinna) dans des sacs de 10 Kg et 05 Kg, respectivement, conservée à température ambiante dans un endroit sec. L'ensemble des essais relatifs aux pâtes ont été réalisés avec le même lot de semoule et farine.

L'eau : l'eau utilisée pour la fabrication des pâtes alimentaires est une eau distillée.

Les quantités des ingrédients utilisés lors de ces préparations sont mentionnées dans l'annexe 1.

Les étapes de fabrication des pâtes alimentaires sont représentées dans la figure 03.

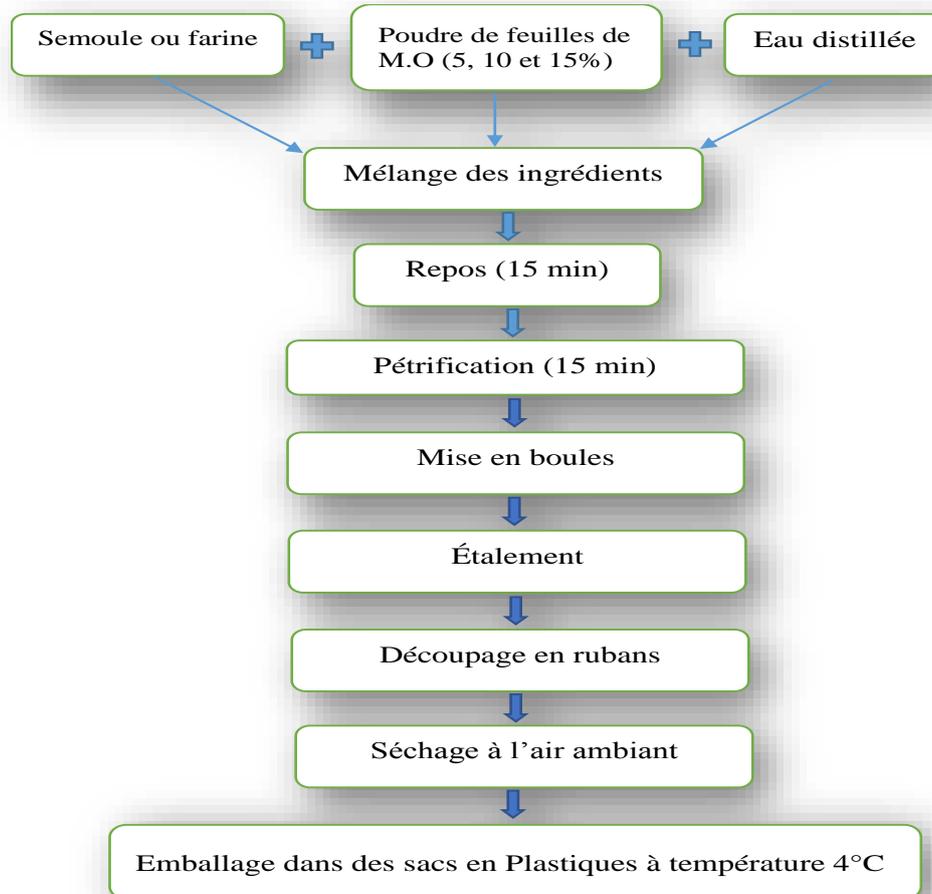


Figure 03 : Diagramme de fabrication des pâtes alimentaires.

III.3. Détermination du temps optimale de cuisson

Le temps minimal, optimal et maximal de cuisson correspondent respectivement à la durée à partir duquel l'amidon est gélatinisé, au temps nécessaire pour donner à la pâte la texture recherchée et au temps au-delà duquel les produits se désintègre dans l'eau de cuisson (**Feillet, 2000**).

La cuisson des pâtes est déterminée selon le protocole suivant (**Petitot et al., 2010**): Un échantillon de 100 g de pâtes (pâte témoin et pâte aux *Moringa oleifera*) est plongé dans 2 litres d'eau distillée bouillante contenant 7 g de sel/ litre d'eau.

À des intervalles de temps réguliers (soit toute 1 minute), un brin de pâte est prélevé entre deux lamelles en verre pour évaluer la cuisson des pâtes (disparition du cœur blanc).

III.4. Préparation de la poudre de pâte cuite

Les pâtes cuites sont séchées dans une étuve à 40°C pendant 24 h jusqu'au séchage total, puis ces dernières seront broyées à l'aide d'un broyeur électrique. Le broyat obtenu est ensuite tamisé par un tamis électrique (Retsch-AS 200), afin d'avoir une poudre de taille des particules inférieure à 500 µm, puis conservée dans des bocaux en verre au frais et à l'abri de la lumière.

III.5. Caractérisation chimique des pâtes alimentaires

Les produits chimiques sont rapportés dans l'annexe 2.

- *Détermination de la teneur en matière sèche et humidité*

La teneur en matière sèche a été déterminée par évaporation de l'eau contenue dans l'échantillon après étuvage à 105°C. La masse résiduelle (P2) a été mesurée à des intervalles de temps réguliers jusqu'à ce que la masse obtenue soit constante après dessiccation (Figure 04).

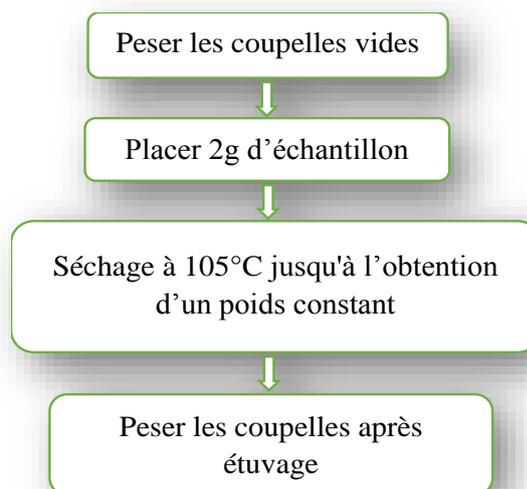


Figure 04 : Protocole de détermination de la teneur en matière sèche et humidité (AOAC, 1998)

La teneur en matière sèche et le taux d'humidité sont exprimés par les formules suivantes :

$$MS (\%) = \frac{(P2 - P1)}{P0} \times 100$$

$$TH (\%) = 100 - MS$$

- ✓ **P0** : représente la prise d'essai.
- ✓ **P1** : représente le poids de la coupelle vide.

✓ **P2** : représente le poids de la coupelle avec l'échantillon.

- **Détermination de la matière minérale (MM%) ou cendres brutes**

Les cendres totales représentent la partie minérale d'un produit qui permet d'avoir une idée sur son apport en sel minéraux ; Les cendres totales ont été obtenues par incinération dans un four à moufle à 525°C pendant 5h (AACC, 1995).

2 g de poudre d'échantillon sont mis dans des coupelles et placés dans un four a moufle à 525°C pendant 5 h (l'incinérations totales), après refroidissement dans un dessiccateur les coupelles sont pesées.

Le taux des cendres totales est exprimé en pourcentage par rapport à la matière sèche et il est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Cendres (\%)} = \frac{(P2 - P1)}{P0} \times 100$$

✓ **P0** : poids de l'échantillon en (g).

✓ **P1** : poids de la coupelle vide en (g).

✓ **P2** : Poids de la coupelle + échantillon après incinération en (g).

III.6. Evaluation de la teneur en composés phénoliques des pâtes alimentaires

III.6.1. Extraction des composés phénoliques

L'extraction des composés phénoliques est réalisée avec du méthanol 80% comme solvant d'extraction. Quand une matrice est au contact d'un solvant, les composants solubles migrent vers le solvant. Ainsi L'extraction est un transfert du principe actif de la matrice vers le solvant selon un gradient de concentration (Pereira *et al.*, 2013).

Pour extraire les polyphénols de poudre de pâte, nous avons opté pour le protocole de macération décrit par **Oomah *et al.*, (2011)** (Figure 05).

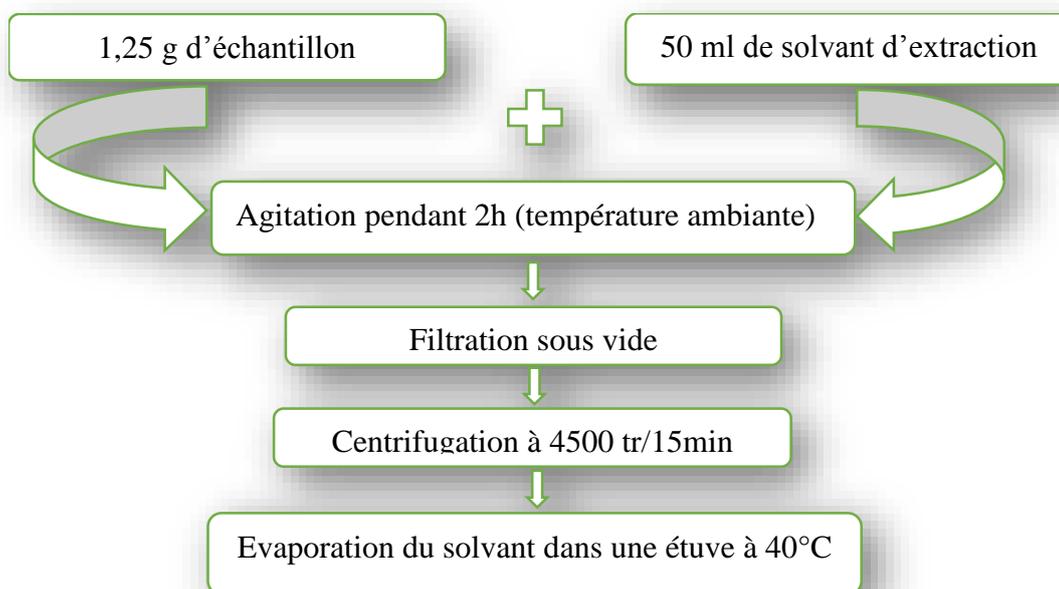


Figure 05 : Protocole d'extraction des composés phénoliques (**Oomah *et al.*, (2011)**).

III.6.2. Dosage des phénols totaux solubles par la méthode au Folin-Ciocalteu

Le dosage des phénols totaux solubles a été effectué selon la méthode colorimétrique de Folin-Ciocalteu décrite par Singleton et Rossi et rapportée par **Škerget *et al.*, (2005)**. Le réactif de Folin-Ciocalteu est un mélange de l'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMO_{23}O_{40}$), est réduit en présence de polyphénols en un mélange d'oxydes bleu de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}). La coloration produite, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits (**Boizot and Charpentier, 2006**). Un volume de 500 μ l d'extrait est ajouté à 2,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (1N) dilué à 0,1N. Après 5 mn, 2 ml de carbonate de sodium Na_2CO_3 (75g/l) sont additionnés au milieu réactionnel. L'absorbance est mesurée à 760 nm après 5 min d'incubation à 50°C. Les concentrations en phénols totaux solubles sont déterminées par référence à une courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique (Annexe 3). La teneur en phénol totaux soluble est exprimée en mg équivalent d'Acide Gallique/g MS.

III.6.3. Dosage des flavonoïdes

La méthode repose sur le principe du dosage direct par le chlorure d'aluminium. En effet, les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre en position 5 susceptible de donner en présence de chlorure d'aluminium un complexe jaunâtre par chélation de l'ion Al^{+3} . La coloration jaune produite est proportionnelle à la quantité de flavonoïdes présente dans l'extrait (**Ribéreau-Gayon, 1968**).

Le protocole de dosage des flavonoïdes est représenté dans la figure 06.

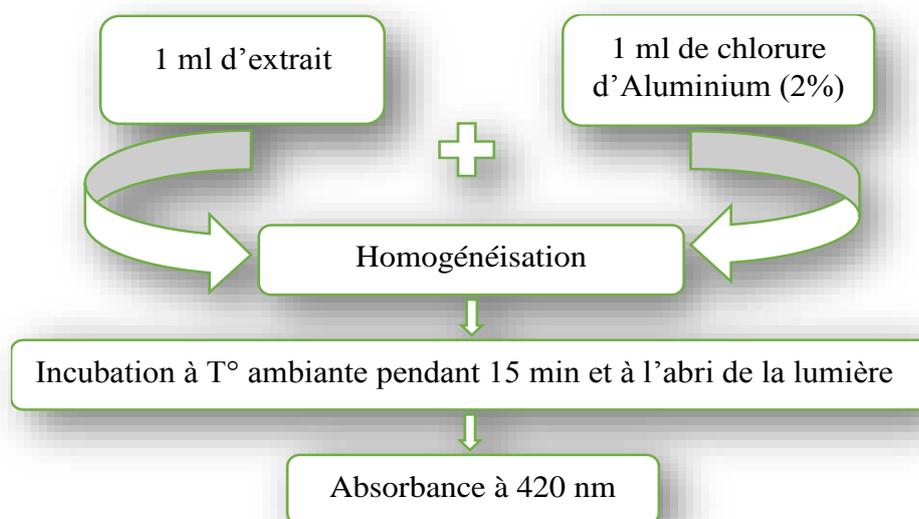


Figure 06 : Protocole de dosage des flavonoïdes (**Lamaison and Carnat, 1990**).

La teneur en flavonoïdes est exprimée en mg Eq quercitrine/g MS (Annexe 4). Elle est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage obtenue avec la quercitrine comme standard.

III.7. Evaluation de l'activité antioxydante des pâtes cuites enrichies

Dans le but d'évaluer l'activité antioxydante de notre extrait, 3 tests ont été réalisés : pouvoir réducteur, pouvoir de piégeage du radical DPPH et chélation du fer.

III.7.1. Pouvoir réducteur

La méthode de la réduction du fer est basée sur la réduction de fer ferrique en sel de fer par les antioxydants qui donnent la couleur bleu (**Ou et al., 2001**) selon la figure 07.

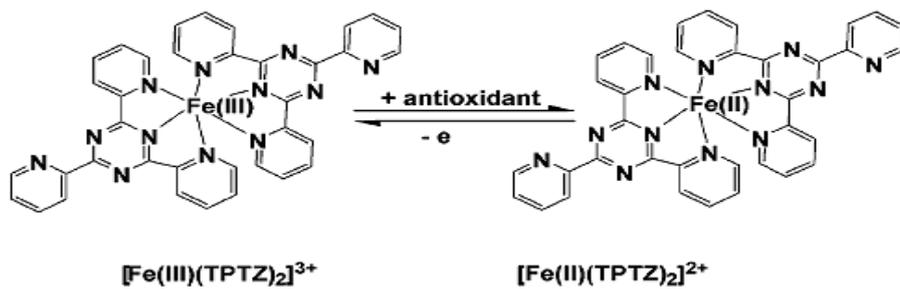


Figure 07 : Schéma sur la réaction de test FRAP (Ferric reducing antioxidant power) (Prior *et al.*, 2005).

Le pouvoir réducteur a été déterminé selon la méthode de **Oyaizu, (1986)**. 200 μ l d'extrait ont été mélangé avec 500 μ l de tampon phosphate à 0.2 M (PH=6.6) et 500 μ l de ferricyanure de potassium [$K_3Fe(CN)_6$] à 1%. Le mélange résultant a été incubé à 50 °C pendant 20 min, suivi par l'addition de 500 μ l d'acide trichloroacétique à 10%, qui a ensuite été centrifugé à 500 tr/min pendant 10 min. Le surnageant de la solution (1 ml) a été mélangé avec 1 ml d'eau distillée et 200 μ l de chlorure ferrique [$FeCl_2$] à 0,1% et l'absorbance a été mesurée au spectrophotomètre à 700 nm contre le mélange sans l'extrait (échantillon blanc). Les résultats ont été exprimés en gramme équivalent acide ascorbique par g de MS à partir d'une courbe d'étalonnage d'acide ascorbique (Annexe 5).

III.7.2. Activité antiradicalaire DPPH

Le 2, 2-diphényl-1-picryl-hydrazyle (DPPH) est largement utilisé pour tester la capacité des composés en tant que piègeurs de radicaux libres ou donneurs d'hydrogène, et pour évaluer l'activité antioxydante des phyto-constituants (**Kumbhare *et al.*, 2012**). Le DPPH est un radical stable et il présente en solution une absorption caractéristique à 517 nm qui lui confère une coloration violette. Cette couleur passe rapidement au jaune lorsque le DPPH est réduit par un capteur de radicaux libres (**Figure 08**).

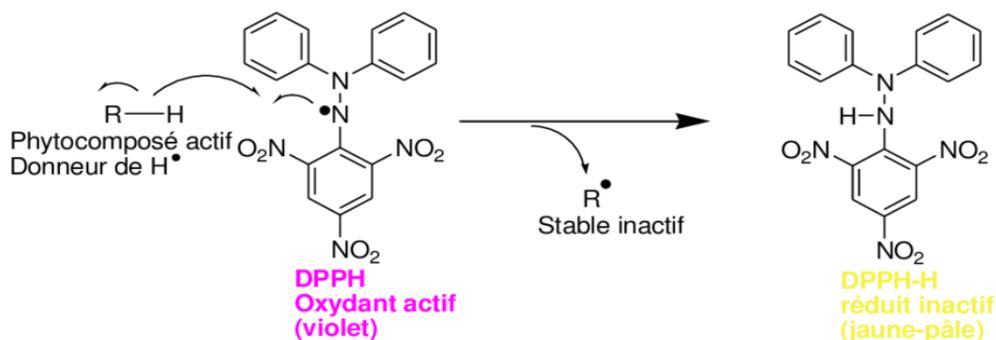


Figure 08 : Mécanisme de piégeage du DPPH (Konan *et al.*, 2017).

L'activité de piégeage des radicaux libres des extraits a été étudiée, en utilisant la méthode de piégeage des radicaux diphenyl-1, 2-picrylhydrazyle (DPPH) (**Brand-Williams *et al.*, 1995**) (Figure 09).

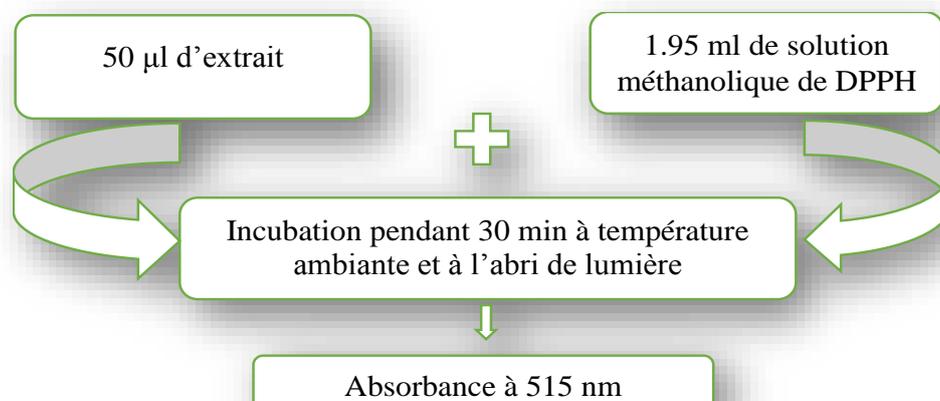


Figure 09 : Protocole d'évaluation de l'activité antiradicalaire (**Brand-williams *et al.*, 1995**).

La capacité antioxydante de l'échantillon a été exprimée en pourcentage (%) d'inhibition du DPPH. Et ce dernier a été calculé en utilisant la formule suivante :

$$(\%) \text{ d'inhibition} = \frac{\text{Abs control} - \text{Abs échantillon}}{\text{Abs control}} \times 100$$

III.7.3. Chélation du fer ferreux

La chélation du fer ferreux par les extraits est évaluée par la méthode à la ferrozine, cette dernière forme un complexe de couleur violet avec les ions Fe^{2+} libres (Fe^{2+} -ferrozine), qui se manifeste par une diminution de l'absorbance, traduisant ainsi le pouvoir chélateur des antioxydants présents (**Le *et al.*, 2007**).

La chélation des ions ferreux est déterminée selon le procédé de (**Zhao *et al.*, 2008**). Une prise de 100 µl d'extrait est ajoutée à 50 µl de chlorure de fer (FeCl_2 , 2 mM). Après une agitation vigoureuse, 100 µl de ferrozine (5 mM) sont ajoutés, suivis de 2,75 ml d'eau distillée. Le mélange est ensuite agité et incubé pendant 10 min à température ambiante, permettant ainsi la complexation du fer résiduel et la formation du complexe Ferrozine- Fe^{2+} . Un contrôle négatif est préparé dans les mêmes conditions. L'absorbance est mesurée à 562 nm contre un blanc

(sans ferrozine). La capacité de chélation de fer est exprimée en pourcentage (%) et elle est déterminée selon la formule suivante :

$$(\%) \text{ d'inhibition} = \frac{\text{Abs control} - \text{Abs échantillon}}{\text{Abs control}} \times 100$$

III.8. Effets des extraits de pate alimentaire enrichie sur l'activité de l' α -amylase

Nous avons mesuré l'effet de deux doses (D1=2D2), des différents extraits de poudre de pâtes témoins et enrichies par la poudre de feuilles de M.O, sur la production du maltose par action de α -amylase sur l'amidon de pomme de terre. Les extraits sont reconstitués dans le DMSO (dimethylsulphoxide).

Le Protocol expérimental est résumé dans le tableau IV.

Tableau IV : Protocol expérimental utilisé pour l' α -amylase (Ali *et al.*, 2006, Loizzo *et al.*, 2007).

Solutions		Extrait de plante	Solution d'amidon de pomme de terre 0.5%	Eau distillé	Enzyme 4 U/ml	DMSO
Tube						
Témoin	Témoin	-	1.6 ml	640 μ l	800 μ l	160 μ l
	Blanc de témoin	-	1.6 ml	1.44 ml		160 μ l
Extrait D1	Ext D1	160 μ l	1.6 ml	640 μ l	800 μ l	-
	Blanc Ext D1	160 μ l	1.6 ml	1.44 ml		-
Extrait D2	Ext D2	160 μ l	1.6 ml	640 μ l	800 μ l	-
	Blanc Ext D2	160 μ l	1.6 ml	1.44 ml		-

Ext D1 : Extrait à dose 1 ; **Ext D2** : Extrait à dose 2.

Les tubes sont incubés à 25°C pendant 5 minutes. 800 μ l ont été prélevés de chaque tube et ajouter 400 μ l de DNS, suivi d'une incubation à 85°C pendant 15 min puis additionné à 3,6 ml d'eau distillée. La lecture des absorbances pour chacun est faite contre le blanc à 540 nm. Tous

les essais sont répétés 3 fois pour les extraits. Les résultats sont exprimés selon la formule suivante :

$$(\%) \text{ d'inhibition} = 100 - \left[\left(\frac{\text{maltose échantillon}}{\text{maltose témoin}} \right) \times 100 \right]$$

A partir d'une solution de maltose (1 mg/ml), nous avons préparé des solutions diluées allant de 0 à 1 mg/ml (Annexe 6)

III.9. Etude statistique

L'analyse statistique des résultats a été effectuée avec l'application ANOVA (SATISTICA) et la comparaison des résultats est prise à la probabilité ($p < 0,05$). Toutes les données représentent la moyenne de trois essais \pm écart type.

Résultats et discussion

Les différentes pâtes enrichies et témoins représenté dans le tableau V, illustre un aspect textural dure, friable et la couleur des pâtes augmente proportionnellement en fonction du taux d'incorporation.

Tableau V : Pâtes enrichies et témoins par la poudre des feuilles de *Moringa Oleifera*.

Taux d'incorporation de MO	Pâtes à base de semoule	Pâtes à base de farine
Pâtes à 0 % MO (Témoins)		
Pâtes à 5 % MO		
Pâtes à 10 % MO		
Pâtes à 15 % MO		

IV.1. La préparation des pâtes cuites et détermination du temps optimal de cuisson

La qualité culinaire des pâtes fabriquées dans notre étude a été évaluée par la détermination du temps optimal de cuisson. L'ensemble des résultats obtenus pour le temps optimal de cuisson des différentes pâtes préparées est illustré dans la figure 10.

L'analyse statistique de nos résultats montre que chacun des deux facteurs (farine/semoule et taux d'incorporation) mis en jeu affecte significativement ($p < 0,05$) le temps optimal de cuisson, en présence de semoule ou de farine, l'élévation du taux de MO allonge significativement ($P < 0,05$) le temps de cuisson des pâtes (Figure 10). A l'exception, il n'y a pas de différence significative pour le taux d'incorporation à 0 et 5 % pour la semoule, et pas de différences significatives 5 et 10 %, entre 10% et 15% pour la farine.

- **Le temps optimal de cuisson**

Nous avons constaté que les pâtes à base de semoule ont des temps de cuisson plus courts que ceux des pâtes à base de farine. Les pâtes, à base de semoule ou de farine et enrichies se caractérisent par un temps de cuisson plus long que celui du témoin. Le temps de cuisson enregistré, pour les pâtes témoin à base de semoule est de 7,33 min, contre 11 min dans le cas des pâtes à 15% de MO. Pour les pâtes à base de farine, les temps de cuisson enregistrés pour les pâtes témoin et les pâtes à 15% de MO sont respectivement, 10,66 min et 13,66 min.

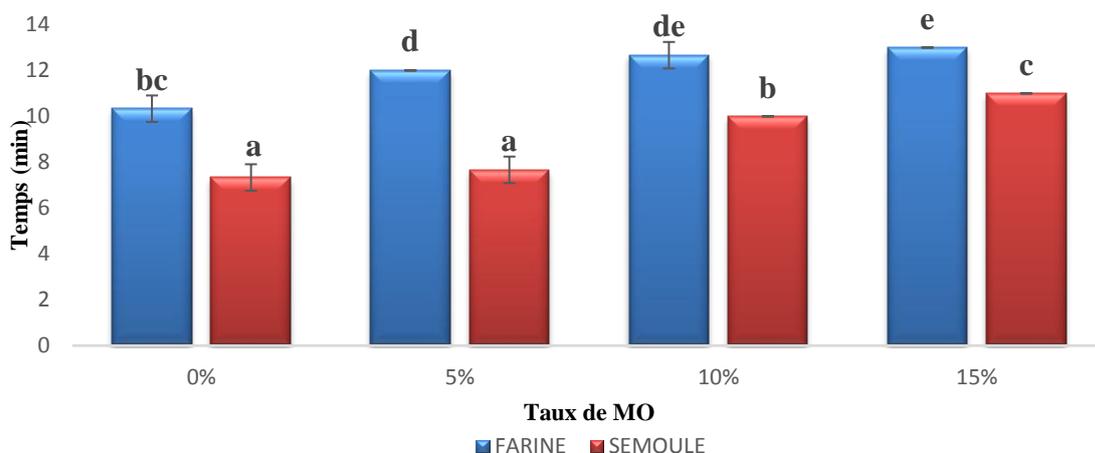


Figure 10 : Temps optimal de cuisson des pâtes alimentaires enrichies.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$)

IV.2. Caractérisation chimique des pâtes alimentaire

IV.2.1. Taux d'humidité

Globalement les pâtes alimentaires sont majoritairement constituées de MS (>à 86%) ; leur taux d'humidité est faible (< à 14%).

L'incorporation de poudre de feuilles de moringa (Figure 11) s'accompagne d'une baisse significative ($p < 0,05$) du taux d'humidité des pâtes. L'amplitude de ces baisses dépend tu taux de poudre incorporé.

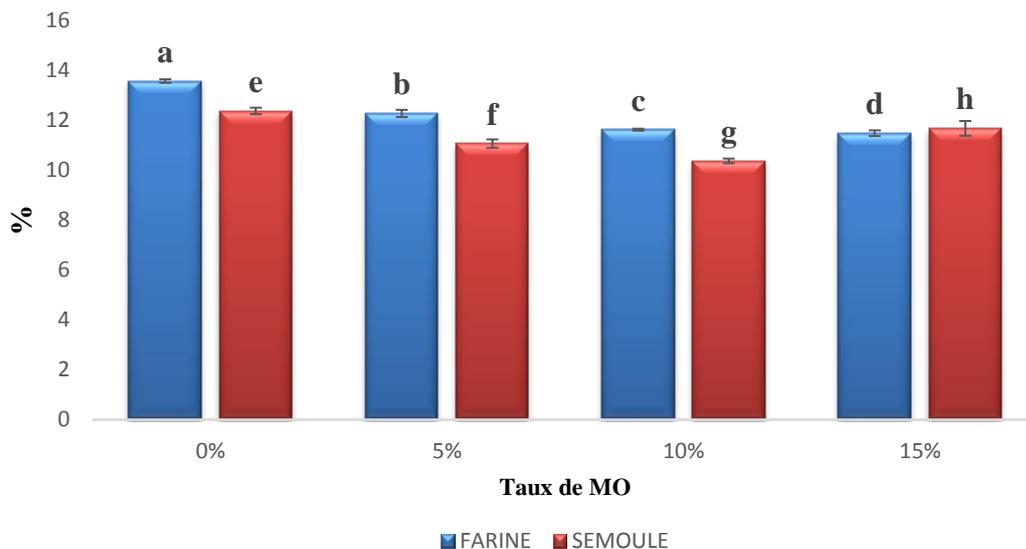


Figure 11 : Taux d'humidité des pâtes alimentaires.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

IV.2.2. La teneur en cendre

La figure 12, montre que la teneur en cendre, des pâtes alimentaires à base de semoule est plus élevée que celle de leur homologue à base de farine. D'autre part, l'augmentation du taux d'incorporation de MO dans les pâtes engendre une augmentation progressive de la teneur en cendre. La teneur en cendre enregistrée pour les pâtes témoin à base de semoule est de 1,80 g, contre 2,99 g dans le cas des pâtes à 15% de MO ; et pour les pâtes à base de farine elle varie de 1,49 g à 2,86 g (0 - 15% de MO).

En présence de semoule ou de farine, l'élévation du taux de MO augmente significativement ($P < 0,05$) la teneur en cendre des pâtes.

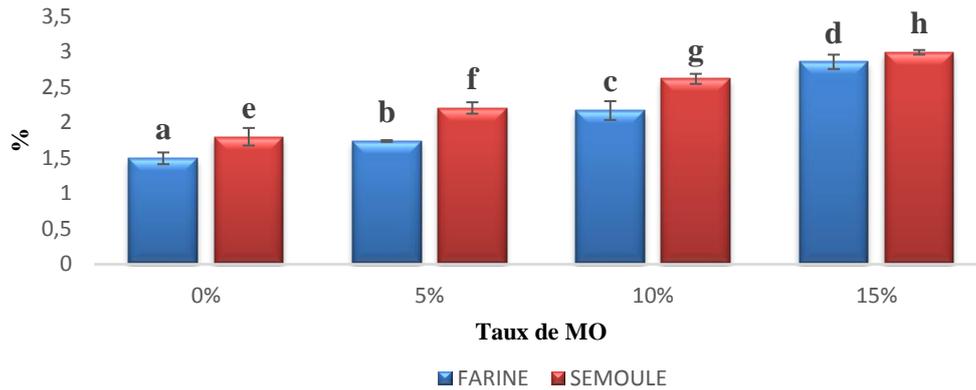


Figure 12 : Teneur en cendre des pâtes alimentaires enrichies.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

IV.3. Les composés phénoliques

IV.3.1. Teneur en PTS

Les résultats obtenus à partir des extraits analysés (figure 13) révèlent qu'il existe une différence significative ($p < 0,05$) entre la quantité en PTS des extraits méthanoliques de pâtes témoin à base de semoule et leur équivalent à base de farine. L'augmentation du taux d'incorporation de MO dans les pâtes, engendre une augmentation significative ($p < 0,05$) de la teneur en PTS. Pour les pâtes à base de farine (témoin et 15% de MO), les teneurs en PTS varient de 1,03 à 2,87 mg équivalent AG / g MS respectivement ; pour leurs équivalents à base de semoule elle passe de 1,04 à 3,78 mg équivalent AG / g MS. Cet apport est dû à la quantité la plus élevée dans MO contrairement à la semoule et la farine.

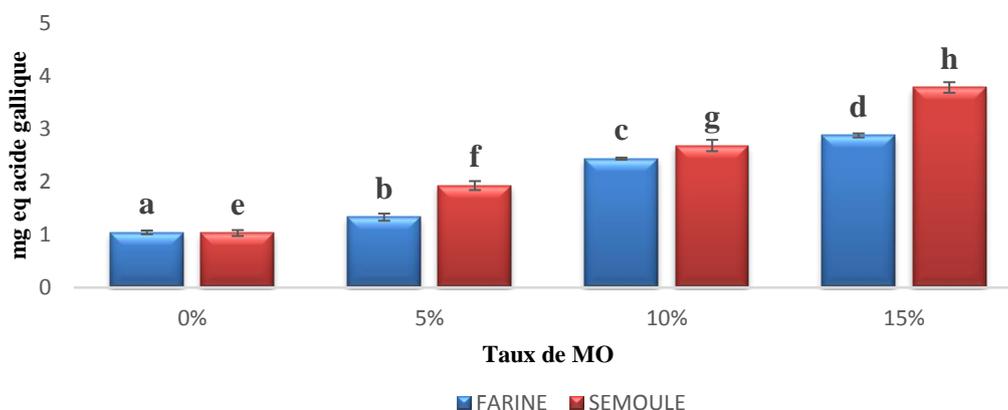


Figure 13 : Teneur en phénols totaux solubles (PTS) des pâtes enrichies.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

IV.3.2. Teneur en flavonoïdes

Les résultats de l'analyse quantitative des flavonoïdes (Figure 14) indiquent qu'il n'existe pas une différence significative ($p > 0,05$) entre les pâtes témoins. L'élévation du taux d'incorporation de MO dans les pâtes, s'accompagne d'une augmentation significative ($p < 0,05$) de la teneur en flavonoïdes. Pour les pâtes à base de farine (0 et 15% de MO), les teneurs en flavonoïdes varient de 0,003 à 0,198 mg équivalent quercitine/g MS respectivement ; pour leurs équivalents à base de semoule elle passe de 0,005 à 0,184 mg équivalent quercitine/g MS.

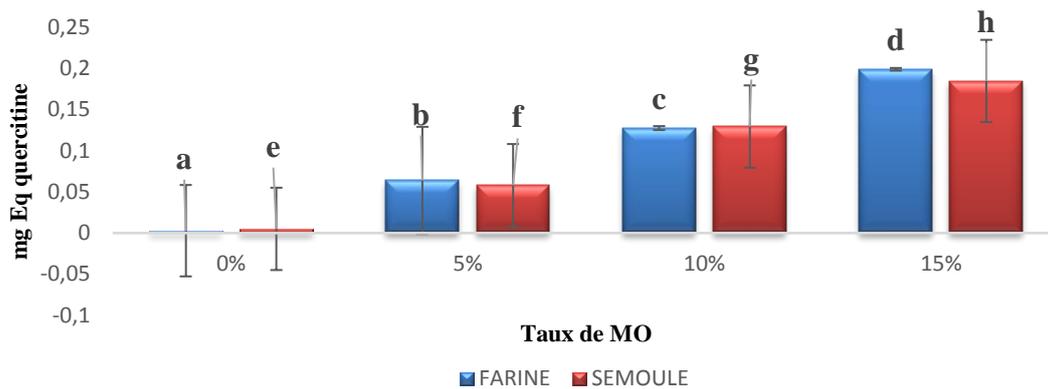


Figure 14 : Teneur en flavonoïdes des pâtes alimentaires enrichies.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

IV.4. Activité anti-oxydantes des pâtes cuites enrichies

IV.4.1. Pouvoir réducteur

Nos résultats révèlent que le pouvoir réducteur augmente significativement ($p < 0,05$) avec l'augmentation du taux d'incorporation de la poudre des feuilles de MO dans les pâtes (Figure 15). En effet, le pouvoir réducteur optimale est enregistré pour les pâtes à base de farine à 15% MO (5,15 mg équivalent d'acide ascorbique /g MS).

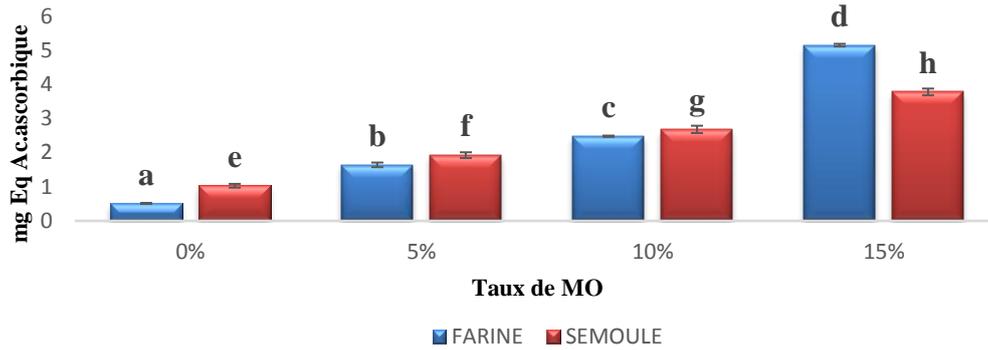


Figure 15 : Le pouvoir réducteur des pâtes alimentaires enrichies.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

IV.4.2. Activité anti-radicalaire DPPH

Nos résultats (Figure 16) montrent que l'activité de piégeage du radical libre DPPH augmente significativement ($P < 0,05$) avec le taux d'incorporation. Le pourcentage d'inhibition plus important pour les extraits de pâtes à base de semoule (4,99 à 61,87%) par rapport à leurs semblables à base de farine (3,27 à 59,95%), à l'exception de 5% et 10% pour la semoule et la farine.

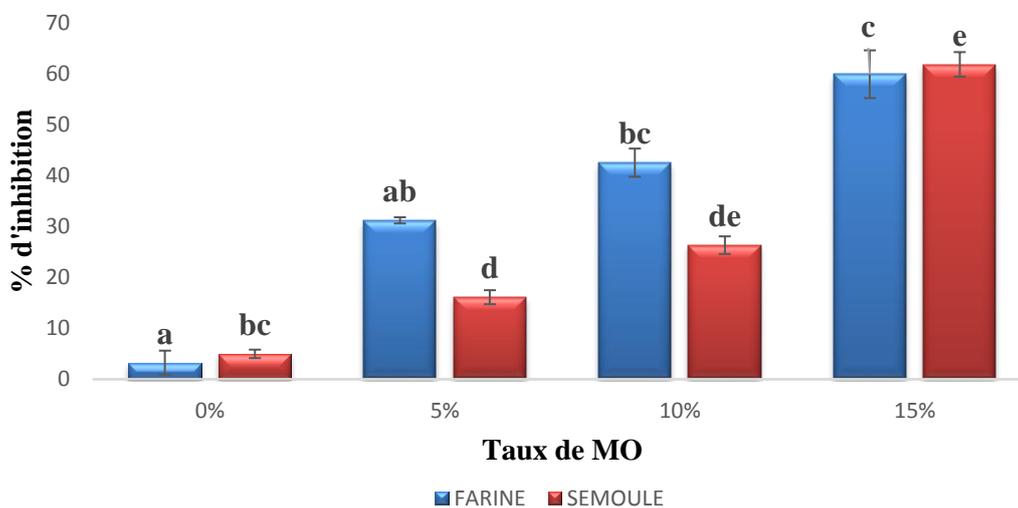


Figure 16 : Activité anti-radicalaire du DPPH des pâtes alimentaires enrichies.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

IV.4.3. Chélation du fer ferreux

Les résultats d'analyses (Figure 17), révèlent que la chélation de fer augmente significativement ($P < 0,05$) avec le taux d'incorporation. Notant une capacité de chélation du fer plus importante observée à l'égard du témoin à base de farine (12,93%) comparé à son homologue à base de semoule (7,64%). L'enrichissement des pâtes se traduit par un optimum de chélation au taux de 15% de MO avec des pourcentages de chélation de 40,84% à 47,12%.

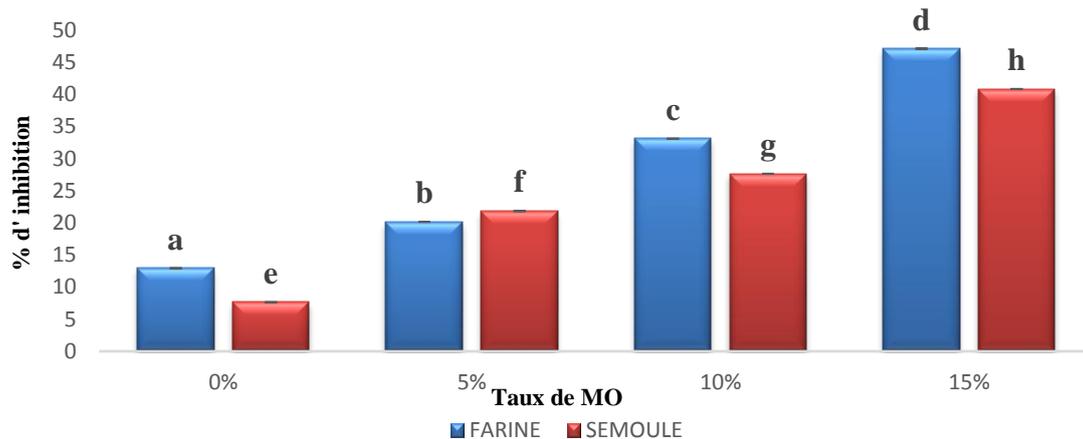


Figure 17 : Le pouvoir chélateur du fer des pâtes alimentaires enrichies.

Les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$).

IV.5. Effets des extraits de pates sur l'activité de l' α -amylase

L'analyse statistique de nos résultats montre que chacun des trois facteurs (échantillons, taux d'incorporation et dose) mis en jeu affectent significativement ($p < 0,05$) l'activité de l' α -amylase.

Les résultats, représentés dans la (Figure 18) montrent que l'augmentation du taux d'incorporation de la poudre de feuilles de MO dans les pâtes alimentaires, s'accompagne d'une élévation significativement plus importante ($p < 0,05$) du pourcentage d'inhibition de l' α -amylase. L'inhibition la plus élevée a été enregistrée pour les pâtes à base de farine enrichies à 15% de MO (90,45%) ; la valeur la plus faible est notée pour les pâtes à base de farine témoin (2,78%).

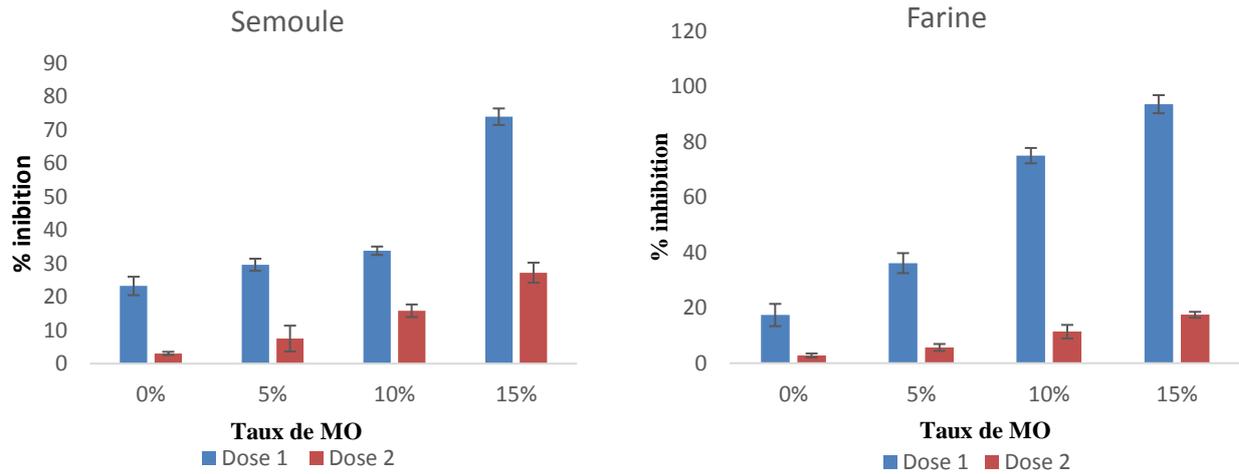


Figure 18 : Effet des extraits de pâtes enrichies sur l'activité d l' α -amylase.

Discussion générale

L'incorporation de la poudre de feuilles de MO dans la préparation des pâtes alimentaires s'est accompagnée d'une variation de la qualité de ces dernières sur quatre plans : qualité culinaire, composition chimique, propriété anti-oxydants, et activité inhibitrice de l' α -amylase.

La qualité culinaire des pâtes enrichies se distingue par une augmentation du temps optimale de cuisson, cette dernière serait liée à l'élévation de la teneur en protéines dans les pâtes enrichies. En effet, **Oniang'o, Grum et al. (2005)** ont rapporté que la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* est riches en protéines.

Selon **Pagani, Gallant et al. (1986)**, lors de la cuisson des pâtes, il existe une compétition entre l'amidon et les protéines pour l'eau. En outre, lorsque moins de protéines entourent les granules d'amidon, elles gonflent et se gélifient plus rapidement. Ainsi, il est postulé que l'addition de légumineuses, avec sa plus grande quantité de protéine, entraîne un gonflement plus lent de l'amidon et, par conséquent, un temps plus long pour la gélification, ce qui entraîne un temps de cuisson plus long (**Fuad and Prabhasankar 2010**), ce qui concorde avec nos résultats. Nos données (plus de 86% de MS) suggèrent une bonne qualité de séchage des pâtes (**Bordreau and Ménard, 1992, Feillet, 2000, Abecassis et al., 1994**).

La forte teneur en cendre enregistrée dans les pâtes enrichies, pourrait être expliquée par la teneur élevée en sel minéraux dans la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*. En effet, selon les différents auteurs (**Gidamis, Panga et al. 2003; Oniang'o, Grum et al. 2005; Sánchez, Spörndly et al. 2006; Sánchez-Machado, Núñez-Gastélum et al. 2010**), la poudre de feuilles de MO est très riche en cendre (11,39-14,60 g/100g de MS). Nos résultats sont supérieurs à ceux rapportés par **Torres, Frias et al. (2007)** pour des produits pâteux à base de lupin.

L'incorporation de poudre de feuilles de MO a conféré aux pâtes une plus forte teneur en composés phénoliques (les phénols totaux solubles et les flavonoïdes) que les pâtes témoins. Selon **Charoensin (2014), Rodríguez-Pérez, Quirantes-Piné et al. (2015)** et **Vats and Gupta (2017)**, les feuilles de *Moringa Oleifera* sont considérées comme une bonne source de composés bioactifs, flavonoïdes et phénols totaux solubles.

En accord avec **Moyo, Oyedemi et al. (2012)** les pâtes enrichies se caractérisent par une plus forte activité antioxydante. L'augmentation significative du pouvoir réducteur des pâtes pourrait être attribuée à la capacité réductrice de la poudre de feuilles de MO. Des études antérieures ont également montré que le pouvoir réducteur d'un composé peut servir comme un

indicateur significatif de son activité antioxydante potentielle (**Bougandoura and Bendimerad 2013**).

L'augmentation du taux d'incorporation de poudre de feuilles de MO dans les pâtes, a progressivement augmenté l'activité de piégeage du radical DPPH. Cela correspond à la concentration de composés phénoliques totaux par unité de volume de poudre de feuilles. (**Negi and Jayaprakasha 2003; Naveena, Sen et al. 2008**) Ont rapporté une augmentation de l'activité de piégeage des radicaux avec une augmentation de la concentration de l'extrait.

Les différents dosages réalisés précédemment au laboratoire ont montré la présence de divers composés phénolique dans les mêmes poudres de feuilles (**Aissou et al., 2017**), une augmentation des teneurs des pâtes enrichies en ces composés suivies d'une amélioration du pouvoir anti-oxydant de ces derniers.

Selon **Morris, Earl et al. (1995)** et **Brown, Khodr et al. (1998)**, les composés phénoliques s'avèrent comme de bons chélateurs des ions métalliques, Et nos résultats sont en accord avec les travaux de (**Thirugnanasampandan, Mahendran et al. 2008**).

L' α -amylase est l'une des principales enzymes impliquées dans la dégradation de l'amidon en molécules de glucose absorbables (**Afifi et al. 2008**). Nos résultats révèlent une baisse de l'activité de l' α -amylase avec l'augmentation de la dose d'extrait, selon les travaux de différents auteurs (**Kumari 2010; Jimoh 2017**), les feuilles de *moringa oleifera* présente une forte activité inhibitrice de l' α -amylase. Quelque étude antérieure a également révélé que les phénols sont des inhibiteurs potentiels de l'activité de l' α -amylase (**Oboh, Agunloye et al. 2015**). Ce qui explique dans notre présent travail, la diminution de la production du maltose dans les extraits de pâtes enrichies dans chacune des deux doses (D1 et D2).

Conclusion

Notre travail a fait l'objet d'une étude des différents effets de l'incorporation de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* dans les pâtes alimentaires, sur la qualité nutritionnelle et culinaire, l'activité antioxydante et l'activité enzymatique de l' α -amylase du produit fini.

La poudre de feuilles de *Moringa oleifera* a été utilisée en substitution (5, 10 et 15%) de la semoule ou de la farine de blé. Nos données analytiques ont montré pour les pâtes enrichies une augmentation significative ($p < 0.05$) des teneurs en cendres (matière minérale) et en composés phénoliques (les polyphénols totaux solubles et les flavonoïdes) par rapport aux pâtes témoins.

Les pâtes enrichies présentent des temps de cuisson différents par rapport aux pâtes témoins, ce qui affecte significativement leurs qualités culinaires.

Notre étude a montré qu'il était possible de réduire significativement l'activité enzymatique de l' α -amylase, et d'améliorer considérablement l'activité antioxydante (pouvoir réducteur, pouvoir de piégeage du radical DPPH et chélation du fer) des pâtes.

Au terme de ce travail, l'enrichissement des pâtes par la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* est possible et intéressant à double titre : d'une part la préparation de ces pâtes enrichies permet de diversifier le marché local, d'autre part elle permet d'obtenir des pâtes de meilleure qualité pour prévenir et traiter les carences alimentaires.

En perspectives, des essais sur animaux sont nécessaires pour une évaluation *in vivo* de la qualité nutritionnelle des pâtes enrichies (digestibilité *in vivo*, bilan azoté, croissance...). De tels essais pourraient être couplés avec l'évaluation de l'index glycémique, élargir cette étude à d'autres associations « céréales-*Moringa* » pour la production d'autres types de pâtes alimentaires tels que le couscous et une analyse sensorielle est nécessaire afin d'évaluer leurs acceptations par le consommateur.

Références bibliographiques

A

- AACC. (1995). Method 08-03: Total Ash, Method 46-13: Crude Protein—Micro-Kjeldahl Method. In *Approved Methods of American Association of Cereal Chemistry*, Saint Paul, Minnesota.
- ABDEL-AAL, E.-S. & HUCL, P. (2002). Amino acid composition and in vitro protein digestibility of selected ancient wheats and their end products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15, 737-747.
- ABECASSIS, J., ABOU, R., CHAURAND, M., MOREL, M. & VERNOUX, P. (1994). Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature, and pressure in the extruder and on pasta quality. *Cereal Chemistry*, 71, 247-253.
- ADEDAPO, A. A., FALAYI, O. O. & OYAGBEMI, A. A. (2015). Evaluation of the analgesic, anti-inflammatory, anti-oxidant, phytochemical and toxicological properties of the methanolic leaf extract of commercially processed *Moringa oleifera* in some laboratory animals. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*, 26, 491-499.
- AFIFI, A., KAMEL, E. A., KHALIL, A., FAWZI, M. F. E. Í. & HOUSERY, M. (2008). Purification and Characterization of α -amylase from. *Global Journal of Biotechnology & Biochemistry*, 3, 14-21.
- AISSOU, K., BOUDJELAL, Z. & ZAIDI, F. E. (2017). Potentiel prébiotique de *Moringa oleifera*.
- ALI, H., HOUGHTON, P. & SOUMYANATH, A. (2006). α -Amylase inhibitory activity of some Malaysian plants used to treat diabetes; with particular reference to *Phyllanthus amarus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 107, 449-455.
- ALIREZA SADEGHI, M. & BHAGYA, S. (2008). Quality characterization of pasta enriched with mustard protein isolate. *Journal of food science*, 73, 229-237.
- ANDRIEU, J. (1986). Durum wheat pasta drying kinetics. *Food Sci. & Technol.*, 19, 448-456.
- ANTOGNELLI, C. (1980). The manufacture and applications of pasta as a food and as a food ingredient: a review. *International journal of food science & technology*, 15, 125-145.
- ANWAR, F. & BHANGER, M. (2003). Analytical characterization of *Moringa oleifera* seed oil grown in temperate regions of Pakistan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6558-6563.
- ANWAR, F., LATIF, S., ASHRAF, M. & GILANI, A. H. (2007). *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. *Phytotherapy research*, 21, 17-25.
- AOAC (1998). Official methods of analysis. Washington, DC. USA: Association of Official Analytical Chemists. 16th Ed, 4th revision.

B

- BELLOSTAS, N., SOSLASH, J. C., NIKIEMA, A., SOSLASH, H., PASTERNAK, D. & KUMAR, S. (2010). Glucosinolates in leaves of *Moringa* species grown and disseminated in Niger. *African Journal of Agricultural Research*, 5, 1338-1340.
- BOIZOT, N. & CHARPENTIER, J.-P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Le Cahier des Techniques de IINRA, Numéro spécial 2006: Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques*, 79-82.
- BOUDREAU, A. & DUBOIS, L. (1992). Insécurité linguistique et diglossie: étude comparative de deux régions de l'Acadie du Nouveau-Brunswick. *Revue de l'Université de Moncton*, 25, 3-22.
- BOUDREAU, A. & MÉNARD, G. (1992). *Le blé: éléments fondamentaux et transformation*: Presses Université Laval.

Références bibliographiques

BOUGANDOURA, N. & BENDIMERAD, N. (2013). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technology*, 14.

BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.-E. & BERSET, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28, 25-30.

BROWN, E. J., KHODR, H., HIDER, C. R. & RICE-EVANS, C. A. (1998). Structural dependence of flavonoid interactions with Cu²⁺ ions: implications for their antioxidant properties. *Biochemical Journal*, 330, 1173-1178.

C

CHAROENSIN, S. (2014). Antioxidant and anticancer activities of *Moringa oleifera* leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, 8, 318-325.

CHILLO, S., LAVERSE, J., FALCONE, P., PROTOPAPA, A. & DEL NOBILE, M. (2008). Influence of the addition of buckwheat flour and durum wheat bran on spaghetti quality. *Journal of Cereal Science*, 47, 144-152.

D

DUBEY, D. K., DORA, J., KUMAR, A. & GULSAN, R. K. (2013). A multipurpose tree—*Moringa oleifera*. *International Journal of Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 2, 415-423.

E

ELLIS, W. O., ODURO, I. & OWUSU, D. (2011). Development of crackers from cassava and sweetpotato flours using *Moringa oleifera* and *Ipomoea batatas* leaves as fortificant. *American Journal of Food and Nutrition*.

FAHEY, J. W. (2005). *Moringa oleifera*: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. *Trees for life Journal*, 1.

FALOWO, A. B., MUKUMBO, F. E., IDAMOKORO, E. M., LORENZO, J. M., AFOLAYAN, A. & MUCHENJE, V. (2018). Multi-functional application of *Moringa oleifera* Lam. in nutrition and animal food products: A review. *Food Research International*, 106, 317-334.

FAROOQ, F., RAI, M., TIWARI, A., KHAN, A. A. & FAROOQ, S. (2012). Medicinal properties of *Moringa oleifera*: An overview of promising healer. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6, 4368-4374.

FEILLET, P. (1986). L'industrie des pâtes alimentaires: technologies de fabrication, qualité des produits finis et des matières premières. *IAA*, 10, 979-989.

FEILLET, P. (2000). *Le grain de blé: composition et utilisation*: Editions Quae.

FOIDL, N., MAKKAR, H. & BECKER, K. (2001). Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. *Potentiel de développement des produits de Moringa. Dar es-Salaam, Tanzanie, du 29 octobre au 2 Novembre 2001*.

FOOD & ADMINISTRATION, D. (1999). Food labeling health claims; soy protein and coronary heart disease. *Fed Regist*, 64, 57699-57733.

FUAD, T. & PRABHASANKAR, P. (2010). Role of ingredients in pasta product quality: A review on recent developments. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50, 787-798.

G

GIDAMIS, A., PANGA, J., SARWATT, S., CHOVE, B. & SHAYO, N. (2003). Nutrient and antinutrient contents in raw and cooked young leaves and immature pods of *Moringa oleifera*, Lam. *Ecology of food and nutrition*, 42, 399-411.

GIESE, J. (1992). Pasta: New twists on an old product. *Food technology (USA)*, 46(2), 118-126.

Références bibliographiques

GOÑI, I. & VALENTÍN-GAMAZO, C. (2003). Chickpea flour ingredient slows glycaemic response to pasta in healthy volunteers. *Food chemistry*, 81, 511-515.

GOPALAKRISHNAN, L., DORIYA, K. & KUMAR, D. S. (2016). Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*, 5, 49-56.

H

HEIMLER, D., VIGNOLINI, P., DINI, M. G. & ROMANI, A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of Phaseolus vulgaris L. dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3053-3056.

J

JIMOH, T. O. (2017). Enzymes inhibitory and radical scavenging potentials of two selected tropical vegetable (Moringa oleifera and Telfairia occidentalis) leaves relevant to type 2 diabetes mellitus. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 28(1), 73-79.

K

KADHIM, E. J. & AL-SHAMMAA, D. A. (2014). Phytochemical Characterization using GC-MS Analysis of Methanolic Extract of Moringa oleifera (Family Moringaceae) Plant Cultivated in Iraq. *Chem Mater Res*, 6, 9-26.

KAUR, C. & KAPOOR, H. C. (2001). Antioxidants in fruits and vegetables—the millennium's health. *International journal of food science & technology*, 36, 703-725.

KONAN, V. K., MAMYRBÉKOVA-BÉKRO, J. A., GUIFFREY, P., VIRIEUX, D., PIRAT, J.-L. & BÉKRO, Y.-A. (2017). Composition organique et activité anti-radicalaire de Bombax costatum de Côte d'Ivoire. *Pharmacopée et médecine traditionnelle africaine*, 18, 21-27.

KUMARI, D. J. (2010). Hypoglycaemic effect of Moringa oleifera and Azadirachta indica in type 2 diabetes mellitus. *Bioscan*, 5, 211-214.

KUMBHARE, M., GULEHA, V. & SIVAKUMAR, T. (2012). Estimation of total phenolic content, cytotoxicity and in-vitro antioxidant activity of stem bark of Moringa oleifera. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 2, 144-150.

L

LAMAISON, J. & CARNAT, A. (1990). Levels of principal flavonoids in flowers and leaves of Crataegus-Monogyna Jacq and Crataegus-Laevigata (Poiret) Dc (Rosaceae). *Pharmaceutica Acta Helveticae*, 65, 315-320.

LAMBERT, J. D., HONG, J., YANG, G.-Y., LIAO, J. & YANG, C. S. (2005). Inhibition of carcinogenesis by polyphenols: evidence from laboratory investigations—. *The American journal of clinical nutrition*, 81, 284S-291S.

LE, K., CHIU, F. & NG, K. (2007). Identification and quantification of antioxidants in Fructus lycii. *Food chemistry*, 105, 353-363.

LEONE, A., SPADA, A., BATTEZZATI, A., SCHIRALDI, A., ARISTIL, J. & BERTOLI, S. (2015). Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of Moringa oleifera leaves: An overview. *International journal of molecular sciences*, 16, 12791-12835.

LOIZZO, M., SAAB, A., STATTI, G. & MENICHINI, F. (2007). Composition and α -amylase inhibitory effect of essential oils from Cedrus libani. *Fitoterapia*, 78, 323-326.

M

MANGALE SAPANA, M., CHONDE SONAL, G. & RAUT, P. (2012). Use of Moringa oleifera (drumstick) seed as natural absorbent and an antimicrobial agent for ground water treatment. *Research Journal of Recent Sciences ISSN*, 2277, 2502.

Références bibliographiques

- MANTHEY, F. A. & HALL, C. A. (2007). Effect of processing and cooking on the content of minerals and protein in pasta containing buckwheat bran flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 2026-2033.
- MBIKAY, M. (2012). Therapeutic potential of *Moringa oleifera* leaves in chronic hyperglycemia and dyslipidemia: a review. *Frontiers in Pharmacology*, 3, 24.
- MENSAH, P. & TOMKINS, A. (2003). Household-level technologies to improve the availability and preparation of adequate and safe complementary foods. *Food and Nutrition Bulletin*, 24, 104-125.
- MERCIER, S., MONDOR, M., MORESOLI, C., VILLENEUVE, S. & MARCOS, B. (2016). Drying of durum wheat pasta and enriched pasta: a review of modeling approaches. *Critical reviews in food science and nutrition*, 56, 1146-1168.
- MERCIER, S., VILLENEUVE, S., MONDOR, M. & DES MARCHAIS, L.-P. (2011). Evolution of porosity, shrinkage and density of pasta fortified with pea protein concentrate during drying. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 883-890.
- MIGLIORI, M., GABRIELE, D., DE CINDIO, B. & POLLINI, C. M. (2005). Modelling of high quality pasta drying: mathematical model and validation. *Journal of Food Engineering*, 69, 387-397.
- MISHRA, G., SINGH, P., VERMA, R., KUMAR, S., SRIVASTAV, S., JHA, K. & KHOSA, R. (2011). Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of *Moringa oleifera* plant: An overview. *Der Pharmacia Lettre*, 3, 141-164.
- MOHTADJI-LAMBALLAIS, C. (1989). *Les aliments* (pp. 31-66). Editions Malouine, Paris.
- MORRIS, C. J., EARL, J. R., TRENAM, C. W. & BLAKE, D. R. (1995). Reactive oxygen species and iron—a dangerous partnership in inflammation. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 27, 109-122.
- MOYO, B., OYEDEMI, S., MASIKA, P. & 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 Science*, 91, 441-447.

N

- NADKARNI, A. (1976). *Indian Materia Medica Popular Prakashan Private Ltd. Bombay.*
- NASEHI, B., JOOYANDEH, H. & NASEHI, R. (2011). Quality attributes of soy-pasta during storage period. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10, 307-312.
- NAVEENA, B., SEN, A., VAITHIYANATHAN, S., BABJI, Y. & KONDAIAH, N. (2008). Comparative efficacy of pomegranate juice, pomegranate rind powder extract and BHT as antioxidants in cooked chicken patties. *Meat Science*, 80, 1304-1308.
- NEGI, P. & JAYAPRAKASHA, G. (2003). Antioxidant and antibacterial activities of *Punica granatum* peel extracts. *Journal of food science*, 68, 1473-1477.
- NOUMAN, W., BASRA, S. M. A., SIDDIQUI, M. T., YASMEEN, A., GULL, T. & ALCAYDE, M. A. C. (2014). Potential of *Moringa oleifera* L. as livestock fodder crop: a review. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 1-14.

O

- OBOH, G., AGUNLOYE, O. M., ADEFEGHA, S. A., AKINYEMI, A. J. & ADEMILUYI, A. O. (2015). Caffeic and chlorogenic acids inhibit key enzymes linked to type 2 diabetes (in vitro): a comparative study. *Journal of basic and clinical physiology and pharmacology*, 26, 165-170.
- ONIANG'O, R., GRUM, M. & OBEL-LAWSON, E. (2005). Developing African leafy vegetables for improved nutrition. *Regional workshop*. (pp. 6-9).
- OOMAH, B. D., CASPAR, F., MALCOLMSON, L. J. & BELLIDO, A.-S. (2011). Phenolics and antioxidant activity of lentil and pea hulls. *Food Research International*, 44, 436-441.

Références bibliographiques

- OU, B., HAMPSCH-WOODILL, M. & PRIOR, R. L. (2001). Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 4619-4626.
- OWENS, G. (2001). *Cereals processing technology*: CRC Press.
- OYAIZU, M. (1986). Studies on products of browning reactions-antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *Japanese Journal of Nutrition*, 44, 307-315.

P

- PAGANI, M., GALLANT, D., BOUCHET, B. & RESMINI, P. (1986). Ultrastructure of cooked spaghetti. *Food Structure*, 5, 14.
- PALADA, M. C. (1996). Moringa (*Moringa oleifera* Lam.): A versatile tree crop with horticultural potential in the subtropical United States. *HortScience*, 31, 794-797.
- PANCHAL, M., MURTI, K., LAMBOLE, V. & GAJERA, V. (2010). Pharmacological properties of *Moringa oleifera* Lam.-a review. *Pharmacologyonline*, 2, 768-775.
- PANDEY, A., PRADHEEP, K., GUPTA, R., NAYAR, E. R. & BHANDARI, D. (2011). 'Drumstick tree' (*Moringa oleifera* Lam.): a multipurpose potential species in India. *Genetic resources and crop evolution*, 58, 453-460.
- PATEL, S., THAKUR, A., CHANDY, A. & MANIGAUHA, A. (2010). *Moringa oleifera*: a review of their medicinal and economical importance to the health and nation. *Drug invention today*, 2, 36-39.
- PEREIRA, O. R., MACIAS, R. I., PEREZ, M. J., MARIN, J. J. & CARDOSO, S. M. (2013). Protective effects of phenolic constituents from *Cytisus multiflorus*, *Lamium album* L. and *Thymus citriodorus* on liver cells. *Journal of Functional Foods*, 5, 1170-1179.
- PETITOT, M., BOYER, L., MINIER, C. & MICARD, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43, 634-641.
- POPOOLA, J. O. & OBEMBE, O. O. (2013). Local knowledge, use pattern and geographical distribution of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) in Nigeria. *Journal of Ethnopharmacology*, 150, 682-691.
- PRIOR, R. L., WU, X. & SCHAICH, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4290-4302.

R

- RAFIQ, A., SHARMA, S. & SINGH, B. (2018). Effect of pregelatination on rheology, cooking and antioxidant activity of pasta. *Journal of food science and technology*, 55, 1756-1766.
- RAMACHANDRAN, C., PETER, K. & GOPALAKRISHNAN, P. (1980). Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic botany*, 34, 276-283.
- RANI, A., ZAHIRAH, N., HUSAIN, K. & KUMOLOSASI, E. (2018). *Moringa* genus: A review of phytochemistry and pharmacology. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 108.
- RIBÉREAU-GAYON, P. (1968). Métabolisme et propriétés des composés phénoliques. *Les composés phénoliques des végétaux*. Paris: Dunod.
- RILEY, AM. (1987). Breads and pasta in the United States diet. *Cereal Food World*, 32 :460.
- RODRÍGUEZ-PÉREZ, C., QUIRANTES-PINÉ, R., FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. & SEGURA-CARRETERO, A. (2015). Optimization of extraction method to obtain a phenolic compounds-rich extract from *Moringa oleifera* Lam leaves. *Industrial Crops and Products*, 66, 246-254.

Références bibliographiques

ROLOFF, A., WEISGERBER, H., LANG, U. & STIMM, B. (2009). *Moringa oleifera* LAM., 1785. *Sea*, 10.

S

- SABALE, V., PATEL, V., PARANJAPE, A., ARYA, C., SAKARKAR, S. & SABALE, P. (2008). PHCOG REV.: Plant Review *Moringa Oleifera* (Drumstick): An Overview. *Pharmacognosy Reviews [Phcog Rev.]*, 2, 7-13.
- SAINI, R. K., SIVANESAN, I. & KEUM, Y.-S. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: a review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *3 Biotech*, 6, 203.
- SÁNCHEZ-MACHADO, D. I., NÚÑEZ-GASTÉLUM, J. A., REYES-MORENO, C., RAMÍREZ-WONG, B. & LÓPEZ-CERVANTES, J. (2010). Nutritional quality of edible parts of *Moringa oleifera*. *Food analytical methods*, 3, 175-180.
- SÁNCHEZ, N. R., SPÖRNDLY, E. & LEDIN, I. (2006). Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Science*, 101, 24-31.
- SEĆZYK, Ł., ŚWIECA, M. & GAWLIK-DZIKI, U. (2015). Changes of antioxidant potential of pasta fortified with parsley (*Petroselinum Crispum* mill.) leaves in the light of protein-phenolics interactions. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 14, 29-36.
- SEĆZYK, Ł., ŚWIECA, M. & GAWLIK-DZIKI, U. (2016). Effect of carob (*Ceratonia siliqua* L.) flour on the antioxidant potential, nutritional quality, and sensory characteristics of fortified durum wheat pasta. *Food chemistry*, 194, 637-642.
- SELLAH, L., MOUSSOUS, Y. & HASSISSENE, N. E. (2017). Enrichissement des pâtes alimentaires par la poudre de feuilles de *Moringa Oleifera*.
- SIMONATO, B., CURIONI, A. & PASINI, G. (2015). Digestibility of pasta made with three wheat types: a preliminary study. *Food chemistry*, 174, 219-225.
- SISSONS, M. (2004). Pasta. *Encyclopedia of Grain Science*. Elsevier Ltd., Amsterdam.
- SIVASANKARI, B., ANANDHARAJ, M. & GUNASEKARAN, P. (2014). An ethnobotanical study of indigenous knowledge on medicinal plants used by the village peoples of Thoppampatti, Dindigul district, Tamilnadu, India. *Journal of Ethnopharmacology*, 153, 408-423.
- ŠKERGET, M., KOTNIK, P., HADOLIN, M., HRAŠ, A. R., SIMONIČ, M. & KNEZ, Ž. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food chemistry*, 89, 191-198.
- STEPHENSON, C. (1983). World's best pasta. *Macaroni journal*. 65, 4-8.
- THIRUGNANASAMPANDAN, R., MAHENDRAN, G. & BAI, V. N. (2008). Antioxidant properties of some medicinal Aristolochiaceae species. *African journal of Biotechnology*, 7(4), 354-361.

T

TORRES, A., FRIAS, J., GRANITO, M., GUERRA, M. & VIDAL-VALVERDE, C. (2007). Chemical, biological and sensory evaluation of pasta products supplemented with α -galactoside-free lupin flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 74-81.

V

- VATS, S. & GUPTA, T. (2017). Evaluation of bioactive compounds and antioxidant potential of hydroethanolic extract of *Moringa oleifera* Lam. from Rajasthan, India. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23, 239-248.
- VELADAT, R., ZOKAEE ASHTIANI, F., RAHMANI, M. & MIRI, T. (2012). Review of numerical modeling of pasta drying, a closer look into model parameters. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 7, 159-170.

Références bibliographiques

- VITA, J. A. (2005). Polyphenols and cardiovascular disease: effects on endothelial and platelet function-. *The American journal of clinical nutrition*, 81, 292S-297S.
- VON MAYDELL, H-J. (1986). Trees and Shrubs of Sahel, Their Characterization and Uses. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit, Germany: Eschborn, 334-337.

Z

- ZHAO, H., FAN, W., DONG, J., LU, J., CHEN, J., SHAN, L., LIN, Y. & KONG, W. (2008). Evaluation of antioxidant activities and total phenolic contents of typical malting barley varieties. *Food chemistry*, 107, 296-304.

Annexe 1 : Les quantités d'ingrédients utiliser lors de la préparation des pâtes alimentaire.

Taux d'incorporation	Quantité de <i>Moringa Oleifera</i> (g/100g)	Quantité de farine ou semoule (g/100g)	VLM d'eau distillée Utilisé pour mélange farine (ml)	VLM d'eau distillée Utilisé pour mélange semoule (ml)
0%	0	100	25	30,5
5%	5	95	23	30
10%	10	90	22	29
15%	15	85	21	27

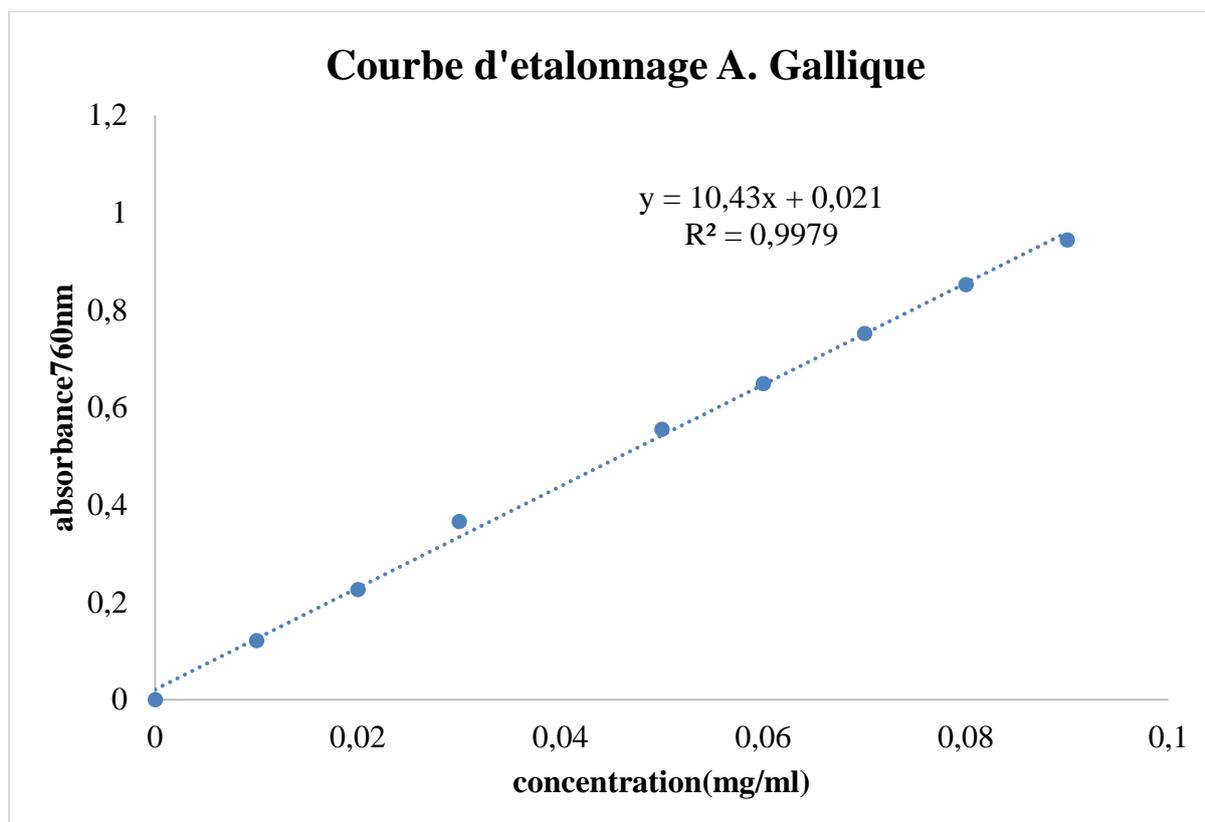
Annexe 2 : produits chimiques utilisés.

Solution	Réactifs
Méthanol 80%Solution de Folin Ciocalteu (0,1N)	10 ml de Folin Ciocalteu ajuster jusqu'à 100ml avec l'eau distillée (10 ml de Folin Ciocalteu + 90ml d'eau distillée)
Solution de carbonate de sodium (7,5%) Na₂CO₃	7,5g de la poudre de Na ₂ CO ₃ dissout dans 100ml l'eau distillée.
Solution méthanolique de DPPH (65µM/l)	0,0024 g DPPH dans 100 ml méthanol pure
FeCl₂ à 2mM	0,025g de FeCl ₂ 2H ₂ O dans 100ml d'eau distillée.
Ferrozine 5mM	0,123g Ferrozine dans 50 ml d'eau distillé

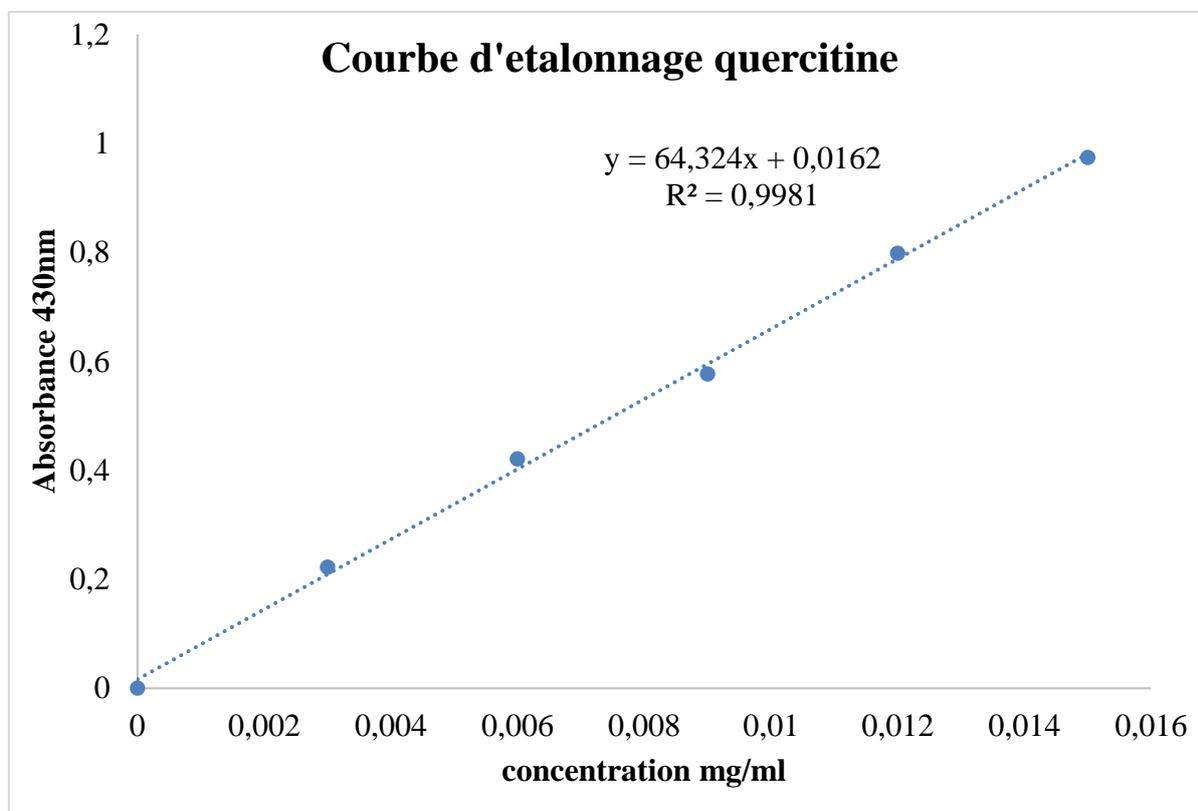
Annexes

Tampon phosphate (0,2M, pH 6,6)	0.68 g de KH ₂ PO ₂ dans 100 ml d'eau distillée. 0.78 g de K ₂ HPO ₂ dans 100 ml d'eau distillée. La solution acide est ajustée avec la solution basique jusqu'à l'obtention d'un pH 6,6.
Acide trichloracétique(TCA) 10%	10g de TCA dans 100ml d'eau distillée.
Chlorure ferrique (FeCl₃) à 0,1 %(p/v)	0,1g de FeCl ₃ dans 100ml d'eau distillée
NaOH 40 %	40 g de NaOH dissoute dans 100 ml d'eau distillée.
Acide Sulfurique (H₂SO₂) 1.25%	12.5g de H ₂ SO ₂ dans 1000 ml d'eau distillée
NaOH 1.25 %	1.25 g de NaOH dissoute dans 100 ml d'eau distillée.
Chlorure d'Aluminium AlCl₃ à 2%	2g d'AlCl ₃ dans 100 ml d'eau distillée.
Solution d'α-amylase (préparé fraîche)	Dissoudre 0,0056g d' α -amylase dans 40ml d'eau distillée froid à une concentration de 4U/ml, laisser sous agitation magnétique
Solution d'amidon (0,5%)	Dissoudre 0,75g d'amidon de pomme de terre dans 150 ml de tampon phosphate à pH 6,9, laisser sous agitation magnétique
Réactif de DNS	Dissoudre 1g de l'acide DNS dans 20 ml d'eau distillé, ajouter 1.5mg NaOH, Dissoudre 30g de sodium de potassium tartrate tétra-hydrate, ajuster le volume jusqu'à 100 ml avec l'eau distillée

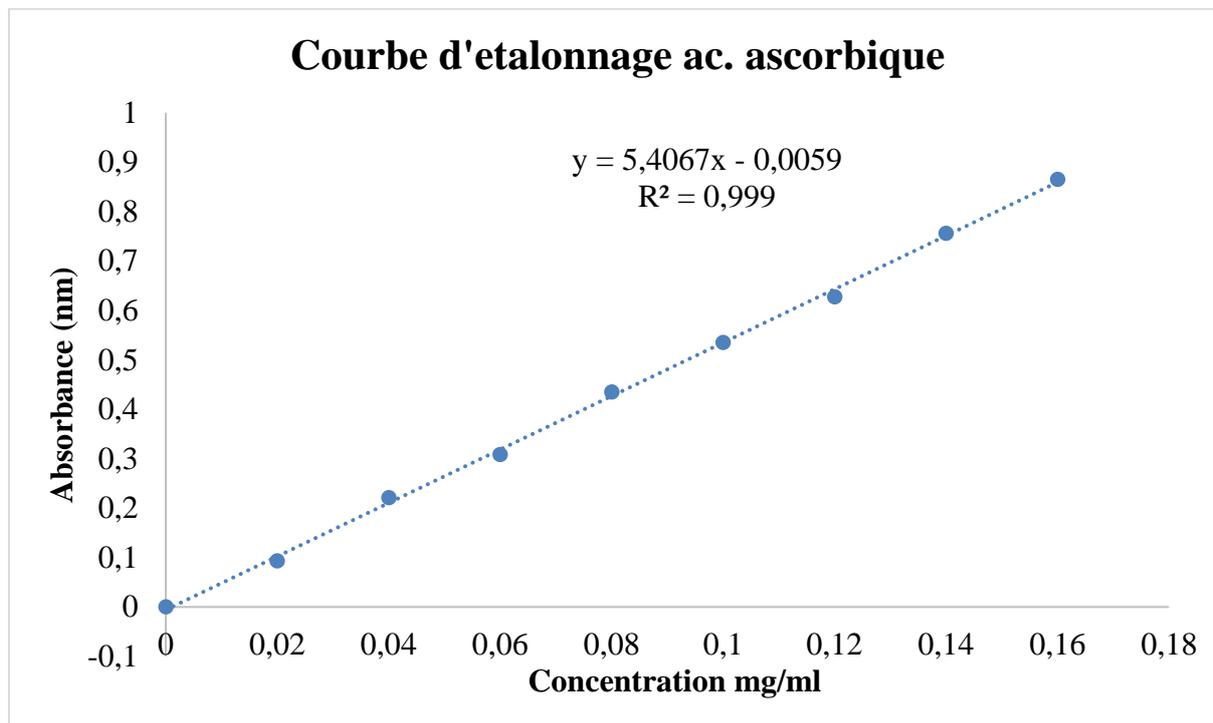
Annexe 3 :



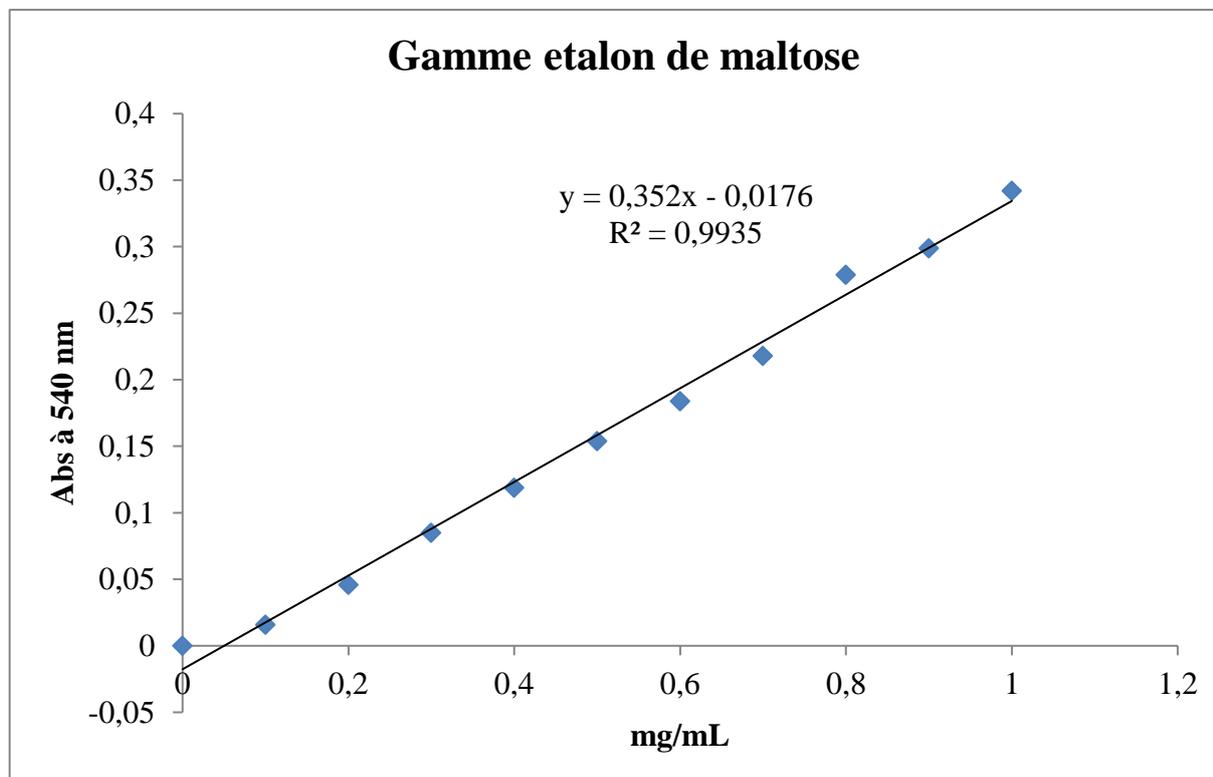
Annexe 4 :



Annexe 5 :



Annexe 6 :



Résumé

L'objectif de cette étude consiste à l'incorporation de la poudre de feuilles de *moringa oleifera* à des taux différents (5, 10, 15%) dans la fabrication des pâtes alimentaires et à la détermination de l'impact de l'enrichissement sur la qualité nutritionnelle et culinaire, l'activité antioxydante et l'activité enzymatique de l' α -amylase du produit fini. Nos données analytiques ont montré que les pâtes enrichies ont une amélioration significative ($p < 0.05$) des teneurs en cendres (2.99 g ; 2.86 g), en polyphénols totaux solubles (3.78 EQ AG/g MS ; 2.87 EQ AG/g MS) et en flavonoïdes (0.184 mg EQ quercétine/g MS ; 0.198 mg EQ quercétine/g MS) par rapport aux pâtes témoins : semoule et farine respectivement. Une augmentation significative ($p < 0.05$) est aussi enregistrée pour le TOC, l'activité antioxydante et le pourcentage d'inhibition de l' α -amylase.

Mots clés : Pâtes, *Moringa oleifera*, Qualité nutritionnelle, Activité antioxydante, Activité enzymatique.

Abstract

The objective of this study is the incorporation of *moringa oleifera* leaf powder at different rates (5, 10, 15%) in the manufacture of pasta and the determination of the impact of enrichment on the nutritional and culinary quality, the antioxidant activity and the enzymatic activity of the α -amylase of the finished product. Our analytical data showed a significant improvement ($p < 0.05$) in ash content (2.99 g, 2.86 g), total soluble polyphenols (3.78 EQ AG / g MS, 2.87 EQ AG / g MS) and flavonoids (0.184 mg EQ quercetin / g MS, 0.198 mg EQ quercetin / g MS) compared to control pasta: semolina and flour respectively, a significant increase ($p < 0.05$) is also recorded for OCT, antioxidant activity and percentage inhibition of α -amylase.

Key words: Pasta, *Moringa oleifera*, Nutritional quality, Antioxidant activity, Enzymatic activity.