



**THESE DE DOCTORAT DE L'ETABLISSEMENT UNIVERSITE
BOURGOGNE FRANCHE-COMTE**

Préparée à AgroSup Dijon - UMR PAM et CSGA Dijon

Ecole Doctorale : Environnements - Santé

Doctorat en « SCIENCES AGRONOMIQUES »

Par Amel HEDHILI

**Aliments supplémentés en *Moringa oleifera* en Afrique du Sud: Une
approche multidisciplinaire combinant études consommateurs et
analyses physicochimiques et nutritionnelles**

Soutenue à Dijon le 29 Mars 2021 devant le jury composé de:

Dr. Anne SAINT-EVE	AgroParis Tech	Rapporteur
Pr. Monique ALRIC	Université de Clermont Auvergne	Rapporteur
Pr. Catherine DACREMONT	Agrosup Dijon	Présidente du jury
Pr. Sylvie CHOLLET	JUNIA, Lille	Examinatrice
Dr. Dominique BOUNIE	Université de Lille	Invité
Dr. Dominique VALENTIN	Agrosup Dijon	Directrice de thèse
Dr. Florence HUSSON	Agrosup Dijon	Co-directrice de thèse

Je dédie cette thèse à mes chers Parents

Salah & Bachia

Remerciements

J'exprime toute ma reconnaissance à ma directrice de thèse, Dominique Valentin pour m'avoir accueillie au sein de son équipe, pour sa confiance, ses disponibilités, ses efforts, et son soutien à l'accomplissement de mes travaux. Merci de m'avoir appris patiemment les méthodes de travail scientifique et de recherche, de m'avoir donné l'occasion de faire de l'enseignement et d'assister aux cours, pour tes précieux conseils scientifiques et pédagogiques. Merci encore pour tout ce que tu m'as apporté au niveau personnel. Ta qualité d'encadrement et tes grandes qualités humaines m'ont permis de réaliser cette thèse dans les meilleures conditions possibles.

Je tiens à remercier ma Co-directrice de thèse, Florence Husson, pour avoir accepté ma candidature pour cette thèse. Merci pour ta contribution à la réalisation de ces travaux, merci pour tes conseils, ton soutien et tes encouragements.

Je tiens à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail de thèse : Dr. Anne Saint-Eve, Pr. Monique Alric, Pr. Sylvie Chollet, Pr. Catherine Dacremont, pour l'intérêt qu'ils ont manifesté en acceptant d'être rapporteur et examinateur de ma thèse. Je tiens à remercier également Dr. Dominique Bounie d'avoir accepté mon invitation afin de bénéficier de ses connaissances scientifiques.

Je remercie l'Ambassade de la Tunisie en France pour le financement de ma thèse ainsi que AgroSup-Dijon et l'Ecole Doctorale Environnement-Santé pour leurs contributions financières.

Je tiens à remercier les personnels de UMR CSGA et particulièrement l'équipe 9. Merci à Jordi, Gaëlle, Jérôme, Catherine, Véronique, Maëlle, Méven, Juliana, Eric, Ernesto et Iuri pour votre présence dans cette belle aventure. Je tiens à remercier infiniment Francine Griffon, pour toutes les aides apportées en cours de cette thèse. Francine, merci pour tes encouragements, ton soutien, ta présence, tes conseils personnels et professionnels. Cette thèse m'aurait été moins agréable sans toi.

Merci à l'équipe de l'UMR PCAV et de l'UMR PMB de m'avoir accueillie au sein de leurs laboratoires. Je tiens à remercier infiniment Samuel Lubbers pour sa participation à l'avancement de cette thèse, ces qualités d'encadrement et ces disponibilités. Je remercie également Elias Bou-Maroun d'avoir accepté être membre de mon comité de thèse et participer à la réalisation de mes travaux, merci pour tes conseils et tes encouragements au bon moment. Merci à Bernadette, Anne Sophie, et Christine pour leurs disponibilités et leurs aides.

J'adresse également mes remerciements à nos collègues d'Afrique du Sud, Babatope Ebenezer Akinyemi et Gloria Aderonke Otunola pour leur accueil en Afrique du Sud et leurs contributions à la réalisation de ces travaux.

Un immense merci à toutes mes amies, Hiba, Basma, Salma, Sérine, Fatima, Sahar, Amira, Amani, Asma, Maryem, Rima, l'aventure de cette thèse aurait été plus difficile sans votre présence et votre support moral dans mes moments de doute et de découragement.

Et je termine mes remerciements à toute ma famille : mes parents qui ont toujours cru en moi et qui n'ont jamais cessé de m'encourager. A mes sœurs et mon frère, mes nièces, mes neveux et mon oncle Youssef pour leur soutien tout au long de cette aventure.

Résumé

La malnutrition est un problème majeur en Afrique du Sud (AS), en particulier dans les provinces du Cap-Oriental et du Limpopo, qui sont à prédominance noire et historiquement défavorisées. Cette thèse vise à évaluer le potentiel de la *Moringa oleifera* (MO) comme source d'amélioration nutritionnelle dans l'alimentation des mères et de leurs enfants dans ces provinces. Connue pour ses bienfaits nutritionnels, la MO est une plante originaire de l'Inde, aujourd'hui cultivée en AS mais peu utilisée pour l'alimentation humaine. Une démarche organisée en deux parties a été suivie dans cette thèse. La première partie vise à comprendre la perception du MO par les consommateurs et comment il peut être intégré dans le répertoire alimentaire Sud-Africain. Une étude des connaissances, croyances et habitudes de consommation de MO nous a permis de contraster deux cultures, l'Inde et l'Afrique (Nigeria, Ghana et AS). Elle a révélé une différence en terme de connaissances et d'usages, en revanche, aucune différence n'a été observée en terme de croyances. Cela suggère qu'une attitude positive envers le MO ne suffit pas à promouvoir sa consommation. Cette étude a également montré que le MO est aussi moins ancré dans les habitudes alimentaires des Sud-Africains que dans les habitudes des deux autres pays d'Afrique. L'observation des habitudes alimentaires des étudiantes mamans sud-africaines et de leurs enfants a montré un décalage entre leur niveau de connaissance et ce qu'elles font concrètement. Bien qu'elles aient conscience de l'importance des apports nutritionnels, elles préfèrent donner à leurs enfants des aliments qu'ils aiment même s'ils ne sont pas bons pour la santé. Ces étudiantes perçoivent le MO davantage comme un médicament qu'un aliment mais ne sont pas opposées à son ajout comme apport nutritionnel dans l'alimentation de base à condition que les aliments proposés soient bons, disponibles et faciles à préparer. L'objectif de la deuxième partie de cette thèse est d'étudier les apports nutritionnels du MO et le développement d'un aliment supplémenté en feuilles de MO. La caractérisation nutritionnelle de la poudre de feuilles de MO a montré un pourcentage de digestibilité de 75,95%. Un prétraitement de la poudre de MO par des procédés de hautes pressions, d'ultrasons et de micro-ondes n'a pas permis d'améliorer ce taux de digestibilité. De plus, des biscuits supplémentés avec des feuilles de MO (0 à 30 %) ont été évalués. Le biscuit de 10% a été caractérisé par la meilleure digestibilité des protéines, tandis que la vitamine A dérivée de MO a été dénaturée pendant la cuisson. Le résultat du test hédonique a regroupé les consommateurs en deux groupes. Les consommateurs du premier groupe ont rejeté tous les biscuits supplémentés en raison de leur couleur verte et de leur texture dure. Ceux du second groupe, plus jeunes, acceptent jusqu'à 20% de supplémentation et sont attirés par l'originalité des biscuits supplémentés. Les quatre études présentées dans la thèse ont conduit à la proposition d'un aliment constitué de bouillie de maïs (pap) supplémenté en feuilles de MO séchées au soleil. Cette méthode de séchage préserve davantage les protéines (18,06%) que le séchage à l'ombre et au four (respectivement 17,44% et 17,56%). Le pap a l'avantage de faire partie du répertoire alimentaire de notre population cible, et il est largement apprécié, bien satisfaisant, largement disponible et facile à préparer. Des proportions de poudre MO de 0, 5 et 10% seront ajoutées au pap après cuisson et lorsque la température descend à 40°C. Une analyse des propriétés nutritionnelles et sensorielles auront lieu afin de déterminer la meilleure proportion.

Mots-clé : *Moringa oleifera* (MO), Afrique du Sud, habitudes des consommateurs, croyances, nutrition, digestibilité, sensoriel.

Abstract

Malnutrition is a major challenge in South Africa (SA), particularly in Eastern Cape and Limpopo provinces, which are predominantly black and historically disadvantaged. This thesis aims to assess the potential of *Moringa oleifera* (MO) as a source of nutritional improvement in the diets of mothers and their children in these provinces. Known for its nutritional benefits, MO is a plant native to India, now cultivated in SA but not widely used for human nutrition. A two-part approach was followed in this thesis. The first part aims to understand how MO is perceived by consumers and how it can be integrated into the South African food repertory. A study of the knowledge, beliefs and consumption habits of MO allowed us to contrast two cultures, India and Africa (Nigeria, Ghana and SA). Findings from the first part revealed a difference in consumer knowledge and uses, however, no difference was observed in terms of beliefs. This implies that a positive attitude towards MO is not enough to promote its consumption. This study also showed that MO is also less embedded in the eating habits of South Africans than in the habits of the other two African countries. Observation of the eating habits of South African student mothers and their children showed a shift between their level of knowledge and what they actually do. Although they are aware of the importance of nutritional intake, they prefer to give their children foods they like even if they are not healthy. These students perceive MO more as a medicine than a food, but are not opposed to adding it as a nutrient supplement in their basic diet as long as the foods offered are good, available and easy to prepare. The objective of the second part of this thesis is to study the nutritional intakes of MO and the development of a food supplemented with MO leaves. The nutritional characterization of the MO leaf powder showed a digestibility of 75.95%. Pretreatment of the MO powder with high pressure, ultrasound and microwave processes did not improve this digestibility rate. Moreover, biscuits supplemented with MO leaves (0% to 30%) were evaluated. The 10% biscuit was characterized by the best protein digestibility while the vitamin A derived from MO was denatured during baking. The hedonic test result clustered consumers into two groups. Consumers in the first group rejected all supplemented biscuits because of the green color and hard texture. Those in the second group who are much younger compared to the first group accepted biscuits that are supplemented with MDL up to 20% and are attracted by the novelty of the supplemented biscuits. The four studies presented in the thesis led to the proposal of a snack recipe made from maize porridge (pap) and powdered MO leaves dried in the sun. This drying method preserves more protein (18.06%) than shade and oven drying (17.44% and 17.56% respectively). Pap has the advantage to be a major ingredient in the food repertory of our target population, and it is widely appreciated, well satisfying, broadly available and easy to prepare. MO powder proportions of 0, 5, and 10% will be added to the pap after cooking and when the temperature drops to 40 ° C. The analysis of the nutritional and sensory properties will take place in order to determine the best proportion.

Keywords : *Moringa oleifera* (MO), South Africa, consumers habits, beliefs, nutrition, digestibility, sensory.

Valorisations Scientifiques

Publications

Hedhili, A., Lubbers, S. Bou-Maroun, E., Griffon, F., Akinyemi, B. E., Husson F. et Valentin, D. *Moringa oleifera* supplemented biscuits: nutritional values and consumer segmentation. (Accepté à *South African Journal of Botany*).

Hedhili, A., Akinyemi, B. E., Otunola G. A., Ashie-Nikoi, P. A., Kulkarni, M., Husson F. et Valentin, D. *Moringa oleifera* Lam: A comparative survey on consumers' knowledge, usage and belief in Africa and India. (Soumis à *Appetite*).

Hedhili, A., Akinyemi, B. E., Otunola G. A., Husson F. et Valentin, D. Food habits and beliefs about *Moringa oleifera*: a focus group study of university student mothers in South Africa. (En préparation).

Communications orales

Hedhili, A., Husson F. et Valentin, D. Développement de snacks supplémentés en Superfood: Introduction des feuilles de *Moringa oleifera* : Propriétés fonctionnelles, nutritionnelles et acceptation par les consommateurs. Forum des Jeunes Chercheurs, 14 & 15 juin 2018, Besançon, France.

Hedhili, A., Husson F. et Valentin, D. Potentialité du *Moringa oleifera* pour un apport nutritionnel : Etude des propriétés biochimiques, physico-chimiques et sensorielles d'un biscuit contenant des feuilles de Moringa. Journée Des Doctorants – UMR PAM, AgroSup Dijon, 02 & 03 Novembre 2019, Dijon, France.

Hedhili, A., Akinyemi, B. E., Otunola G. A., Ashie-Nikoi, P. A., Kulkarni, M., Husson F. et Valentin, D. *Moringa oleifera* Lam: A comparative survey on consumers' knowledge, usage and belief in Africa and India. Journée des Doctorants de CSGA. 01 décembre 2020. Dijon, France.

Communications affichées

Hedhili, A., Husson F. et Valentin, D. Développement de snacks supplémentés en Superfood: Introduction des feuilles de *Moringa oleifera* : Propriétés fonctionnelles, nutritionnelles et acceptation par les consommateurs. Poster nouvel arrivant. Journée des Doctorants de CSGA. 26 juin 2018. Dijon, France.

Hedhili, A., Akinyemi, B. E., Lubbers, S., Bou-Maroun, E., Griffon, F., Husson F. et Valentin, D. Is it all in the taste? Consumer test analysis of Moringa fortified food. 9th European Conference on Sensory and Consumer Research, EUROSENSE 2020, 13-16 décembre 2020.

Liste des abréviations

AA : Acides Aminés

AJR : Apports Journaliers Recommandés

ANOVA : Analyse de la variance

AS : Afrique du Sud

DIVP : Digestion In Vitro des Protéines

DSC : Differential Scanning Calorimetry

FGD : Focus Groupe Discussion

HE : Hydrolyse Enzymatique

HP : Hautes Pressions

HCA : Hierarchical Cluster Analysis

MO : Moringa oleifera

MDL : Moringa Dried Leaves

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCA : Principal Component Analysis

RuBisCo : Ribulose biphosphate carboxylase

SGF : Simulated Gastric Fluid

SIF : Simulated Intestinal Fluid

TCA: Acide Trichloracétique

SNK: Student Neuman-Keuls

SDS-PAGE : sodium dodécyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis

TAME : Ester méthylique de p-toluène-sulfonyl-L-arginine

UFH : University of Fore Hare

UL : University of Limpopo

Préambule

Cette thèse a été financée par l'Ambassade de Tunisie en France dans le cadre d'une bourse que j'ai obtenue à la suite d'un concours national de recherche. La majorité des travaux de cette thèse ont été réalisés au sein du Centre des Sciences, du Goût et de l'Alimentation (CSGA) à Dijon, et à l'UMR PAM (Procédés Alimentaires et microbiologiques) à AgroSup Dijon, particulièrement l'équipe PCAV (Physico-Chimie de l'Aliment et du Vin) et l'équipe PMB (Procédés Microbiologiques et Biotechnologiques). Les travaux effectués font partie également du projet « *Moringa oleifera*, the miracle tree : Let's bridge the gap between sciences and human consumption » réalisé dans le cadre d'un Partenariat Hubert Curien (PHC) franco sud-africain (PROTEA 2019 projet 42175PC) en collaboration avec l'Université de Fort Hare (UFH) et F'SAGRI (French South African Agricultural institute). L'objectif de ce projet est de combler l'écart entre les connaissances scientifiques sur les bienfaits nutritionnels du MO et sa faible consommation dans les communautés à faible revenu en Afrique du Sud (AS).

Dans le cadre de ce partenariat plusieurs échanges scientifiques étaient planifiés et j'aurai donc dû me rendre en AS pour étudier les attentes des consommateurs et réaliser des tests sensoriels. La situation politique du pays, en particulier de nombreuses grèves qui ont touché les universités en 2019 ont limité ces échanges. Pour cette raison, les études sensorielles planifiées en AS ont été en partie adaptées et réalisées en France. J'ai, malgré tout, eu l'opportunité de partir en septembre 2019 trois semaines en AS dans la province du Cap-oriental et dans la province du Limpopo afin de réaliser des groupes focus, ce qui m'a permis d'être en contact avec la réalité du terrain. En revanche, en raison de la crise sanitaire mondiale liée au COVID-19, je n'ai pu y retourner en 2020 pour valider le développement de snacks supplémentés en feuilles de MO basé sur les travaux réalisés au cours de la thèse. Cette validation sera donc présentée en perspectives de la thèse.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
Partie I : Compréhension de la perception du Moringa par les consommateurs.....	7
Chapitre I.1. Revue de la bibliographie	8
I.1.1. Déterminants des choix alimentaires des consommateurs	9
I.1.1.1. L'aliment	10
I.1.1.2. La personne	12
I.1.1.2.1. Préférences sensorielles.....	12
I.1.1.2.2. Attitudes, croyances et habitudes.....	13
I.1.1.3. Environnement socio-économique.....	14
I.1.1.3.1. Culture	15
I.1.1.3.2. Prix	16
I.1.1.3.3. Accessibilité et disponibilité	16
I.1.2. Déterminants des choix alimentaires des enfants	17
I.1.2.1. Parents et choix alimentaire des enfants	17
I.1.2.2. Mamans et choix alimentaire des enfants	18
I.1.3. Mécanismes d'acceptation et de rejet des aliments	19
I.1.3.1. Néophobie.....	19
I.1.3.2. Familiarité	19
I.1.4. Motivation du consommateur	20
I.1.4.1. Définition de la motivation	20
I.1.4.2. Méthodologie pour étudier la motivation des consommateurs	20
I.1.4.2.1. Questionnaire	21
I.1.4.2.2. Groupes focus.....	21
Chapitre I.2. Connaissances, habitudes de consommation et croyances envers le Moringa oleifera: Un questionnaire en Afrique et en Inde	25
Article 1: Moringa oleifera Lam.: A comparative survey on consumer knowledge, usage and belief in Africa and India.....	26
Chapitre I.3. Habitudes alimentaires des Sud-Africains et croyances sur le Moringa oleifera: une étude via des groupes focus	56
Article 2: Food habits and beliefs about Moringa oleifera: a focus group study of university student mothers in South Africa	57

Conclusion de la première partie	80
Partie II : Apport nutritionnel et développement d'aliments supplémentés en feuille de Moringa	82
Chapitre II.1. Revue de la bibliographie	83
II.1.1. Protéines végétales : les végétaux procurent une source disponible et abordable.....	84
II.1.1.1. Protéines des feuilles.....	85
II.1.1.2. Caractéristiques du RuBisCo	85
II.1.1.3. Légumes-feuilles.....	87
II.1.2. <i>Moringa oleifera</i> (MO)	88
II.1.2.1. Composition nutritionnelle des feuilles de MO.....	88
II.1.2.2. Acides aminés des protéines de feuilles de MO	89
II.1.3. Digestibilité des protéines.....	91
II.1.3.1. Définition de la digestion in vitro	91
II.1.3.2. Protocole de digestion in vitro	92
II.1.3.3. Digestibilité des protéines végétales des feuilles.....	93
Chapitre II.2. Effet des prétraitements sur la Digestion In Vitro des protéines des feuilles de <i>Moringa oleifera</i>	96
Chapitre II.3. Valeurs nutritionnelles et acceptation par le consommateur de biscuits enrichis en <i>Moringa oleifera</i>	111
Article 3: <i>Moringa oleifera</i> supplemented biscuits: nutritional values and consumer segmentation	112
Conclusion de la deuxième partie	138
DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES	139
CONCLUSION GENERALE.....	148
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	150
ANNEXES.....	171

Liste des figures

Figure 1 : Carte de l’Afrique du Sud (source: http://rodriguesoffo.com/afrique_s.php).	3
Figure 2: Utilisations traditionnelles et industrielles de différentes parties de l'arbre de MO (Jiraungkoorskul & Jiraungkoorskul, 2016 ; Granella et al., 2020).....	4
Figure 3 : Facteurs influençant le choix alimentaire : Modèle de Sijtsema et al. (2002)	10
Figure 4 : Vue d'ensemble et organigramme des différentes phases de la méthode de digestion in vitro simulée (Minekus et al., 2014).	93
Figure 5: Adaptation du modèle de choix alimentaire de Sijtsema et al. (2002) au cas particulier des facteurs à prendre en compte lors du développement d’un nouveau produit supplémenté en feuilles de MO et de son intégration dans le répertoire alimentaire de populations défavorisées en AS.....	141

INTRODUCTION GENERALE

La malnutrition reste un défi majeur dans de nombreux pays malgré la croissance économique et les programmes internationaux de nutrition. Selon un rapport sur la nutrition mondiale de 2017 effectué par les Nations Unies, 140 pays seraient confrontés à au moins une des trois principales formes de malnutrition : le retard de croissance chez l'enfant, l'anémie chez la femme en âge de procréer et le surpoids chez l'adulte. L'Afrique du Sud (AS) est parmi les 88 % de ces pays qui sont lourdement touchés par deux ou trois de ces formes de malnutrition.

Première puissance économique Africaine, l'AS connaît cependant de grandes inégalités sociales qui se reflètent dans les choix alimentaires et la consommation de macro- et micronutriments. Le pouvoir d'achat est très limité pour beaucoup d'habitants, puisque près de la moitié de la population est considérée comme chroniquement pauvre à la limite supérieure du seuil de pauvreté national de 992 ZAR (53,7 euros) par personne et par mois (données de 2015, World Bank, 2018). Ceci est particulièrement le cas dans les provinces du Cap-oriental, du KwaZulu-Natal et du Limpopo, ex homelands ou bantoustans (STATS SA, 2017). Pendant le gouvernement d'Apartheid, la politique de ségrégation raciale a mené à la création de homelands réservés uniquement à la population noire. Ces zones ne représentant que 13% du territoire de l'AS regroupaient environ 70 % de la population sud-africaine ce qui a entraîné une extrême pauvreté. Etant au nombre de 10, ces homelands s'étendent de la province du cap-oriental aux provinces du nord et nord-ouest et à la province de Natal (Figure 1). Depuis la fin de l'apartheid, l'égalité des revenus entre les différents groupes de population n'a guère progressée et l'AS connaît un taux d'inégalité parmi les plus élevés au monde (Daziano, 2014).

La malnutrition en AS reste un vrai problème avec une coexistence de sous-nutrition et de surnutrition dans un même ménage, une même famille ou une même communauté (Bradshaw et al., 2007). La surnutrition désigne un apport excessif d'énergie et/ou de macronutriments. La sous-nutrition peut être divisée en malnutrition protéino-énergétique et carences en micronutriments (Faber & Wenhold, 2007). La sous-nutrition en AS touche principalement les jeunes enfants vivant dans les zones rurales et dont les parents ont un

faible niveau d'éducation et un faible revenu (Iversen et al., 2011). Selon Faber et Wenhold (2007) la malnutrition apparait dès l'âge de deux ans. Plus précisément, 27,4% des enfants sud-africains de moins de 5 ans ont un retard de croissance, 61% souffrent d'anémie et 13% sont en surpoids (UNICEF, 2019). Le retard de croissance, forme la plus répandue de malnutrition en AS (Mamabolo et al., 2005), est plus élevé dans les provinces du Cap-oriental et du Limpopo (Figure 1).

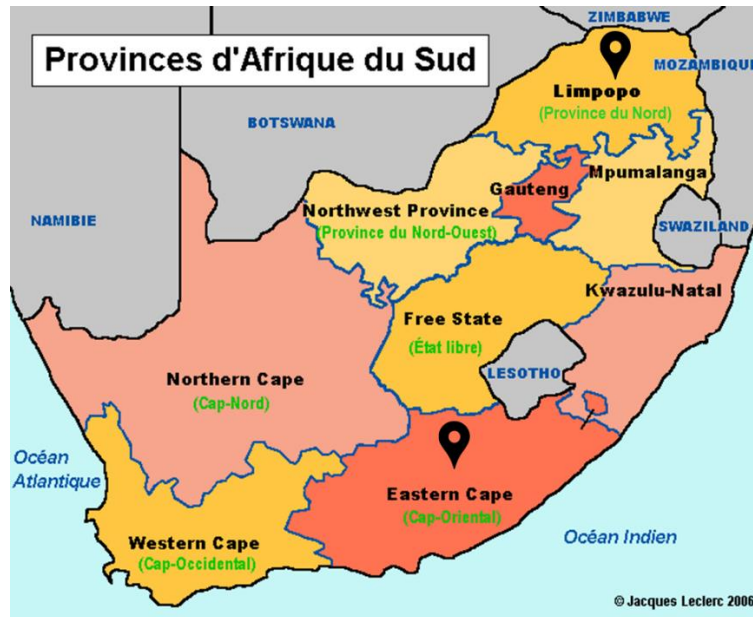


Figure 1 : Carte de l'Afrique du Sud (source: http://rodriguesoffo.com/afrique_s.php).

Pour lutter contre les problèmes de malnutrition, dans les dernières décades, des études se sont focalisées sur l'utilisation de plantes riches en nutriments et cultivées localement. Fuglie (2001) a ainsi montré que les régions les plus touchées par la malnutrition en Afrique, en Asie et en Amérique latine partagent la capacité de cultiver et d'utiliser une plante comestible riche en nutriments, le Moringa.

Populairement appelé l'arbre miracle (Fuglie, 2001), *Moringa oleifera* (MO) est une plante originaire d'Inde (Mughal, 1999) appartenant à la famille des Moringacées. L'arbre est connu sous différents noms tels que Moringa, Benzolive, Drumstick tree, Marango, Mlonge, Mulangay, Saijihan et Sajna (Fahey, 2005). Cette plante est considérée comme la plus utile au monde (Figure 2) car toutes ses parties (feuilles, fleurs, gousses, graines) sont comestibles.

Elles sont utilisées à des fins médicinales, industrielles et pharmaceutiques (Fahey, 2005; Foidl et al., 2001) et contiennent des composés nutritionnels importants pour l'alimentation humaine comme pour celle du bétail (Khalafalla et al., 2010).

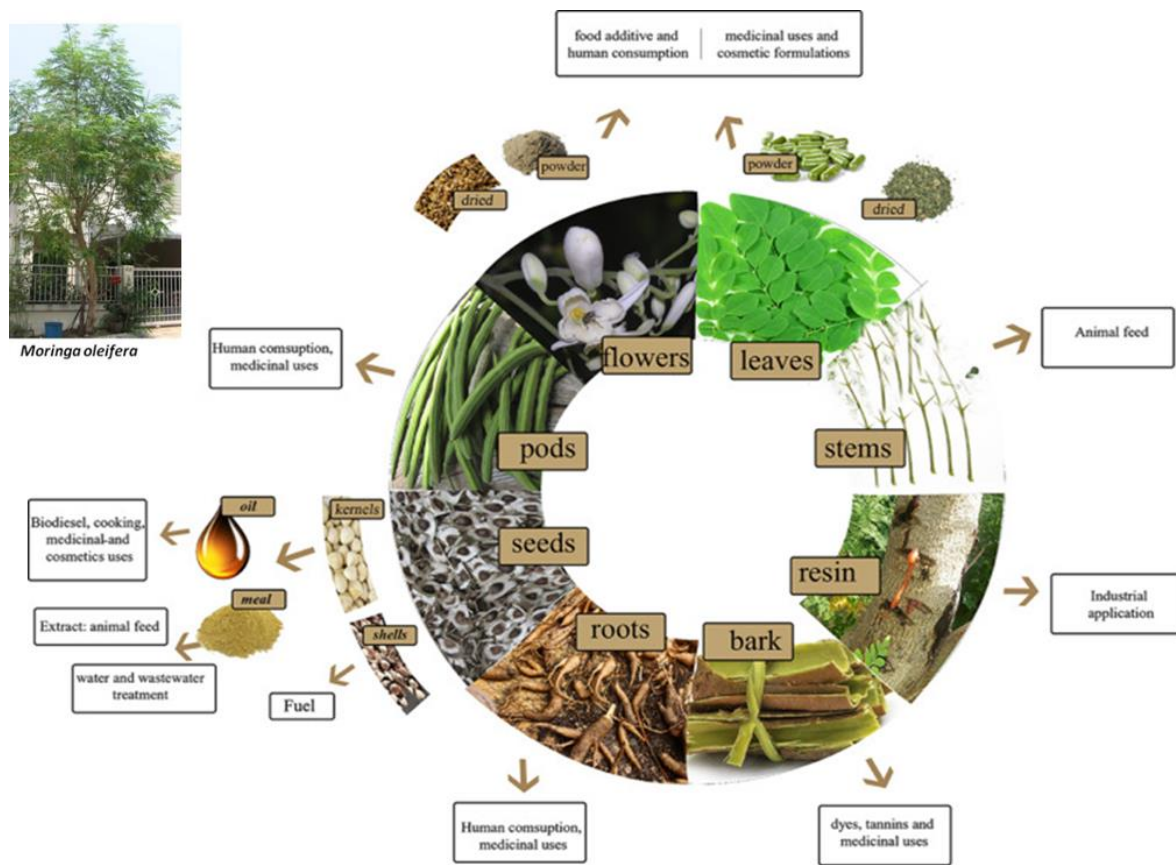


Figure 2: Utilisations traditionnelles et industrielles de différentes parties de l'arbre de MO (Jiraungkoorskul & Jiraungkoorskul, 2016 ; Granella et al., 2020).

Le MO est principalement utilisée pour la consommation de ces fruits, feuilles, fleurs et gousses dans plusieurs pays en Inde, au Pakistan, aux Philippines, à Hawaï et dans de nombreux pays d'Afrique (Anwar et al., 2007). En Inde, les gousses sont couramment consommées comme légume ou pour des préparations culinaires comme les soupes et les ragoûts. Elles sont décrites comme ayant un goût d'asperge (Rani & Arumugan, 2017). Dans d'autres recettes indiennes, les fleurs de MO sont consommées en tant qu'ingrédient dans les salades, les feuilles sont couramment cuites et mangées comme des épinards ou utilisées

pour confectionner des soupes et des salades. Les feuilles séchées sont réduites en poudre et conservées pour une utilisation hors saison (Foidl et al., 2001).

L'utilisation des feuilles de MO comme fortifiant alimentaire est en augmentation dans certains pays Africains tels que le Ghana, le Nigeria, l'Ethiopie, l'Afrique de l'Est et le Malawi. Par exemple, le MO est utilisé dans la préparation de produits tels que l'amala (gel amylicé préparé à partir de farine d'igname, de manioc ou de banane plantain) au Nigeria et Ghana (Karim et al., 2013), le pain au Nigeria (Sengev, Abu, & Gernah, 2013; Chinma, Abu, & Akoma, 2014), les biscuits, le yaourt en Tanzanie (Kuikman & O'Connor, 2015), le fromage en Egypte (Salem, Salama, & Ghandour, 2013) et les soupes au Nigeria (Babayehu et al., 2014).

Les feuilles de MO sont largement utilisées pour lutter contre la malnutrition chez les enfants, les femmes enceintes et les mères allaitantes (Estrella et al., 2000; Fahey, 2005; Anwar et al., 2007). Lekgau (2011) indique qu'en AS, le MO est produit à des fins domestiques dans les provinces telles que le Kwa-Zulu Natal, le Mpumalanga, ainsi que la province du Limpopo (Figure 1). Mabapa et al., (2017) ont réalisé un questionnaire sur la production et les différentes utilisations du MO auprès des agriculteurs de la province de Limpopo. Cette étude a mis en évidence l'augmentation des plantations de MO dès lors que les agriculteurs ont commencé à entendre parler de ses bienfaits mais aussi de la source de revenus qu'elle pouvait apporter. Actuellement, l'utilisation la plus courante du MO se trouve être l'alimentation du bétail.

L'objectif général de cette thèse est d'évaluer le potentiel de MO comme source d'amélioration nutritionnelle dans les provinces du Cap-oriental et du Limpopo. La population cible était les étudiantes, mamans de jeunes enfants. Le choix de cette cible s'explique par le fait que la maternité des étudiantes est un phénomène croissant en AS, en particulier dans la communauté noire et qu'il est souvent associé à un faible pouvoir d'achat et à des problèmes de malnutrition (Maisela & Rosso, 2018).

Ce manuscrit est organisé en deux parties composées chacune de deux études. Les données expérimentales sont présentées sous forme d'articles. La première partie vise à comprendre comment le MO est perçu par les consommateurs. Elle débute par une revue bibliographique (chapitre I.1.) présentant les facteurs influençant les choix alimentaires des consommateurs avec un focus particulier sur les consommateurs à faible revenu. La première étude s'intéresse aux connaissances, croyances et habitudes de consommation du MO en Inde et en Afrique (Nigeria, Ghana et AS), elle permet de réaliser un état des lieux sur l'utilisation de cette plante (chapitre I.2.). Ensuite, une seconde étude fait un zoom sur les habitudes alimentaires et les croyances relatives au MO d'étudiantes d'AS ayant des enfants à l'aide de groupes focus réalisés dans les provinces du Cap-oriental et de Limpopo (chapitre I.3.).

La deuxième partie a pour objectif le développement d'aliments supplémentés en feuille de MO. La revue de la bibliographie de cette partie (chapitre II.1.) s'intéresse, dans un premier temps, aux végétaux en tant que source abordable et disponible de protéines et dans un second temps à la composition nutritionnelle des feuilles de MO. Une première étude permet de confirmer les propriétés nutritionnelles de la poudre de feuilles de MO ainsi que d'étudier la digestion in vitro des protéines (DIVP) qui en sont issues. La capacité de prétraitements (ultrasons, micro-ondes et hautes pressions) à améliorer le taux de digestibilité de ces protéines est ensuite évaluée (Chapitre II.2.). Une seconde étude porte sur l'incorporation de poudre de feuilles de MO dans une matrice alimentaire simple, des biscuits, afin d'évaluer quel sera l'effet d'une supplémentation sur les propriétés physico-chimiques et sensorielles (chapitre II.3.). Pour conclure, les résultats de ces quatre études nous ont amené à proposer un aliment qui pourrait-être le plus appropriée à l'introduction des feuilles de MO dans l'alimentation en AS.

*Partie I : Compréhension de la perception du Moringa par
les consommateurs*

Chapitre I.1. *Revue de la bibliographie*

I.1.1. Déterminants des choix alimentaires des consommateurs

Les choix alimentaires ne peuvent s'interpréter indépendamment de l'acte alimentaire, acte que l'homme réalise plusieurs fois par jour sous forme de prise de repas. C'est au cours de cette prise alimentaire que chaque personne comble ses besoins en énergie et nutriments indispensables. Cependant, les aliments jouent un rôle bien plus important dans la vie des consommateurs que celui de simplement les nourrir. En effet, le choix d'un aliment par rapport à un autre est également symbolique en lien avec la vie sociale et la couverture des besoins psychologiques du consommateur (Rozin, 2007).

Pour réussir à intégrer un nouvel aliment ou une nouvelle habitude dans le répertoire alimentaire de consommateurs d'une culture donnée, il est nécessaire de comprendre les facteurs qui peuvent influencer leurs choix alimentaires. Plusieurs modèles ont été proposés pour rendre compte de ces facteurs (Khan & Hackler, 1981; Randall & Sanjur, 1981; Shepherd, 1985; Gains, 1994). Selon ces modèles les facteurs déterminant les choix alimentaires peuvent être classés en trois catégories: les facteurs liés à la personne qui fait le choix, les facteurs liés à l'aliment lui-même et à sa perception par l'individu et les facteurs liés au contexte. Dans un modèle plus récent, illustré par la figure 3, Sijtsema et al. (2002) ajoutent deux notions importantes aux modèles précédents: la première concerne l'environnement familial et social et la deuxième la situation de consommation. Cette dernière inclut cinq dimensions qui correspondent à l'environnement physique (domicile ou lieu de restaurant hors foyer), le moment (déjeuner, dîner, grignotage), l'environnement social (présence, absence d'autres personnes), l'activité (repas d'affaire, familial) et l'état initial du consommateur (humeur, anxiété, fatigue).

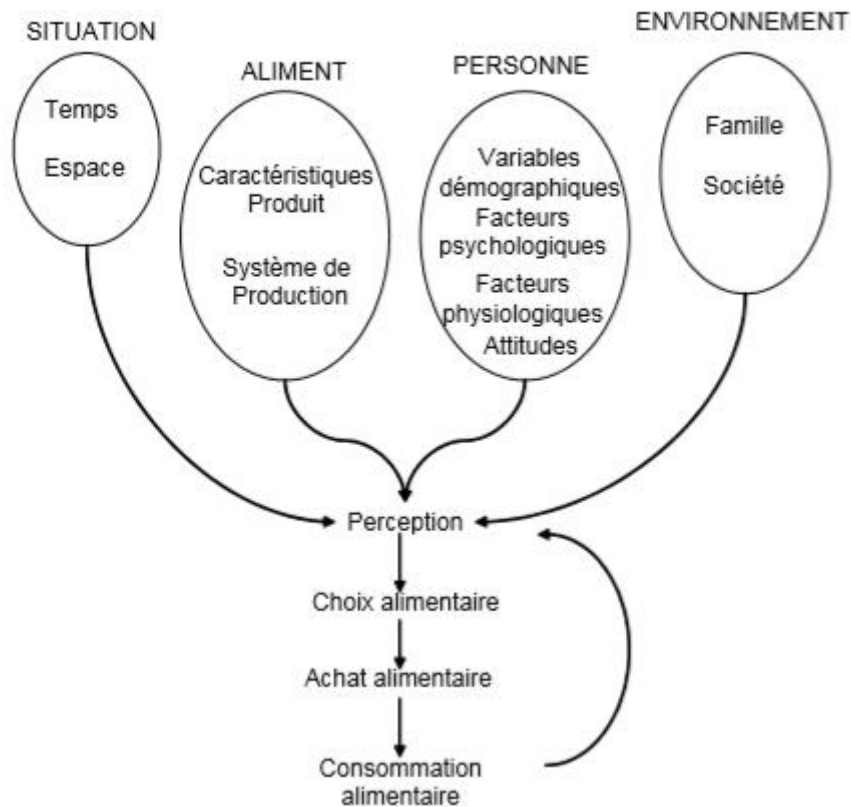


Figure 3 : Facteurs influençant le choix alimentaire : Modèle de Sijtsema et al. (2002)

1.1.1.1. L'aliment

L'aliment grâce à ses propriétés nutritionnelles va apporter les carburants et les substances indispensables au corps humain pour assurer un bon fonctionnement (Hyardin, 2008). Il existe des signaux physiologiques qui sont responsables de l'ajustement de la prise alimentaire en fonction des besoins de l'individu (Bellisle, 2003). Parmi ces signaux physiologiques, on peut citer la faim, l'appétit, la satiété et le rassasiement (Shepherd, 1985).

Par définition, la faim signale de façon interne et innée le besoin en aliments (Rozin, 2007). L'appétit se manifeste par un désir de manger. La satiété et le rassasiement sont des concepts centraux dans la compréhension du contrôle de l'appétit et sont en lien avec l'inhibition de la prise alimentaire. Le rassasiement survient au cours d'un épisode alimentaire et y met fin alors que la satiété commence après la fin du repas et empêche de continuer à manger avant

le retour de la faim (Bellisle et al., 2012). La satiété peut être influencée par la taille du repas, son contenu énergétique et sa composition en macronutriments (Forde, 2018).

Le pouvoir rassasiant d'un aliment est un facteur très important qui s'additionne à l'apport en nutriments. Différents critères ont été établis pour définir un aliment comme rassasiant. Burns, Cook, & Mavoia, (2013) ont défini un aliment rassasiant en termes de quantité et de provision d'énergie nécessaire pour les activités physiques. Cette définition est en accord avec l'étude de Booth, (2003) indiquant que le rassasiement est déterminé par le volume, le contenu en macronutriments, le goût et la densité énergétique de l'aliment. L'étude de Fiszman et al. (2014) s'intéressant à la compréhension des mots "aliment rassasiant" par des étudiants espagnols, a montré à l'aide d'une tâche d'association de mots, que le terme « rassasiant » est davantage lié à la sensation immédiate de « l'estomac plein » qu'à l'arrêt de la faim. Dans la même étude, une tâche consistant à lister quatre aliments rassasiants a permis de mettre en évidence que les consommateurs étaient conscients que les graisses apportaient la plus grande contribution calorique à leur alimentation et les associaient à des aliments rassasiants.

La définition d'un aliment rassasiant change en fonction de la culture mais aussi en fonction du niveau de pouvoir d'achat de la population étudiée. Des groupes focus visant à comprendre les motivations du choix alimentaire et les freins à une alimentation saine chez des consommateurs à faible revenu en Uruguay (Ares et al., 2017) ont montré que les aliments consommés par cette population devaient satisfaire les critères de rassasiement et assouvissement de la faim. Pendant ces groupes focus, les participants ont cité comme aliments rassasiants des aliments riches en glucides comme les pâtes, le riz, et des préparations à base de pomme de terre. Ces participants précisent que la présence de l'un de ces aliments dans le repas quotidien de la famille est indispensable notamment pour l'alimentation des enfants. L'association entre la catégorie d'aliments glucidiques et le rassasiement pour les classes de population à faible revenu a été aussi confirmée par Raffensperger (2008).

I.1.1.2. La personne

Le consommateur est l'acteur principal de son choix alimentaire. L'acceptabilité des aliments par le consommateur est déterminante de son choix alimentaire. Plusieurs méthodes y compris l'analyse sensorielle cherchent à comprendre l'acceptabilité des aliments en mettant en place des tests consommateur (Lawless & Heymann, 2010). Cependant, le niveau d'acceptabilité ne constitue pas le seul aspect des études de consommation : le lien entre le consommateur et ses émotions, la perception, la relation entre le sentiment du consommateur face à un produit et sa description sensorielle sont également des aspects beaucoup étudiés (Venturi et al., 2014). Ainsi, l'acceptabilité peut être affectée par les préférences sensorielles, les habitudes alimentaires, les attitudes et les croyances des consommateurs envers les aliments (Urala & Lähteenmäki, 2004 ; Jaeger, 2006).

I.1.1.2.1. Préférences sensorielles

L'aspect sensoriel d'un aliment est un déterminant important de la préférence alimentaire, pour de nombreux consommateurs, il est plus important que la santé dans la prise de décisions en matière de choix alimentaire (Rankin et al., 2018). Les préférences sensorielles des consommateurs sont influencées par les propriétés organoleptiques des produits. Généralement, un aliment est associé à la fonction « plaisir » et doit répondre aux critères suivants : être beau à la vue, bon au goût, avoir une odeur et une palatabilité caractéristique et même être agréable à l'oreille (Hyardin, 2008). Forde (2018) montre que les propriétés sensorielles comme le goût, l'odeur, la texture et la somesthésie peuvent être manipulées pour moduler le choix alimentaire, le comportement alimentaire, l'apport énergétique et la taille de la portion alimentaire. Les résultats de cette étude ont révélé que l'aspect et l'odeur de l'aliment influencent la préférence et la taille de la portion choisie. La texture d'un aliment a un impact sur la taille des bouchées et le taux de consommation (g/ min). En effet, la texture des aliments joue un rôle important dans le développement de la satiété où un aliment à texture solide a un pouvoir rassasiant supérieur par rapport au même aliment à texture semi-solide et liquide. De plus, la sensation de satisfaction après un repas est associée à l'expérience sensorielle pendant la prise de repas.

Le goût de l'aliment est un facteur très important qui détermine le choix alimentaire (De Graaf et al., 2005; Januszewska, Pieniak, & Verbeke, 2011; McCrickerd & Forde, 2016). Un questionnaire réalisé avec des étudiants australiens sur leur régime alimentaire a mis en évidence que 82 % des participants considèrent le goût « très important » ou « extrêmement important » dans le choix de leurs aliments. Ces mêmes participants avaient, par ailleurs, une alimentation de mauvaise qualité, avec une consommation moins fréquente de fruits et légumes et plus fréquente d'aliments contenant des quantités élevées de matières grasses, de sucre et de sel comparé aux participants qui considèrent le goût comme « non important » ou « moyennement important » (Kourouniotis et al., 2016). Ces résultats sont en accord avec ceux de Alemu & Olsen, (2019) qui montrent qu'un aliment considéré comme « bon pour la santé » est décrit comme étant moins attirant et moins apprécié en terme de goût. Ceci peut être potentiellement préjudiciable à l'achat de ces aliments.

1.1.1.2.2. Attitudes, croyances et habitudes

Selon Ajzen (1991) le consommateur développe une attitude positive ou négative envers un produit en se basant sur l'intégration de ces perceptions et croyances et ces attitudes déterminent son comportement envers le produit. Plus précisément le modèle de la théorie de comportement planifié (TCP) développé par Ajzen (1991) propose trois déterminants conceptuellement indépendants de l'intention de comportement. Le premier déterminant, les attitudes à l'égard du comportement, correspond au degré auquel la personne a une évaluation favorable ou défavorable du comportement et de ses conséquences. Le second déterminant, le facteur social lié aux normes subjectives, fait référence à la pression sociale perçue pour exécuter ou non le comportement. Le dernier déterminant, le contrôle comportemental perçu, renvoie aux croyances du sujet sur sa capacité à réussir le comportement. Plusieurs études se sont intéressées à l'effet des croyances sur le choix alimentaire du consommateur. Wardle et al. (2004) ont montré que les croyances sur l'importance de manger conformément aux recommandations de santé contribuent à expliquer les différences de choix alimentaire entre les hommes et les femmes. Cette étude démontre que les hommes sont moins susceptibles que les femmes à déclarer qu'ils essaient

de suivre des recommandations en matière d'alimentation saine et qu'ils s'enthousiasment moins des avantages d'une alimentation bonne pour la santé.

Aux attitudes et croyances s'ajoutent également les habitudes alimentaires. Les consommateurs ont tendance à reconsommer ce qu'ils ont l'habitude de consommer tous les jours. Donc pour comprendre leur comportement il est aussi important de s'intéresser à leurs habitudes. Elles sont définies comme des séquences d'actes appris qui ont été renforcés dans le passé par des expériences. Elles sont déclenchées par l'environnement pour produire un comportement, largement en dehors de la conscience des consommateurs (Neal, Wood, & Quinn, 2006; Neal & Wood, 2007). Plus simplement, dans le langage familier, les habitudes sont comprises comme des comportements qui se répètent fréquemment au cours du temps (Riet et al., 2011). La robustesse d'une habitude alimentaire est très forte quand celle-ci est reliée à une tradition culturelle. Par exemple, Atkin, (2013) a étudié le cas des Indiens qui migrent d'une région vers une autre. Ces migrants préfèrent continuer à acheter les produits qu'ils avaient l'habitude de consommer dans leur ville d'origine, même si ceux-ci sont relativement chers comparés aux produits alternatifs disponibles dans leur nouvelle ville.

En revanche, l'acquisition de nouvelles connaissances peut avoir un impact sur les habitudes alimentaires et conduire à des changements de comportements. Une étude réalisée par Cooke & Papadaki (2014) sur les connaissances nutritionnelles et l'utilisation de l'étiquette nutritionnelle auprès d'étudiants britanniques a montré que les participants ayant plus de connaissances sur la nutrition s'intéressent davantage aux étiquettes nutritionnelles et ont plus d'habitudes favorables à une alimentation saine.

1.1.1.3. Environnement socio-économique

La troisième classe de facteurs influençant le choix alimentaire est l'environnement socio-économique à savoir la culture, le prix de l'aliment, sa disponibilité et son accessibilité.

I.1.1.3.1. Culture

Le terme culture est un terme complexe qui n'est pas facile à définir. En effet une centaine de définitions ont été attribuées à ce mot (Kroeber & Kluckhohn, 1952). A l'issue de ces définitions, une culture peut être décrite comme un ensemble de croyances, de valeurs, de symboles, de mythes, d'attitudes, de traditions, de coutumes et de formes de comportements explicites et implicites, partagés par les membres d'une société à un moment et dans un espace donné, et transmis de génération en génération.

La culture est la caractéristique démographique la plus informative pour prédire le choix alimentaire d'une personne (Rozin, 2007). Elle détermine l'environnement social où se trouve l'individu qui fait le choix ; elle "forme" les croyances et les attitudes de cet individu vis-à-vis des aliments; elle "décide" de la façon dont les enfants seront socialisés avec les aliments... La diversité très riche entre les cultures engendre des identités alimentaires et culinaires différentes entre les pays. Les influences culturelles entraînent également des différences dans la consommation habituelle de certains aliments, dans les méthodes de préparation, et dans certains cas peuvent entraîner des restrictions. Par exemple, les consommateurs occidentaux ont horreur de manger des insectes, tandis que ces derniers sont très appréciés dans d'autres zones du monde (Looy, Dunkel, & Wood, 2014; Megido et al., 2014). Toutes sortes de combinaisons d'abats sont traditionnellement consommées dans certaines cultures, tandis qu'elles sont considérées comme dégoûtantes pour les autres (Heine, 2004).

Des cultures différentes ne consomment pas les aliments pour les mêmes raisons. Certaines cultures considèrent que manger n'est qu'une tâche nécessaire pour rester en vie et en bonne état de santé, tandis que pour d'autres cultures c'est une activité raffinée et expressive. En fonction de sa perception de l'acte alimentaire une culture peut être caractérisée comme culture utilitaire ou culture hédonique (Wansink, Sonka, & Cheney, 2002). Les cultures hédoniques perçoivent la consommation alimentaire comme une expérience profondément culturelle qui implique un sens et une préparation complexe. Alors que les cultures

utilitaires, perçoivent la consommation alimentaire comme nécessaire pour rester en bonne santé et satisfaire les besoins nutritionnels. Pour développer un nouveau produit à intérêt nutritionnel, il semble qu'un pays avec une culture utilitaire est plus apte à accepter ce produit qu'un pays à culture hédonique (Do et al., 2010).

1.1.1.3.2. Prix

Le prix des aliments joue un rôle important dans le comportement d'achat alimentaire. Il a été répertorié dans plusieurs travaux comme étant le déterminant majeur des choix alimentaires (Ritson & Petrovici, 2001; Blanck et al., 2009), surtout chez les ménages à faible pouvoir d'achat. Selon Drewnowski & Specter (2004) et Drewnowski (2009), quand les ressources financières deviennent limitées, les consommateurs à faible pouvoir d'achat essaient de maximiser les achats permettant de fournir le plus de calories. Ceci entraîne la consommation d'aliments de forte densité énergétique comme les biscuits dont le prix est bas en terme de dollars par kilocalorie (Burns, Cook, & Mavoia, 2013). En revanche, les aliments riches en nutriments, bons pour la santé comme les fruits et les légumes sont généralement chers et difficiles d'accès pour ces populations (Irala-Estévez et al., 2000; Burns, Cook, & Mavoia, 2013).

1.1.1.3.3. Accessibilité et disponibilité

La disponibilité et l'accessibilité des aliments peuvent influencer les choix alimentaires, et donc le statut de sécurité alimentaire d'une communauté. Ces deux éléments sont des facteurs physiques qui peuvent être liés à la localisation géographique des aliments, à leurs transports et à leurs proximités par rapport aux consommateurs (Dibsdall et al., 2003; Story et al., 2008). Par exemple, le prix des fruits et des légumes est plus élevé quand ceux-ci sont accessibles dans les villes à côté plutôt que dans la ville elle-même (Dibsdall et al., 2003).

Une étude réalisée par Roos et al. (2013) sur la compréhension du système de distribution alimentaire local à Avian Park situé dans la province du Cap-Occidental (AS) a révélé trois facteurs principaux influençant la disponibilité et l'accessibilité des aliments nutritifs dans cette communauté. Le premier facteur était l'accès limité aux points de vente en ville (le

supermarché le plus proche était à 4-5 km), le deuxième facteur, la diversité limitée des aliments et le dernier, la faible qualité des aliments disponibles dans les points de vente au sein de la communauté. Dans cette même étude, les participants ont ajouté que leur budget ne leur permettent pas d'acheter des aliments bons pour la santé.

I.1.2. Déterminants des choix alimentaires des enfants

Il existe plusieurs facteurs qui impactent le choix alimentaire des enfants. Ces facteurs peuvent englober le goût de l'aliment, la disponibilité des aliments à la maison, l'état de faim, l'envie de manger, etc (Cullen et al., 2003; Wind et al., 2005; Fitzgerald et al., 2010). Holsten et al. (2012), montrent que la préférence alimentaire est le facteur qui influence le plus le choix alimentaire des enfants. L'entourage de l'enfant, à savoir les médias, les enseignants, la famille telle que les frères et sœurs et les camarades, peuvent également impacter son choix alimentaire.

I.1.2.1. Parents et choix alimentaire des enfants

Les enfants consomment principalement de la nourriture à la maison, ce lieu est donc important pour le développement des choix et comportements alimentaires (Wit et al., 2015; Kueppers et al., 2018). Les parents sont les principaux responsables de l'alimentation des enfants (Hennessy et al., 2012; Boots et al., 2015) et par conséquent, leur choix alimentaire impacte celui de leurs enfants (Watts et al., 2014; Bruce et al., 2015 ; Robson et al., 2016; Jacquier, Deming & Eldridge, 2018). Les parents créent l'environnement physique et social de leurs enfants, par exemple en achetant des aliments, en établissant des règles sur les aliments, en encourageant ou en décourageant leurs enfants à manger certains types d'aliments (Gevers et al., 2014). Par exemple, plusieurs études ont montré que la disponibilité et l'accessibilité des fruits et des légumes à la maison sont positivement liés à la consommation de ces derniers par les enfants et les adolescents (Pearson, Biddle, & Gorely, 2009; Cullen et al., 2016).

I.1.2.2. Mamans et choix alimentaire des enfants

Dans le couple, les mamans sont les principales responsables des aliments consommés par leurs enfants (Damen et al., 2019). Dans la mesure où, souvent, les mamans contrôlent les achats et la consommation d'aliments du ménage, elles sont considérées comme les gardiennes nutritionnelles de la famille (Johnson et al., 2011). Pour les mamans, procurer des aliments bons pour la santé à leurs enfants est essentiel, mais d'autres facteurs peuvent entrer en jeu. Une étude menée par Möser et al. (2012) montre que les mamans allemandes qui travaillent à temps-plein, consacrent moins de temps à la préparation des aliments, et que leur famille consomme moins d'aliments sains (comme les fruits et légumes) que les mamans qui ne travaillent pas. Le niveau d'éducation de la maman peut aussi avoir un effet direct sur le choix des aliments donnés aux enfants. Une étude réalisée par Saldiva et al. (2014) au Brésil a souligné que les enfants des mamans ayant un niveau d'éducation faible, consomment entre 2 et 3 fois plus d'aliments mauvais pour la santé (aliments transformés, soda, snacks sucrés...) que les enfants des mamans ayant un niveau d'éducation élevé. Il existe également un lien entre le niveau de connaissance des mamans sur les besoins nutritionnels et la qualité de l'alimentation fournie aux enfants. Par exemple, les mamans ayant plus de connaissances sur le plan nutritionnel fournissent à leurs enfants des aliments à faible apport en matière grasse (Jeong & Kim, 2020). Dans certains cas, le manque de connaissance sur l'alimentation saine, s'additionne à la contrainte de faible pouvoir d'achat. Ceci conduit les mamans à ne pas considérer l'aspect nutritionnel au moment de la sélection des aliments pour leurs enfants (Machín et al., 2016). Plus on s'oriente vers une alimentation saine, plus les aliments deviennent chers, ce qui pousse les familles à faible revenu à se diriger vers des aliments de moins bonne qualité pour la santé. En revanche, les personnes ayant un pouvoir d'achat élevé peuvent acheter des aliments bons pour la santé sans hésitation (Appelhans et al., 2014 ; Jeong & Kim, 2020).

I.1.3. Mécanismes d'acceptation et de rejet des aliments

I.1.3.1. Néophobie

La néophobie alimentaire est décrite comme la réticence à manger ou à éviter de nouveaux aliments (Birch & Fisher, 1998). Elle est une caractéristique des omnivores, dont l'humain. Ce dernier est exposé aux risques d'un environnement dans lequel plusieurs sources alimentaires peuvent être toxiques. La présence de ces risques conduit l'individu à consommer de nouveaux aliments avec précaution. Plusieurs études se sont intéressées au lien entre la néophobie alimentaire et les propriétés sensorielles et l'acceptabilité des aliments. Une étude réalisée par Appleton et al. (2019) à propos de la consommation des légumes a montré que les personnes qui apprécient le goût et la texture des légumes, les consomment plus et sont caractérisés par un faible niveau de néophobie. L'aspect visuel de l'aliment détermine aussi son acceptation ou son rejet en particulier chez les enfants (Wadhera & Capaldi-Phillips, 2014). Pour ces derniers la couleur jouerait un rôle important (Lafraire et al., 2016). Par exemple, chez les enfants, les légumes verts sont plus souvent rejetés et leur acceptation est difficile à favoriser par rapport aux légumes de couleur orange (Mennella et al., 2008). Les adultes auraient, quant à eux, tendance à utiliser davantage le toucher que la vision (Dovey et al., 2008).

Généralement, une exposition répétée à un nouvel aliment est susceptible de réduire la néophobie, si cet aliment n'est suivi d'aucune conséquence gastro-intestinale négative (Meiselman & MacFie, 1996 ; Nicklaus & Issanchou, 2007). Il semblerait que ce changement puisse s'expliquer en termes de familiarité.

I.1.3.2. Familiarité

La familiarité des produits alimentaires joue un rôle important dans l'acceptabilité et les préférences des consommateurs car elle diminue l'incertitude associée au produit et génère une meilleure adéquation entre les attentes et les caractéristiques sensorielles (Borgogno et al., 2015). La familiarité est liée au contexte culturel des consommateurs. Les produits consommés dans une culture peuvent être considérés comme inacceptables ou inappropriés

dans une autre culture (Prescott et al., 2002). Par exemple, Tu et al., (2010) ont montré que le soja était généralement rejeté en France car le goût du soja n'est pas familier dans ce pays. En conséquence, l'introduction d'un nouveau produit dont l'une des propriétés sensorielles est non familière dans une culture rend difficile son acceptabilité par le consommateur.

I.1.4. Motivation du consommateur

I.1.4.1. Définition de la motivation

Les motivations peuvent être définies comme des forces qui poussent l'individu à agir pour satisfaire un besoin, un désir ou une nécessité (Lieury, 2000). D'une manière générale, la motivation est considérée comme un état interne qui initie et maintient un comportement orienté vers un but (Mayer, 2011). Cet état interne peut être déclenché par un signal physiologique ou besoin (e.g. faim, soif) ou par une information ou pression extérieure (e.g. messages nutritionnels relayés par les médias).

I.1.4.2. Méthodologie pour étudier la motivation des consommateurs

Les motivations ne sont pas toujours explicites ou verbalisables. Néanmoins, elles résident dans l'opinion que le consommateur formule. Il est donc possible d'accéder aux motivations du consommateur en recueillant ses opinions. Les opinions globales de ce dernier sur un objet correspondent à ce qu'il déclare « penser » de l'objet (Guittet, 2013).

Les techniques d'enquête des opinions peuvent se répartir en deux groupes : les techniques quantitatives et les techniques qualitatives. Les techniques quantitatives reposent généralement sur un questionnaire proposant une liste de questions posées aux participants. Les techniques qualitatives, comme les entretiens, consistent à interviewer des consommateurs et avoir des indications sur leurs opinions et leurs motivations (Guittet, 2013; Berthier, 2010). Parmi ces entretiens, on distingue l'entretien de groupe ou groupe focus.

Les questionnaires et les groupes focus sont parmi les méthodes les plus fréquemment utilisées dans les études visant à accéder aux habitudes alimentaires, croyances et motivations des consommateurs. Ces deux méthodes seront utilisées dans cette thèse.

I.1.4.2.1. Questionnaire

Le questionnaire a un caractère écrit qui le différencie de l'entretien directif (Fenneteau, 2015). On peut utiliser le questionnaire dans le but d'obtenir une validation statistique ou qualitative d'hypothèses émises et de collecter des opinions ou des motivations. Pour les questionnaires visant à étudier les opinions, la façon habituelle de procéder est d'énoncer les opinions une par une et de demander aux participants leur degré d'accord avec ces dernières. Le nombre de questions incluses dans un questionnaire influence la qualité des réponses par le biais du degré d'attention. Il est donc conseillé de limiter le nombre d'énoncés à proposer (Berthier, 2010).

I.1.4.2.2. Groupes focus

Le groupe focus est une technique d'entretien semi-directif de groupe sur un sujet ciblé durant lequel les participants sont invités à partager leurs opinions, réflexions, motivations et expériences personnelles (Morgan, 1998). Ce sont des participants volontaires sélectionnés selon l'objectif du projet de recherche. Il est possible de composer un groupe focus homogène ou hétérogène. Un groupe focus homogène regroupe des participants ayant un profil socio-économique voisin ou ayant des connaissances similaires en rapport avec le thème abordé. Les participants d'un groupe homogène se sentent davantage à l'aise dans la discussion mais celle-ci peut mener à des points de vue trop proches. À l'opposé, dans un groupe focus hétérogène, la discussion est souvent plus riche et plus nuancée mais il persiste le risque de la diminution de la dynamique et de la spontanéité de l'échange.

Un groupe focus dure environ deux heures et se déroule selon un guide de modération précis avec une liste de questions prédéfinies. La discussion est menée par un ou deux modérateurs. Généralement, plusieurs groupes focus sont menés jusqu'à l'obtention d'informations redondantes sans nouveauté (Morgan, 1998). Les groupes focus sont généralement analysés par une analyse thématique (Dransfield et al., 2004). L'analyse thématique des groupes focus consiste en une lecture indépendante de la transcription par plusieurs analystes afin d'identifier et d'extraire des items. Un item représente une opinion ou une idée qui se répète même quand elle est exprimée sous formes diverses (Dransfield

et al., 2004). Selon cette technique, les verbatims (les paroles retranscrites en textes) sont découpés, classés, comparés et confrontés. Tous les verbatims exprimant une opinion, une idée, sont représentés par un item. Ce dernier peut prendre la forme d'une expression naturelle, une phrase significative, un sentiment formulé et même un mot-clé. Les items peuvent être regroupés en thème ou dimension.

Conclusions de la bibliographie et problématique de la première partie

Les travaux réalisés sur les déterminants du choix alimentaire indiquent que ce dernier est influencé par trois groupes de facteurs liés respectivement à la personne, à l'aliment et à l'environnement socio-économique. Pour les populations défavorisées comme celles des provinces sud-africaines (Cap-oriental et Limpopo) qui nous intéressent, ces facteurs s'orientent plutôt sur l'aspect économique comme les revenus et le prix des aliments et sur les propriétés intrinsèques de l'aliment, comme le rassasiement.

Ces facteurs de choix alimentaires soulignent aussi l'importance de l'effet que procure les croyances, les attitudes et les préférences sur le comportement de consommation alimentaire. Les habitudes peuvent aussi expliquer la différence créée entre les comportements alimentaires puisque les habitudes sont influencées par l'histoire et la culture de chaque pays. En se basant sur ces éléments, comment peut-on expliquer que le MO est plus utilisé en alimentation humaine dans certains pays que dans d'autres comme l'AS ? Dans cette première partie de thèse nous chercherons à répondre aux questions de recherche suivantes :

Q1 : Quelles sont les différences en termes de connaissances, d'habitudes de consommation et croyances sur le MO entre les Indiens et les Africains ?

Q2 : Avoir des attitudes positives envers les bienfaits nutritionnels du MO est-il suffisant pour augmenter sa consommation par notre population cible : les mamans étudiantes sud-africaines ?

Q3 : Les mamans ayant des bonnes connaissances nutritionnelles sont-elles capables de fournir une alimentation bonne pour la santé à leurs enfants ? Existe-t-il des barrières ?

Q4 : Quels sont les leviers à utiliser et les verrous à surmonter afin d'aider notre population cible à s'intéresser à la consommation du MO ?

Pour répondre à ces questions de recherche, nous avons organisé notre travail en deux étapes expérimentales. Pour la première étape, nous avons diffusé un questionnaire en ligne en Inde et dans trois pays d'Afrique (Ghana, Nigeria et AS) afin de comparer les

connaissances, les habitudes de consommation et les croyances sur le MO entre les Indiens et les Africains. Pour la seconde étape, nous avons réalisé des groupes focus dans les provinces du Cap-oriental et Limpopo avec des étudiantes mamans sud-africaines afin de comprendre leurs habitudes alimentaires et celles de leurs enfants et d'évaluer leur perception de la consommation du MO. Ces deux études sont présentées dans les chapitres I.2. et I.3. de cette première partie.

*Chapitre I.2. Connaissances, habitudes de consommation et
croyances envers le *Moringa oleifera*: Un questionnaire en
Afrique et en Inde*

Article 1: *Moringa oleifera* Lam.: A comparative survey on consumer knowledge, usage and belief in Africa and India

[Soumis à Appetite]

Amel Hedhili ^{a, b, *}, Babatope Ebenezer Akinyemi ^c, Gloria Aderonke Otunola ^d, Priscilla Adei Ashie-Nikoi ^a, Mitali Kulkarni ^a, Florence Husson ^b, Dominique Valentin^a

^a: Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRAE, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France; priscilla-adei.ashie-nikoi@agrosupdijon.fr ; mitali.kulkarni@isa.yncrea.fr; dominique.valentin@u-bourgogne.fr

^b: Univ. Bourgogne Franche-Comté, AgroSup Dijon, PAM UMR A 02.102, F-21000 Dijon, France ; florence.husson@agrosupdijon.fr

^c: Department of Agricultural Economics & Extension. University of Fort Hare, Alice 5700, South Africa; bakinyemi@ufh.ac.za

^d: Medicinal Plants & Economic Development (MPED) Research Centre, University of Fort Hare, Alice 5700, South Africa; gotunola@ufh.ac.za

* Corresponding author: amel.hedhili@inrae.fr

Abstract

Native to India, *Moringa oleifera* Lam. is a plant with high nutritional value, which is now grown across the world, especially in tropical and subtropical regions. This study aimed to determine the knowledge, consumption and beliefs toward *Moringa oleifera* in Africa and India to gain a better understanding of why this plant is widely consumed in India but less so in African countries. An online survey was implemented in India and in three African countries (Nigeria, Ghana, and South Africa). Our hypothesis was that the differences in patterns of consumption in India and Africa might be due to differences in terms of knowledge and attitudes. In particular, we expected Indian respondents to have a better knowledge and more positive attitudes towards Moringa than African respondents. Our findings showed a difference in terms of knowledge and consumption of Moringa between Indian and African respondents. However, this difference could not be explained in terms of beliefs and attitudes: No significant difference was found between African and Indian respondents' beliefs towards Moringa. Having positive attitudes and beliefs is not enough to change Moringa consumption behavior. Past behavior seems to be a better predictor of Moringa consumption behavior. As Moringa is not yet anchored in African families and cultural practices, especially in South Africa, providing only nutritional and health information is not enough to promote Moringa consumption in these countries. A better option would be to increase the familiarity of Moringa by incorporating it into familiar local foods with a high satiating power. Family also seems to be an important driver of Moringa consumption that needs to be taken into account.

Keywords: Online survey; *Moringa oleifera*; Attitudes; Beliefs; India; Africa

Highlights

- Difference in knowledge and consumption of Moringa between Indian and African can be explained by difference in food habits and culture
- Indians and Africans shared the same beliefs about Moringa
- Positive attitudes and beliefs are not enough to change Moringa consumption behavior

1. Introduction

Food consumption is not limited to the simple act of eating a meal three times a day and repeating this act every day to fulfill the needs of energy and nutrients. Many other factors including physiological, social and cultural factors, impact consumer food choices (Rozin, 2006). The relative weight of these factors varies with the environment in which the choices are made. In particular, consumers in developing countries or low-income consumers use different food choice criteria than consumers in developed countries or high-income consumers (Burns, Cook, & Mavoia, 2013). For example, among low-income households, food prices take precedence over all other determinants (Blanck et al., 2009; Giskes et al., 2007; Steenhuis, Waterlander, & de Mul, 2011). According to Drewnowski (2009), when financial resources become scarce, consumers try to maximize food purchases by making provisions for the foods that provide high calories, which often leads to the consumption of energy-dense foods. In contrast, nutrient-dense and healthy foods are generally expensive and difficult to access for these populations (Burns, Cook, & Mavoia, 2013; Irala-Estévez et al., 2000). The geographic location as well as the transport make the access to foods more difficult for a number of consumers (Dibsdall et al., 2003; Story et al., 2008). For example, the price of fruits and vegetables is higher when consumers need to buy food outside their area of residence (Dibsdall et al., 2003).

Besides economic factors (i.e., price, availability, accessibility), other factors such as food sensory attributes related to preference and liking and physiological attributes related to intrinsic properties of food like satiating power play an important role in food choices (Murray & Vickers, 2009). The satiating power of a food is a very important factor in making food choices among low-income populations. Burns, Cook, & Mavoia (2013) described a satiating food in terms of amount and supply of energy needed for physical activities. In their study, satiation was associated with carbohydrates and starchy foods such as bread, rice, and potato.

According to models of behavior, such as the Theory of Planned Behaviour (TPB, Ajzen, 1991) consumers' attitudes and beliefs about foods also influence food behavior. Bech-

Larsen & Grunert (2003) in a study evaluating consumers' response towards orange juice, yoghurt and spread enriched with omega 3-fatty acids and oligosaccharides showed that the effect of a health claim depends on the product base. The effect is stronger for the spread, a product perceived as inherently unhealthy, than for orange juice and yoghurt, naturally perceived as healthy. Although TPB has proved to be a powerful model to explain human behavior, attitudes and beliefs are not the sole predictors of food behavior. Among the additional constructs that could improve the predictive value of TPB, past behavior (i.e. actions or reactions of a person in response to external or internal stimuli in the past) and habits (goal oriented automatic behavior) are of particular importance (de Bruijn et al., 2008).

While the different factors listed above have been extensively studied in developed countries only a few studies have been carried out in developing countries (Burns, Cook, & Mavoja, 2013; Hough & Sosa, 2015). Yet, there is a crucial need for such studies to understand the problem of chronic malnutrition in these countries. Although geographical or economical limited access to food is one of the causes of malnutrition, it is not the only one. For example, despite being a country rich in natural resources like fruits, legumes and leaf vegetables, Madagascar is severely affected by child malnutrition. According to Ramaroson, Valentin, & Arvisenet (2015), the origin of this paradox can be found both in the food history of the country and in consumers' habits, knowledge, and belief structures about food properties.

For the majority of developing countries and low-income populations, some varieties of food are unaffordable or seasonally unavailable. In the tropics for instance, meals are generally built around one staple food rich in carbohydrates but very poor nutritionally, such as a dough made from yam, maize or cassava (Dhakar et al., 2011; Ramota et al., 2013). This kind of restrictive diet consumed every day leads to chronic malnutrition (Dhakar et al., 2011).

In order to solve this problem, several studies on the usage of plants rich in nutrients and locally grown in some developing countries, have been implemented. Fuglie (2001) showed

that the regions most burdened by malnutrition in Africa, Asia and Latin America share the ability to grow and utilize an edible plant, Moringa, commonly referred to as “The Miracle Tree” due to its high nutritional value.

Moringa oleifera, Lam., is a naturally cultivated variety of the genus Moringa belonging to the *Moringaceae* family. It is a medium sized tree species indigenous to northwest India (Mughal et al., 1999; Ramachandran, Peter, & Gopalakrishnan, 1980). It has also been introduced and naturalized in other parts of India, Pakistan, Afghanistan, Bangladesh, Southeast Asia, West Asia, east and west Africa (Mahmood, Mugal, & Haq, 2010). The Moringa tree is known by several regional names such as Drumstick tree, Horseradish tree, Marango, Mulangay, Saijihan and Sajna (Fahey, 2005). This plant is considered as one of the world’s most useful trees because almost all its parts can be consumed as food, medicine and animal forage, as well as for water purification (Fahey, 2005; Khalafalla et al., 2010; Ma et al., 2020; Saini, Sivanesan, & Keum, 2016) .

Because the plant is native to India, the value of Moringa is well known in this country since immemorial time (Ramachandran, Peter, & Gopalakrishnan, 1980). In this country, fruits of Moringa, leaves, pods and seed oil are used for different purposes. Very young pods, which taste like asparagus are commonly consumed as vegetables and for other culinary preparations. Mature pods are used in the preparation of soups and stews (Pandey et al., 2011). Young leaves are commonly prepared like spinach or as soups and salads, while in some areas, immature seeds are consumed raw or cooked (Mishra, Singh, & Singh, 2012).

In contrast, Moringa is not native to Africa and was introduced only in the early 20th century (Foidl, Makkar, & Becker, 2001). Although less consumed than in India, Moringa leaves are incorporated to some African dishes. For example, Moringa leaves are used in preparing a Nigerian soup called “Egusi” made from melon and spinach (Babayaju et al., 2014). In Kenya, the fresh leaves of Moringa are used as vegetables and tea and the leaf powder are mixed with other foods (Kumssa et al., 2017). Despite the abundant benefits of this plant, it seems that there is a lack of awareness and/or an unwillingness to exploit it (Farinola et al., 2014). According to Popoola & Obembe (2013), there is unequal indigenous knowledge

concerning plant use among the Nigerian population attributed to differences in ecological regions, ethnicities, gender, age, professions, religion, cultural beliefs, abundance and usefulness of the species. Another study carried out in northern South Africa reports that although the people of Hammanskraal (a town in Gauteng province) have heard about the uses and benefits of Moringa, they never consumed it, whereas the people of Lebowakgomo (a town in Limpopo province) often consume this plant (Ntila et al., 2018).

The goal of this study is to comparatively explore the knowledge, consumption of and beliefs about *Moringa oleifera* in Africa and India to gain a better understanding of why this plant is widely consumed in India but less in African countries. Our hypothesis was that differences in patterns of consumption might be due to differences in terms of knowledge and attitudes. Especially, we expected Indian respondents to have a better knowledge and more positive attitudes towards Moringa than African respondents.

We implemented an online survey in India and three African countries. The African countries, were chosen based on the different levels of consumption of Moringa: Ghana where Moringa is consumed by humans through fortifying some local foods (Glover-Amengor et al., 2017); Nigeria where Moringa is mostly used as medicine, food and for nutritional supplementation purposes (Popoola & Obembe, 2013); and South Africa where it is mostly used for animal feeding (Mabapa et al., 2017).

2. Materials and Methods

2.1. Questionnaire Design

The questionnaire was written in English, since this is a common language in Ghana, Nigeria, South Africa and India where the online survey was implemented. A pilot online survey was initially carried out in the four countries before we implemented the main survey. This led to the reduction or addition of questions and changes in the wordings of the questions in order to make them more understandable. The final questionnaire (Table 1) included 15 questions structured into three sections: 1) knowledge of Moringa (Q1 –Q4), 2) consumption of Moringa (Q5 – Q14), 3) beliefs towards Moringa (Q15) followed by five socio-demographic questions (Q16-Q20). The knowledge and consumption sections

included yes/no, single-choice, and check-all-that-apply (CATA) questions. The CATA lists for each question were based on previous literature (Pandey et al., 2011; Mishra, Singh, & Singh, 2012; Babayeju et al., 2014; Kumssa et al., 2017). The belief section included 15 belief statements evaluated with 5-point Likert scales. The statements were also based on previous literature to span different belief dimensions such as health, taste, practicality, affordability and nutrition. As Indian populations do not use the term Moringa in everyday life but refer to it as drumstick plant, Moringa was replaced with drumstick plant throughout the questionnaire to collect data in India.

2.2. Recruitment and survey administration

Data were collected by means of an online survey using Google Form software. Respondents in the four countries were recruited using the snowball technique *via* email. They received e-mails sent to e-mail groups and individual contacts and were asked to forward the link to their acquaintances in order to recruit additional participants. The survey was also advertised on social media platforms (WhatsApp). Before answering the survey, respondents were informed of the purpose and background of the study and asked to sign a consent form. The survey was implemented in African countries from August 2019 to February 2020 and in India from February 2020 to March 2020.

Table 1. Questionnaire on the knowledge, consumption and beliefs about Moringa.

Q1. 1. Have you heard of Moringa? ^b	Q2. Where did you hear about Moringa for the first time? ^a
Q3. For you, what is Moringa? ^a	Q4. What other uses of Moringa do you know? ^c
Q5. Do you consume Moringa? ^b	Q6. Which parts of the Moringa tree listed below do you consume? ^c
Q7. Among the parts you selected in Q6, which one do you consume the most? ^a	Q8. Where do you most frequently find your Moringa? ^a
Q9. How do you eat Moringa? ^c	Q10. How often do you use Moringa as an ingredient in your cooking? ^a
Q11. Which cooking method do you use the most often to prepare Moringa? ^a	Q12. How difficult is it for you to prepare meals with Moringa? ^a
Q13. At what time during the day do you eat dishes containing Moringa? ^b	Q14. In which form do you consume Moringa the most? ^a
Q15. Do you agree with the following statements: I like the taste of Moringa/ It is like cabbage/It is an herb more than a vegetable/ It is consumed by people in the village/ It is nutritious/ It is good for health/ It is only consumed with local foods/It makes me gain weight/ It is not safe to consume/ I like it's aroma/it is very expensive/ I like the texture/it is easily accessible/ I like its color	
Q16-Q20 Demographic information (sex, age, nationality, education level, profession) ^a	

^a Single-choice questions; ^b Yes/No questions; ^c CATA ; ^d 5-points Likert scale questions

A total of 513 respondents filled out the questionnaire: 83 in South Africa, 129 in Ghana, 105 in Nigeria and 196 in India. Among these respondents, 255 declared that they do not consume Moringa, while 258 (20 in South Africa, 58 in Ghana, 56 in Nigeria and 124 in India) affirmed to consume it. Only the data from the 258 respondents who are consumers of Moringa were analyzed in this study. The rationale for this is that the study aimed to gain an understanding of the motivation behind the consumption of Moringa in the four countries. The demographic characteristics of the Moringa respondents are summarized in Table 2.

Table 2. Demographic characteristics of respondents included in the study (N = 258).

	Ghana	Nigeria	South Africa	India	Total
Sex					
Male	35	28	5	70	138
Female	23	28	15	54	120
Total	58	56	20	124	258
Age					
18-24	11	14	7	32	64
25-34	34	22	12	26	94
35-44	4	10	1	28	43
45-54	8	9	0	26	43
≥55	1	1	0	12	14
Total	58	56	20	124	258
Education level					
University	51	52	19	117	239
Secondary education	6	0	1	4	11
No formal education	0	1	0	0	1
Other	1	3	0	3	7
Total	58	56	20	124	258
Profession					
Student	9	8	6	24	47
Self employed	1	5	3	2	11
Scientist/Research	1	7	4	9	21
Administrator/ office worker	33	19	5	64	121
Teacher	10	8	2	4	24
Health officer	4	7	0	5	16
Unemployed	0	2	0	16	18
Total	58	56	20	124	258

2.3. Data Analysis

Data analysis was implemented in two stages. In the first stage, we compared respondents' knowledge, consumption and beliefs about Moringa between India and Africa. Then, we narrowed down our analysis to the comparison of respondents' knowledge, consumption and beliefs about Moringa in Ghana, Nigeria and South Africa.

2.3.1. Univariate analysis

In order to understand the extent of knowledge, consumption and beliefs about Moringa in India and Africa, we implemented univariate analysis on the Yes/No, single-choice and CATA questions using frequency counts. Chi-square tests were performed to highlight the differences between participants' responses to each variable. All analyses were performed with XLSTAT software (version 2020.2.3, France).

2.3.2. Multivariate analysis

The responses to the 15 belief statements were coded directly from the 5-points Likert-scale used by respondents, ranging from 1 for "strongly disagree" to 5 for "strongly agree". A varimax rotated Principal Component Analysis (PCA) was performed on the beliefs statements (Q15) as active variables and respondents as observations. Participant continent of residence (India or Africa) was projected as supplementary variable in the PCA. A segmentation of the participants was then obtained by performing a Hierarchical Cluster Analysis (HCA) with Euclidean distances and Ward aggregation criteria on the coordinates of the respondents on the PC with an eigenvalue greater than 1 (Kaiser Law). Chi-square tests were carried out ($\alpha = 0.05$) to characterize the identified clusters in terms of demographic characteristics. Then, following Lebart, Piron, & Morineau (2006), clusters were further described by knowledge and consumption modalities using a hyper-geometric law ($\alpha = 0.05$) and by belief statements using Student t tests. This was done by comparing each cluster average scores with the overall average scores. Chi-square tests were performed with XLSTAT software. PCA and HCA were performed with SPAD software (version 9.1, France).

3. Results

3.1. Comparison of knowledge, consumption and beliefs in India and Africa

3.1.1. Knowledge

In order to assess their knowledge of Moringa, respondents were asked three questions (Q2-Q4). In Q2, they were asked to choose between family, media, friends, health professionals,

or other as the first source of information about Moringa. The items “school” and “research” having been often mentioned by respondents that choose the option other were added for the analysis of this question. The Chi-square test showed a significant difference between African and Indian respondents in terms of the sources of information about Moringa ($\chi^2 = 27.92, p < 0.0001$). Indian respondents chose family as the main source of information more frequently than African respondents (Fig. 1a). For the latter, family was also an important source of information but they also heard about Moringa from friends, media, school and research.

Respondents were also asked whether they considered Moringa as food, medicine or both (Q3). A significant difference was observed between African and Indian respondents ($\chi^2 = 48.98, p < 0.0001$). A significantly larger number of Indian respondents considered Moringa as food only compared to African respondents who considered it more often than Indian respondents as either medicine only or food and medicine (Fig. 1b).

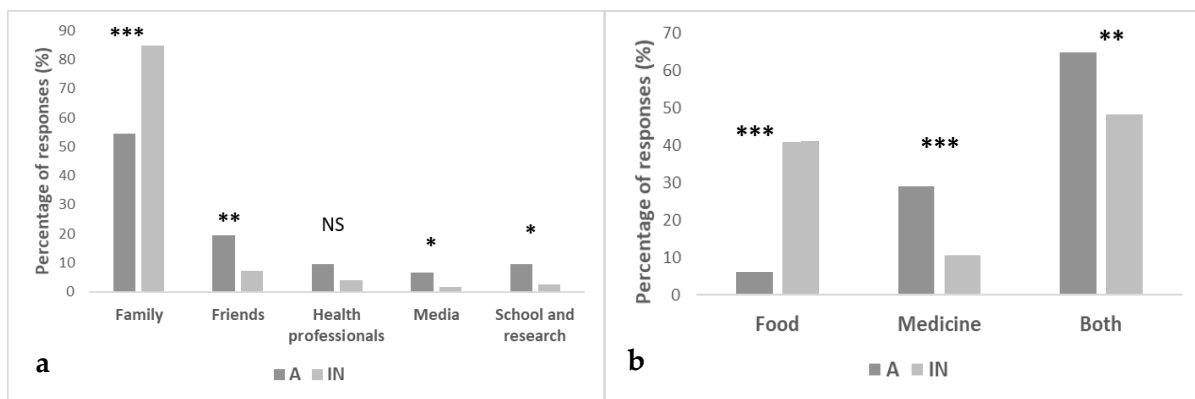


Fig.1. Frequency counts for knowledge of Moringa questions (a) Where did you hear about Moringa for the first time? (b) For you, what is Moringa? A: African countries, IN: India, NS: No Significance, *= $p < 0.05$, **= $p < 0.01$ and ***= $p < 0.001$ (χ^2 test).

3.1.2. Consumption habits

Nine questions were asked to explore respondents' eating habits (Q6-Q14). When querying about the part of Moringa consumed, a significant difference was observed between the two groups of respondents ($\chi^2 = 93.58, p < 0.0001$). Most of the African respondents consumed

the leaves of Moringa (80.6%) followed by seeds while for Indians all parts of Moringa (Bark, flowers, leaves, seeds) were consumed homogenously (Fig. 2a). Only Indian respondents gave other responses like fruits and pods. With respect to how Moringa is eaten, Africans and Indians respondents exhibited different eating habits ($\chi^2 = 123.70, p < 0.0001$). African respondents consumed Moringa as tea (26%) and in raw form more often than Indian respondents who consumed it more often in a cooked form, as vegetables in soups (45%), in sauce and in salad (Fig. 2b).

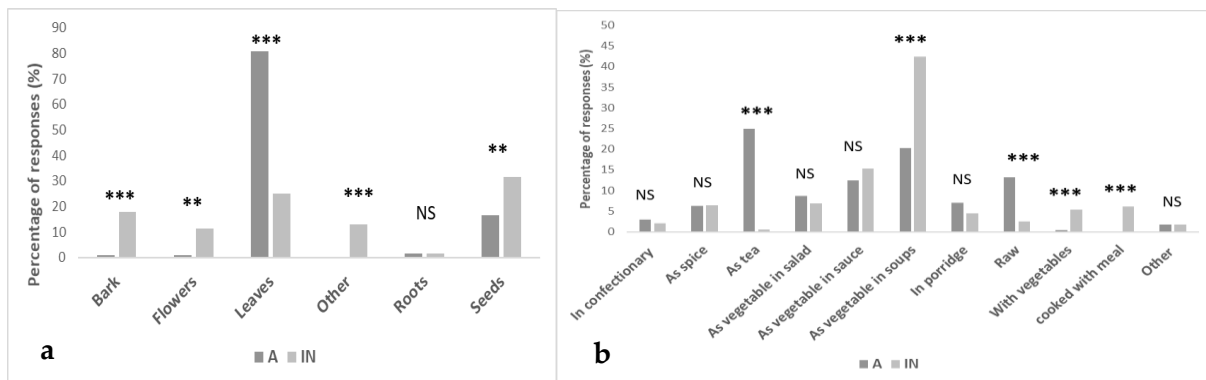


Fig. 2. Frequency counts for Moringa consumption habit questions (a) Which parts of the Moringa tree listed below do you consume? (b) How do you eat Moringa? A: African countries, IN: India, NS: No Significance, $*$ = $p < 0.05$, $**$ = $p < 0.01$ and $***$ = $p < 0.001$ (χ^2 test).

A significant difference was also observed between African and Indian respondents for the sources of Moringa ($\chi^2 = 74.63, p < 0.0001$). Whereas African respondents mostly harvested Moringa directly from their yard (56%) and from their neighborhood, Indian respondents often purchased Moringa from the local market (66%) or herbal shops (Fig. 3a). The frequency at which African respondents used Moringa as a cooking ingredient was significantly different from that of Indian respondents (χ^2 test = 17.18, $p < 0.000$). While most African and Indian respondents declared using Moringa monthly (71% and 64% respectively) more African respondents used it daily than Indian respondents who used it more often on a weekly basis (Fig. 3b). Most African respondents predominantly consumed Moringa dishes for breakfast and dinner, whereas Indian respondents declared consuming them for lunch and dinner (Fig. 3c).

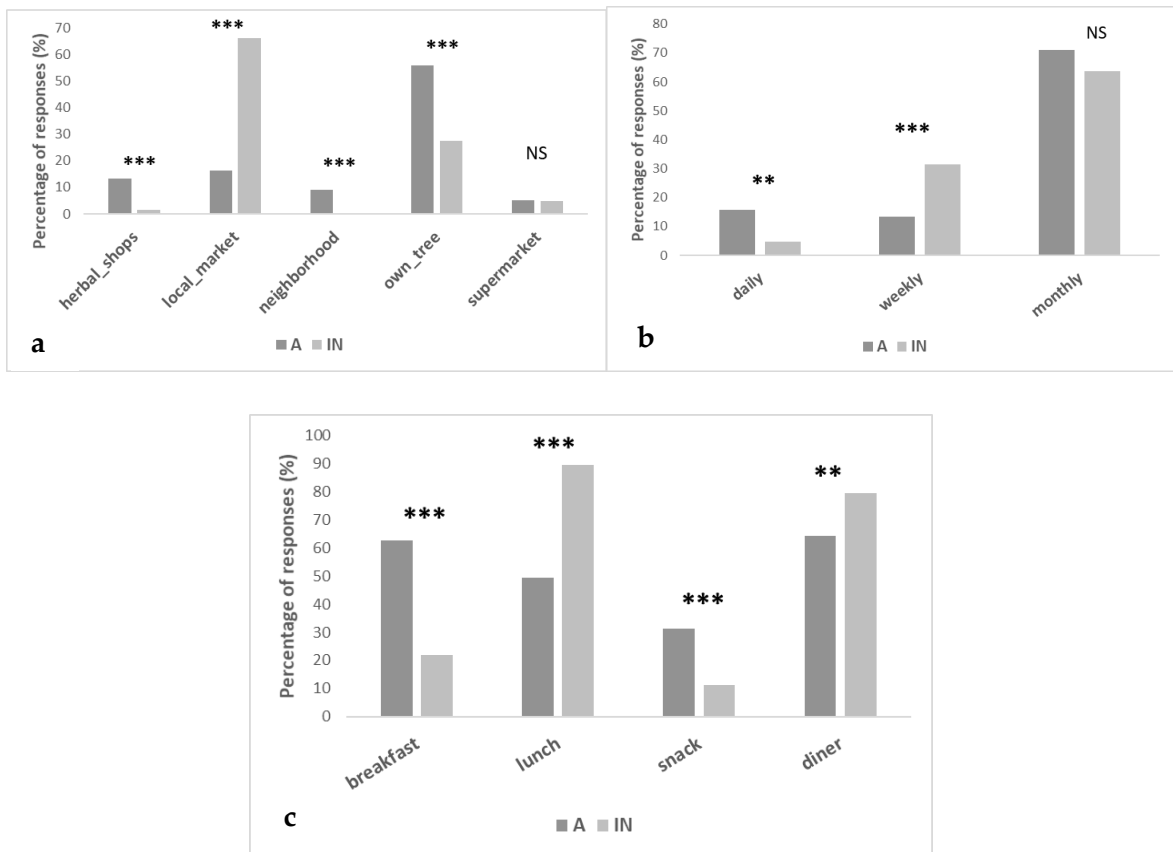


Fig. 3. Frequency counts for Moringa consumption habit questions (a) Where do you most frequently find your Moringa? (b) How often do you use Moringa as an ingredient in your cooking (c) At what time during the day do you eat dishes containing Moringa? A: African countries, IN: India, NS: No Significance, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ and *** = $p < 0.001$ (χ^2 test).

When asked about the methods used for cooking Moringa, African and Indian respondents showed a significant difference ($\chi^2 = 37.64$, $p < 0.0001$). The majority of African and Indian respondents declared boiling Moringa (63% and 68% respectively). However, Indian respondents used more frequently the frying method than African respondents who used steaming more often (Fig. 4a).

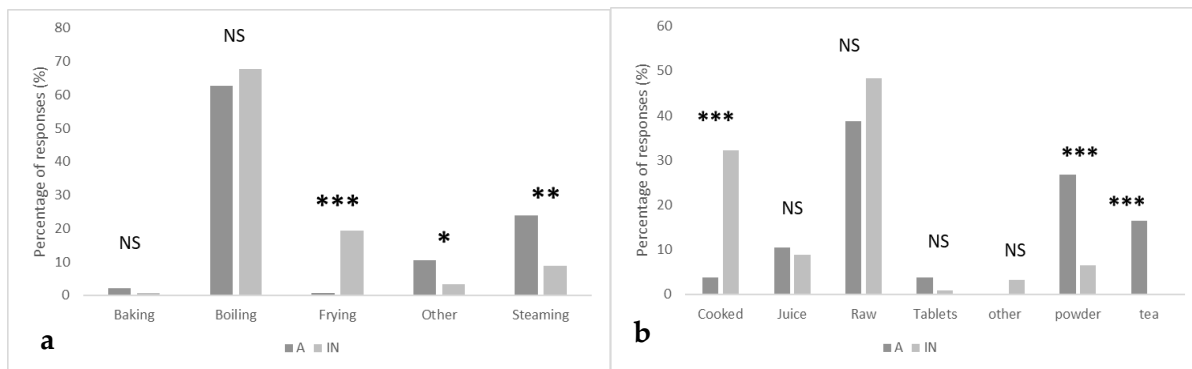


Fig. 4. Frequency counts for Moringa consumption habit questions (a) Which cooking method do you use the most often to prepare Moringa? (b) In which form do you consume Moringa the most? A: African countries, IN: India, NS: No Significance, $*$ = $p < 0.05$, $**$ = $p < 0.01$ and $***$ = $p < 0.001$ (χ^2 test).

The last question in this section concerned the form in which respondents declared consuming Moringa. Both African and Indian respondents consumed mostly Moringa in its raw form (Fig. 4b). The main difference between the two groups of respondents was that Indian respondents consumed Moringa in a cooked form more often than African respondents who consumed it more often in a powder form ($\chi^2 = 74.36$, $p < 0.0001$).

3.1.3. Belief statements

A varimax rotated PCA was applied to the belief statements (Q15). Following Kaiser law (eigenvalue > 1) the first four PC explaining 63.4% of total variance were kept for the analysis (Fig. 5). To facilitate the interpretation of the PC, only statements with contribution greater than the average contribution were considered in the analysis. As shown fig 5a, PC 1 (25.5%) opposed positive beliefs (health, nutritious) to negative ones (not safe, not good for children, gain-weight, expensive). All belief statements related to liking (like color, like taste, like aroma, like texture) and accessibility are positively correlated to PC 2 (19.5%). The projection of the barycenter of African and Indian respondents onto PC 1 & 2 respondent map (fig. 5b) shows that there is no country of origin segmentation (the two barycenters as close to the center of the map) in terms of attitudes toward Moringa.

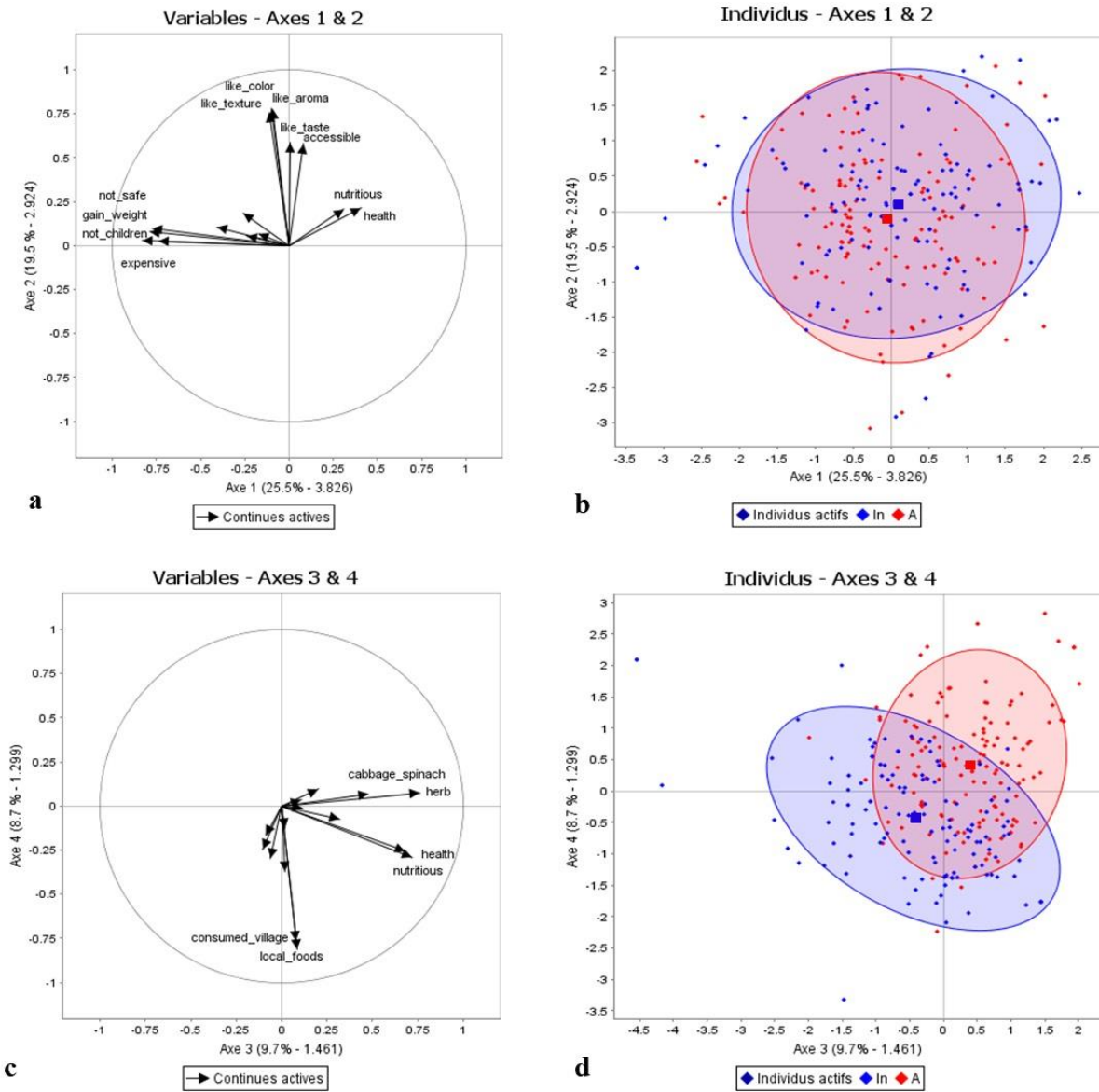


Fig. 5. PCA performed on the belief statements by respondents table (a) Correlation circle for PC 1 and 2 (b) projection of the respondents on PC 1 and 2 (c) Correlation circle for PC 3 and 4 (d) projection of the respondents on PC 3 and 4. The squares and the 95% ellipses on the respondent maps represent the barycenter of respondent origin (India vs Africa).

The third PC (9.7%) is positively correlated with the statements Moringa is like a cabbage or spinach, Moringa is an herb, Moringa is healthy and nutritious. The fourth PC (8.7%) is negatively correlated with the statements Moringa is consumed with local food and it is consumed in the village. The projection of the barycenter of African and Indian respondents onto these two PCs (fig. 5b) shows a segmentation in terms of country of origin. On average,

African respondents agreed more with the statements Moringa is like cabbage or spinach and it is like a herb, than Indian respondents. On the opposite, Indian respondents agreed more with the beliefs that Moringa is most consumed in villages and with local foods than African respondents.

The HCA carried out on respondents' coordinates on the first four PCs separated respondents into three clusters. Chi-square tests (α -risk= 5%) performed on demographic characteristics showed no significant difference in terms of countries of origin, age and sex (Table 3). In contrast, the three clusters differed in terms of knowledge and consumption habits and patterns of beliefs (Table 4).

Table 3. Demographic characteristics of the respondents in each cluster.

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
Origin			
Africa	45	38	51
India	40	38	46
Sex			
Male	48	38	52
Female	37	38	45
Age			
18-34 years	51	44	63
35-60 years	34	32	34

Respondents in Cluster 1 heard about Moringa from teachers and researchers in school more often than other respondents did. They ate Moringa less often and found it less easy to prepare than other respondents. Their knowledge of other usages of Moringa than human consumption was lower than that of other respondents. Globally they tended to disagree more than other respondents did with all belief statements. In particular, they disagreed more with the idea that Moringa is a local food consumed in the village, that this is an herb more than a vegetable and that it is like cabbage and spinach. They also tended to like less Moringa than other respondents but even though their scores were lower than that of other respondents they believed in the health and nutritional value of Moringa as their average scores for these items were above four.

Respondents in cluster 2 heard about Moringa from their family more often than other respondents and ate it more often for breakfast. They also tended to eat the fruit of Moringa more often than other respondents did. They tended to have a more positive attitude toward the taste, health and nutrition dimension of Moringa than other respondents did. They also believed that Moringa is accessible and did not think that it is an expensive or local product consumed in villages nor that it is similar to cabbage or spinach.

Respondents in cluster 3 heard about Moringa from health professionals more often than other respondents, they found it easier to prepare than other respondents and their knowledge of uses other than food consumption is higher than that of other respondents especially for water purification. They tended to agree more with all belief statements than other respondents whether positively or negatively. The difference with other respondents was, however, higher for negative statements such as it makes me gain weight, it is not safe to consume, it is very expensive and it is not for children. They also agreed more on the fact that it is consumed by people in the village, that it is only consumed with local foods, that it is like cabbage and spinach and that it is more a herb than a vegetable. Despite these somewhat negative attitudes towards Moringa they still agreed more than other respondents did on the fact that they like Moringa and that it has health and nutritional values. The difference with other respondents is, however, lower for these last items and may be in part due to a tendency to agree with all statements.

Table 4. Characterization of clusters by active beliefs statements using a bilateral student *t* test comparing the average score in the cluster and the overall average score.

Characteristic variables	Mean in cluster	Overall mean	t-Value	P-value
Cluster 1				
cabbage_spinach	2,941	3,198	-2,705	0,003
consumed_village	2,871	3,326	-4,198	0,000
local_foods	2,729	3,217	-4,760	0,000
herb	3,529	3,977	-4,809	0,000
health	4,106	4,562	-7,234	0,000
like_taste	3,624	4,159	-7,489	0,000
like_aroma	3,200	3,829	-7,831	0,000
like_color	3,365	3,965	-8,107	0,000
accessible	3,318	3,977	-8,291	0,000
like_texture	3,165	3,771	-8,312	0,000
nutritious	4,012	4,527	-8,481	0,000
Cluster 2				
nutritious	4,882	4,527	5,377	0,000
health	4,895	4,562	4,865	0,000
like_taste	4,421	4,159	3,381	0,000
accessible	4,263	3,977	3,322	0,000
like_color	4,197	3,965	2,891	0,002
consumed_village	2,947	3,326	-3,217	0,001
local_foods	2,855	3,217	-3,256	0,001
cabbage_spinach	2,816	3,198	-3,713	0,000
expensive	1,908	2,597	-7,109	0,000
not_safe	1,645	2,453	-7,477	0,000
gain_weight	1,882	2,609	-7,951	0,000
not_children	1,737	2,547	-8,734	0,000
Cluster 3				
gain_weight	3,320	2,609	9,342	0,000
not_safe	3,258	2,453	8,931	0,000
expensive	3,289	2,597	8,573	0,000
not_children	3,206	2,547	8,548	0,000
local_foods	3,928	3,217	7,684	0,000
consumed_village	4,021	3,326	7,102	0,000
like_texture	4,186	3,771	6,286	0,000
cabbage_spinach	3,722	3,198	6,119	0,000
herb	4,464	3,977	5,800	0,000
like_aroma	4,247	3,829	5,758	0,000
like_color	4,309	3,965	5,146	0,000
accessible	4,330	3,977	4,920	0,000
like_taste	4,423	4,159	4,086	0,000
nutritious	4,701	4,527	3,169	0,001
health	4,701	4,562	2,442	0,007

3.2. Comparison of knowledge, consumption and beliefs across African countries

3.2.1. Knowledge (Q2-Q4)

Chi-square tests showed a significant difference between the Ghanaian, Nigerian and South African respondents for the question: Where did you hear about Moringa for the first time? ($\chi^2 = 21.33, p < 0.006$). Fig. 6 shows that Ghanaian and Nigerian respondents mostly heard about Moringa from their family (71% and 48% respectively), whereas South Africans respondents mostly got information from friends (30%) and school. No significant difference was observed for the other knowledge questions.

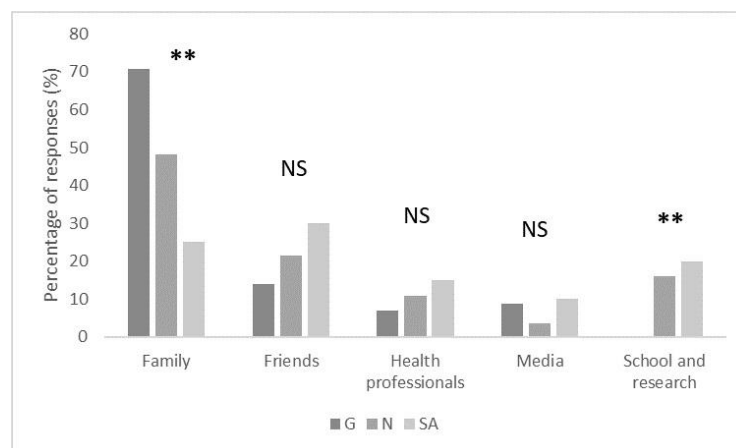


Fig. 6. Frequency counts for knowledge of Moringa questions. Where did you hear about Moringa for the first time? G: Ghana; N: Nigeria; SA: South Africa; NS: No Significance, *= $p < 0.05$, **= $p < 0.01$ and ***= $p < 0.001$ (χ^2 test).

3.2.2. Consumption habits (Q6-Q14)

All African respondents consumed mostly the leaves of Moringa and there was no significant difference between the three countries. A significant difference was observed for the place where respondents obtained their Moringa ($\chi^2 = 42.22, p < 0.0001$). Most Ghanaian and Nigerian respondents got Moringa from their own trees whereas most South African respondents get it from herbal shops (Fig. 7a). African respondents from the three countries did not consume Moringa at the same time of the day (Fig. 7b). Ghanaians and South Africans respondents consumed Moringa more frequently at breakfast ($\chi^2 = 9.36, p < 0.009$) than Nigerian respondents.

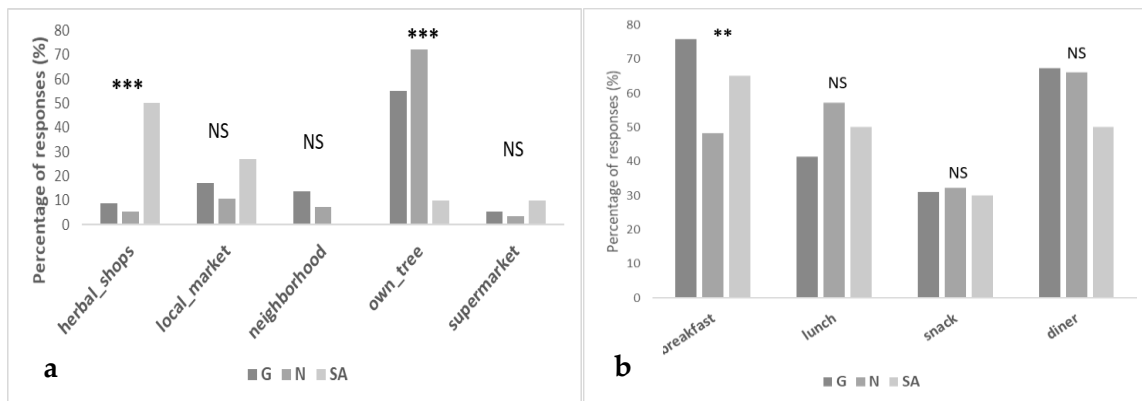


Fig. 7. Frequency counts for Moringa consumption habit questions (a) Where do you most frequently find your Moringa? (b) At what time during the day do you eat dishes containing Moringa? G: Ghana; N: Nigeria; SA: South Africa; NS: No Significance, *= $p < 0.05$, **= $p < 0.01$ and ***= $p < 0.001$ (χ^2 test).

When comparing between African countries in terms of Moringa cooking methods the chi-square test showed a significant difference ($\chi^2 = 18.61$, $p < 0.017$). Although the boiling method was predominant in all three countries, this method was significantly less frequent for Nigerian respondents (72%, 45% and 85% respectively for Ghana, Nigeria and South Africa) who favored the steaming method (Fig. 8a). A significant difference between countries was also observed for the form in which respondents consumed Moringa ($\chi^2 = 27.49$, $p < 0.002$). While the majority of Ghanaian and Nigerian respondents consumed Moringa in its raw form (Fig. 8b), South Africans respondents consumed it in a powder form. Besides the raw form, Nigerian respondents also consumed Moringa as tablets and South African respondents as tea.

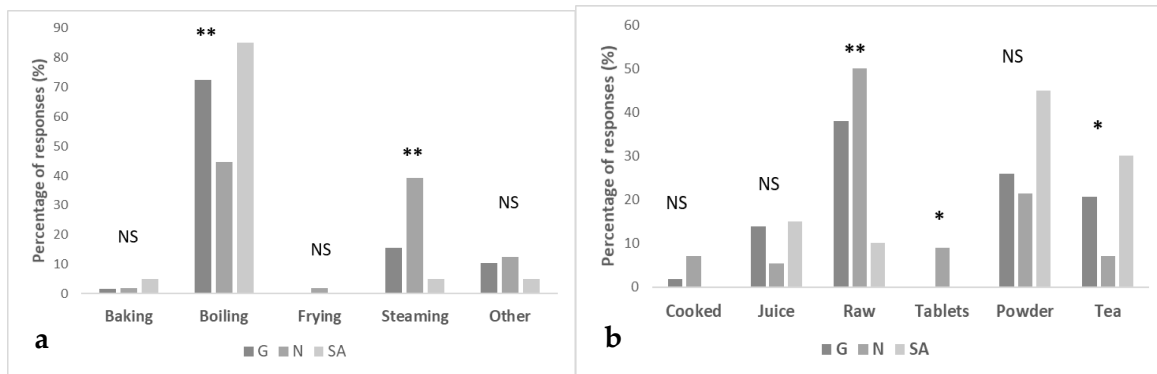


Fig. 8. Frequency counts for Moringa consumption habit questions (a) Which cooking method do you use the most often to prepare Moringa? (b) In which form do you consume Moringa the most? G: Ghana; N: Nigeria; SA: South Africa. NS: No Significance, $*= p < 0.05$, $**= p < 0.01$ and $***= p < 0.001$ (χ^2 test).

3.2.3. Beliefs statements (Q15)

For Moringa respondents from the three African countries, the belief statements with the highest mean scores are “health” and “nutritious” and the belief statements with the lowest mean scores are “local_food, not_children, gain_weight, and not_safe”. The ANOVA showed no significant difference between respondents from the three countries except for accessibility where Moringa is perceived as less accessible in South Africa than in Ghana and Nigeria (Fig. 9).

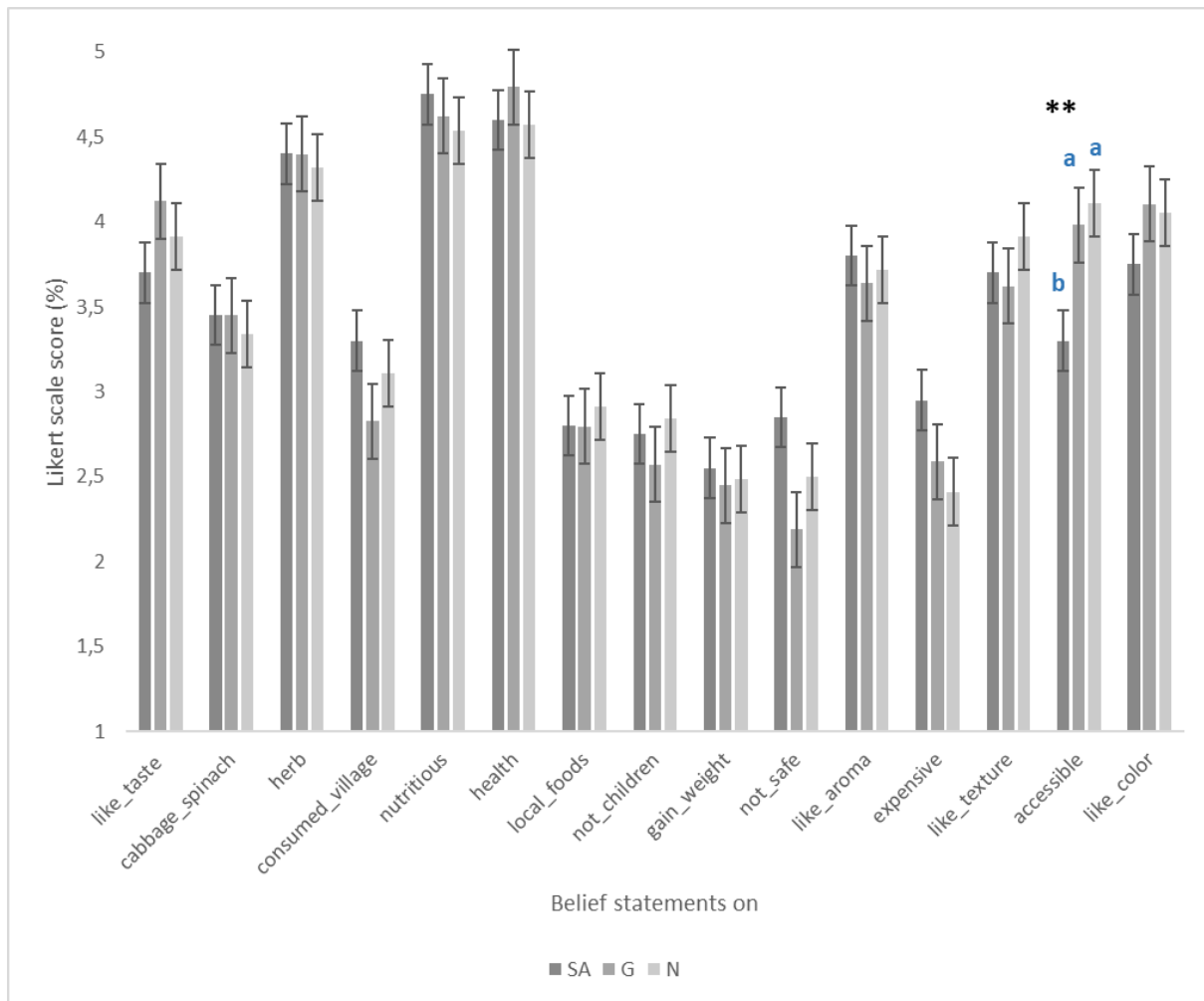


Fig. 9. Analysis of variance (ANOVA) of the belief statements on Moringa. The error bar represents the SE. significance: * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$ and *** = $p < 0.001$. Means with the same letter are not significantly different at $\alpha = 0.05$ (Student Newman-Keuls pair comparison test) G: Ghana; N: Nigeria; SA: South Africa.

4. Discussion

The aim of this paper was to gain some understanding into why the *Moringa oleifera* plant known for its nutritional benefits is widely consumed in India but less so in African countries. Our hypothesis was that Indian respondents would have a better knowledge and more positive attitudes towards Moringa than African respondents and that this difference in knowledge and attitudes would explain the difference in consumption.

As expected, we observed a difference in terms of consumption between Indian and African respondents. The first remarkable difference was noticed between the number of

respondents who declared knowing and consuming Moringa. In India, only 37 % of the total respondents had not heard about Moringa and/or have not consumed it before. On the other hand, more than half (57%) of African respondents declared not to have heard about Moringa and/or have consumed it before. Most of these respondents were from South Africa (76%), followed by Nigeria (53%), then Ghana (45%). These different patterns of responses can be explained through food habits and cultural differences. In India, Moringa is mostly known through family members, which is in line with the coevolution of food habits and Moringa cultivation in India since Moringa is native to this area. Most Indian families have known and consumed this plant since time immemorial (Ramachandran, Peter, & Gopalakrishnan, 1980). On the other hand, African respondents especially in South Africa mentioned other sources of knowledge besides family including friends, media, and school/research. Moringa was introduced to Africa only in the early 20th century, hence, it is not yet anchored in the family and cultural practices. The fact that sources like media, school and research have been mentioned in South Africa suggests that information about this plant is still in the diffusion and exploitation stage as illustrated by the increase of scientific research on Moringa (Fahey, 2005) in this country. The strong link between Moringa and food in India is also reflected by the fact that about 40% of Indian respondents perceived Moringa only as food. Despite Moringa usage in some African dishes (Yaméogo et al., 2011), the majority of African respondents considered it as both food and medicine, and a remarkable number of African respondents considered it only as a medicine.

Differences were also noted on the parts of the plant consumed in Africa and India. Indian respondents used almost all parts of Moringa in their food preparation and this is a finding which is in agreement with Pandey et al. (2011) and Mishra, Singh, & Singh, (2012). The usage of the plant as food is much more limited in Africa. In the three African countries, most respondents declared eating only the leaves. In agreement with this observation, most scientific publications describing the use of Moringa as a food in African countries mentioned dishes made with Moringa leaves (Abioye & Mo, 2015; Ntila et al., 2020). This absence of diversification of Moringa usage shows that this plant is not yet as anchored in African cuisine and food repertory as it is in Indian dishes. In agreement with this

interpretation, most Indian respondents declared incorporating Moringa in their meals as a vegetable in soups, salad, sauce or with meat, while African respondents tended to consume it in a raw form or as tea. Likewise, most Indian respondents bought Moringa in local market like other foods and ate it during lunch and dinner, whereas, most African respondents got their Moringa from their own tree or from herbal shops. These differences can be attributed to the difference in terms of availability and accessibility of the Moringa plant in both countries. Although *Moringa oleifera* shows diversification into many characters and high morphological variability, the main factor limiting productivity is the absence of elite varieties adapted to the local conditions of each area.

Contrary to our expectation, almost no significant difference in attitude and beliefs was found between African and Indian respondents. The only difference observed was that Indian respondents were more likely to consider Moringa as a traditional food (eaten in the village, with local foods) different from herbs, cabbage and spinach than African respondents. No effect of country was observed on the sensory, nutritional and health beliefs. Regardless of the country of origin, age or sex, respondents were segmented into three clusters. The first cluster included respondents with rather low consumption and low knowledge of Moringa. These respondents tended to disagree more with all belief statements than other respondents did. They heard of Moringa from school and researchers more often than other respondents and came more often from South Africa than in the other clusters. The second cluster included respondents who heard of Moringa from their family more than other respondents. These respondents tended to have a more positive attitude towards Moringa. The third cluster included respondents who heard of Moringa from health professionals more than other respondents. Even though these respondents believed in the health and nutritional value of Moringa they also had a negative attitude concerning its usage. Despite this segmentation in terms of beliefs and attitudes towards Moringa we did not find a clear link between beliefs and consumption patterns.

This result suggests that contrary to what we expected from the TPB theory, attitudes and beliefs are not a driving force in the Moringa consumption behavior. Past behavior seems to

be a better predictor: people who have behaved in a certain way at one point in time are likely to do so again. In India, Moringa appears to be part of the culinary repertory and people's attitudes towards health and nutritional benefits were not different from that of other respondents. Therefore, their motivation to eat Moringa might have come more from their habits and the habits of their family than from their beliefs and attitudes towards Moringa. This weight of past behaviors makes it difficult to change food behaviors. Having positive attitudes and beliefs is not enough to change these habits.

Additionally, other factors seem more important in the modulation of food choice among low-income populations. These factors are related to the physiological consequences of the intrinsic characteristics of the product such as satiating power. A study carried out by Ramaroson, Valentin, & Arvisenet (2015) in Madagascar showed that despite the belief that cassava is not good nutritionally (low protein content, lack of vitamins and minerals), Malagasy people still widely consume it. The reason for this is because cassava has a high satiating power and is widely available. In the same study, the authors report that the opposite behavior is observed for Moringa: Although they know, through governmental nutritional programs, that Moringa is good nutritionally they do not consume it because of its lack of satiating power.

5. Conclusion

This study showed that knowledge and consumption habits of Moringa were different among Indian and African respondents. This difference seems to stem from the fact that through historical evolution, Moringa is strongly anchored in the Indian culinary repertory whereas it is seen more as a food supplement in Africa. Despite these differences, Indian and African respondents shared the same beliefs and opinions towards Moringa especially in terms of nutritional and health benefits. This suggests that beliefs and attitudes are not powerful enough to impact Moringa food consumption in low-income societies. In order to improve Moringa consumption and by consequence to improve food security, creating more awareness about Moringa nutritional benefits especially among African population is not enough. A better option would be to increase the familiarity of Moringa by incorporating it into familiar local foods with a high satiating power. Family seems also to

be an important driver of Moringa consumption that needs to be taken into account. Finally, in our study, we chose to examine the motivations of respondents who consume Moringa. While this approach has the advantage of focusing on motivation behind Moringa consumption, it would also be interesting to look at the motivations of people who do not consume Moringa.

Acknowledgements

The authors would like to thank AgroSup Dijon, the Embassy of Tunisia in France and the program PHC Protea for their financial support towards this work. We gratefully thank Zenande Booi, Peter-Oluwaseyi Oyinseye and Dharendra Singh Gehlot for their assistance in the survey diffusion. Catalina Onofrei is particularly acknowledged for English proofreading.

Author Contributions

Conceptualization, A.H., B.-E.A., G.A.O., P.A.A.-N. and D.V.; Data curation, A.H., B.-E.A. and D.V.; Formal analysis, A.H., P.A.A.-N, M.K. and D.V.; Funding acquisition, F.H. and D.V.; Investigation, A.H. and D.V.; Methodology, A.H., P.A.A.-N., M.K., G.A.O. and D.V.; Resources, F.H. and D.V.; Supervision, F.H. and D.V.; Validation, B.-E.A and D.V.; Visualization, A.H. and D.V.; Writing – original draft, A.H., P.A.A.-N., M.K. and D.V.; Writing – review & editing, B.-E.A., G.A.O., F.H., and D.V. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Ethics approval and consent to participate

Following the ethical clearance number AFO 001 of the University of Fort Hare, participants were informed of the goal and content of the survey and asked to sign an informed consent form prior to start the survey.

Declaration of competing interest

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Abioye, V. F., Mo, A. (2015). Proximate composition and sensory properties of Moringa fortified maize-ogi. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, S12, 001. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.S12-001>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Babayehu, A., Gbadebo, C., Obalowu, M., Otunola, G., Nmom, I., Kayode, R., Toyé, A. & Ojo, F. (2014). Comparison of organoleptic properties of egusi and efo riro soup blends produced with Moringa and spinach leaves. *Food Science and Quality Management*, 28.
- Bech-Larsen, T., Grunert, K. G. (2003). The perceived healthiness of functional foods: A conjoint study of Danish, Finnish and American consumers' perception of functional foods. *Appetite*, 40, 9-14. [https://doi.org/10.1016/S0195-6663\(02\)00171-X](https://doi.org/10.1016/S0195-6663(02)00171-X)
- Blanck, H. M., Yaroch, A. L., Audie, A. A., Sarah, L. Y., Zhang, J. & Mâsse, L. C. (2009). Factors influencing lunchtime food choices among working Americans. *Health Education & Behavior*, 36, 289-301. <https://doi.org/10.1177/1090198107303308>
- Burns, C., Cook, K. & Mavoja, H. (2013). Role of expendable income and price in food choice by low-income families. *Appetite*, 71, 209-217. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.08.018>
- de Bruijn, G., Kroeze, W., Oenema, A. & Brug, J. (2008). Saturated fat consumption and the theory of planned behaviour: Exploring additive and interactive effects of habit strength. *Appetite*, 51, 318-323. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.03.012>
- Dhakar, R. C., Pooniya, B., Bairwa, N., Gupta, M., & Sanwermal, (2011). Moringa : The herbal gold to combat malnutrition. *Chronicles of Young Scientists*, 2, 119-125. <https://doi.org/10.4103/2229-5186.90887>
- Dibsdall, L. A., Lambert, N., Bobbin, R. F. & Frewer, L. J. (2003). Low-income consumers' attitudes and behavior towards access, availability and motivation to eat fruit and vegetables. *Public Health Nutrition*, 6, 159-168. <https://doi.org/10.1079/PHN2002412>
- Drewnowski, A. (2009). Obesity, diets, and social inequalities. *Nutrition Reviews*, 67, 36-39. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00157.x>

Fahey, J. (2005). *Moringa oleifera*: A Review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. *Trees for Life Journal*, 1, 5. <http://www.tfljournal.org/article.php/20051201124931586> Accessed September 2019.

Farinola, L. A., Famuyide, O. O., Adio, A. F. & Ewolor, A. S. (2014). Households' perception, awareness and willingness to pay for *Moringa oleifera* Lam. powder in Oyo state. *Journal of Agricultural and Crop Research*, 2, 94-103.

Foidl, N., Makkar, H.P.S. & Becker, K. (2001). Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. In international workshop on development potential for Moringa products, CIRAD, Montpellier.

Fuglie, L. J. (2001). The Miracle Tree: The multiple attributes of Moringa, Publisher: Church World Service, West Africa Regional Office, Dakar, pp 85. 2001.

Giskes, K., Van Lenthe, F. J., Brug, J., Mackenbach, J. P. & Turrell, G. (2007). Socioeconomic inequalities in food purchasing: The contribution of respondent-perceived and actual (Objectively Measured) price and availability of foods. *Preventive Medicine*, 45, 41-48. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2007.04.007>

Glover-Amengor, M., Aryeetey, R., Afari, E. & Nyarko, A. (2017). Micronutrient composition and acceptability of *Moringa oleifera* leaf-fortified dishes by children in Ada-East District, Ghana. *Food Science & Nutrition*, 5, 317-323. <https://doi.org/10.1002/fsn3.395>

Hough, G. & Sosa, M. (2015). Food choice in low-income populations – A Review. *Food Quality and Preference*, 40, 334-342. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.05.003>

Irala-Estévez, J. D., Groth, M., Johansson, L., Oltersdorf, U., Prättälä, R. & Martínez-González, M. A. (2000). A systematic review of socio-economic differences in food habits in Europe: Consumption of fruit and vegetables. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54, 706-714. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601080>

Khalafalla, M., Abdellatef, E., Dafalla, H. M., Nassrallah, A., Aboul-Enein, A., Lightfoot, D. A., El-Deeb, F. & El-Shemy, H. (2010). Active principle from *Moringa oleifera* Lam. leaves effective against two leukemias and a hepatocarcinoma. *African Journal of Biotechnology*, 9, 8467-8471. <https://doi.org/10.5897/AJB10.996>

Kumssa, D. B., Joy, E. J. M., Young, S. D., Odee, D. W., Louise Ander, E., Magare, C., Gitu, J., & Broadley, M. R. (2017). Challenges and opportunities for Moringa growers in Southern Ethiopia and Kenya. *PloS One*, 12 (11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187651>

Lebart, L., Piron, M. & Morineau, A. (2006) Statistique exploratoire multidimensionnelle - 4ème édition: Visualisation et inférence en fouille de données. Dunod.

Ma, Z. F., Ahmad, J., Zhang, H., Khan, I. & Muhammad, S. (2020). Evaluation of phytochemical and medicinal properties of Moringa (*Moringa oleifera*) as a potential functional food. *South African Journal of Botany*, 129, 40-46. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2018.12.002>

- Mabapa, M. P., Ayisi, K. K., Mariga, I. K., Mohlabi, R. C. & Chuene, R. S. (2017). Production and utilization of Moringa by farmers in Limpopo Province, South Africa. *International Journal of Agricultural Research*, 12, 160-171. <https://doi.org/10.3923/ijar.2017.160.171>
- Mahmood, K.T., Mugal, T. & Haq, I.U. (2010). *Moringa oleifera*: A natural gift-a review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2, 775-781.
- Mishra, S. P., Singh, P. & Singh, S. (2012). Processing of *Moringa oleifera* leaves for human consumption. *Bulletin of Environment Pharmacology and Life Sciences* 2, 28-31. 2012.
- Mughal, M. H., Gayoor, A., Srivastava, P. S. & Iqbal, M. (1999). Improvement of drumstick (*Moringa Pterygosperma Gaertn.*) a unique source of food and medicine through tissue culture. *Hamdard Medicus*, 42, 37-42.
- Murray, M. & Vickers, Z. (2009). Consumer views of hunger and fullness. A qualitative approach. *Appetite*, 53, 174-182. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.06.003>
- Ntila, S., Ndhlala, A. R., Kolanisi, U., Abdelgadir, H. & Siwela, M. (2018). Acceptability of a Moringa added complementary soft porridge to caregivers in Hammanskraal, Gauteng province and Lebowaqgomo, Limpopo province, South Africa. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 32, 51-57. <https://doi.org/10.1080/16070658.2018.1449377>
- Ntila, S., Ndhlala, A. R., Mashela, P. W., Kolanisi, U. & Siwela, M. (2020). Supplementation of a complementary white maize soft porridge with *Moringa oleifera* powder as a promising strategy to increase nutritional and phytochemical values: A research note. *South African Journal of Botany*, 129, 238-242. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.07.021>
- Pandey, A., Pradheep, K., Gupta, R., Roshini Nayar, E. & Bhandari, D. C. (2011). Drumstick Tree' (*Moringa oleifera* Lam.): A multipurpose potential species in India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58, 453-460. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9629-6>
- Popoola, J. O. & Olawole, O. O. (2013). Local knowledge, use pattern and geographical distribution of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) in Nigeria. *Journal of Ethnopharmacology*, 150, 682-691. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.09.043>
- Ramachandran, C., Peter, K. V. & Gopalakrishnan, P. K. (1980). Drumstick (*Moringa oleifera*): A multipurpose indian vegetable. *Economic Botany*, 34, 276-283.
- Ramaroson, R. V., Valentin, D. & Arvisenet, G. (2015). How to use local resources to fight malnutrition in Madagascar? A study combining a survey and a consumer test. *Appetite*, 95, 533-543. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.08.011>

Ramota, K. O., Monday Ojo, K. R., Adeoye, O. S. & Adewumi Toyin, O. (2013). Proximate, mineral and sensory qualities of 'Amala' prepared from Yam flour fortified with Moringa leaf powder. *Food Science and Quality Management*, 12, 10-23.

Rozin, P. (2006). The integration of biological, social, cultural and psychological influences on food choice. In R. Shepherd, & M. Raats (Eds.), *The psychology of food choice* (pp. 19 - 40). Guildford, UK: CABI

Saini, R. K., Sivanesan, I. & Keum, Y. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: A review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *Biotech*, 6, 203-217. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0526-3>

Steenhuis, I., Waterlander, W. E. & de Mul, A. (2011). Consumer food choices: The role of price and pricing strategies. *Public Health Nutrition*, 14, 2220-2226. <https://doi.org/10.1017/S1368980011001637>

Story, M., Kaphingst, K. M., Robinson-O'Brien, R. & Glanz, K. (2008). Creating healthy food and eating environments: Policy and environmental approaches. *Annual Review of Public Health*, 29, 253-272. <https://doi.org/10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090926>

Yaméogo, C., Bengaly, M. D., Savadogo, A., Nikiema, P. A. & Traore, A. (2011). Determination of chemical composition and nutritional values of *Moringa oleifera* leaves. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10, 264-268. <https://doi.org/10.3923/pjn.2011.264.268>

*Chapitre I.3. Habitudes alimentaires des Sud-Africains et
croyances sur le Moringa oleifera: une étude via des groupes
focus*

Article 2: Food habits and beliefs about *Moringa oleifera*: a focus group study of university student mothers in South Africa

[En préparation]

Amel Hedhili^{a,b,*}, Babatope Ebenezer Akinyemi^c, Gloria Aderonke Otunola^d, Florence Husson^b, Dominique Valentin^a

^a: Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRAE, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France ; dominique.valentin@u-bourgogne.fr

^b: Univ. Bourgogne Franche-Comté, AgroSup Dijon, PAM UMR A 02.102, F-21000 Dijon, France ; florence.husson@agrosupdijon.fr

^c: Department of Agricultural Economics & Extension. University of Fort Hare, Alice, 5700, South Africa; bakinyemi@ufh.ac.za

^d: Medicinal Plants & Economic Development (MPED) Research Centre, University of Fort Hare, Alice 5700, South Africa; gotunola@ufh.ac.za

*Corresponding author. E-mail address: Amel.Hedhili@inrae.fr

Abstract

The problems of malnutrition constitute a major challenge in South Africa, particularly affecting the underprivileged populations of the Eastern Cape and Limpopo provinces. The present study aimed to gain an understanding of how to improve nutritional intake of South African university student mothers with a view to reducing nutritional deficiencies of their children by the introduction of *Moringa oleifera* plant in their food habits. Focus Group Discussions (FGD) were implemented at the University of Fort Hare (11 participants) and at the University of Limpopo (8 participants) in order to understand foods habits of these mothers and their beliefs about the nutritional benefits of Moringa. The participants' discussion about food habits and barriers to healthy eating have shown that there exists a shift between healthy eating knowledge and the current eating habits. Despite being aware of the importance of healthy eating, most of the student mothers continued to give to their children the food they liked even if these foods are not healthy. Participants' positive beliefs about the nutritional benefits of Moringa are not a sufficient factor for improving Moringa consumption. Finally, students mothers agreed about adding Moringa as a nutritional supplement to their diet where the maize pap will maybe the ideal staple food to be enriched because of its palatable taste, satiating power, availability, affordability and ease of preparation.

Keywords

Moringa oleifera; South Africa; Focus Group Discussions; Food habits; Mothers

1. Introduction

South Africa face the double burden of malnutrition: undernutrition and overweight among children and mothers. Specifically, 27.4% of South African children under five years are stunted and 13% are overweight (UNICEF, 2019). Many women are also exposed to what has become known as “hidden hunger” which is the lack of, or inadequate intake of micronutrients, resulting in different types of deficiencies, such as anaemia and deficiencies of iron, vitamin A and zinc (FAO, 2018). This growing prevalence of malnutrition at a household level is making children and their mothers susceptible to negative health outcomes (Modjadji & Madiba, 2019).

The relatively high prevalence of malnutrition among children and their mothers indicates that despite the country being food and nutrition secure at a national level, food insecurity still exists especially in the poorest provinces such as the Eastern Cape and Limpopo Province (STATS SA, 2017). The coexistence of child undernutrition and mother over nutrition in the same households was documented by Bradshaw et al. (2007). Factors such as accessibility, affordability, and quality of available foods are part of the reasons behind this phenomenon. According to Modjadji & Madiba (2019), the consumption of energy-dense foods might explain child undernutrition and mother over nutrition as this type of food leads to overweight/obesity among the mothers but does not provide adequate nutriment to children, thus leading to undernutrition.

Improving the nutritional status of a particular group requires an understanding of the factors that determine their food choices. Much research has been conducted on food choice determinants in western countries. The classical models proposed in the literature (Gains, 1994; Shepherd & Raats, 1996; Sijtsema et al., 2002) highlight three classes of factors: the factors linked to the food product itself (sensory attributes and anticipated physiological consequences), the factors linked to the individual (personality trait, mood, sensitivity), and the factors linked to the economic and social environment (costs, availability, social pressure). However, the extent to which these factors affect food choice in South Africa has not received much attention. In particular, not much has been done to investigate the food

choice of child and mothers. Recent studies highlighting unhealthy eating habits suggested an urgent need to explore the determinants and drivers of these consumption patterns (Modjadji & Madiba, 2019).

Children's food choices are guided by parents especially mothers. Mothers of young children have a primary influence and control over the food their children eat and have access to. Their role is fundamental in promoting a healthy lifestyle and behavior in children (Scaglioni et al., 2011). Ideally, health, food security, nutrition, and sensory preferences mostly guide mothers' food choices for children (Russell, Worsley, & Liem, 2015; Jeong & Kim, 2020), but in reality many other factors can influence these choices such as parents' level of education, socio-economic position, accessibility to healthy foods (Swinburn et al., 2011; Machín et al., 2016).

The objective of this study was to gain an understanding of how to improve nutritional intake of South African university student mothers with a view to reducing nutritional deficiencies of their children. Our hypothesis was that there is a link between food choice criteria of mothers for themselves and their children and the healthy eating behavior. We were also interested, in particular, in mother's opinion on and belief in the potential of the introduction of *Moringa oleifera* into their diet. Moringa is a plant known for its powerful nutritional qualities (Fahey, 2005; Moyo et al., 2011; Saini, Sivanesan, & Keum 2016; Yusuf, Mlambo, & Iposu, 2018) which is grown in the Limpopo province since the last 50 years (Mabapa et al., 2017). Our second hypothesis was that we expect that positive beliefs about Moringa can lead to increasing the consumption of Moringa products.

To reach this goal, Focus Group Discussions (FGD) were implemented in order to understand the food habits and beliefs towards Moringa of university students mothers and their children in the Eastern Cape and Limpopo provinces. *Moringa oleifera* plant has received much interest in the last few years in South Africa both for animal feeding and human nutrition (Mabapa et al., 2017).

2. Materials and methods

2.1 Participants

A total of 19 black African students mothers were recruited, 11 at the University of Fort Hare (UFH) and 8 at the University of Limpopo (UL) to participate in the Focus Group Discussions. The participant recruitment was carried out through a screening questionnaire. The conditions for participation were to be a registered female student in the 2019 academic year, to have given birth to at least one child and to be above 18 years old.

Most participants were enrolled in a bachelor program in the field of Agriculture. The monthly income of most participants was above R1000 (USD64.37) (Table 1). Eleven participants were in the 20-25 age range and 8 above 25 with an average age of 27.6 years. The majority had a single child, half of the children were below 5 year old (first child age range 1 - 29, average= 8.6 years old). From the screening questionnaire, all participants declared being interested (7) or trying (12) to move toward a healthier diet, 12 declared to know Moringa, and 9 to have already used it. The main difference between the two universities was in term of knowledge of Moringa: More participants declared knowing and using Moringa in UL than in UFH. Participant's incomes were higher in UL than in UFH. Participants in UL were also younger and in higher grades than those in UFH. The ethics clearance number of this study was AFO001.

Table 1. Demographic characteristics of participants included in the study (expressed as a percentage, n= 19).

Age	%	Education level	%
18-24	36,8	College/Secondary school	42,1
25-35	47,4	Graduate	15,8
36-45	15,8	Post-graduate	42,1
Heard about Moringa	%	Used Moringa	%
Yes	63,2	Yes	47,4
No	36,8	No	52,6
Number of children	%	Income level	%
1	79	R500-R1000	26,3
2	15,8	R1001-R2000	42,1
3	5,2	>R2000	31,6

2.2 Procedure

The FGD procedure (planning, questioning and moderation) followed Morgan's (1998) recommendations. The FGD were held in September 2019 within the two university campuses. Two FGD were carried out with the same procedures, moderator guide and moderators in each universities in quiet rooms. Each FGD session lasted for about 90 minutes. The discussions were conducted by a moderator and two assistants (first two authors of the article and a master student) in English (official language of both universities). Before starting the discussion, participants were informed that the FGD would be audio recorded and that pictures would be taken but that the tapes and pictures would be used only in the framework of academic research and that the participants would remain anonymous. They were asked to complete an informed consent form.

2.2.1 Moderator guide

A first version of the moderator guide was written and pretested at the UFH with a first FGD including five participants from the same population as for the final FGD. After a rapid analysis of this first FGD the moderator guide was simplified to allow a better understanding and more interactive discussions. The final moderator guide (Appendix 1) included six sections: 1) background and introduction, 2) food choice criteria, 3) staple foods 4) food habits and health 5) healthy eating habits 6) Moringa benefits

Step 1: Background and introduction

At the beginning of the FGD, participants were encouraged to participate actively in the discussion. They were told that the discussion concerned their own ideas and that there were neither right nor wrong answers. Participants briefly introduce themselves by mentioning their course and year of study, number and age of children and then talk about their favorite food to break the ice.

Step 2: Food choice criteria

To understand participants' food habits drivers, we first asked them to write on post-it papers (blue ones) the reasons why they choose the foods they eat frequently and the reasons why they feed their children the foods they feed them frequently (yellow ones). The moderator collected the post-it notes and pasted them on a white board by themes. The

different themes that emerged from the exercise were then discussed separately for mother and child (Figure 1).



Figure 1: Illustration of the Focus Group Discussion

Step 3: staple foods

Participants were then asked to mention at least three staple foods that they and their children eat frequently. A discussion was carried out on what they think of the nutritional benefits of the staple foods they have mentioned.

Step 4: food habits and health

To access the link between food habits and health, participants were first asked to explain how they think the way they eat is related to their health. Then, they were later asked to indicate the food they think can be mixed with their favorite food or snack to make it a nutritious meal. The discussion was then focused on leafy vegetables.

Step 5: healthy eating habits

To focus on participants' healthy eating habits, a free association task in which participants were asked to indicate what comes to their mind when they were prompted with the term eating healthy was used. After discussing the terms that came to their minds, participants were asked to list the things that: 1) keeps them and their children from making changes in their eating habits, 2) could help them change their and their children's eating habits, 3) they

would need to learn to eat healthier.

Step 6: Moringa benefits

To initiate discussion on Moringa benefits, participants were given a message aiming at encouraging people to eat Moringa: "Moringa is claimed to have many nutritional benefits: antibacterial, anticancer, antiasthma, antihypertensive, immunity booster, anti-inflammatory, improves fertility and reproductive health and nutritional supplement". They were asked what they think about this message, what are the values of the different nutritional benefits of Moringa to them. After that, participants were asked to list things that can keep them and the things that can help them and their children from eating Moringa supplemented food products.

2.3 Data analysis

The audio-recorded discussions of all FGDs were fully transcribed. Three researchers independently analyzed each transcription using notes taken by the assistants to supplement the tape recordings. The results were then compared and adjusted after consensus had been reached.

3. Results and discussion

3.1. Food choice Criteria

We performed a thematic analysis of the reasons given by the participants to explain their own food choices and the food choices they make for their children. For mothers' reasons, six meta-themes were identified while only three were identified for children. Among the meta-themes, two were common to mothers and children: *health issues* and *hedonic dimension*. The meta-themes health issue was further divided into three themes: *health*, *energy* and *nutrition* which were all discussed for both mothers and children.

The other meta-themes were specific of either mother: weight issues, purchase constraint, food preparation and satisfaction or children: growth and weight. One mother declared "*the reasons I feed my child the food that I feed him are not the same reasons as mine because I'm already*

an adult and I want him to gain weight because I'm concerned about his body" and another participant added *"it depends on the development stage of the children"*.

3.1.1. Food choice criteria common to mothers and children

Themes linked to health issues

Health

Participant consistently mentioned that health is the most important reasons that determine their food choices and the food choice of their children. A majority of participants referred to vegetable as an important representative of healthy food. For example, a student mother said: *"I have to have vegetables in my house for me and for the children's health"* and another said: *"I like cooking healthy food for my children like vegetables"*. Exceptionally, some participants were not very concerned about health. A participant confirmed this point by saying *"I can eat vegetables for the fun of it not because I am considering my health. So food is not a big deal for me"*. Some participants underlined that when eating healthy, *"you will feel good mentally, physically and emotionally"*.

Nevertheless, health is much more important for children than for mother: *"my child's health is priority"*. All mothers confirmed that ensuring a healthy life for their children is their responsibility. They explained that they try to anchor healthy eating habits in their children: *"My son, when he was 2-3 years, he started to have cognitive memory [...] I decide to look at a healthy way to change what he was eating [...] I had to make him understand why his lunch is not the same with other kids"*.

In this discussion, participants also mentioned some consequences of unhealthy eating habits like consuming "junk foods". There was a consensus that *"diseases are the results of what we consume daily"*. Participant said: *"I prefer to eat healthy so that I don't want to get sick"*. Children also can suffer from diseases when foods are not healthy and this can lead to problems of *"malnutrition"*, *"obesity"* and *"constipation"*. This link between unhealthy food habit and diseases confirms that malnutrition is still a serious problem and eating habits was the most important cause.

Energy

Another frequently mentioned reason for food choices of mothers and children was energy. For mothers *“it is important to eat foods that give energy”* because energy affects *“mood”* and it is necessary *“when you want to do something like study”* or *“to get to work”*. Mothers said: *“I like vegetables and fruits because [...] they give more energy”*; *“Some of the foods contain minerals, proteins, carbohydrates and all those things they go back to energy”*. Eating energetic food is also important for children where they find *“energy to play and to do other things”*. In addition, energetic behavior of kids indicates their health status, *“When your child is not playing or not active [...] you are able to identify [...] that your child is sick”*.

Nutrition and nutrients

Participants recognized that nutrition is an important reason determining food choices of mothers and children. A mother said: *“when you are consuming food you have to know what you are going to gain as nutrition”*. Some foods have benefits such as *“anti-oxidant”, “vitamins”* and *“minerals”* and provide less risk to get certain diseases. Participants also underlined that what you eat should be *“balance”* which is defined by certain participant by *“a good combination of both protein and starch in one meal”*. Another participant added, *“You should look at required minerals and vitamins when you consume food”*. Negative effects of some nutrients like fat were also evoked in this discussion. Fatty food, oils and junk foods were described as unhealthy food. Participant said: *“When I grew up my mother used to cook fatty food and when I got to school, I wanted to consume less oil hence I am eating Umphokoqo (crumbly pap made of maize meal) and Amasi (fermented milk) just to do not consume fatty food”*. Another participant explains: *“My mother eats mostly meat, potato chips [...] so I said mum try to go away from fatty food [...] because she had diabetes”*.

Themes linked to the hedonic dimension

Pleasure was an important reason that influenced food choices of both mothers and children. Participants indicated that sometimes they wanted to buy food *“not because they are hungry”* but just simply because they *“just feel like feeding their craving”*. Some participants

“feel comfortable to eat things that they like which leads to satisfaction”. For children, pleasure is a very important reason that guides their appetite and mothers try to provide foods they like to their kids. One mother said: *“I also feed him food that he prefers because if he does not like it he will just go outside and throw it away”*. Another mother said: *“we sometimes give the child what he prefers and enjoys, do not just focus on healthy properties”*.

3.1.2. Food choice criteria specific to either mother or children

Criteria specific to mothers

Weight

For some mothers, weight is a serious factor that guides their food choices and two opposite profiles were observed: A profile of mothers who want to gain weight and a profile of mothers who on the contrary want to lose weight. For mothers who want to gain weight, it is complicated to find healthy foods which at the same time are high in calories. A participant explained: *“I want to gain weight and the food that helps gain weight is junk food which is not healthy so I don’t really know how to juggle between eating healthy and gaining weight”*. For mothers who want to lose weight, the food that they eat do not help them to achieve their objective. A participant explained: *“the food that I eat conflict with the reasons I have written because I want to lose weight but the food that I eat causes the opposite”*. Some other examples illustrate this profile: *“I make a decision that I’m going to eat the right food [...] but when I start eating them I become so hungry that I ended not focusing on my decision”*; *“I want to be slim but when I eat vegetables I don’t like the taste, I ‘m not full and I don’t even get the energy so that is why I end up eating food that is not healthy”*.

Purchase constraint

The three reasons given by mothers to explain purchase constraints were affordability, availability and price. These factors are mostly the modular of foods choices in low income population (Burns, Cook, & Mavoia, 2013). To find foods with good quality and affordable price is not easy. *“Checking prices”* in different stores and do *“comparison”* is a common habit among the majority of mothers. One mother said: *“Affordability is also something I consider*

[...] I like buying things when they are on special and sale"; another added: "There is food that you want to eat but because of affordability you don't. I personally like snacking almonds but they are fairly pricy so [...] I will go for peanuts and raisins". Availability of food is also mentioned as one of the reasons influencing participants' daily food choices. Some mothers explain that they "do not buy something that they will not get in the market next time" so they prefer to "buy things that are always available".

Food preparation

Because our participants are student mothers, length of preparation and ease of cooking of food is another important reason that determines their food choices. Participants prefer foods that are easy to prepare and do not take a lot of time to be ready. A participant said: *"I do not want to spend my time preparing food hence I do not like food because it takes time to prepare"; "I would prefer food that is easy to prepare".* However, for some participants, food preparation time is not a major limitation and they *"adapted depending on their busy or relax schedule".*

Satisfaction

Some participants mentioned other reasons, which are linked to satisfaction. For example, to "be full" and "to be satisfied" when you eat is one of reasons that guides the choices of the food one wants to eat. The satiating power is also an important element determining the food choices in low-income population as demonstrated by Burns, Cook, & Mavoia (2013) and Ramaroson, Arvisenet, & Valentin (2014). Another reason was also "stress", so, in some cases foods are selected in order to avoid stress: *"Sometimes I just consume food to avoid stress. Whenever I am stressed, I consume more food".*

Criteria specific to children

Growth and weight

Almost all participants agreed that growth and weight are the important reasons determining the food they feed to their children. For children, *"growth is measured by weight"* and for mothers, weight of their children is a critical point. A student mother explained:

“when I took him (her child) to the clinic for check-ups, his weight, this was a big challenge because he was struggling to pick up weight”. In addition, some children needed *“supplemented food”* that will contribute to their growth if they have a developmental delay. One mother said: *“Some foods that we give small kids are purity and cerelac, and some of these foods have folic acid and iron [...] that can help the child to grow healthy”*.

3.2. *Staple foods eaten by mothers and their children*

The main staple foods in South Africa mentioned by participants are pap (porridge made from coarsely ground maize), rice, samp (made with corn kernels and beans) and maize meal. Then the less frequent staple foods are cereal, potatoes, pasta and African salad. Almost all staple foods are the same for mothers and children, except for some infants that are fed cerelac and formula. According to the participants, the most important nutritional components of these staple foods were *“the high amount of starch and carbohydrates”*, so these foods *“give energy”* and help children to *“grow”*. However, there was a consensus that the South African staple foods were *“very low in nutrients”*, they just *“contain starch and are usually cooked with salt and oil”*. To sum up, student mothers are conscious that the staple foods in South Africa are not very balanced and do not contain all nutritional compounds. They just eat them to *“find energy”* and *“get satisfaction”*.

Our finding is confirmed by Mushaphi et al. (2015) who said that maize porridge is the South African staple food which contributes significantly to the dietary intake of 81 per cent of the households in Limpopo province. One explanation was that the price (rang between R6.99 (USD0.45) and R11.99 (USD0.77)/kg) of these foods was affordable for this population in addition to their availability in the market with a big amount necessary to feed a family of a large number. As described by student mother participants and confirmed by Netshiheni, Mashau, & Jideani (2019), maize meal is a very starchy food with low nutritional composition.

3.3. *What is the link between food habits and health?*

There is a consensus between participants about the existence of a link between food habits and health. Participants said: *“your body is the mirror of what you eat”*; *“you are the result of*

what you eat, because your body react". The most important point discussed about health was diseases. Participants confirmed that the principal cause of diseases and illness was food habits: *"I get sick when I eat a lot of oil and fatty food"; "a lot of sugar causes diabetes"*. In addition, participants mentioned that the quantity of food eaten could affect health. For example, a participant said, *"eating every day carbohydrates food or samp or meat, this worries me because too much of every things cause problems"*.

Almost all participants underlined a link between weight and food habits whereby South African meals were one of the causes of overweight: *"The food we eat also impacts our bodies by adding body mass"; "Since my goal is to lose weight but I don't eat food that will help me lose weight, I end up being fat. So, what you eat affects what you want to achieve"*.

Participants recognized that eating healthy foods like fruits and vegetables, eating a balanced meal and avoiding junk food is a good way of preventing illness. Another consequence of food habits on health was that food affect mood and thinking capacity.

What foods could be mixed to favorite foods to make them nutritious?

When asked about ingredients that can be added to favorite foods to make them more nutritious, participants mentioned fruits (apple, banana), vegetables (carrot, cabbage, green peas, green beans, broccoli, ginger) and some herbs like parsley and rosemary. Some participants agreed that preference should be taken into account when adding ingredients to make healthy foods. For example, for children, foods should be *"sweet, smoothie and crunchy"* to be accepted by children because children just *"eat what they prefer"*.

Taste was also an important dimension that was discussed by participants. Two profiles of participants emerged from the discussion. Some mothers weighed more nutritional value than taste and indicated they could eat healthy foods even when the food is not palatable: *"sometimes you can add herbs like parsley, I think maybe Moringa to your samp so that it will give it more nutrients not because it tastes nice"*. However, other participants explained that taste is very important in order to accept food: *"They say that Moringa is good for your health, I have tasted it, and that thing tastes ... ah aha ah ah ... horrible"*.

Some participants again used the term affordability when speaking about the ingredients that could be added to improve the nutritional quality of their foods. One participant said: *“because of affordability there are things that I would love to eat such as almonds and pecan nuts so if I have money I would add those to my diet”*.

Leafy vegetables were not mentioned spontaneously by participants as ingredients to add to their food to make it more nutritious. Ramarosan, Arvisenet, & Valentin (2014) mentioned that Malagasy parents like South African mothers believed that leafy vegetables have a low nutritional value. When prompted by the moderator, participants suggested many leafy vegetables like *“spinach, lettuce, cabbage, carrot leaves, mustard leaves, parsley, celery, mint”*. However, none of the participants mentioned Moringa as a leafy vegetable.

3.4. Respondents' healthy eating habits

To focus on participants' healthy eating habits we used a free association task in which moderators ask participants *“When I say “eating healthy” what comes to your mind?”*. Term that was the most frequently cited in this association task was *“eating balanced diet”*. Participants described balanced meal as a diversity of foods with variety in nutrients: *“in your plate you have healthy fat, protein, carbohydrates and healthy spices”*. In addition, participants added that it could be useful to follow a periodic table to balance meals: *“I think vegetables take the biggest part, then come protein, and the least think is carbohydrates”*. However, some participants mentioned that to have a balanced diet *“do not mean eating only vegetables”*. Therefore, the common understanding of eating healthy is *“eating the right amount of food in a right time”*.

Participants also underlined that eating fruits and vegetables constitutes a healthy eating habit: *“most cancer articles say that you should eat a lot of vegetables to be in good health”*. The terms *“healthy diet”* was also frequently evoked. Participants agree that it is necessary to avoid foods that have a negative impact on health: *“before I eat I do my own research. I go to the internet and search the health benefits of the food I want to eat, why do I have to eat it”*. Most of the participants mentioned that eating healthy is equal to *“being away from junk food, limit fat*

intake and drink a lot of water". For some participants healthy food also means food with bad taste.

What are barriers that prevent mothers and their children from changing their eating habits?

The most important factor that prevents mothers from changing their food habits and the food habits of their children is "finances". The same word was expressed similarly by "money", "lack of money", "cost", "low-income" and "prices". The expensive prices of some healthy foods like vegetables makes it difficult to buy them. Participants said: *"I eat a lot of vegetables, vegies don't last and are expensive, I spend R100 (USD6.44) a week so that is a lot for me"; "The prices of brown rice compared to white rice vary extremely so one would always opt for the one that will last longer while costing less"; "The things that I want to buy are a bit expensive so I cannot afford to buy them on my budget"*.

In addition to high cost of vegetables, especially fresh vegies, participants also mention that the "perishability" of fresh vegetables and fruits can cause a barrier to consume healthy foods. Along with perishability, availability was also discussed, where some healthy foods are not available in ordinary stores. Participant gave the example of some fruits and vegetables like cauliflower, which are not available in shops, and *"to find them, you have to travel to towns"*.

The results mentioned above are in agreement with a focus group study done by Rolnick et al. (2009) in four US states about ways to increase fruits and vegetables consumption. The results of this study showed that some of barriers to consuming fruits and vegetables were expense, affordability and poor fruit and vegetable quality (taste/freshness).

For children, preference sometimes can be a barrier. Participants mentioned that it is important to give children what they like to eat even if it is not healthy. They explained: *"The other thing could be that the child doesn't like vegetables and that means you will have to opt for what they eat as opposed to what you would prefer them to eat"; "[...] if you know that your kid likes this you should just go stick to it so that it can be easy for you to feed them and they will consume it without giving you trouble"*.

Finally, habits appear to be one of the main barriers to switch to healthy eating like *“having bad habits”* (eating late at night), being *“lazy”* to prepare food and *“eating junk food”*. Despite the knowledge of the harmful effects of consuming junk food (high in fat, cause gaining weight), some participants cannot avoid eating it because of cravings for its taste and its capacity to satisfy hunger. A focus group study of healthy eating knowledge, practices, and barriers among adult and adolescent immigrants in the United States confirmed that the most important barriers were taste and cravings, easy access to junk food, cultural foods and traditions, time and finances (Tiedje et al., 2014).

The belief system was also evoked as an obstacle to making changes in eating habits. One participant explained: *“I do cook pork and eat it while I’m away from home because it doesn’t do anything to me but when I get home I don’t eat it because it is not allowed in my home. So a belief system can be a reason we do not eat the food we want to eat or make changes”*.

What are things that could help mothers and their children change their eating habits?

Almost all participants agreed that getting *“more income”* and being *“financially independent”* were the most important factors that will help them to change their eating habits and eat healthy. Participants explained: *“If I get more income I would change the way I am eating because I would be able to afford to buy the kind of food that seems to be expensive for me”*.

The second most important factor discussed by participants was to *“get more knowledge”*. Participants explained that there is a *“lack of knowledge”* about nutritional benefits of some foods and about how to prepare some food: *“We don’t understand the nutritional benefits, we just buy”; “some foods lose their nutrients when they are overcooked”*. Therefore, it is interesting *“to take time to learn about health and the food you eat”*. In line with this idea, some participants draw attention to nutritional benefits of some foods and the ability to trust this. They explained: *“We have been scammed so many times that we no longer trust people when they tell us certain things work”*.

To have the encouragement to change eating habits, some participants mentioned that they need help from other people. This help can be from, *“person with whom you live”*, or a *“professional”* or *“awareness campaigns”*. For professionals, participants spoke about

dietitians and we can find two opposed points of view. Some participants think that eating guidelines can help a lot: *"I go to a dietitian and they give me eating plan according to my blood group so I know what is right and not right for my body"*. However, other participants related professional dietitians to expensive cost: *"Going to professional dieticians is expensive so it takes us back to finances. Using dieticians from campus does not help much because they give a general diet plan"*. One of the main issues linked to this idea of encouragement is the lack of motivation. For some participants the motivation to change eating habits should come from outside: *"I need a partner to keep me in check with what I eat"*; *"Yes, if I have someone telling me let's do this I will"*. For some other participants motivation should come from inside and not depend on others: *"Motivation should come from the inside because when that person is not around, then it's not going to work for you"*.

3.5. Opinions towards Moringa Benefits

In order to understand the attitude of participants towards Moringa benefits, the moderator gave them a message about Moringa benefits aiming to encourage people to eat Moringa (see material and method section). This message yielded an interesting discussion about Moringa. Some participants mentioned that they have never heard of Moringa benefits at all: *"to be honest, this is the first time I recognize the benefits of Moringa"*; *I do not know about the benefits of Moringa so for what has been read, I think it is important that we use it"*. Almost all participants agreed to use Moringa in order to derive these benefits: *"if what they say about Moringa is true, then we should definitely use it"*.

The link between eating Moringa and solving health problems was also discussed. Participants confirmed that there are many diseases for which Moringa can be a solution and consider using Moringa as a food supplement. Participants said: *"As for me I would use it as a food supplement because I am really afraid of cancer and other diseases and the food that we eat contributes to diseases"*. Some participants felt concerned as they could relate to the diseases mentioned in the message: *"I think this Moringa is good because it can prevent the disease I have which is asthma"*; *"I think Moringa is very good because most people of my age have cancer so if I start using it I will be safe from cancer"*.

This discussion led participants to speak about the uses of Moringa. For participants from UFH, just one mother had tasted Moringa previously but she stopped eating it because of unpalatable taste. On the other hand, some participants from UL mentioned that Moringa was cultivated in their home and specifically consumed by parents and grandparents. Participants gave examples of real experience of consumption of Moringa and its impact on health: *“My mother suffers from high blood pressure so she would be fatigued most of the time. She started using Moringa and now she is fine”*; *“I had flu symptoms while in high school and I drink Moringa for a month even after the flu symptoms were gone and I haven’t had any flu for 4 years till recently so I believe Moringa works”*. This discussion suggests that in Limpopo province where Moringa is better known, it is perceived more as a medicine than a food, especially by the older generation. Participants prefer to eat it as a food supplement than to incorporate it in their meals.

What are the barriers towards eating Moringa and Moringa supplemented food products?

The most important things that keeps participants from eating Moringa and Moringa supplemented food product is the lack of knowledge about this plant and its benefits: *“for me it’s a lack of knowledge, I did not know about it”*; *“We need more knowledge about Moringa, we do not know is it a powder, or is it a tree, or is it a pill”*. In addition, in section (3.3.) Moringa was not suggested as example of a leafy vegetable by participants because of lack of knowledge. Participants said: *“Moringa is new”*; *“I do not know it”*; *“I have a bit of idea about Moringa I heard that it cures arthritis, cancer, I do not know how”*; *“ I do not even know if they consume it as powder but that’s what I have heard”*.

Taste was also often mentioned. Participants who already tasted Moringa did not like its taste: *“It does not taste nice”*; *“I tried to use it as anti-asthma and I did not like it so I stopped using it. I did not like the taste even though it was working for me”*; *“it’s bitter”*. However, after knowing about nutritional benefits of Moringa through this focus group discussion, some participants wanted to try to use Moringa in another way in order to improve the taste. Their problem, however, was the lack of information on *“how to prepare it”*.

Finally, some participants discussed their lack of trust in Moringa benefits and they linked this information to marketing. Participants said: *“The benefits of Moringa are the same as the medicines and this information is used to do marketing [...] so I’m not really wowed by what they are saying”*. Participants also mentioned that Moringa can be expensive and this makes it difficult to afford: *“The price tag on it might also makes people not want to try it because some people sell a cup size leaves at R100.00 (USD6.44)”*. Availability was also a problem: *“Where do I get those products, are they sold around?”*

What are the things that help eating Moringa and Moringa supplemented food products?

Participants mentioned that getting more knowledge about Moringa specifically *“where to find it, the cost, how much to take per dose, how to prepare it”* was necessary to help them to eat Moringa. Another important dimension was the necessity to be confronted with concrete cases and *“visual results”* about the positive effects of Moringa. Participants explained: *“If I get some people that said I eat Moringa and this happen to me [...] I will consider it, but right now, I have a lot of questions about it”*. This idea was more discussed among participants from UFH because of the lack of experience with Moringa consumption. In addition to these reasons, participants suggested that the taste should be improved: *“I think if it is added to yoghurt and not overshadow the taste of yoghurt it will be fine”*. Furthermore, participants underlined the importance of developing *“an educational program or awareness campaign or seminars”* in order to ensure that people know more about Moringa benefits. However, these methods can be inaccessible to all South African social categories: *“It’s easy to share the information amongst academics but then how do we take the information to the villages? People in the health sector may be of help with the awareness”*.

Which arguments could be used to convince people to eat Moringa and Moringa supplemented food products?

In order to convince people to eat Moringa and Moringa supplemented food products, participants suggested that the simple method was to tell people about health benefits of Moringa. Another way to convince people was to justify that by eating Moringa they could possibly save money. Participant explained: *“If you buy just Moringa you can minimize*

spending money for buying a lot of things like anti-bacterial products [...] and supplemented products”.

Some participants mentioned that to convince someone to consume Moringa you need to have a good background about Moringa including uses and benefits. On the contrary, some participants agreed that it is not achievable to convince people about something if you do not use it. Therefore, only Moringa consumers can play this role. One participant said: *“you can only talk about something you have used before, if you know nothing then you can’t be in a position to convince anyone”; “Testify, people who have used it should share their story”.*

4. Conclusion

In this study, we gained understanding of how to improve the consumption of nutritional food among low-income population in South Africa, especially university student mothers and their children. First, the understanding of the food choices criteria of our target population confirms that factors such as health, food price, affordability, satiating power and incomes have an important impact on their food behavior. Secondly, after understanding eating habit of participants, as well as the barriers to their healthy eating habits, the evolving discussion among participants showed that there exists a shift between healthy eating knowledge and the current eating habits. Although they are fully aware of the importance of eating healthy food and problems associated with malnutrition, most of the student mothers preferred to give to their children the food they liked even if these foods are not healthy. Finally, in order to encourage the consumption of *Moringa oleifera*, our findings showed that the beliefs on the nutritional benefits of this plant is not a sufficient factor for ensuring Moringa consumption but other conditions should be validated. These student mothers are not opposed to adding Moringa as a nutritional supplement to their diet as long as the supplemented foods will have a palatable taste, be readily available in the market and easy to prepare. To this end, maize pap may be an ideal staple food to be supplemented with Moringa powder leaves because of its nutritional supplementation and a satiating power.

Acknowledgments

The authors would like to thank Severine Jaloustre and FSAGRI (French South African Agricultural institute) for financial and logistic help and the program PHC Protea for their financial support towards this work. We gratefully thank Asanda Sokombela for her assistance during this focus group. Catalina Onofrei is particularly acknowledged for English proofreading.

References

- Bradshaw, D., Norman, R., Lewin, S., Joubert, J., Schneider, M., Nannan, N., & Groenewald, P. (2007). Strengthening Public Health in South Africa: Building a Stronger Evidence Base for Improving the Health of the Nation. *South African Medical Journal*, 97, (82), 643-649.
- Burns, C., Cook, K. & Mavoa, H. (2013). Role of expendable income and price in food choice by low-income families. *Appetite*, 71, 209-217.
- Fahey, J. (2005). Moringa oleifera: A Review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. *Trees for Life Journal*, 1, 5. [Consulté le 11 Septembre 2019]. (<http://www.tfljournal.org/article.php/20051201124931586>)
- Gains, N. (1994). The Repertory Grid Approach. In *Measurement of Food Preferences*, édité par MacFie H. J. H. & Thomson, D. M. H., 51-76. Boston, MA: Springer US.
- Jeong, J., & Kim, H. C. (2020). Korean Mothers' Food Choice Behavioral Intent for Children: An Examination of the Interaction Effects of Food Type, Household Income, and Healthism. *Food Quality and Preference*, 81, 103835.
- Mabapa, M. P., Ayisi, K., Mariga, I. K., Mohlabi, R. C. & Chuene, R. S. (2017). Production and Utilization of Moringa by Farmers in Limpopo Province, South Africa. *International Journal of Agricultural Research*, 12, (4), 160-171.
- Machín, L., Giménez, A., Curutchet, M. R., Martínez, J. & Ares, G. (2016). Motives Underlying Food Choice for Children and Perception of Nutritional Information Among Low-Income Mothers in a Latin American Country. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 48, (7), 478-485.
- Modjadji, P., & Madiba, S. (2019). The Double Burden of Malnutrition in a Rural Health and Demographic Surveillance System Site in South Africa: A Study of Primary Schoolchildren and Their Mothers. *BMC Public Health*, 19, (1), 1087.
- Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011). Nutritional Characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) Leaves. *African Journal of Biotechnology*, 10, (60), 12925-12933.

- Mushaphi, L., Dannhauser, A. Walsh, C., Mbhenyane, X. G. & Rooyen, F. (2015). Effect of a nutrition education programme on nutritional status of children aged 3 - 5 years in Limpopo Province, South Africa. *South African Journal of Child Health*, 9, 98.
- Netshiheni, K. R., Mashau, M. E., & Jideani, A. I. O. (2019). Nutritional and sensory properties of instant maize porridge fortified with *Moringa oleifera* leaves and termite (*Macrotermes falciger*) powders. *Nutrition & Food Science*, 49, (4), 654-667.
- Russell, C. G., Worsley, A. & Liem, D. J. (2015). Parents' Food Choice Motives and Their Associations with Children's Food Preferences. *Public Health Nutrition*, 18, (6), 1018-1027.
- Rolnick, S., Calvi, J., Heimendinger, J., Mary Kelley, J., Johnson, C., & Gwen L. A. (2009). Focus groups inform a web-based program to increase fruit and vegetable intake. *Patient Education and Counseling*, 77, 2, 314-318.
- Saini, R. K., Sivanesan, I. & Keum, Y. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: A review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *Biotech*, 6, 203-217.
- Scaglioni, S., Arrizza C., Vecchi, F. & Tedeschi, S. (2011). Determinants of Children's Eating Behavior. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94, 2006-2011.
- Shepherd, R., & Raats, M. M. (1996). Aitudes and Beliefs in Food Habits. In: Food Choice, Acceptance and Consumption. Meiselman H. L. & MacFie, H. J. H., p. 346-364. Boston, MA: Springer US.
- Sijtsema, S., Linnemann, S., van Gaasbeek, T., Dagevos, H., & Jongen, W. (2002). Variables Influencing Food Perception Reviewed for Consumer-Oriented Product Development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, (6), 565-581.
- Swinburn, B. A., Sacks, G., Hall, K. D., McPherson, K., Finegood, D. T., Moodie, M. L., & Gortmaker, S. L. (2011). The Global Obesity Pandemic: Shaped by Global Drivers and Local Environments. *The Lancet*, 378, (9793), 804-814.
- Tiedje, K., Wieland, M. L., Meiers, M. S., Mohamed, A. A., Formea, C. M., Ridgeway, J. L., Asiedu, G. B., Boyum, G., Weis, J. A., Nigon, J. A., Patten, C. A., & Sia, I. G. (2014). *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11, 63.
- UNICEF, (2019). State of the World's Children 2019: Children, Food and Nutrition Report. Pretoria.
- Yusuf, A. O., Mlambo, V., & Iposu, S. O. (2018). A Nutritional and Economic Evaluation of *Moringa oleifera* Leaf Meal as a Dietary Supplement in West African Dwarf Goats. *South African Journal of Animal Science*, 48, (1), 81-87.

Conclusion de la première partie

La première partie de ce travail a permis de confirmer que les habitudes et les connaissances varient d'un pays à un autre entraînant une différence en termes de comportement alimentaire. Ceci explique la différence de consommation de MO entre Indiens et Africains. Originaire d'Inde, cette plante est beaucoup plus utilisée dans le répertoire culinaire indien (Pandey et al., 2011). Les indiens ont l'habitude de consommer les différentes parties du MO dans différents plats traditionnels depuis longtemps. En revanche, dans certains pays d'Afrique, nos résultats ont montré que le MO n'est pas encore bien ancré dans les familles et les pratiques alimentaires africaines notamment en AS où il est perçu davantage comme un médicament que comme un aliment.

En terme de croyances et d'attitudes sur le MO, la comparaison entre Indiens et Africains n'a pas montré de différence. Il semble donc que les attitudes et les croyances ne sont pas toujours les meilleurs prédicteurs de comportement de consommation comme le stipule la théorie du comportement planifié (TPB, Ajzen, 1991). Autrement dit, les croyances positives sur le MO, comme plante riche en nutriments, ne sont pas suffisantes pour augmenter sa consommation. La plus grande consommation de MO par les consommateurs Indiens par rapport aux consommateurs Africains provient de leurs comportements passés et de leurs habitudes de consommation répétitif de cette plante. Il semble donc que le comportement passé est un meilleur prédicteur du comportement actuel de consommation que les attitudes ou croyances des consommateurs (de Bruijn et al., 2008).

Les groupes focus réalisés en AS dans les provinces du Cap-oriental et de Limpopo avec des étudiantes mamans ont montré que les facteurs qui influencent leur choix alimentaire et celui de leurs enfants sont les suivants : pouvoir d'achat, la disponibilité, accessibilité et pouvoir rassasiant. Ces facteurs sont parmi les facteurs qui influencent le plus le choix alimentaire des populations défavorisées en général (Drewnowski, 2009; Roos et al., 2013; Ares et al., 2017).

Nos résultats ont également montré qu'il existe un décalage entre le niveau de connaissance des mamans et ce qu'elles font concrètement pour l'alimentation de leurs enfants. Pour certaines mamans, bien qu'elles aient conscience de l'importance des apports nutritionnels, elles continuent à donner à leurs enfants les aliments qu'ils aiment même si ces derniers ne sont pas bons pour la santé. Elles expliquent ce décalage par le fait qu'elles n'arrivent pas à passer outre les préférences de leurs enfants même si leurs aliments préférés ont un niveau nutritionnel faible.

Ces étudiantes ont exprimé leurs motivations et leur intérêt pour la consommation du MO afin de pouvoir bénéficier de ses apports nutritionnels. Les résultats du questionnaire et des groupes focus montrent que la promotion des informations nutritionnelles et de santé sur cette plante n'est pas le moyen le plus efficace pour améliorer sa consommation. Les connaissances sur les bienfaits du MO sont déjà acquises par la plupart de ces mamans, mais il leur manque des informations sur la disponibilité des feuilles de MO, le mode de préparation d'aliments susceptibles d'être supplémentés, ainsi que sur la quantité de poudre de feuilles à y incorporer, tout en garantissant un bon goût et une alimentation rassasiante. Pour augmenter la familiarité avec le MO, l'incorporer dans un aliment de base du répertoire Sud-Africain semble donc judicieux.

Afin de proposer un produit approprié à la supplémentation en feuilles de MO et acceptable par la population cible, il est important de vérifier les apports nutritionnels de cette plante avant et après incorporation. Les protéines sont les macronutriments les plus importants dans les feuilles de MO mais quel est le taux de digestibilité de ces protéines? Un prétraitement de ces feuilles avant incorporation dans un aliment améliorera-t-il sa digestibilité? Comment l'incorporation de cette poudre agit-elle sur les propriétés nutritionnelles, physico-chimiques du produit et sur son acceptation par le consommateur. La seconde partie de cette thèse répond à ces interrogations.

*Partie II : Apport nutritionnel et développement d'aliments
supplémentés en feuille de Moringa*

Chapitre II.1. *Revue de la bibliographie*

II.1.1. Protéines végétales : les végétaux procurent une source disponible et abordable

Une protéine est, par définition, un composé colloïdal macromoléculaire formé par l'enchaînement d'un grand nombre d'acides aminés (AA) reliés par des liaisons peptidiques. Les protéines jouent un rôle fondamental dans le maintien de la vie, où elles constituent des composants structuraux et métaboliques majeurs. Pour l'homme, l'apport de protéines par l'alimentation est donc indispensable. Il existe de multiples classifications des protéines, établies selon différents critères, tels que la fonction (à activité biologique, de structure, de réserve...) ou la composition (hétéro et holoprotéines). Les holoprotéines sont constituées uniquement d'AA et sont composées d'albumines, globulines, prolamines, glutélines (Voet, 2005).

La qualité nutritionnelle des protéines alimentaires dépend de plusieurs facteurs notamment de la composition en AA, de la disponibilité en AA essentiels et de la digestibilité de ces protéines (Li-Chan, 2004). Les principales sources protéiques sont d'origine animale (cellules germinales, liquides biologiques, muscles, tissus conjonctifs) ou d'origine végétale. Les protéines végétales sont accessibles en grande quantité, renouvelables, et moins coûteuses que les protéines d'origine animale (Can Karaca, Low, & Nickerson, 2015; Henchion et al., 2017). Certaines protéines végétales ont aussi d'excellentes propriétés fonctionnelles comme la solubilité, la rétention de l'eau et des arômes, l'épaississement, l'émulsion et la gélification (Foegeding & Davis, 2011; Lam & Nickerson, 2013). Suite à ces différentes propriétés, de nombreuses études s'intéressent aux protéines végétales comme alternative aux protéines animales, surtout dans le domaine agro-alimentaire (Drake et al., 2000; Tu et al., 2010; Youssef et al., 2016). Parmi les protéines d'origine végétale on trouve les protéines des graines comme les protéines de soja et les protéines de pois qui sont largement utilisées dans les industries alimentaires en raison de leurs propriétés fonctionnelles et de leurs valeurs nutritionnelles (Boye, Zare, & Pletch, 2010). Les feuilles sont également une source de protéines.

II.1.1.1. Protéines des feuilles

Dans les feuilles, la structure dominante est l'appareil chloroplastique. Par exemple, dans le cas de l'épinard l'appareil chloroplastique représente 90 à 95 % des membranes des cellules des feuilles (Douillard, 1985). Dans les chloroplastes, deux catégories de protéines sont présentes: les protéines insolubles dans l'eau et les protéines hydrosolubles. Les protéines hydrophiles, appelées aussi protéines blanches, sont localisées dans les organites cellulaires. Ainsi, dans la phase soluble du stroma des chloroplastes, se trouvent des protéines, des acides nucléiques, des ribosomes et de nombreuses enzymes catalysant les réactions du métabolisme de cet organite. L'enzyme la plus caractéristique est la Ribulose biphosphate carboxylase (RuBisCO). Les protéines hydrophobes, appelées aussi protéines vertes des feuilles sont principalement les protéines membranaires des chloroplastes, représentant 60% des éléments constitutifs de ces chloroplastes, les 40 % restant étant des lipides (Voet, 2005).

II.1.1.2. Caractéristiques du RuBisCo

Le RuBisCo (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase / oxygénase) est une enzyme clé qui catalyse la première étape de la photosynthèse (I.e., la fixation du CO₂) et se trouve dans les plantes terrestres, les algues et dans divers microorganismes. Cette enzyme est identifiée comme la protéine la plus abondante sur terre (Andersson & Taylor, 2003). Le RuBisCo constitue environ 50% des protéines solubles dans la feuille de la plante (Spreitzer & Salvucci, 2002). Il est donc important en tant que source de protéines pour la nutrition et en tant qu'ingrédient fonctionnel (Barbeau & Kinsella, 1988). C'est l'une des plus grandes enzymes de la nature, avec une taille moléculaire de 560 kDa (Spreitzer & Salvucci, 2002). Le RuBisCo existe sous quatre formes (I, II, III et IV), la forme I étant caractéristique des plantes terrestres et des algues vertes (Andersson & Taylor, 2003; Tabita et al., 2008). Cette forme comprend huit grandes sous-unités (L) avec des poids moléculaires autour de 55 kDa et huit petites sous-unités (S) avec des poids moléculaires proches de 12,5 kDa, également désignées sous le nom de structure L₈S₈ (Douillard & Mathan, 1994).

Le RuBisCo est plus abondant (25 à 59%) dans les plantes en C3 qui vivent dans un environnement riche en eau et assimilent le carbone du CO₂ sous forme d'un composé à trois atomes de C que dans les plantes en C4 (8 à 23%) qui vivent dans des climats secs et chauds et assimilent le CO₂ sous forme d'un composé à quatre atomes de C (Ku, Schmitt, & Edwards, 1979).

La valeur nutritionnelle d'une protéine dépend de la composition en AA et de la disponibilité de ces derniers. Le RuBisCo est considéré comme une bonne source d'AA essentiels tels que la thréonine, la valine, l'isoleucine, le tryptophane et la leucine (Zengin et al., 2012). Cependant, malgré une valeur nutritive élevée et une faible allergénicité, les fractions brutes des protéines végétales contiennent souvent des composants antinutritionnels tels que des inhibiteurs de protéase, des hémagglutinines, des phytates et des composés polyphénols qui doivent être enlevés avant la formulation des aliments. La présence de ces facteurs antinutritionnels peut impacter la qualité des produits alimentaires contenant les protéines RuBisCo, car elle peut réduire la biodisponibilité et la bioaccessibilité de ces protéines (Wang, Tai, & Chen, 2008). Le Rubisco est connu pour être facilement digérer sans chauffage. L'application d'un traitement thermique élevé rend, en revanche, compliqué sa digestion (Barbeau & Kinsella, 1988). Par exemple, Bowman & Selgrade (2009) ont montré que le RuBisCo principale protéine de l'épinard, est facilement digéré par la pepsine juste après seulement 30 secondes de la phase de la digestion gastrique simulée. Ceci signifie qu'au bout de 30 secondes, les bandes des sous-unités monomères ont disparues. Par contre, il n'y a pas d'information sur la poursuite de la digestion par la pepsine dans cette étude.

L'extraction des protéines végétales en général nécessite des étapes laborieuses. En effet, les protéines végétales sont généralement enfermées à l'intérieur de parois cellulaires et une étape d'interruption cellulaire est donc nécessaire pour leur extraction. Pour les tissus végétaux recouverts de parois cellulaires solides, l'homogénéisation mécanique par mixage ou l'application des hautes pressions ont été décrites comme les techniques les plus efficaces pour la perturbation de la matrice végétale et la libération des nutriments (Hof et al., 2000).

Le chauffage des extraits végétaux à une température de 40 à 60 °C est recommandé pour l'élimination d'une grande quantité de chlorophylle et de protéines non solubles par centrifugation ou filtration (Udenigwe et al., 2017). Pour l'extraction du RuBisCo, le chauffage à haute température n'est pas conseillé afin d'éviter la dénaturation des protéines. De nombreuses méthodes ont été employées pour l'extraction et la purification de RuBisCo, telles que la chromatographie sur colonne (Martin et al., 2014), les précipitations induites par le pH (Kitts & Weiler, 2003) et l'ultrafiltration (Firdaous et al., 2009). La chromatographie sur colonne a fourni du RuBisCo hautement purifié, mais ce processus est onéreux pour les applications à l'échelle industrielle et est principalement utilisé dans la recherche à l'échelle du laboratoire (Milani & Maleki, 2012).

II.1.1.3. Légumes-feuilles

Les légumes à feuilles vertes sont des légumes peu coûteux, faciles à cuisiner et réputés pour être riches en minéraux, vitamines notamment les bêta-carotène. Ils sont également une bonne source de fibres alimentaires, d'antioxydants (Kala & Prakash, 2004; Ejoh et al., 2007; Sobowale et al., 2011) et de protéines (Aletor, Oshodi, & Ipinmoroti, 2002). Toutefois la disponibilité de leurs protéines est limitée en raison de la présence de fibres non digestibles auxquelles les protéines sont liées. La consommation de légumes à feuilles vertes est généralement faible, probablement en raison de ses propriétés organoleptiques peu attrayantes telles que les saveurs et odeurs d'herbe (Friedman, 1996).

Les protéines des feuilles pourraient potentiellement constituer une source de protéines majeure pour les applications alimentaires. Les feuilles de plusieurs plantes sont utilisées en fonction de leur teneur en protéines, de leur disponibilité régionale, des besoins sociaux et des utilisations actuelles (luzerne, épinards, manioc, moringa...). D'autres sources comprennent les feuilles qui sont disponibles comme sous-produits de certaines cultures à grande échelle (par exemple le manioc, l'orge, le brocoli, la betterave à sucre). Malgré de nombreuses études sur les protéines foliaires les procédés d'extraction existants n'ont pas encore atteint la production industrielle pour l'alimentation humaine (Tamayo Tenorio et al., 2016).

Les épinards sont parmi les légumes-feuilles les plus connus dans le monde. La feuille d'épinard est consommée par les humains principalement pour sa couleur verte caractéristique, son contenu nutritionnel tel que les carotènes, la vitamine C et des minéraux tels que le calcium et le fer (Gupta & Prakash, 2006). Kavitha, Ramadas, & Saradha (2013) ont montré que la poudre d'épinard séchée au soleil avec une teneur en eau de 11,17 % contenait 41,49 % de glucides, 19,10 % de protéines, 15,48 % de fibre et 20,70 mg/100g de magnésium alors que les feuilles fraîches ayant une teneur en eau de 36,8% contenait 20,25 % de glucides, 11,10 % de protéines, 21,38 % de fibre et 205,10 mg/100g de magnésium montrant qu'une bonne partie du magnésium a été dégradée suite au procédé de séchage. D'autres études ont également déterminé la composition nutritionnelle d'autres légumes-feuilles. Par exemple, le persil est connu pour sa richesse en vitamine A, vitamine C et β -carotène : une portion de 60 g de persil apporte 1,8g de protéines, 3,8 g de glucides, 0,5g de lipides, 79,8 g de vitamine C, 5055 UI de vitamine A, 3,7 mg de fer et 30 mg de magnésium (Daradkeh & Musthafa, 2018). La laitue est également parmi les légumes-feuilles consommée en salade et connue pour sa richesse en fibre, folate, vitamines (A, C, K) et composés antioxydants (Mampholo et al., 2016). Selon Sularz et al. (2020), les feuilles de laitue contiennent 25,75 g de protéines, et 26.72g de fibre et 3.26g de lipides dans 100 g de masse sèche.

Bien que les légumes-feuilles soient décrits dans la littérature comme de bonnes sources de protéines, vitamines et minéraux (Uusiku et al., 2010), certaines populations considèrent que les légumes-feuilles ont une faible valeur nutritionnelle car elles ne sont pas rassasiantes (Ramaroson, Valentin, & Arvisenet, 2015).

II.1.2. *Moringa oleifera* (MO)

II.1.2.1. Composition nutritionnelle des feuilles de MO

Les feuilles de MO sont une riche source de protéines, de calcium, de potassium, de magnésium, de fer, et de phénols totaux. Elles contiennent également de la vitamine A, C et E (Hekmat et al., 2015) et sont considérées comme bonnes sources de phyto-nutriments tels que les caroténoïdes et les tocophérols (Saini et al., 2014). En Inde et aux Philippines, les

feuilles de MO sont utilisées pour préserver les aliments grâce à leur pouvoir antioxydant (Siddhuraju & Becker, 2003; Sreelatha & Padma, 2009). La composition nutritionnelle des feuilles de MO varie en fonction de différents facteurs. Les sources de variabilité peuvent être : la nature du sol, le climat, la saison et l'âge de la plante. Interviennent aussi, les divers traitements de séchage et procédures de stockage ainsi que l'utilisation de techniques d'analyses différentes (McBurney et al., 2004; Vongsak et al., 2013). Une méta analyse a été réalisée par Witt (2013) à partir de 26 articles sur la composition en nutriments des feuilles de MO. Cette méta analyse était limitée aux articles utilisant des feuilles matures et ayant subi une méthode de séchage simple comme le séchage au soleil, à l'ombre ou au four. Le tableau 1 montre la composition nutritionnelle des feuilles séchées de MO. Comparées à d'autres aliments, les feuilles de MO contiennent (poids par poids) 4 fois plus de calcium que le lait, 7 fois plus de vitamine C que l'orange, 3 fois plus de potassium que la banane, 3 fois plus de fer que les épinards, 4 fois plus de vitamine A que la carotte et 2 fois plus de protéines que le lait (Mahmood et al., 2010; Bhagave et al., 2015).

II.1.2.2. Acides aminés des protéines de feuilles de MO

Parmi les nombreux nutriments présents dans les feuilles du MO, les protéines sont les plus abondantes, représentant environ 25% du poids sec, et au moins 19 AA ont été identifiés dans cette plante (Brilhante et al., 2017). Les études sur l'optimisation de l'extraction de protéines à partir de feuilles de MO continuent à évoluer dans le but d'améliorer le rendement d'extraction. Teixeira et al. (2014) a trouvé un pourcentage d'extractabilité des protéines du MO de 9,2%. Dans une étude récente, Benhammouche et al. (2020) ont utilisé une combinaison d'extraction enzymatique suivi d'extraction alcaline. Cette étude a mis en place un plan factoriel à deux niveaux (2^{k-1}) pour cribler les facteurs clés de l'extraction : le temps, la température, et la concentration enzymatique. Les résultats de cette étude ont montré un rendement d'extraction de protéines de 14,2% avec les niveaux suivants : temps 30 min, température 30°C d'incubation et 60 FBG (Fungal Beta-Glucanase Units) pour la concentration enzymatique.

Tableau 1 : Composition nutritionnelle des feuilles de MO (Witt, 2013)

Nutriments	Quantité dans 100 g de feuilles séchées	Erreur standard (+/-)
Energie (kcal)	304	87
Humidité (mg)	7.4	2.89
Protéines (g)	24	5.8
Carbohydrates (g)	36	9.2
Matières grasses (g)	6	2.5
Fibres totales (g)	20.6-28.6	-
Calcium (mg)	1897	748.4
Fer (mg)	32.5	10.78
Phosphore (mg)	297	149
Sodium (mg)	220	180
Magnésium (mg)	473	429
Cuivre (mg)	0.9	0.48
Zinc (mg)	2.4	1.12
Vitamine C (mg)	172	37.7
Vitamine A (µg)	3639	1979.8
Folate (µg)	540	-
Vitamine B-6 (mg)	2.4	-
Vitamine E (mg)	56 – 113	-

Ramaroson, Valentin, & Arvisenet (2015) ont étudié la composition nutritionnelle de feuilles de MO originaire de deux villes de Madagascar (Antsiranana et Antananarivo). Leur étude a montré la présence de huit AA indispensables (thréonine, méthionine, valine, phénylalanine, isoleucine, leucine, lysine et tryptophane) dans les échantillons. La leucine était l'AA le plus abondant avec des valeurs de 2,26% et 2,76% respectivement pour les deux villes. La méthionine était l'AA le moins représenté (0,48 et 0,57% respectivement). Selon cette même étude, une comparaison réalisée entre la composition en AA des feuilles de MO Malgache et la dose journalière recommandée d'AA essentiels par l'OMS a conclu que 100g de matière sèche de poudre de feuilles de MO par jour suffisaient à satisfaire le besoin

corporel d'un adulte pour tous les AA indispensables et la moitié de cette quantité le besoin des enfants âgés de 3 -14 ans. Selon cette dernière information, la consommation de 100g de feuilles séchées de MO équivalant à 357 g de feuilles fraîches (Rajput et al., 2017) est recommandée. Plusieurs questions se posent donc : du point de vue sensoriel, la consommation de 100 g de feuilles séchées par jour, est-elle acceptable ? Etant riche en AA essentiels, le simple fait de consommer un aliment contenant les feuilles de MO, permet-il de conserver la totalité de ces AA? Que se passe-t-il au niveau de la digestibilité de ces protéines?

II.1.3. Digestibilité des protéines

II.1.3.1. Définition de la digestion in vitro

La digestion gastro-intestinale simulée ou digestion in vitro est largement utilisée dans plusieurs domaines des sciences alimentaires. Elle permet d'étudier la bioaccessibilité des nutriments et des non-nutriments ou la digestibilité des macronutriments (comme les lipides, les protéines et les glucides). La digestion in vitro est beaucoup plus utilisée comparé à la digestion in vivo qui traduit les conditions idéales de la digestion humaine (Dupont et al., 2019). La digestion in vitro est moins coûteuse, ne nécessitant pas la soumission des protocoles animaux pour des raisons d'éthique (Ménard et al, 2014). Cette méthode est également reproductible et permettant d'avoir des prélèvements à différentes étapes de digestion.

Il existe deux modèles de digestion in vitro : la digestion in vitro statique et la digestion in vitro dynamique. Les modèles statiques sont principalement utilisés pour les études de digestion sur des aliments simples et des composants alimentaires isolés ou purifiés. Ils permettent de réaliser des essais préliminaires produisant des preuves faisant référence à d'éventuelles allégations nutritionnelles et de santé, où il doit être démontré que la substance est digérée et disponible pour être utilisée par l'organisme (Fernández- García et al., 2009). En revanche, ce type de modèle était simple et basique, ne recré guère la complexité du tube digestif.

Les modèles dynamiques de digestion in vitro sont plus prometteurs pour imiter avec précision le processus digestif. Ils permettent la régulation du pH, l'écoulement des aliments et l'injection en temps réel d'enzymes digestives dans les différents compartiments du tractus gastro-intestinal (Dupont et al., 2019).

II.1.3.2. Protocole de digestion in vitro

Plusieurs protocoles de digestion in vitro ont été proposés (Akeson & Stahmann, 1964; Boisen & Eggum, 1991; Genovese & Lajolo, 1998) présentant des différences dans les paramètres. Par exemple, une variabilité en terme d'origine des enzymes (porcine, lapin ou humaine) peut avoir une variabilité dans leur activité et leur caractérisation. Des différences aussi en terme de pH, minéraux et temps de digestion modifient l'activité enzymatique ce qui entraîne également des modifications dans les résultats.

La méthode proposée par Minekus et al., en 2014 a permis de trouver un protocole consensuel et standardisé de digestion in vitro des aliments qui se base sur des conditions physiologiques pertinentes. Cette méthode devrait aider à la production de données plus comparables à l'avenir. La digestion in vitro comporte trois phases : la phase orale, la phase gastrique et la phase intestinale (Figure 4).

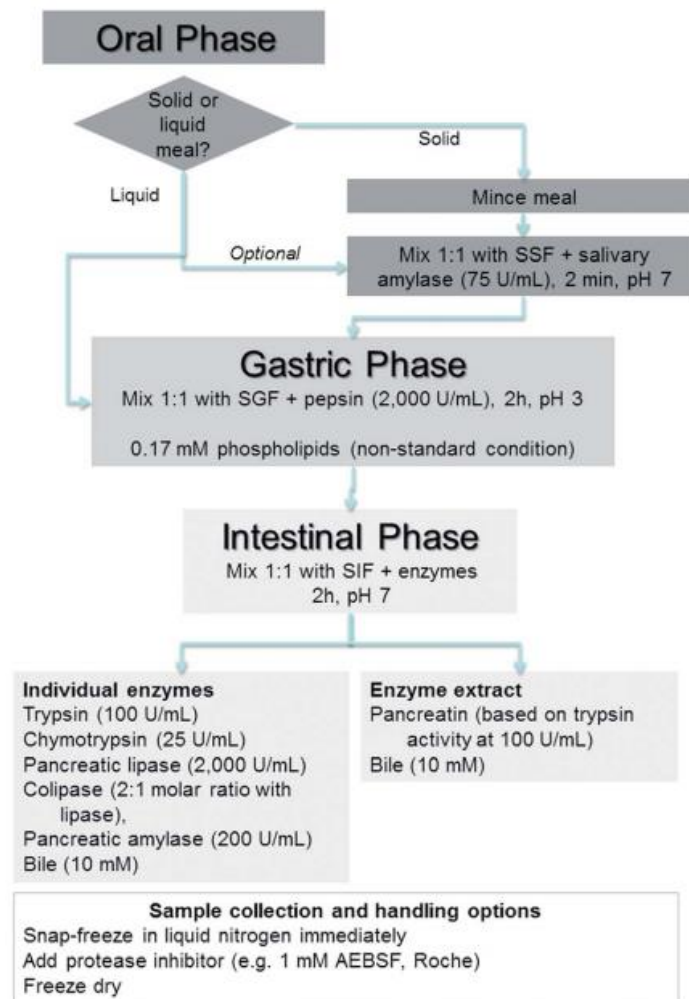


Figure 4 : Vue d'ensemble et organigramme des différentes phases de la méthode de digestion in vitro simulée (Minekus et al., 2014).

II.1.3.3. Digestibilité des protéines végétales des feuilles

La qualité nutritionnelle des protéines alimentaires est déterminée en grande partie par leur composition en AA essentiels et leur digestibilité. La digestibilité peut être utilisée comme indicateur de la disponibilité des protéines. Il s'agit essentiellement d'une mesure de la sensibilité d'une protéine à la protéolyse. Une protéine à haute digestibilité a potentiellement une meilleure valeur nutritionnelle qu'une protéine de faible digestibilité car elle fournit plus d'AA pour l'absorption lors de la protéolyse (Axtell et al., 1981). La digestion in vitro des protéines (DIVP) est une méthode de plus en plus utilisée dans la caractérisation de l'apport nutritionnel des aliments notamment utilisés dans la supplémentation.

Par exemple, le manioc est une plante très cultivée au Nigeria dont les feuilles sont consommées pour sa richesse en protéines (40%) alors que la digestibilité in vitro des feuilles de manioc séchées au four est très faible, de l'ordre de 20% (Awoyinka, Abegunde, & Adewusi, 1995). En revanche, les feuilles vertes foncées du cactus (*Pereskia aculeata* Miller) consommées par de nombreuses personnes issues de communautés pauvres au Brésil ont un taux de DIVP de 75,9% (Takeiti et al., 2009).

Ly et al. (2001) ont mesuré la DIVP par la méthode pepsine/pancréatine de 13 feuilles de plantes tropicales séchées dont le MO. La DIVP des feuilles de MO dans cette étude est de 74,2 %. Ces résultats divergent toutefois des résultats de Teixeira et al. (2014) où la DIVP des feuilles de MO est de 31,83%. Une autre étude consistant à comparer la qualité nutritionnelle des feuilles et des graines de MO a montré que les feuilles sont plus sensibles à la digestion par la pepsine que les graines, et la digestion de la pancréatine affecte plus les graines que les feuilles (Mune et al., 2016). La DIVP des feuilles est de 57,22%. Tous ces résultats montrent une grande variabilité au niveau de la DIVP des feuilles de MO nécessitant de plus amples études.

Conclusion de la bibliographie et problématique de la deuxième partie

Les travaux réalisés sur les protéines des feuilles de MO montrent que les recherches sont encore en plein développement concernant l'optimisation d'extraction de protéines ainsi que leur digestibilité. Une variabilité en terme de pourcentage de digestibilité des protéines des feuilles de MO observée dans la littérature nous a poussé à étudier cette digestion en nous basant sur un protocole de DIVP récent et standardisé. Dans le but d'améliorer le pourcentage de digestibilité des protéines de feuilles de MO nous avons opté pour l'application de prétraitements comme les hautes pressions, les ultrasons et les micro-ondes. Notre hypothèse est que ces traitements vont avoir un effet positif sur la digestibilité des protéines de feuilles de MO comme c'est le cas pour les protéines des graines (chapitre II.2).

Avant de nous intéresser au développement d'un produit supplémenté en feuilles de MO à destination de notre population cible, nous avons débuté par la confection d'une matrice alimentaire de base, des biscuits. Nous avons étudié l'effet de l'incorporation de la poudre de feuilles de MO sur les propriétés physico-chimiques, nutritionnelles et sensorielles de ceux-ci (chapitre II.3.).

*Chapitre II.2. Effet des prétraitements sur la Digestion In
Vitro des protéines des feuilles de Moringa oleifera*

1. Introduction

Les protéines des feuilles pourraient potentiellement constituer une source de protéines majeure pour les applications alimentaires. Les feuilles de plusieurs plantes ont été étudiées dans plusieurs études en fonction de leur teneur en protéines, de leur disponibilité régionale, des besoins sociaux et des utilisations actuelles comme les feuilles d'épinard, de luzerne, de manioc et de MO (Tamayo Tenorio et al., 2016).

Les feuilles de MO sont utilisées comme source de nutriments pour lutter contre la malnutrition (Anwar et al., 2007) compte tenu de leur richesse en protéines, vitamines et minéraux (Ferreira et al., 2008). Ces feuilles contiennent des quantités importantes de protéines brutes (30,3%) elles-mêmes composées d'AA essentiels. (Moyo et al., 2011; Ramaroson, Valentin, & Arvisenet, 2015). Cette richesse rend le MO de plus en plus utilisé dans la supplémentation alimentaire.

L'étude de Teixeira et al. (2014) a montré après fractionnement des protéines de feuilles de MO que 70.1% des protéines totales de la poudre de feuilles de MO délipidée étaient insolubles et que l'extractibilité des protéines était de 9,2%, correspondant à 3,1% d'albumine, 0,5% de globulines, 3,5% de glutélines et 2,2% de prolamine. L'azote non protéique a été également détecté. Ceci montre que dans les feuilles, en plus du RuBisCo qui peut constituer jusqu'à environ 50% des protéines solubles (Spreitzer & Salvucci, 2002 ; Andersson & Backlund, 2008), on peut également trouver des protéines comme les albumines et les globulines qui sont plutôt des protéines caractéristiques des graines. Selon cette même étude, la digestibilité des protéines des feuilles de MO est de l'ordre de 33.29% montrant que 70.1% des protéines insolubles n'ont pas subi une bonne hydrolyse enzymatique. D'autres études se sont intéressées aux propriétés nutritionnelles des feuilles de MO, montrant un désaccord sur le pourcentage digestibilité des protéines de ces feuilles (Ly et al., 2001; Teixeira et al., 2014; Mune et al., 2016). L'étude faite par Ly et al. (2001) a permis de mesurer la DIVP des feuilles de MO et a montré un pourcentage de digestibilité de 74,2 %. Une étude réalisée par Mune et al. (2016) sur la comparaison des propriétés nutritionnelles de feuilles et des graines de MO a montré que la DIVP des feuilles est de 57,22%. Ces pourcentages de digestibilité qui

varient entre 33,29% et 74,2% montrent que l'utilisation de plusieurs protocoles de DIVP rendent la comparaison difficile. Afin de valider le % de digestibilité des protéines des feuilles de MO, nous nous sommes basés dans ce chapitre sur la méthode consensuelle et standardisée de DIVP pepsine/pancréatine de Minekus et al. (2014). Le premier objectif de cette étude est de valider le % de digestibilité des protéines des feuilles de MO.

Généralement, les protéines végétales ayant la caractéristique d'être enfermées à l'intérieur des parois cellulaires, une étape d'extraction cellulaire s'avère nécessaire. L'homogénéisation mécanique par malaxage ou l'homogénéisation par hautes pressions ont été signalées parmi les techniques les plus efficaces pour la perturbation de la matrice végétale et la libération des nutriments (Hof et al., 2000). Afin d'améliorer la DIVP, Teixeira et al. (2014) ont appliqué des traitements chimiques (1% Sodium dodecyl sulfate: SDS) et thermiques (121°C pendant 15 min) sur la poudre de feuille de MO. Le % de digestibilité a augmenté de 33,29% à 41,4% et 56,33% respectivement.

Plusieurs études ont montré l'effet de l'application d'autres prétraitements hors traitements chimiques (comme les hautes pressions, les ultrasons ou les micro-ondes) sur la structure et la solubilité des protéines et par conséquent sur leur hydrolyse enzymatique et digestibilité. La majorité de ces études ont travaillé sur des matrices de protéine végétale provenant des graines comme les protéines de soja, et de pois. Par exemple, des traitements tels que l'application d'ultrasons avec une sonde à 20 kHz de fréquence, 95% d'amplitude pendant 2 min, ont montré l'augmentation de la solubilité des protéines d'isolat de soja et de pois (O'Sullivan et al., 2016). Jambrak et al. (2009) montrent également qu'un traitement par ultrasons avec une sonde de 20 kHz pendant 15 min augmente significativement la solubilité du concentré des protéines de soja. De la même façon, l'application de hautes pressions entraîne des changements dans la structure native des protéines entraînant une conformation dépliée (Dan et al., 2010). Ces changements provoquent une modification de la cinétique d'hydrolyse enzymatique suite à l'exposition de certaines liaisons peptidiques, auparavant enfouies au centre des protéines natives (Knudsen et al., 2002; Chicón et al., 2006). Dan et al. (2010) ont montré que l'application d'une pression hydrostatique de 500-600 MPa augmente

significativement la digestibilité (selon la digestion pepsine/pancréatine) d'isolat de protéines de soja. Manassero et al. (2015) confirme que le traitement de haute pression améliore la solubilité des protéines d'isolat de soja. Le traitement par des micro-ondes peut avoir également un effet sur la DIVP. Selon Khatoon & Prakash (2004), la cuisson aux micro-ondes (1200 W) a un effet positif sur la digestibilité des protéines de légumineuses comme la lentille (73,7%). L'effet des micro-ondes a aussi été démontré sur le pois chiche où la DIVP augmente de 83,61% à 89,40% (Alajaji & El-Adawy, 2006). En revanche, à notre connaissance, actuellement, il n'y a pas de travaux décrivant l'effet de ces traitements sur les protéines des feuilles. On peut donc se demander si l'application de ces traitements peut avoir le même effet sur les protéines des feuilles de MO, notamment sur le RuBisCo que celui observé sur les protéines des graines.

Le second objectif de cette étude est donc d'étudier l'effet des traitements par ultrasons, hautes pressions et micro-ondes sur la DIVP de feuilles de MO. Ces traitements ont été choisis pour éviter à la fois les traitements chimiques et les traitements à hautes températures. Fred et al. (2011) ont montré que les traitements à des températures élevées ne sont pas recommandés dans l'extraction de RuBisCo car ceci entraîne la dénaturation de ces protéines. Le choix des micro-ondes est basé sur le fait que ce procédé est disponible dans les ménages et facile à utiliser. Les traitements par hautes pressions et ultrasons sont des techniques qui nous permettent d'identifier l'effet de la pression et des ondes ultrasoniques sur les protéines de feuilles de MO à l'échelle du laboratoire.

Pour atteindre ces objectifs, la première étape a été de mettre au point un protocole de DIVP basé sur la méthode élaborée par Minekus et al. (2014). La deuxième étape a été d'appliquer les prétraitements cités ci-dessus sur les feuilles de MO avant de réaliser la digestion et de la comparer avec celle des feuilles non traitées.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériels

La poudre de feuilles de MO provient d'un magasin bio de Dijon (France) sous la marque Ethnoscience. Les feuilles de MO sont originaires d'Inde. Tous les réactifs et produits

chimiques de Sigma Aldrich® (France) étaient de qualité analytique. Nous avons utilisé la caséine (C-8654-caseine sodium salt from bovine milk), la pepsine P7012 (provenant de la muqueuse de l'estomac porcine > 2500 U / mg de protéine), la pancréatine porcine P 1750 (4x U.S.P) et la TAME (ester méthylique de p-toluène-sulfonyl-L-arginine) de Sigma-Aldrich (France).

2.2. Méthodes

2.2.1. Délipidation des feuilles de MO

La poudre de feuilles de MO a été délipidée. Cette étape permet de réduire la présence de composés non polaires qui peuvent se lier aux chaînes hydrocarbonées de certains AA des protéines, ce qui rend la séparation des protéines difficile (Mao & Hua, 2012). Cette étape permet aussi de diminuer la quantité de chlorophylle et de lipides dans la poudre de feuille de MO entraînant une augmentation de la teneur en protéines. La poudre de MO a été mise en contact avec l'éther de pétrole (rapport 100g/L) en agitant à température ambiante pendant 1 h. Le mélange a été filtré sous vide à l'aide d'un filtre en verre n°4. Ensuite, la pâte à l'issue de l'extraction à l'éther de pétrole a été mise en contact avec de l'éthanol (rapport 100g/L) à 96 % à température ambiante pendant 1 h. Le mélange est de nouveau filtré sous vide à l'aide d'un filtre en verre n°4. La poudre délipidée a été séchée à température ambiante sous sorbonne.

2.2.2. Mise au point du protocole de DIVP

Dans le cadre de cette thèse, la digestion in vitro statique est utilisée pour des raisons techniques et financières. La DIVP a été réalisée selon la méthode de Minekus et al. (2014) avec quelques modifications. La caséine est la protéine de référence utilisée dans plusieurs travaux en tant que standard de validation du protocole de DIVP. La caséine a un pouvoir de digestion maximale et son pourcentage d'hydrolyse enzymatique (% HE) est proche de 100%. Donc, ce point est la base de l'ajustement du protocole de DIVP. Teixeira et al., (2014) ont trouvé un % HE de caséine égal à 95,61% qui correspond à 100% de digestibilité. Le protocole de DIVP selon Minekus et al. (2014) comporte trois phases de digestion. Une phase

orale, une phase gastrique et une phase intestinale. La phase orale n'a pas été réalisée et la digestion commence directement par la phase gastrique selon Minekus et al. (2014) puisque l'aliment étant déjà à l'état liquide.

➤ Préparation de la solution enzymatique de pepsine

La pepsine est la seule enzyme protéolytique de l'estomac humain, cependant, de nombreuses isoformes existent (Kalantzi et al., 2006). Cette phase nécessite 1.6 ml de solution de pepsine porcine contenant 25 000 U/ml. En utilisant la pepsine (> 2500 U/mg), il faut préparer 16 mg de la poudre de pepsine dans 1,6 ml de la solution SGF (liquide gastrique simulé).

➤ Préparation de la solution enzymatique de pancréatine

La pancréatine a été utilisée dans la phase de la digestion intestinale. Elle est composée de plusieurs enzymes : trypsine, amylase, lipase, ribonucléase et protéase. La quantité de pancréatine (4*USP) ajoutée dans cette phase de digestion est basée sur l'activité de la trypsine (100 U/ml du mélange final).

L'activité de trypsine dans la pancréatine est déterminée selon le protocole de "Supplementary Material Infogest" de Minekus et al. (2014) en utilisant la TAME (ester méthylique de p-toluène-sulfonyl-L-arginine) comme substrat. La Formule 1 a été utilisée pour calculer cette activité.

Formule 1 :

$$\text{Units/mg} = \frac{[(\Delta A_{247} \text{ Test} - \Delta A_{247} \text{ Blank}) * 1000 * 1.5]}{(540 * X)}$$

Avec :

- ΔA_{247} : slope of the initial linear portion of the curve, [unit absorbance/minute] for the Test (with enzyme) and Blank
- 540: molar extinction coefficient of TAME at 247 nm.
- 1.5: Volume (in millilitres) of the reaction mix (Tris-HCl + TAME + Enzyme)
- X: quantity of trypsin in the final reaction mixture (quartz cuvette) [mg]
- Check that the same activity is obtained for the tested enzyme concentrations.

Les calculs ont montré que 1 mg de pancréatine (4*USP) contient 5,43 U de trypsine. Donc, pour avoir 100U de trypsine/ ml de volume total de mélange digestif (40 ml), une masse de 736 mg de pancréatine a été nécessaire pour démarrer cette dernière étape de digestion. La durée de chaque phase de digestion ainsi que le pH et la température ont été appliqués selon le protocole de Minekus et al. (2014).

2.2.3. La digestion in vitro des protéines (DIVP)

Des solutions de liquide gastrique simulé (SGF) et de liquide intestinal simulé (SIF) ont été préparées selon la méthode de Minekus et al. (2014). Pour la DIVP de la caséine, une masse de caséine de 0,2 g a été utilisée. Pour la poudre de feuille de MO, une masse de 1 g a été mise en suspension dans 10 ml d'eau distillée puis 8 ml de solution SGF ont été ajoutés. Après avoir complété à 1,6 ml de solution de pepsine porcine (25 000 U / ml) et 5 µl de CaCl₂ 0,3 M, la solution dont le pH a été ajustée à 3,0 a été incubée pendant 120 min à 37 °C sous agitation continue à 170 tr / min. A la suite de la digestion gastrique, et après un ajout de 11ml de SIF, puis de 736 mg d'enzyme pancréatique et 40 µl de CaCl₂ 0,3 M, le mélange a été complété à 40 ml par la solution de SIF et le pH a été ajusté à 7,0. La solution finale a été incubée pendant 120 minutes à 37 °C sous agitation continue à 170 tr / min. La méthode de précipitation à l'acide trichloracétique (TCA) a été employée pour déterminer la quantité d'azote libérée dans l'échantillon. Des aliquotes de 10 ml de la solution obtenue après digestion ont été mélangées avec 10 ml d'une solution de TCA à 10 %. Le tout a été centrifugé (8000 g, 10 min). La teneur en azote dans le surnageant a été déterminée par la méthode Kjeldahl*. Le pourcentage d'hydrolyse enzymatique au cours du processus de digestion a été calculé à l'aide de la Formule 2. Le pourcentage de digestibilité des protéines a été déduit de la digestibilité de la caséine considérée comme standard (100%) (Teixeira et al., 2014).

* Le facteur de conversion de l'azote en protéines pour la caséine est de 6,38 et 4,4 pour les feuilles de MO (Ramaroson, Valentin, & Arvisenet, 2014).

Formule 2 :

$$\% \text{ hydrolyse enzymatique (\% HE)} = \frac{\text{quantité de protéines après digestion}}{\text{quantité totale de protéines}} * 100$$

➤ DIVP du blanc :

Afin d'être sûr que la quantité d'azote dosée après précipitation au TCA correspond uniquement à la quantité d'azote libérée suite à la digestion, une DIVP à blanc a été faite en suivant exactement les mêmes étapes de digestibilité sans mettre l'échantillon. La détermination de la quantité d'azote présente dans le DIVP à blanc par la méthode de Kjeldahl a donné un volume de HCl titrant égal à 1,54 ml. Ce volume est à soustraire de volume de HCl titrant correspondant au dosage d'azote de chaque échantillon avant de poursuivre le calcul de % d'hydrolyse enzymatique et de % de digestibilité.

2.2.4. *Traitement aux ultrasons*

Le traitement par ultrasons a été appliqué selon la méthode de Jambrak et al. (2009) et O'Sullivan et al. (2016). Un appareil à ultrasons (Fisher Scientific Ultrasonic Homogenizers Model 50, Puissance nominale: 50 watts; Fréquence de fonctionnement: 20 kHz) avec une sonde en acier inoxydable de 1,9 mm de diamètre a été utilisé. Une suspension de 10 ml de feuilles de MO a été versée dans un bécher en plastique de 50 ml puis traitée avec une fréquence de 20 kHz et une amplitude de 95 % pendant 15 min et conservée à 4 ° C avant de passer à l'étape de la DIVP. Des suspensions de feuilles de MO non traitées ont été utilisées comme contrôle. Les traitements par ultrasons ont été effectués en triple.

2.2.5. *Traitements hautes pressions (HP)*

Le traitement HP a été réalisé selon Dan et al. (2010) à l'aide d'un amplificateur haute pression (Top Industrie, Vaux le Penil, France) formé d'un cylindre de 2 cm de diamètre intérieur, 20 cm de diamètre extérieur et 18 cm de hauteur. Le volume effectif de la chambre lorsque le piston est complètement abaissé est de 20 ml et de 5 ml lorsqu'il est entièrement remonté. De l'eau distillée a été utilisée comme fluide de transmission de pression. Avant le traitement sous pression, des solutions de feuilles de MO de 2ml ont été

conditionnées dans une pipette Pasteur et scellées par une thermoscelleuse. Les solutions ont été soumises à un traitement HP à un niveau de pression de 500 MPa +/- 7 pendant 20 min à température ambiante. Le taux de compression était d'environ 3 MPa.s⁻¹ et la libération de pression était immédiate. Le temps de traitement rapporté dans cette étude n'incluait pas l'augmentation de la pression et la diminution du temps. Les échantillons ont été stockés à 4 °C afin de passer à l'étape de la DIVP. Tous les traitements HP ont été effectués en triple.

2.2.6. Traitement par micro-ondes

Le traitement par des micro-ondes a été appliqué selon Khatoon & Prakash (2004) avec modification. Une suspension de 10 ml de feuilles de MO a été versée dans un bécher de 25 ml et les échantillons ont été soumis à une irradiation par micro-ondes (modèle Eletrolux, MM 1040) à une puissance de 700 W pendant 10 secondes. Après cela, les échantillons ont été conservés à 4°C en attendant la préparation de la DIVP. Tous les traitements aux micro-ondes ont été effectués en triple.

3. Résultats et discussions

3.1. Teneur en protéines des feuilles de MO

La teneur moyenne en protéines dans les feuilles séchées de MO est de 20,7% ± 0,91. Cette valeur est faible par rapport au % de protéines dans les feuilles de MO provenant d'Afrique du Sud (30,3 %, Moyo et al., 2011), du Brésil (28,65%, Teixeira et al., 2014), d'Algérie (22,8%, Ziani et al., 2019), du Mexique (22,4%, Sánchez-Machado et al., 2010) et du Pakistan (22,2%, Nouman et al., 2016).

Le pourcentage de protéines identifiées dans notre étude se trouve dans l'intervalle de valeurs (18,2 - 29,8 g / 100 g de feuilles séchées) déterminé par la méta-analyse de Witt (2013). Selon cette même méta-analyse, cette variabilité en terme de % de protéines entre les différentes études s'explique non seulement par l'origine de la plante mais aussi la différence en terme de sol, de climat et d'âge de la plante. Dans les feuilles délipidées, le % de protéines est de 22,7%. Cette valeur est supérieure à celle trouvée (18,63%) par Mune et

al. (2016). Un autre point pourrait être à l'origine de la différence entre les valeurs de % de protéines dans les feuilles du MO, c'est le facteur de conversion azote-protéine qui n'est pas toujours le même dans toutes les études.

3.2. DIVP des protéines de feuilles de MO

Pour vérifier l'efficacité du protocole de DIVP, la caséine a été utilisée comme standard. Le % de digestibilité de la caséine selon ce protocole est de 92,16% (Tableau 1), valeur proche de celle (95,61%) rapportée par Teixeira et al. (2014). Le pourcentage de digestibilité des feuilles de MO délipidées est de 75,95 % ce qui est en accord avec les résultats de Ly et al. (2001) où le % de DIVP des feuilles de MO est de 74,2 %, cette valeur est supérieure en revanche aux valeurs de 57,22 % et 33,29 % déterminées respectivement par Mune et al. (2016) et Teixeira et al. (2014). L'utilisation de différents protocoles de DIVP dans ces études est un des facteurs qui explique les difficultés en termes de comparaison des résultats. En effet, une étude récente utilisant la même méthode que celle utilisée dans cette étude (Minekus et al., 2014) a montré un % de DIVP (64,7%) proche de notre résultat (Benhammouche et al., 2020). L'utilisation de ce protocole standardisé permettra à l'avenir d'obtenir des résultats plus facilement comparables.

Devisetti et al., (2016) indiquent que la présence de facteurs antinutritionnels dans les feuilles pourrait gêner la digestion des protéines et entraînerait la diminution de leurs biodisponibilités. En revanche, Teixeira et al. (2014), montrent que les feuilles de MO contiennent une faible teneur en substances antinutritionnels (tannins totaux = 20,60 mg/g; Inhibiteur de trypsine = 1,45 TUI/g; absence de composés cyanogéniques). Ces résultats sont en accord avec ceux de Ferreira et al. (2008) qui ont trouvé de faibles quantités de tannins (12 mg/g) et une absence de composés cyanogéniques dans les feuilles de MO.

3.3. Effets des traitements sur la DIVP des feuilles de MO

Les traitements par hautes pressions, ultrasons et micro-ondes ont été appliqués sur les feuilles de MO avant d'effectuer la DIVP. Les pré-traitements n'ont pas eu d'effet positif sur la digestibilité des feuilles de MO. Le % de DIVP après traitement par ultrasons, hautes

pressions et micro-ondes est significativement plus faible ($F(2; 9) = 12,90$; $p < 0,01$) que le % DIVP des feuilles non traitées (Tableau 1). Le % de digestibilité des feuilles délipidées sans traitement est de 75,95 % alors qu'il est de 64,27 % pour le traitement par ultrasons, 51% pour le traitement par hautes pressions et 64,38 % pour les micro-ondes (Tableau 1).

Tableau 1: DIVP de feuilles de MO avant et après traitements par hautes pressions, ultrasons et micro-ondes.

Echantillons	% Hydrolyse enzymatique	% Digestibilité
Caséine (standard)	92,16 ± 0,68	100
Feuilles délipidées	70 ± 8,72 ^a	75,95 ± 9,46 ^a
Ultrasons	59,24 ± 3,06 ^{ab}	64,27 ± 3,32 ^{ab}
Haute pression	47 ± 2,65 ^b	51 ± 2,87 ^b
Micro-onde	59,33 ± 3,06 ^{ab}	64,38 ± 3,31 ^{ab}

Contrairement à notre hypothèse issue de la littérature sur les protéines des graines, les prétraitements utilisés n'améliorent pas la DIVP des feuilles de MO. Certains de ces traitements ont entraîné une élévation de la température des échantillons de feuilles de MO durant le procédé : pour les ultrasons (fréquence de 20 KHz; 15 min) la température de l'échantillon est de 47 °C et pour les micro-ondes (700W, 10 sec) elle est de 71°C.

Selon la littérature, les protéines majoritairement présentes dans les feuilles sont des protéines RuBisCo qui sont sensibles à l'élévation de la température. Fred et al. (2011), ont démontré qu'un chauffage élevé des protéines Rubisco (au-delà de 60°C) n'est pas recommandé et entraîne une dénaturation de ces dernières. Les protéines RuBisCo provenant des épinards et des luzernes sont également instables à des températures élevées, leur température de dénaturation étant relativement basse (Lamsal et al., 2007). Alors que les protéines RuBisCo des feuilles de tabac restent solubles après une ébullition prolongée (Sheen, 1991).

La température de dénaturation du RuBisCo des feuilles de MO est un paramètre très important à déterminer afin de le prendre en compte dans l'application des procédés d'extraction de ces protéines. La technique DSC (Differential Scanning Calorimetry) est une

méthode très utilisée pour mesurer la différence nette entre la dénaturation des protéines (processus endothermique) et l'agrégation (processus exothermique) survenant pendant le chauffage. Selon cette méthode, la température de dénaturation de la luzerne est de 67,5°C (Lamsal et al., 2007), et celle des épinards est de 64,9°C (Martin et al., 2014). En comparaison avec d'autres protéines végétales originaire des graines, la température de dénaturation des protéines de soja (73–90°C), de pois (82°C) et de lupins (66-91°C) est plus élevée que celle du RuBisCo (Martin et al., 2014; Mession et al., 2013; Munialo et al., 2014) confirmant sa sensibilité aux températures élevées.

La connaissance de la température de dénaturation de Rubisco des feuilles de MO nous permettra de réadapter les paramètres des traitements appliqués afin de réduire la dénaturation de ces protéines. Il sera intéressant également de déterminer la modification structurale des protéines des feuilles de MO suite à l'application de ces traitements afin de savoir s'il s'agit d'un dépliement ou d'une agrégation des protéines des feuilles de MO. Comme avec d'autres protéines, des techniques d'électrophorèse telles que le gel de sodium dodécyl sulfate-polyacrylamide (SDS-PAGE) et l'électrophorèse capillaire sont des techniques qui peuvent être utilisées pour séparer et visualiser les deux sous-unités de RuBisCO. Il sera nécessaire d'utiliser une étape de purification de l'extraction de RuBisCO des feuilles de MO pour éliminer les impuretés avant de passer à cette technique (Warren et al., 2000).

4. Conclusion

La DIVP de poudre de feuilles de MO a montré un % de digestibilité de 75,95% selon la méthode standardisée de Minekus et al. (2014). L'application de prétraitements par hautes pressions, ultrasons et micro-ondes n'a pas permis l'augmentation de cette digestibilité. Comparées aux protéines des graines, les protéines des feuilles (notamment le RuBisCo) ont un comportement différent lors de l'application de ces différents traitements. La compréhension de l'effet de ces traitements sur la modification de la structure des protéines de feuilles de MO nécessitera l'utilisation de techniques d'analyses plus précises comme l'électrophorèse SDS-PAGE et la technique de DSC.

Remerciement

Je tiens à remercier AgroSup Dijon pour le financement de cette étude via le projet « MORINGA: Création d'un réseau France - Afrique pour le développement de SuperFood » et Zénande Booi, étudiante en Master, pour sa participation à la réalisation de ces travaux.

Références

- Alajaji, S. A., & Tarek A. (2006). Nutritional Composition of Chickpea (*Cicer Arietinum* L.) as Affected by Microwave Cooking and Other Traditional Cooking Methods. *Journal of Food Composition and Analysis* 19 (8), 806-812.
- Anwar, F., Sajid L., Muhammad A., & Anwarul H. G. (2007). Moringa Oleifera: A Food Plant with Multiple Medicinal Uses. *Phytotherapy Research* 21 (1), 17-25.
- Benhammouche, T, Melo A., Martins, Z. Faria, M. A., Pinho, S. C. M., Ferreira, I. M. L. P. V. O. & Zaidi, F. (2020). Nutritional Quality of Protein Concentrates from Moringa Oleifera Leaves and in Vitro Digestibility. *Food Chemistry*, 348.
- Chicón, R., Belloque, J. Recio, I. & López-Fandiño. R. (2006). Influence of High Hydrostatic Pressure on the Proteolysis of β -Lactoglobulin A by Trypsin. *Journal of Dairy Research* 73 (1), 121-128.
- Dan, S., Li, S., Zhao, F., Zhang L., Xiaopeng, Z., Wei, L. & Youfu. C. (2010). Effects of High Hydrostatic Pressure on in vitro digestion of soy protein. *Int Agric Eng J*, 19.
- Devisetti, R., Yadahally N. S., et Bhattacharya. S. (2016). Processing Effects on Bioactive Components and Functional Properties of Moringa Leaves: Development of a Snack and Quality Evaluation. *Journal of Food Science and Technology*, 53 (1), 649-657.
- Ferreira, P. M. P., Davi F. F., de Abreu Oliveira J. T., & de Fátima Urano Carvalho, A. (2008). Moringa oleifera: bioactive compounds and nutritional potential. *Revista de Nutrição* 21 (4), 431-437.
- Fred, V. D. V., Cornelis A. A., & Laurice, P. (2011). Process for isolating a dechlorophyllized rubisco preparation from a plant material. World Intellectual Property Organization
- Hof, K. H., de Boer, B. C. J., Lilian B. M. T., Bianca, R. H. M., Lucius, I. Z., West, C. E., Hautvast, J. G. A. J. et Weststrate. J. A. (2000). Carotenoid Bioavailability in Humans from Tomatoes Processed in Different Ways Determined from the Carotenoid Response in the Triglyceride-Rich Lipoprotein Fraction of Plasma after a Single Consumption and in Plasma after Four Days of Consumption. *The Journal of Nutrition* 130 (5), 1189-1196.
- Jambrak, A. R., Vesna, L., Mason, T. J., Krešić, G. & Badanjak, M. (2009). Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *Journal of Food Engineering*, 93 (4), 386-393.
- Kalantzi, L., Goumas, K., Kalioras, V., Abrahamsson, B., Dressman, J. B. & Reppas, C. (2006). Characterization of the Human Upper Gastrointestinal Contents Under Conditions Simulating Bioavailability/Bioequivalence Studies. *Pharmaceutical Research* 23 (1), 165-176.

- Khatoun, N., et Prakash, J. (2004). Nutritional Quality of Microwave-Cooked and Pressure-Cooked Legumes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55 (6), 441-448.
- Knudsen, J. C., Otte, J., Olsen, K., & Skibsted, L. H. (2002). Effect of high hydrostatic pressure on the conformation of β -lactoglobulin A as assessed by proteolytic peptide profiling. *International Dairy Journal*, 12 (10), 791-803.
- Lamsal, B., Koegel, R.G. & Gunasekaran, S. (2007). Some physicochemical and functional properties of alfalfa soluble leaf proteins. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 1520-1526.
- Ly, J., Samkol, P., & Preston, T.R., 2001. Nutritional evaluation of tropical leaves for pigs: Pepsin/pancreatin digestibility of thirteen plant species. Livestock Research for Rural Development. <http://www.lrrd.org/lrrd13/4/ly134a.htm>
- Manassero, C. A., Vaudagna, S. R., Añón, M. C., & Speroni, F. (2015). High Hydrostatic Pressure Improves Protein Solubility and Dispersion Stability of Mineral-Added Soybean Protein Isolate. *Food Hydrocolloids*, 43, 629-635.
- Mao, X., & Hua, Y. (2012). Composition, Structure and Functional Properties of Protein Concentrates and Isolates Produced from Walnut (*Juglans Regia* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 13 (2), 1561-1581.
- Martin, A. H., Nieuwland, M., & Govardus, A., de Jong, H. (2014). Characterization of Heat-Set Gels from RuBisCO in Comparison to Those from Other Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, (44), 10783-10791.
- Mession, J. L., Sok, N., Assifaoui, A., & Saurel, R. (2013). Thermal Denaturation of Pea Globulins (*Pisum Sativum* L.)-Molecular Interactions Leading to Heat-Induced Protein Aggregation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, (6), 1196-1204.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Balance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., 2014. A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. *Food & Function*, 5, 1113-1124.
- Moyo, B., P. J. Masika, A. Hugo, et V. Muchenje. 2011. « Nutritional Characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) Leaves ». *African Journal of Biotechnology* 10 (60): 12925-33.
- Mune, Martin Alain Mune, Emilienne Carine Nyobe, Christian Bakwo Bassogog, et Samuel René Minka. 2016. « A comparison on the nutritional quality of proteins from *Moringa oleifera* leaves and seeds ». Édité par Fatih Yildiz. *Cogent Food & Agriculture* 2 (1): 1213618.
- Munialo, C., Linden, E. & Jongh, H. (2014). The ability to store energy in pea protein gels is set by network dimensions smaller than 50 nm. *Food Research International*, 64, 482-491.
- 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), 11-14.
- O'Sullivan, J., Murray, B. Flynn, C. & Norton, I. (2016). The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins. *Food Hydrocolloids*, Functional Hydrocolloids: A Key to Human Health, 53, 141-154.

- Ramaroson R., V., Valentin, D., & Arvisenet, G. (2014). Studying the nutritional beliefs and food practices of Malagasy school children parents. A contribution to the understanding of malnutrition in Madagascar.
- 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, (3), 175-180.
- Sheen, S. J. (1991). Comparison of chemical and functional properties of soluble leaf proteins from four plant species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, (4), 681-685.
- Spreitzer R. J., & Salvucci, M. E. (2002). RUBISCO: Structure, Regulatory Interactions, and Possibilities for a Better Enzyme. *Annual Review of Plant Biology*, 53, (1), 449-475.
- Tamayo Tenorio, A., Gieteling, J., de Jong, G. A. H., Boom, R. M. & van der Goot, J. A. (2016). Recovery of Protein from Green Leaves: Overview of Crucial Steps for Utilisation. *Food Chemistry*, 203, 402-408.
- Teixeira, E.M., Carvalho, M.R., Neves, V.A., Silva, M.A., Arantes-Pereira, L., 2014. Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* Lam. leaves. *Food Chemistry*, 147:51-54.
- Warren, C., Adams, M., & Chen, Z. (2000). Is photosynthesis related to concentration of nitrogen and Rubisco in leaves of Australian native plants? *Functional Plant Biology*, 27, 407-416.
- Witt, K.A., 2013. The nutrient content of *Moringa oleifera* leaves, Ecocommunity. <https://www.echocommunity.org/resources/a7ee06e3-40f2-4ef0-859e-4e64b90a56c8>
- Ziani, B. E. C., Rached, W., Bachari, K., Alves, M. J. Calhelha, R. C., Barros, L. & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Detailed Chemical Composition and Functional Properties of *Ammodaucus Leucotrichus* Cross. & Dur. and *Moringa Oleifera* Lamarck. *Journal of Functional Foods*, 53, 237-247.

Chapitre II.3. Valeurs nutritionnelles et acceptation par le consommateur de biscuits enrichis en *Moringa oleifera*.

Article 3: *Moringa oleifera* supplemented biscuits: nutritional values and consumer segmentation (Annexe 2)

[Accepté à South African Journal of Botany]

Amel Hedhili^{a,b,*}, Samuel Lubbers^b, Elias Bou-Maroun^b, Francine Griffon^a, Babatope Ebenezer Akinyemi^c, Florence Husson^b, Dominique Valentin^a

^a: Centre des Sciences du Goût et de l'Alimentation, AgroSup Dijon, CNRS, INRAE, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

^b: Univ. Bourgogne Franche-Comté, AgroSup Dijon, PAM UMR A 02.102, F-21000 Dijon, France

^c: Department of Agricultural Economics & Extension. University of Fort Hare, Alice, 5700, South Africa

Abstract

Moringa oleifera is a nutrient-rich plant, known as a miracle tree, and commonly used as a food supplement. Despite its popularity, there are scant empirical findings on its real nutritional benefits and acceptance among consumers when added to food. To fill this gap, we added Moringa Dried Leaves (MDL) to biscuits. A consumer test was implemented to study the sensory properties of the biscuits. Nutritional properties, including in vitro protein digestibility, and physical properties were also investigated. Global liking indicates the segmentation of consumers into two clusters and confirmed heterogeneity. Cluster 1 consumers disliked the supplemented biscuits and cited dark green color and texture as the main reasons for dislike. Conversely, cluster 2 consumers, who were much younger, liked the supplemented biscuits due to their adventurous taste for novel products. Nutritional analysis revealed that the incorporation of MDL to biscuits increased their iron and proteins but led to incomplete protein digestion especially for biscuits with high supplementation. In addition, vitamin A derived from MDL was degraded during baking. The biscuit with the highest acceptability and digestion (C1) would increase protein intake only slightly but provide essential amino acids, which are deficient in wheat flour. These findings, confirm that there is a limit to further increasing the amount of MDL added to foods in order to provide more nutrients. In addition, it is recommended that Moringa supplemented products should be advertised with caution in order not to mislead the consumers.

Keywords: Moringa Dried Leaves (MDL); Hedonic test; Consumer segmentation; Open-ended questions; In vitro digestibility; Proximate analysis

Highlights

- The Moringa supplemented biscuit's color and texture constitute barriers to consumer acceptance
- Segmentation of consumer liking confirmed heterogeneity among consumers
- The Moringa supplemented biscuit is rich in iron but deficient in vitamins
- In vitro protein digestibility (IVPD) of the high supplemented biscuit is incomplete

1. Introduction

The *Moringa oleifera* tree is universally known as a miracle plant. This plant derived its name from the fact that all its parts (leaves, seeds, flowers etc.) can be used as nutritional supplement, medicine, water purifier and animal fodder (Daba, 2016). Native to northern India, *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) is now cultivated in many subtropical regions in Africa, tropical America, Mexico, Malaysia, and the Philippines (Adeyemi et al., 2014; Fahey, 2005). Several studies have shown that *Moringa oleifera* leaves are a rich source of certain macro and micronutrients. Sánchez-Machado et al. (2010) reported that Moringa plant contains a high percentage of essential amino acids in green leaves. While Siddhuraju and Becker (2003) and Sreelatha and Padma (2009) have also reported antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaves. The leaves of Moringa have also been found to contain important amounts of calcium, potassium, magnesium, vitamin A, C and E (Hekmat et al., 2015). Witt's (2013) meta-analysis of 49 scientific articles summarizes the nutritional composition of Moringa dried leaves (MDL). It shows that in 100 g of MDL there are 24 ± 5.8 g of proteins, 36 ± 9.2 g of carbohydrates, 6 ± 2.5 g of fat, 20.6 to 28.6 g of fiber, 32.5 ± 10.8 mg of iron, and 3639 ± 1980 μ g of vitamin A.

Currently, the use of *Moringa oleifera* as a nutrient-rich plant for food supplementation is getting much attention. It was first used in India before it was later exported to African countries where it was incorporated in traditional foods such as amala, a starchy meal in Nigeria and Ghana (Oyeyinka and Oyeyinka, 2016). In developed countries, for instance in Europe, *Moringa oleifera* is marketed as a “superfood” for a wide range of health benefits such as high level of antioxidant activity (Bruins et al., 2018). The importation of Moringa to Europe was estimated between 100 and 200 tons in 2017 and the main market destinations are the United Kingdom, Germany, and France (CBI, 2019).

Many scientific studies have shown that the supplementation of staple foods such as bread, cheese, yoghurt, and biscuits with MDL improve their nutritional properties (Dachana et al., 2010; Hekmat et al., 2015; Salem et al., 2013; Sengev, Abu, & Gernah, 2013). Biscuits is one of the most popular bakery products in the human diet due to many characteristics such

as palatability, convenience, ready-to-eat, affordability and longer shelf-life in comparison to the other bakery products (Arshad et al., 2007; Nagi et al., 2012). It is also widely accepted and consumed in many countries, which makes it a viable supplementation vehicle for nutritional improvement of vital nutrients like protein, dietary fibers and functional ingredients (Sulieman et al., 2019).

In previous studies, MDL were incorporated in biscuits with levels varying from 3% to 15% and results showed that this supplementation increased protein, fiber, b-carotene (Dachana et al., 2010; Mouminah, 2019), and minerals (Fe, Ca, Mg, P and K) composition of biscuits (Abdel-Samie and Abdulla, 2014). The incorporation of Moringa also has an impact on the physical and sensory properties of biscuits. Physical properties such as diameter and thickness changed depending on the amount of MDL added and breaking force significantly increased with the concentration of Moringa (Dachana et al., 2010). Previous studies that focused on sensory evaluation showed that biscuits were acceptable up to 9% or 10% of Moringa supplementation respectively (Abdel-Samie and Abdulla, 2014; Dachana et al., 2010). Lee et al. (2014) revealed that the typical leafy flavor and slightly bitter taste decreased the consumer acceptance of a product supplemented with leaves. Furthermore, Dachana et al. (2010) observed that the addition of MDL to cookies resulted in darker samples, which can lead to a lower consumer acceptance. This finding is in agreement with Ramota et al. (2013) who state that MDL has a deep green color, which may be attributed to its high chlorophyll content and may strongly mask the color of original foods.

In contrast, a study carried out by Ramaroson et al. (2014) in Madagascar showed that the Moringa green color is not always a problem when added to food. Cassava root cakes were supplemented with MDL and presented to children who had to score their overall liking of the samples. At the end of the experience, children chose one of the products as a reward for their participation. Results showed that the product containing the highest proportion of Moringa received high liking score and was chosen as reward by a majority of the children despite its greener color, which demonstrated that color was not a barrier to

children acceptance in the study. This result suggests that there might be inter-individual difference between consumers in terms of acceptance.

Previous studies investigated consumer preferences without examining the underlining heterogeneity that might exist among consumers due to individual peculiarity (Abdel-Samie and Abdulla, 2014; Dachana et al., 2010; Rathnayake and Navarathna, 2017). Hence, the first objective of this study was to implement sensory analysis in order to gain understanding of heterogeneity in consumer preferences of Moringa supplemented biscuits by looking at inter-individual differences among the study participants.

Another potential limitation of the use of Moringa for food supplementation is that most of the reported evidence do not take into account the effect of processing on nutritional compounds and/or of the bio-availability of these compounds. Furthermore, the few studies which explored this last point are far from being consensual. For example, a study carried out by Teixeira et al (2014), showed that the in vitro protein digestibility (IVPD) of MDL was 33.29% whereas a previous study comparing the IVPD in thirteen plants species reported a value of 74.2% of IVPD of MDL (Ly et al., 2001). The second goal of this study was to investigate the level of nutritional improvement of biscuits due to Moringa supplementation.

To achieve these objectives, our study asked and offered answers to four questions, namely: (1) Did the incorporation of MDL in biscuits improve their nutritional properties and affect their IVPD? (2) What is the contribution of biscuits containing MDL in recommended daily requirement? (3) Did the incorporation of MDL in biscuits affect the physical properties of biscuits? (4) What is the effect of supplementation with MDL on sensory properties of biscuits and consumer acceptance?

2. Materials and methods

2.1. Biscuit preparation

All ingredients (Wheat flour T-45, sugar, shortening, salt and baking powder) used to produce the biscuits were purchased from local supermarket Carrefour®, Dijon, France. MDL were purchased in Dijon, France.

Three experimental biscuits (C1, C2, and C3) were prepared by supplementing a control biscuit (C0) with different amounts of MDL. The control biscuit was made of 100 g wheat flour, 30 g sugar powder, 30 g shortening, 2.5 g baking powder, 0.5 g salt, and water. A proportion of 10%, 20% and 30% of MDL, respectively was added to the base recipe to obtain supplemented biscuits C1, C2 and C3, respectively.

Wheat flour and MDL were sieved before mixing with shortening until homogeneous lumps were formed. Then, sugar, salt and baking powder were added. The mixture was mixed at low speed with a pastry robot for 10 min with a stop every 2 min. Water was added gradually and mixed for 2 min at low speed. The dough was wrapped in stretch film and refrigerated at 4 °C for 20 min. After 20 minutes, the dough was placed on a lightly floured biscuit sheet. The prepared dough was rolled to a thickness of 4mm and cut using a circular shape of 3 cm in diameter. The biscuits were baked at 180 °C for 20 min. After baking, the biscuits were cooled down to room temperature and kept in airtight food plastic boxes. Fig. 1 shows the control biscuit (C0) and the biscuits supplemented with the three levels of MDL (C1 to C3).



Fig. 1 Photographs of control biscuit (C0) and Moringa supplemented biscuits (C1, C2 and C3)

2.2. Proximate analysis

All reagents and chemicals used for the proximate analysis were purchased from Sigma Aldrich® (France) and were of analytical grade. Biscuit samples were analyzed in triplicate for moisture, proteins, vitamin A and iron. Moisture content was determined according to AOAC (2011). Crude proteins were determined according to *Kjeldahl* method. The proteins content was obtained using the conversion factor 4.4 (factor used for tropical plant samples) (Ramaroson et al., 2014). Vitamin A content was determined using the method of vitamin A (Retinol) in foods (AOAC, 2001). Iron content was obtained following the method of determination of trace elements by atomic absorption spectrometry (French standard 14082, 2003).

2.3. *In vitro* protein digestibility (IVPD)

Pepsin (from porcine stomach mucosa, >2500 U/mg protein), pancreatin (from porcine pancreas, 4 × USP), casein sodium salt from bovine milk (C-8654) and TAME (p-Toluene-Sulfonyl-L-arginine methyl ester; T4626) were purchased from Sigma-Aldrich (France). *In vitro* digestibility was carried out according to the method of Minekus et al. (2014) with some modifications. Analysis was done in duplicate. In addition, 1 g of MDL or 1 g of biscuit was prepared in 10 mL of solution then 8 mL of simulated gastric fluid (SGF) electrolyte solution was added. To this mixture 1.6 mL of porcine pepsin solution (25.000 U/mL) and 5 µL of 0.3 M CaCl₂ were added. The pH of the mixture was adjusted to 3.0. The solution was incubated for 120 min at 37 °C under continuous stirring at 170 rpm. After gastric digestion, gastric chime was mixed with 11 mL of simulated intestinal fluid (SIF). To this solution, 736 mg of the pancreatic enzyme and 40 µL of 0.3 M CaCl₂ were added and the final volume was completed to 40 mL by SIF solution. The pH of the mixture was adjusted to 7.0. The final solution was incubated for 120 min at 37 °C with stirring. To determine the nitrogen release in the samples, the trichloroacetic acid (TCA) precipitation method was used. Aliquots of 10 mL of the withdrawn digestion mixture were mixed with 10 mL of 10% TCA solution. The mixtures were mixed and then centrifuged (8000 g, 10 min). The nitrogen content of the resulting supernatants was determined by the *Kjeldahl* method. The

percentage of soluble nitrogen released during the digestion process was calculated using the following equation (Teixeira et al., 2014).

$$\% \text{ Enzymatic Hydrolysis (\%EH)} = \frac{\text{amount of protein after digestion}}{\text{total amount of protein}} * 100$$

The percentage of digestibility of the proteins was deduced from the digestibility of the casein considered as standard (100%) (Teixeira et al., 2014).

2.4. Physical characteristics of biscuits

2.4.1. Diameter, thickness and spread ratio

Diameter (mm), thickness (mm) and spread ratio of samples were measured in triplicate following the method of Ganorkar and Jain (2014). To determine biscuit diameter, six biscuits were placed edge to edge and the total diameter was measured in mm by a Vernier caliper. Then biscuits were rotated at an angle 90° for triplicate measure. The average diameter was reported in mm. Six biscuits were placed on top of one another to determine thickness. The total height was measured and the average was presented in mm. Spread ratio was calculated as: spread ratio = Average diameter / Average thickness * 10.

2.4.2. Breaking force

A three-point bend test was used to estimate the biscuits breaking force as an indicator of hardness using a texture analyzer TA-TX2 equipped with a 25 kg load cell. The peak breaking force (N) of biscuits using the force in compression was recorded. Biscuit samples were placed on base beams with a distance of 1.8 cm between the two beams. A three point-bending rig was used with an HDP/3PB, knife-edge probe. The analyzer was set at a return-to-start cycle with a pretest speed of 2 mm/s, a test speed of 2 mm/s, and a post-test speed of 10 mm/s. The trigger was 20 g and distance of 10 mm. Analysis was done in triplicate.

2.4.3 Color measurement

Color attributes of biscuits supplemented with MDL (L*, a* and b*) were measured in triplicate using Hunter Lab color analyzer (HunterLab Color Flex EZ, USA). The L* value (lightness index scale) ranges from 0 (black) to 100 (white) while, a* value indicates the

redness (+a*) or greenness (-a*) and the b* value refers to the yellowness (+b*) or blue (-b*). The petri dish containing sample was placed directly on the colorimeter sensor.

2.5. Sensory evaluation

2.5.1. Consumers

The consumer panel consisted of 91 students and staff members from the University of Burgundy (73.63% Women – 26.37% Men; 74.63% <30 years and 25.27% >30 years). To ensure a larger generalizability of the results no constraint was placed on the nationality of consumers: 75.82% were French, 10.99% were African, 5.49% were European other than French and 7.69% Asian.

2.5.2. Experimental conditions

Consumers were provided with information about the study, following which they completed an informed consent form in keeping with French ethical requirements. The consumers tasted the samples in a sensory evaluation room at Agrosup Dijon. The biscuits were served in covered white plastic cups coded with a three-digit random number. Two series of four samples (C0, C1, C2, and C3) each were presented on a tray. Different random codes and different presentation orders were used for the two series. The presentation order followed Williams' Latin squares. Consumers were not aware that the biscuits in the two series were the same. Bottled water was provided for palate cleansing. The questionnaire was written in French language and explained in English when necessary.

2.5.3. Procedure

The consumer test included two steps. During the first step, consumers were instructed to taste the first series of samples from left to right. They had to rate the overall liking of each sample on a structured scale ranging from 1 (I do not like at all) to 7 (I like it a lot) with 4 being anchored as neither like nor dislike. Before proceeding to the next samples, consumers were asked to write down what they liked and what they disliked about the sample

(Symoneaux and Galmarini, 2014). During the second step, consumers were then asked to taste the second series of biscuits and evaluate the appearance, odor, taste and texture of the samples using 7-points hedonic scales. Consumers could answer either in French or in English as they wished. Throughout tasting, consumers were told to drink the water provided to ensure palate cleansing.

2.6. Statistical Analysis

2.6.1 Chemical composition

Data were analyzed using one-way Analysis of Variance (ANOVA) with sample as fixed factor and protein, moisture, iron, vitamin A, thickness, diameter, spread ratio, breaking force, a^* , b^* , L^* , as dependent variables. When a significant sample effect was obtained, a Student Neuman-Keuls pair comparison test was applied ($\alpha = 5\%$).

2.6.2. Sensory evaluation

Principal Component Analysis (PCA) was performed on the consumer \times biscuit global liking scores to evaluate the agreement among consumers' judgments. Consumer segmentation was then obtained by performing a Hierarchical Cluster Analysis (HCA) of the coordinates of the consumers on the first two dimensions of the PCA. A Euclidean distance and a Ward aggregation criteria were used for the HCA.

For each consumer cluster generated by the HCA, an ANOVA was performed on all hedonic scales (global liking, appearance, odor, taste, texture) considering consumer as random factor and samples as fixed factor. When a significant effect of sample was obtained a Student Neuman-Keuls (SNK) pair comparison test was applied with an alpha risk of 5%.

The open-ended question was analyzed by grouping terms with similar meaning. This was done by two researchers. For each cluster, we computed the number of consumers who used each term to describe what they liked and disliked in each biscuit. Only terms used by more than two consumers were considered in the rest of the analysis. A correspondence analysis was performed to visualize the relationship between the samples and the descriptions.

3. Results

3.1 Biscuits characterization

3.1.1 Proximate analysis

Protein, iron, vitamin A content and moisture of raw MDL and MDL supplemented biscuits are presented in Table 1. The analysis of the raw MDL revealed a content of 4.48 g of moisture, 20.7 g of protein, 11.77 mg of iron, 0.14 mg of vitamin A in 100 g of powder. These results are within the range of the percentage of protein (18.2 - 29.8 g/100 g of MDL) reported in Witt's meta-analysis. However, the percentage of iron content is lower than the values given by this meta-analysis (21.72 - 43.28 mg / 100 g of MDL). The vitamin A content in C1, C2 and C3 are below the detection limit. This result suggests that vitamin A was degraded during baking.

The ANOVA result showed a significant effect of MDL concentration on moisture ($F(3; 8) = 129.99, p < 0.0001$), protein ($F(3; 8) = 79.57, p < 0.0001$) and iron ($F(3; 8) = 708.63, p < 0.0001$) composition of biscuits. The pair comparison test indicates that the control biscuit C0 is significantly different in moisture content from the biscuits containing MDL. The amount of moisture increases with the concentration of MDL. The gradual increase of MDL concentration added to biscuits also caused a gradual increase in protein content. The pair comparison test, revealed a significant difference between the control C0 and all other biscuits. Thereby, a substitution of wheat flour with MDL (from 10 to 30%) increases the protein content in biscuit by plus 10, 17, and 21% (for C1, C2 and C3 respectively) based on the control biscuit. Finally, the addition of MDL increases significantly the biscuit iron content from 0.85 mg/100 g (biscuit C1) to 2.46 mg/100 g (biscuit C3). The pair comparison shows a significant difference between all biscuits.

Table 1 Physico-chemical characteristics of MDL powder and MDL supplemented biscuits

	MDL	C0 (0% MDL)	C1 (10% MDL)	C2 (20% MDL)	C3 (30% MDL)
Moisture (g/100g)	4.48 ± 0.03	3.78 ± 0.11 ^b	2.71 ± 0.09 ^a	4.19 ± 0.05 ^c	4.64 ± 0.07 ^d
Proteins (g/100g)	20.70 ± 0.91	4.60 ± 0.09 ^a	5.11 ± 0.06 ^b	5.57 ± 0.20 ^c	5.96 ± 0.04 ^d
Iron (mg/100g)	11.77 ± 0.86	0.00 ^a	0.85 ± 0.07 ^b	1.72 ± 0.06 ^c	2.46 ± 0.10 ^d
Vitamin A (mg/100g)	0.14 ± 0.02	-	-	-	-
Thickness (mm)		9.44 ± 0.10 ^d	8.67 ± 0.17 ^c	7.39 ± 0.19 ^b	6.72 ± 0.19 ^a
Diameter (mm)		27.70 ± 0.10 ^a	27.47 ± 0.29 ^a	27.67 ± 0.15 ^a	28.83 ± 0.12 ^b
Spread ratio		29.33 ± 0.40 ^a	31.70 ± 0.92 ^b	37.46 ± 1.05 ^c	42.92 ± 1.34 ^d
Breaking force (Kg)		3.08 ± 0.40 ^a	7.78 ± 0.76 ^b	7.93 ± 0.41 ^b	15.44 ± 1.03 ^c
L*		75.06 ± 3.08 ^d	53.59 ± 1.29 ^c	44.92 ± 0.48 ^b	41.67 ± 0.74 ^a
a*		1.90 ± 0.03 ^c	-0.13 ± 0.01 ^b	-0.27 ± 0.01 ^b	-1.53 ± 0.41 ^a
b*		21.43 ± 1.17 ^d	16.78 ± 0.57 ^c	10.16 ± 0.88 ^b	7.25 ± 0.29 ^a

MDL: Moringa Dried Leaves. Values represent mean ± SD of triplicate assays. Means ± SD with the same letter are not significantly different at an alpha risk of 5%.

3.1.2 *In vitro* protein digestibility (IVPD)

The percentage of enzymatic hydrolysis (%EH) of casein is 92%, which corresponds to the expected 100% of IVPD of casein and thus validates our protocol. For raw MDL we obtained 57% of IVPD. The IVPD of biscuit C1 (84%) was higher than the control biscuit C0 (47%). Then, the IVPD decreased from C1, to C2 (58%), to C3 (54%).

3.1.3 Biscuit physical properties

The analysis of the physical characteristics of the supplemented biscuits is presented in Table 1. The ANOVA indicates that there is a significant difference between biscuits for all parameters. A significant decrease in thickness was observed with the increase in MDL concentration ($F(3; 8) = 162.88$; $p < 0.0001$). The biscuit containing the highest concentration

of MDL (C3) exhibited the lowest thickness of 6.72 ± 0.19 mm, whereas the control biscuit (C0) showed the highest thickness of 9.44 ± 0.10 mm.

The diameter of the C3 biscuit was significantly higher ($F(3; 8) = 35.45$; $p < 0.0001$) than the diameter of the control sample while no significant difference was observed among C0, C1 and C2 samples. The spread ratio also increased significantly as the level of MDL added to the biscuit increased ($F(3; 8) = 113.86$; $p < 0.0001$).

The breaking force increased significantly with the concentration of MDL ($F(3; 8) = 160.05$; $p < 0.0001$). A weight of 15.44 kg was necessary to break the biscuit with the highest MDL concentration (C3), whereas, only 3.08 kg was necessary to break the biscuit without MDL. The pair comparison test showed no significant difference between samples C1 and C2.

The impact of incorporation of MDL on biscuit color parameters is presented in Table 1. The ANOVA showed a significant effect of MDL on L^* values ($F(3; 8) = 227.01$; $p < 0.0001$). The SNK test showed that the lightness parameter significantly decreased (from 75.06 to 41.67) with increase in MDL concentration: The more the quantity of MDL added to the control sample, the darker the biscuits. The a^* value parameter also reflects a significant effect ($F(3; 8) = 141.71$; $p < 0.0001$) on biscuits containing MDL. The increase of MDL concentration moved biscuits from the red color area ($+a^*$) to the green color area ($-a^*$). For C0, an a^* value of +1.9 was observed, while the a^* values of C1, C2 and C3 were respectively -0.13; -0.27; -1.53. The pair comparison test shows no difference between C1 and C2 in term of a^* . The ANOVA showed that the b^* value decreased significantly ($F(3; 8) = 192.37$; $p < 0.0001$) from C0 to C3 (21.43 to 7.25) indicating that with the addition of MDL, biscuits had a dark blue color.

3.2. Sensory evaluation results

3.2.1. Consumer segmentation

The first two Principal Components (PC) of the PCA explain 74.9% of the total variance of the overall liking scores (Fig. 2a and 2b). All four samples load positively on the first PC (53.4%). Consumers that are positively correlated with this component tend to like better

the supplemented biscuits than other consumers. The second PC (21.5%) opposes samples C0 and C3. Consumers that are positively correlated with this PC preferred sample C3 to sample C0 and conversely, consumers negatively correlated with this PC preferred sample C0 to sample C3.

The HCA separated the consumers into two clusters (Fig. 2b). Consumers from cluster 1 (N=49) tend to like the biscuits less than consumers from cluster 2 (N=42). The two clusters differ significantly in term of consumers' age ($F(1; 89) = 5.53; p < 0.0209$). Consumers in cluster 2 are much younger (median age = 24.5) than the consumers in cluster 1 (median age = 26). No significant difference was observed in term of nationality ($\chi^2 = 1.33$) or gender ($\chi^2 = 0.26$).

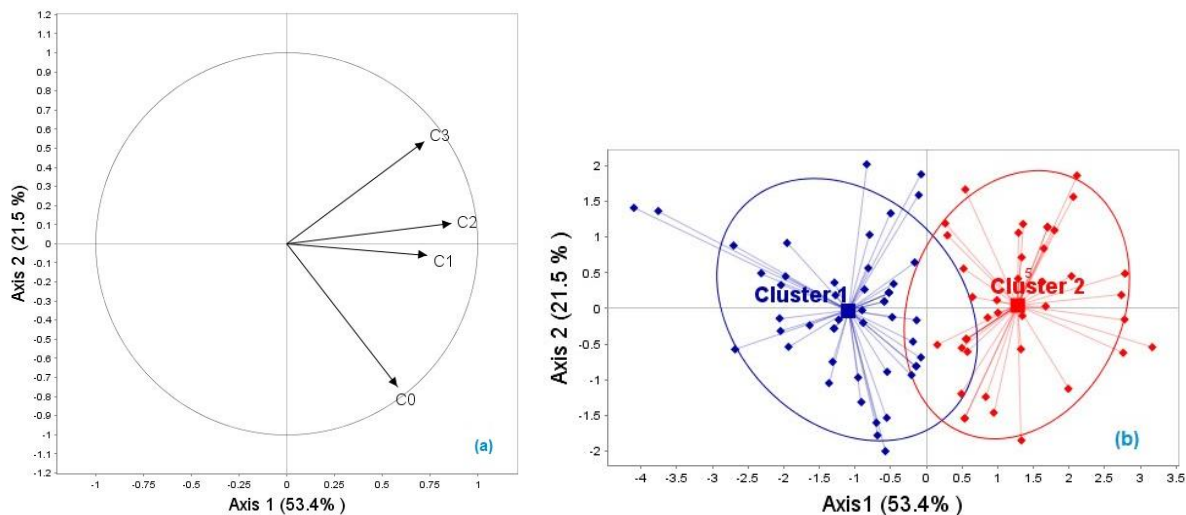


Fig. 2 Principal Components Analysis (PCA) of the consumers global liking scores. The left panel (a) represents the loading of the samples and the right panel (b) the projection of the consumers. The dot colors and the ellipses represent the two clusters yielded by the Hierarchical Cluster Analysis (HCA)

Fig 3a and b represent the global liking score distributions for cluster 1 and 2. Consumers from cluster 1 (Fig. 3a) accepted only the control biscuit C0 (median = 5). Seventy-five percent of consumers rated the C1 biscuit between 2 and 4 with a median of 4.3. For C2 and C3 products, all scores were below 4 with a median of 3 and 2 respectively. Consumers from cluster 2 (Fig. 3b) liked better the biscuits containing MDL than consumers from cluster 1

(average score > 4). For the C0 product, 75% of consumers had liking scores greater than 5 with a median of 6. For product C1 and C2, 50% of consumers had scores between 5 and 6 and 4 and 5 with medians equal to 6 and 5 respectively. The liking scores for C3 were more variable with some consumers clearly disliking this biscuit (scores close to 1) and other liking it (scores equal to 6).

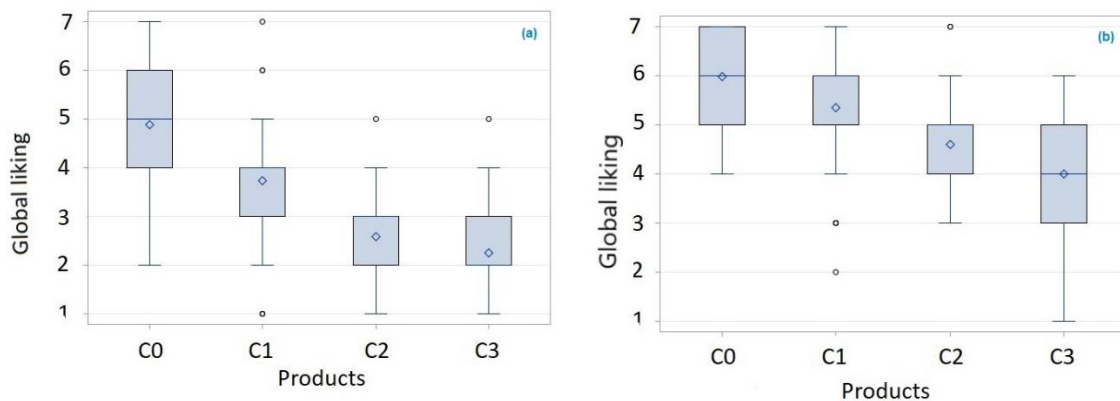


Fig. 3 Boxplots representing the frequency counts of global liking scores for consumers from cluster 1(a) and cluster 2(b)

3.2.2. Effect of Moringa content on overall, appearance, texture, smell and taste liking scores

ANOVA and pairwise comparison tests were carried out separately for each cluster and each rating scale (Table 2). A sample effect was observed in both clusters for each rating scale. This effect is, however, stronger in the first cluster than in the second one. In both clusters, appearance is the factor that affects the liking of the biscuit the most ($R^2 = 0.76$ and 0.71 for cluster 1 and 2 respectively). In the first cluster, texture is the factor that has least effects on the liking of the biscuit. The other scales have comparable effects. In the second cluster, texture influences the liking scores more than taste and odor, which is the least impacting factor.

The pair comparison indicates that for both clusters and all liking scales the control biscuit is significantly preferred to the MDL supplemented biscuits. In the first cluster, C2 and C3 are not significantly different for global liking, odor, and texture scale. A significant

difference was observed for appearance and taste. In the second cluster, we observe significant differences between all samples for all scales but odors.

Table 2 One-way repeated measure ANOVA with consumers as a random factor, samples as a fixed factor and liking scores as dependent variables.

Cluster 1	F	P	R²	C0	C1	C2	C3
Global liking	66.10	0.0001	0.65	4.9 ^a	3.7 ^b	2.6 ^c	2.4 ^c
Appearance	94.70	0.0001	0.76	5.6 ^a	3.9 ^b	3.0 ^c	2.3 ^d
Odor	45.69	0.0001	0.65	4.5 ^a	3.2 ^b	2.6 ^c	2.4 ^c
Texture	30.90	0.0001	0.60	5.3 ^a	4.7 ^b	3.4 ^c	3.4 ^c
Taste	69.20	0.0001	0.67	5.2 ^a	3.8 ^b	2.6 ^c	2.2 ^d
Cluster 2							
Global liking	24.60	0.0001	0.47	6.0 ^a	5.3 ^b	4.6 ^c	4.0 ^d
Appearance	54.97	0.0001	0.71	5.7 ^a	4.7 ^b	3.7 ^c	3.1 ^d
Odor	17.98	0.0001	0.48	5.2 ^a	4.0 ^b	3.7 ^{bc}	3.3 ^c
Texture	30.70	0.0001	0.61	6.0 ^a	5.4 ^b	4.1 ^c	3.9 ^c
Taste	27.39	0.0001	0.56	5.9 ^a	5.1 ^b	4.3 ^c	3.7 ^d

Means with the same letter are not significantly different at an alpha risk of 5%.

3.2.3. Analysis of open-ended question

We represented the frequencies of positive and negative terms as word clouds separately for each cluster (Fig. 4). For cluster 1, (consumers who liked less the Moringa supplemented biscuits) the most frequent word used to describe what consumers liked in the four samples is a texture term: crunchy. Consumers liked also the taste, especially the sweetness of the control sample as well as its color. On the negative side, they found it bland. Color was the most frequently used term to describe what consumers disliked in the samples supplemented with MDL. The term too hard was also mentioned for samples C2 and C3 followed by vegetal. For sample C3, terms frequently mentioned include odor, spinach, unpleasant, too strong, and bitter.

For Cluster 2, (consumers who liked more the MDL supplemented biscuits) crunchy was frequently used to describe the positive aspects of the four biscuits as for cluster 1. Sweet and color were also mentioned frequently for C0 whereas new terms appear to describe what consumers liked in the MDL supplemented biscuit such as taste, sweet, color and crispy for sample C1. Cluster 2 consumers also appreciated the originality of the MDL supplemented biscuits, especially in sample C3.

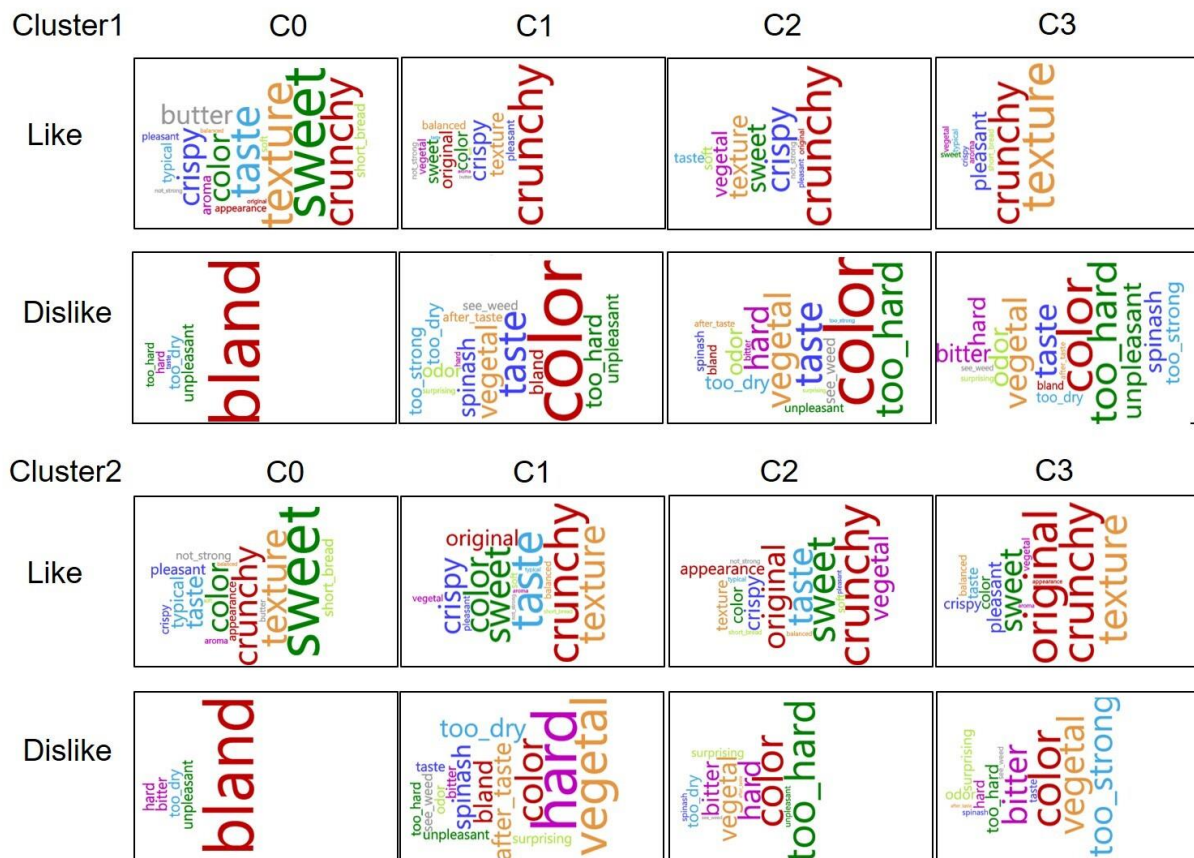


Fig. 4 Word clouds of the terms generated by the consumers from the two clusters to describe what they liked and disliked in the samples. The size of the words in this representation is proportional to their use: the larger the word size, the higher the frequency of occurrence

Finally, the term vegetal was mentioned among the positive aspects of sample C2. For the negative side, as in cluster 1, consumers cited the term bland for sample C0. For the other samples, color was much less cited than in cluster 1. For sample C1 the most frequent term was vegetal. After-taste and spinach were also important for this sample. C2 was

characterized mostly by the term too hard, followed by color, vegetal and bitter. C3 was perceived as having a taste that is too strong in addition to being vegetal and bitter. Color was also cited but in a lesser extent than for samples C2 and C1.

Fig. 5 shows the first two dimensions (71.5% of the variance) of the CA carried out on the term frequency counts. For both clusters, the first dimension (55.5%) opposes the control sample to the MDL supplemented samples. In both clusters, the control sample is positively perceived except for the term bland whereas the MDL supplemented samples have negative global perception among consumers. The second dimension opposes the two clusters. The difference between the clusters increases with the proportion of MDL included in the biscuit. In cluster 1, the MDL supplemented biscuits attracted mostly negative terms, whereas in cluster 2 some positive terms were associated to these biscuits. Sample C1 attracted terms such as pleasant and balanced and samples C2 and C3 were positively associated with terms such as vegetal and original. Consumers in this group diverge somewhat in their appreciation of sample C3. While some consumers liked its originality and its vegetal character, others were less positive and associated it with negative surprise, bitterness and find its taste too strong.

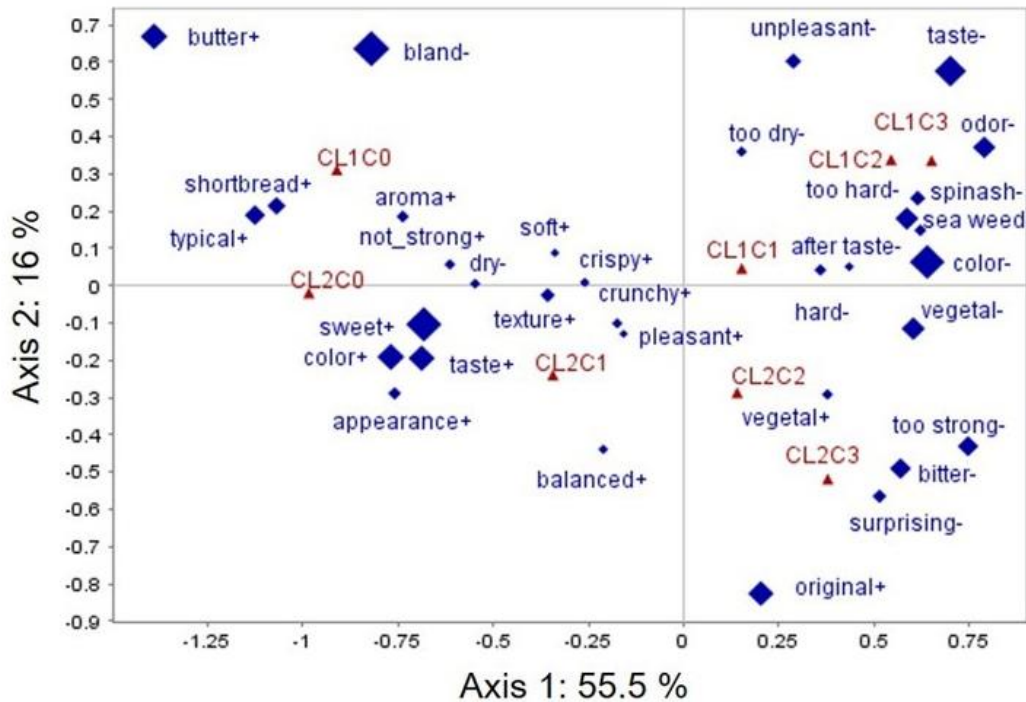


Fig. 5 First 2-dimensional space of the correspondence analysis of the terms generated by the consumers to describe what they like and dislike in the biscuits. The size of the diamonds is proportional to the quality of the representation of the terms in the subspace. Terms corresponding to what consumers like are followed by a sign (+) and terms corresponding to what consumers disliked are followed by a sign (-). Only terms used by at least 10% of consumers have been kept. Sample descriptions obtained for consumers from cluster 1 are denoted by CL1 before the code of the samples and sample descriptions obtained for consumers from cluster 2 are denoted by CL2 before the code of the samples

4. Discussion

The first objective of this work was to implement sensory analysis in order to gain understanding of heterogeneity in consumer preferences of Moringa supplemented biscuits. Secondly, this study also investigated nutritional enrichment of biscuits supplemented with Moringa.

4.1 Effects of MDL supplementation on biscuits nutritional properties and IVPD

Although raw MDL contain vitamin A, this compound was degraded during the baking process. In order to avoid this loss, one solution could be to incorporate MDL after the cooking process (e.g. soup, sauce) or in raw products (e.g. salad). However, this solution may lead to nutritional or sensory related problems. Findings from the sensory analysis revealed that MDL had a pronounced vegetal taste, which is unpleasant when eaten raw. Previous studies showed that heat processing was an effective method to inactivate anti-nutritional factors of most tropical legumes. The inactivation of trypsin inhibitor, for example, makes protein more susceptible to enzymatic digestion (Akande and Fabiyi, 2010). Therefore, another solution could be to use cooking processes with low heating impact in order to find a trade-off between all these criteria.

Although, in agreement with previous work (Dachana et al., 2010; Mouminah, 2019; Rathnayake and Navarathna, 2017), the addition of MDL increased protein and iron content of biscuits, only a percentage of these proteins were digested. With our IVPD protocol (gastric digestion 2h; intestinal digestion 2h), 57% of the proteins of raw MDL was digested. This value is within the range of IVPD values reported by Teixeira et al. (2013) (33.3%) and Ly et al. (2001) (74.2%). This difference in percentage of IVPD can be explained by the difference in experimental conditions where, for example, for Teixeira et al. (2013) the gastric digestion takes 3h and the intestinal digestion takes 1h.

Moreover, with respect to the IVPD of biscuits, the results showed that the biscuit sample which had the lowest concentration of MDL (C1), had the highest IVPD of 84%. Beyond this concentration, the IVPD decreases when the protein concentration in biscuits increases. This decrease of digestibility could be explained by an incomplete enzymatic hydrolysis of proteins due to insufficiency of digestion time or enzyme concentration. Nevertheless, Boisen and Fernandez (1995) confirmed that *in vitro* digestibility can predict *in vivo* ideal digestibility. Thus, the appropriate solution is maybe to avoid incorporating a fairly large amount of MDL in the biscuit in order to optimize their digestibility and their benefits.

4.2. Contribution of supplemented biscuit to recommended daily requirement

In order to determine the contribution of biscuits containing MDL to the recommended daily requirement, we chose the C1 biscuit, which is the best digested and the most widely accepted by consumers. So, 100 g of biscuit C1 (10%MDL; 84%IVPD) /day provide about 0.85 mg of iron and 5.11 g of proteins. Compared with the recommended daily requirement of adults (11 mg of iron /day and 0.83 g of protein/kg/day (ANSES, 2016), the consumption of 100 g of biscuits C1/ day would provide 7.7% of the iron. For protein, this consumption provides just 8.5% of the protein after digestion (for an adult weighting 60 kg). Despite this rather low percentage of protein intake, the leaves of Moringa contain the eight essential amino acids among which the most abundant is leucine and the least abundant is methionine (Ramaroson et al., 2014). Wheat protein have a lower nutritional quality since they are deficient in essential amino acids such as lysine and threonine (Dewettinck et al., 2008; Ndife et al., 2011). Combining MDL with wheat flour products can improve essentials amino acids composition.

4.3. Effects of MDL supplementation on physical properties of biscuits

The incorporation of MDL in biscuits impacts also the physical properties of biscuits, as thickness decreases. This change is due to the reduction of the percentage of gluten contained in the blend. It has been reported by Sengeev, Abu, & Gernah, (2013) that partial replacement of wheat flour with non-glutinous flour results in lower bread volumes. Gluten is the main structure-forming protein in flour. It is responsible for the elastic and extensible properties needed to produce good quality bread (Greene and Bovell-Benjamin, 2004). In addition, the breaking force increases when the percentage of MDL incorporated in the biscuits increases. This explains why the texture of the supplemented biscuit was affected by the addition of MDL. This result is in line with Galla et al. (2017) who show that the increase of leafy spinach in biscuits increases hardness and breaking strength. All of these changes and constraints confirm that there is a limit to further increasing the amount of MDL in the biscuit in order to provide more nutrients.

4.4. Effects of MDL supplementation on biscuit sensory properties and consumer acceptance

The results of this study show that the global liking of biscuits containing MDL was not homogenous. Some consumers (cluster 2) tended to like biscuits containing MDL whereas, other consumers did not accept them (cluster 1). When considering the different sensory modalities, the appearance was the factor that affected the most the global liking of biscuits for both consumer groups. The open-ended question suggests that color is the main visual driver of rejecting biscuits supplemented with MDL: color was clearly disliked by consumers of cluster 1 but less so by consumers from cluster 2. Consumers in cluster 2 were younger than consumers in cluster 1. This age difference perhaps implies that younger consumers are more willing to accept the supplemented biscuit due to their curiosity to test novel products as attested by the high frequency of the term original in this cluster. This interpretation is in line with the study of Ramaroson et al. (2014) carried out in Madagascar. Concerning cluster 1, color hampers consumer's acceptance of MDL supplemented biscuit. This might be explained by the fact that consumers in this cluster were not familiar with the green color brought by MDL. The rejection of MDL supplemented biscuits by these consumers could thus be interpreted in terms of food neophobia, which is the avoidance of, or reluctance to consume novel foods (Aldridge et al., 2009). Texture was also one of the most important drivers of biscuit rejection. The main problem was the hardness of the biscuit: the force needed to break the biscuit sample that had the highest concentration of MDL (C3) was five times higher than the force needed to break the control biscuit. In line with this interpretation, the term too hard was frequently evoked in the open-ended question for MDL supplemented biscuits.

5. Conclusion

The present study showed that the incorporation of MDL in food products like biscuits would encounter several obstacles to consumer acceptance and affect physical properties especially in terms of color (green) and texture (hardness). For nutritional benefits, this fortification can enhance nutritional values such as iron and protein compounds but many constraints and negative effects appear following this incorporation. Protein provided by these biscuits were not completely digested. Besides, due to baking processes, some of the

nutrients from Moringa such as vitamin A can be lost. Therefore, incorporating a high concentration of MDL in biscuits is constrained by a lot of limits as previously explained.

In conclusion, *Moringa oleifera* could be a proper source to enhance nutritional compounds in foods. In addition, some advice can be given to food producers who are interested in food supplementation: it is essential to choose the appropriate product in which to incorporate Moringa leaves to benefit from these dietary advantages with the right quantity without influencing the technological and sensory properties of products, mainly texture and appearance.

Declaration of Competing Interest: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors would like to thank AgroSup Dijon and Embassy of Tunisia in France for the financial support of this work. We gratefully thank Bernadette Rollin, Anne-Sophie Viaux and Christine Rojas for their assistance with the laboratory work. Catalina Onofrei is particularly acknowledged for English proofreading.

References

- Abdel-Samie, M., Abdulla, G., 2014. Effect of *Moringa oleifera* leaves (*Moringa oleifera* Lam.) on some physico-chemical and sensory properties of wheat flour cookies. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 41, 304-315.
- Adeyemi, S.B., Ogundele, K.O., Animasaun, M.A., 2014. Influence of drying methods on the proximate and phytochemical composition of *Moringa oleifera* Lam. *Global Journal of Medicinal Plant Research*, 2, 1-5.
- Akande, K.E.; Fabiyi, E.F., 2010. Effect of processing methods on some antinutritional factors in legume seeds for poultry feeding. *International Journal of Poultry Science*, 9, 966-1001.
- Aldridge, V., Dovey, T.M., Halford, J.C.G., 2009. The role of familiarity in dietary development. *Developmental Review*, 29, 32-44.
- Arshad, M.U., Faqir, M.A., Tahir, Z., 2007. Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry*, 102, 123-128.

ANSES, 2016. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/content/le-fer/> Accessed 2019, November, 18.

Boisen, S., Fernandez, J.A., 1995. Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology*, 51, 29-43.

Bruins, M., Bird, J., Aebischer, C., Eggersdorfer, M., 2018. Considerations for secondary prevention of nutritional deficiencies in high-risk groups in high-income countries. *Nutrients*, 10, 2-15.

CBI, 2019. Centre for the promotion of imports from developing countries, exporting Moringa to Europe. <https://www.cbi.eu/market-information/natural-ingredients-health-products/moringa/> Accessed 2019, September, 07.

Daba, M., 2016. Miracle tree: A review on multi-purposes of *Moringa oleifera* and its implication for climate change mitigation. *Journal of Earth Science & Climatic Change* 7, 366.

Dachana, K.B., Jyotsna, R., Indrani, D., Prakash, J., 2010. Effect of dried Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves on rheological, microstructural, nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. *Journal of Food Quality*, 33, 660-677.

Dewettinck, K.F., Van Bockstaele, B., Kühne, D., Van de Walle, T., Courtens, M., Gellynck, X., 2008. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48, 243-257.

Ganorkar, P.M., Jain, R.K., 2014. Effect of flaxseed incorporation on physical, textural, sensorial and chemical attributes of cookies. *International Food Research Journal*, 21, 1515-1521.

Galla, N.R., Pamidighantam, P.R., Karakala, B., Gurusiddaiah, M.G., Akula, S., 2017. Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 7, 20-26.

Greene, J.L., Bovell-Benjamin, A.C., 2004. Macroscopic and sensory evaluation of bread supplemented with sweet-potato flour. *Journal of Food Science*, 69, 167-173.

Hekmat, S., Kathryn, M., Soltani, M., Robert, G., 2015. Sensory evaluation of locally-grown fruit purees and inulin fibre on probiotic yogurt in Mwanza, Tanzania and the microbial

analysis of probiotic yogurt fortified with *Moringa oleifera*. Journal of Health, Population, and Nutrition, 33, 60-67.

Lee, J., Chambers, D.H., Chambers, E., 2014. A comparison of the flavor of green teas from around the world. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94, 1315-1324.

Ly, J., Samkol, P., Preston, T.R., 2001. Nutritional evaluation of tropical leaves for pigs: Pepsin/pancreatin digestibility of thirteen plant species. Livestock Research for Rural Development. <http://www.lrrd.org/lrrd13/4/ly134a.htm>

Minekus, M., Alming, M., Alvito, P., Balance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., 2014. A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. Food & Function, 5, 1113-1124.

Mouminah, S.H., 2019. Effect of dried *Moringa oleifera* leaves on the nutritional and organoleptic characteristics of cookies. International Journal of Science and Agricultural Environments, 36, 297-302.

Nagi, H.P.S., Kaur, J., Dar, B.N., Sharma, S., 2012. Effect of storage period and packaging on the shelf life of cereal bran incorporated biscuits. American Journal of Food Technology, 7, 301-310.

Ndife, J., Abdulraheem, L.O., Zakari, U.M., 2011. Evaluation of the nutritional and sensory quality of functional breads produced from whole wheat and soya bean flour blends. African Journal of Food Science, 5, 466-472.

Oyeyinka, A.T. Oyeyinka, A.S., 2016. *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17, 127-136.

Ramaroson, R.V., Arvisenet, G., Valentin, D., 2014. Studying the nutritional beliefs and food practices of Malagasy school children parents. A contribution to the understanding of malnutrition in Madagascar. Appetite, 81, 67-75.

Ramota, O., Rowland, M.O., Oyeyinka, S.A., Adewumi, T., 2013. Proximate, mineral and sensory qualities of 'Amala' prepared from Yam flour fortified with Moringa leaf powder. Food Science and Quality Management, 12, 10-22.

Rathnayake, A.R.M.A.N., Navarathna, S.B., 2017. Utilization of *Moringa oleifera* leaves as a functional food ingredient in bakery industry. International Journal of Science and Research, 6, 339-344.

Salem, A.S., Salama, W., El Kebir, G., 2013. Enhancement of nutritional and biological values of Labneh by adding dry leaves of *Moringa oleifera* as innovative dairy products. *World Applied Sciences Journal*, 22, 1594-1602.

Sánchez-Machado, D. I., Núñez-Gastélum, J.A., Cuauhtémoc, R.M., Ramírez-Wong, B., López-Cervantes, J., 2010. Nutritional quality of edible parts of *Moringa oleifera*. *Food Analytical Methods*, 3, 175-180.

Siddhuraju, P., Becker, K., 2003. Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of Drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2144-2155.

Sengev, A.I., Joseph, O.A., Gernah, D.I., 2013. Effect of *Moringa oleifera* leaf powder supplementation on some quality characteristics of wheat bread. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 720-726.

Sreelatha, S., Padma, P.R., 2009. Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* leaves in two stages of maturity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64, 303-311.

Sulieman, A.A., Ke-Xue, Z., Wei, P., Hassan, H.A., Mohammed, O., Azhari, S., Hui-Ming, Z., 2019. Rheological and quality characteristics of composite gluten-free dough and biscuits supplemented with fermented and unfermented *Agaricus bisporus* polysaccharide flour. *Food Chemistry*, 271, 193-203.

Symoneaux, R., Galmarini, M.V., 2014. Open-ended questions, in: Varela, P., Gastón, A. (Eds.) *Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling*. Taylor & Francis group, London, pp. 307-330.

Teixeira, E.M., Carvalho, M.R., Neves, V.A., Silva, M.A., Arantes-Pereira, L., 2014. Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* Lam. leaves. *Food Chemistry*, 147:51-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.135>

Witt, K.A., 2013. The nutrient content of *Moringa oleifera* leaves, *Ecocommunity*. <https://www.echocommunity.org/resources/a7ee06e3-40f2-4ef0-859e-4e64b90a56c8>

Conclusion de la deuxième partie

Les résultats de cette deuxième partie ont permis de confirmer que les feuilles de MO sont une bonne source de nutriments. La DIVP de poudre de feuilles de MO délipidée a montré un % de digestibilité de 75,95% selon la méthode standardisée de Minekus et al. (2014). L'application de prétraitements par hautes pressions, ultrasons et micro-ondes n'ont pas permis comme attendu l'augmentation de cette digestibilité comme pour les protéines des graines. Les protéines des feuilles qui sont théoriquement le RuBisCo ont pu être dégradées suite à l'application de ces traitements.

L'incorporation des feuilles de MO dans les biscuits a révélé plusieurs barrières à l'acceptation du consommateur notamment la couleur verte et la texture dure de ces derniers. Concernant l'apport nutritionnel, cette supplémentation a permis d'augmenter la teneur en fer et en protéines mais d'autres effets non négligables sont apparus. En effet, les protéines fournies par ces biscuits n'étaient pas complètement digérées notamment pour les biscuits à concentration élevée en MO. De plus, le procédé de cuisson a dénaturé la vitamine A. En conclusion, on constate que l'incorporation d'une concentration élevée de MO dans les biscuits reste limitée en raison de nombreux obstacles nutritionnels et sensoriels.

DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES

L'objectif général de cette thèse était d'évaluer le potentiel du MO comme source d'amélioration nutritionnelle de l'alimentation de populations défavorisées d'AS. Nous nous sommes basés sur le modèle de Sijtsema et al. (2002) pour étudier les différents facteurs pouvant moduler l'intégration du MO dans le répertoire alimentaire Sud-Africain. Nos travaux nous ont permis d'adapter ce modèle au cas particulier des populations défavorisées (Figure 5). Selon ce modèle deux types de facteurs doivent être considérés pour optimiser le développement et l'acceptation d'un nouveau produit dans une population : les facteurs liés à la personne et les facteurs liés à l'aliment. Ces deux facteurs sont interdépendants dans la mesure où les facteurs liés à la personne vont exercer une contrainte sur les caractéristiques de l'aliment. Notre stratégie a été dans un premier temps de comprendre les facteurs liés à la personne et ainsi d'établir un « cahier des charges » des critères nécessaires pour optimiser l'acceptation de l'aliment. Dans un second temps nous nous sommes intéressés à l'aliment en nous appuyant sur ce « cahier des charges » afin de proposer un produit répondant aux exigences du consommateur cible et lui garantissant un meilleur apport nutritionnel.

Pour accéder aux contraintes liées à la personne nous nous sommes interrogés, dans un premier temps, sur les attitudes, connaissances et habitudes de consommation de MO dans une perspective culturelle. Nous avons cherché à comparer deux cultures différentes : une ayant coévolué avec le MO (Inde) et l'autre pour laquelle le MO a été nouvellement introduit (Afrique). Originaire d'Inde, cette plante, fait partie du répertoire culinaire de ce pays (Pandey et al., 2011). En revanche, nos résultats ont montré que le MO n'est pas encore bien ancré dans les familles et les pratiques alimentaires africaines notamment en AS où il est davantage perçu comme un médicament que comme un aliment. Dans ce pays la plantation de MO est en augmentation, mais son utilisation actuelle est plutôt réservée au bétail (Mabapa et al., 2017). Nos résultats, toutefois suggèrent que sa consommation pour l'alimentation humaine est en cours d'exploration.

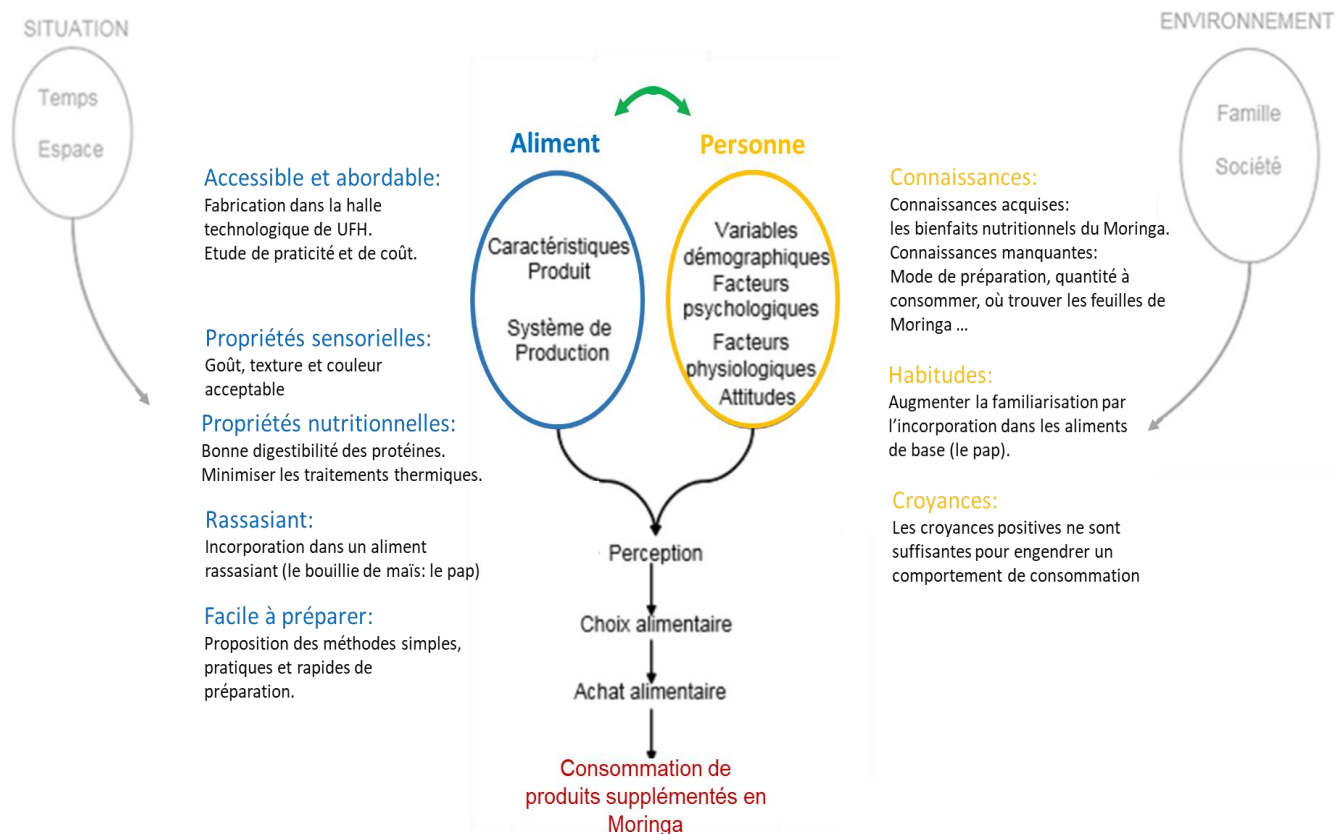


Figure 5: Adaptation du modèle de choix alimentaire de Sijtsema et al. (2002) au cas particulier des facteurs à prendre en compte lors du développement d'un nouveau produit supplémenté en feuilles de MO et de son intégration dans le répertoire alimentaire de populations défavorisées en AS.

Classiquement, les croyances et les attitudes sont considérées comme de bons prédicteurs du comportement (Ajzen, 1991). Cela ne s'est toutefois pas avéré dans nos résultats: aucun lien n'a pu être mis en évidence entre croyance, attitude et comportement de consommation du MO. Des attitudes positives semblables sont associées au MO dans les deux cultures malgré une différence de consommation importante. Considérer le MO comme une plante riche en nutriments n'est pas un déterminant du comportement de consommation de cette dernière. Ce qui justifie que les Indiens consomment plus le MO que les Africains provient de leurs comportements passés et des habitudes de consommation répétitifs de cette plante. Il semble donc qu'un comportement passé peut être un meilleur prédicteur du comportement actuel de consommation (de Bruijn et al., 2008).

L'observation des habitudes alimentaires de notre population cible (étudiantes sud-africaines mamans de jeunes enfants) nous a permis de faire ressortir plusieurs facteurs influençant le choix alimentaire de ces mamans et de leurs enfants. Ces facteurs rejoignent les facteurs mis en évidence dans les études s'intéressant aux populations défavorisées: le pouvoir d'achat, la disponibilité, l'accessibilité et le pouvoir rassasiant (Drewnowski & Eichelsdoerfer, 2010; Roos et al., 2013; Ares et al., 2017). Ces facteurs expliquent pourquoi l'alimentation principale de notre population est basée sur le maïs et le riz ayant à la fois les propriétés d'être rassasiant, disponible et pas cher. D'autres facteurs en lien avec l'aspect pratique (e.g. mode de préparation, quantité à ajouter) semblent jouer un rôle important et doivent être pris en compte dans le développement d'un aliment enrichi en MO.

Le comportement des mamans envers l'alimentation de leurs enfants montre un décalage entre leur niveau connaissance et ce qu'elles font concrètement. Certaines mamans, bien qu'elles aient conscience de l'importance des apports nutritionnels, continuent à donner à leurs enfants des aliments qu'ils aiment même si ces derniers ne sont pas bons pour la santé. Questionnées sur ce décalage elles expliquent que donner à l'enfant ce qu'il préfère et ce qui le satisfait procure moins de soucis envers leur alimentation. Cette dualité entre connaissance et comportement joue un rôle dans les problèmes de malnutrition et doit être pris en compte dans le développement d'un produit alimentaire enrichi en MO. Les critères de plaisir et de satisfaction des enfants, mais aussi des mamans est primordial et ne peut pas être compensé par une information nutritionnelle sur le produit.

L'étude des habitudes alimentaires de ces mamans a permis également de mettre l'accent sur la consommation élevée de « junk food » en raison de leur goût et de leur pouvoir rassasiant. Plusieurs études ont montré le lien entre la consommation fréquente de ce type d'alimentation et les problèmes de malnutrition notamment la surnutrition (Collins & Baker 2009; Igumbor et al., 2012). Une stratégie doit être mise en place afin d'aider ces jeunes mamans à consommer moins de « junk food » et plus d'aliments bons pour la santé en les rendant plus accessibles et pratiques.

La plupart de nos participantes ont exprimé leurs motivations et leurs intérêts pour la consommation du MO afin de bénéficier de ces bienfaits. Le rapport établi par certaines mamans entre les bienfaits du MO sur la santé et les maladies dont elles souffrent semble les encourager à consommer cette plante. Mais, en contrepartie, d'autres mamans insistent sur le manque de confiance en l'efficacité des bienfaits nutritionnels et de santé du MO. En conclusion, les connaissances sur les bienfaits nutritionnels ainsi que les croyances positives sur le MO ne suffisent pas à entraîner sa consommation. D'autres connaissances concernant le côté pratique de l'utilisation de cette plante comme la disponibilité des feuilles de MO, le mode de préparation d'aliments supplémentés en feuilles de MO, la quantité de poudre de feuilles à incorporer et comment la consommer toute en garantissant un bon goût sont nécessaires.

Pour répondre à ces questions pratiques il est important de faire un focus sur les propriétés nutritionnelles des feuilles de MO avant de les incorporer dans un aliment. Nos résultats ont montré que les feuilles de MO constituent une source intéressante de nutriments (protéines, fer et vitamine A). En revanche, certains nutriments peuvent être dénaturés complètement ou partiellement sous l'effet des procédés de fabrication (protéines, vitamine A). L'utilisation d'un protocole de DIVP standardisé et consensuel (Minekus et al., 2014) a permis de trouver un pourcentage de digestibilité de feuilles délipidées de 75,95% ce qui est proche du % DIVP reporté par Benhammouche et al. (2020) avec la même méthode de digestion (64,7%). En utilisant la même méthode de digestion, on peut confirmer que les protéines des feuilles de MO ont un bon pourcentage de digestibilité à l'opposé de ce qui a été démontré par Teixeira et al. (2014) qui a déterminé un faible pourcentage de digestibilité de 31,83%. Mais, la différence en terme des paramètres de protocole de digestion reste toujours la contrainte de la comparaison des résultats.

En revanche, l'application de prétraitements (hautes pressions, ultrasons et micro-ondes) n'a pas permis d'améliorer ce taux de digestibilité. Ces traitements ayant un effet positif sur la digestibilité des protéines végétales des graines n'ont pas eu le même effet sur les protéines des feuilles. Plusieurs études seront nécessaires pour identifier la structure des

protéines des feuilles de MO et leurs comportements suite à l'application de différents paramètres.

L'incorporation de la poudre de feuilles de MO dans des biscuits comme modèle alimentaire a mis en évidence un certain nombre de difficultés inhérentes à la supplémentation de produits alimentaires par cette plante. Cette supplémentation a permis d'augmenter l'apport en protéines et en fer dans les biscuits ce qui a été aussi démontré dans plusieurs exemples de fortification de produits alimentaires par les feuilles du MO (pain, soupe Oyeyinka & Oyeyinka, 2016). En revanche, certains nutriments n'ont pas été complètement digérés comme les protéines notamment à des concentrations élevées de poudre de MO (20% et 30% de MO). La vitamine A, nutriment sensible à la chaleur, a été également dénaturée. La meilleure option n'est donc pas d'incorporer le maximum possible de feuilles de MO mais d'optimiser la quantité à additionner afin que les nutriments apportés soient bien assimilés. Dans notre cas, les biscuits à faible concentration (10%) de poudre de feuilles de MO sont caractérisés par une meilleure digestibilité des protéines.

Cette supplémentation a révélé également l'effet de l'incorporation de la poudre de MO sur les propriétés physiques et sensorielles des biscuits. L'ajout d'une quantité trop importante (au-delà de 20%) de MO entraîne une diminution importante de la quantité de gluten dans les biscuits entraînant l'obtention de biscuits très compacts et durs. La description de ces biscuits par les consommateurs a confirmé que la couleur verte et la texture très dure sont les principales barrières à leur consommation mais avec des différences au niveau de l'appréciation globale. L'hétérogénéité entre les consommateurs en terme l'acceptabilité de ces biscuits et par rapport à la couleur verte dépend de leur culture et de leur familiarité avec cette couleur (Aldridge, Dovey, & Halford, 2009). Il faut tenir compte de l'effet que procure l'addition de la poudre de MO sur la couleur et la texture de base de l'aliment et également sur son goût afin d'atteindre l'acceptabilité du consommateur. Le biscuit est un modèle alimentaire qui nous a permis d'identifier l'effet de l'addition de la poudre de MO ainsi que ses limites. En revanche, ce n'est pas le produit adéquat pour notre population

cible puisque ce n'est pas un aliment très rassasiant, les nutriments qu'il contient sont altérés par la chaleur et c'est un produit pouvant revenir cher.

Les contraintes mises en évidence lors de l'étude des facteurs liées à la personne (figure 5) nous ont permis de nous orienter vers le choix d'un aliment de base sud-africain constitué de bouillie de maïs (pap). Cet aliment à l'avantage de faire partie du répertoire alimentaire des mamans des provinces du Cap-Oriental et de Limpopo et de leurs enfants, il est disponible, facile à préparer et rassasiant.

Le pap sera supplémenté par de la poudre de MO collectée en AS dans la province de Limpopo. Une étude préliminaire réalisée sur de la poudre de feuilles de MO du Limpopo ayant subi différentes méthodes de séchage au four (40°C, 36h), au soleil (40-45°C, 6h) et à l'ombre (26°C, pendant 72h) a montré que le séchage au soleil préserve plus de protéines ($18,06 \pm 0,3$ g/100g) que les autres méthodes ($17,55 \pm 0,4$ g/100g et $17,44 \pm 0,5$ g/100g pour les feuilles séchées respectivement au four et à l'ombre $F= 5,53$, $p < 0,05$). Cette méthode de séchage est aussi plus économique ne nécessitant pas d'énergie électrique. Le séchage au soleil préserve également mieux le fer ($49,6 \pm 0,3$ mg/100g) que le séchage à l'ombre ($44,08 \pm 1,9$ mg/100g) cependant moins que le séchage au four ($52,1 \pm 2$ mg/100g ; $F=20,48$; $p < 0,05$). Ces résultats sont en désaccord avec ceux de Mbah, Eme, & Paul (2012) et Alakali, Kucha, & Rabiou (2015) qui ont montré que le séchage à l'ombre permet de mieux préserver la quantité de protéines dans les feuilles par rapport au séchage au four et au soleil. Des études supplémentaires seront donc nécessaires pour choisir définitivement la meilleure méthode de séchage. Les trois méthodes de séchage semblent permettre de diminuer la quantité de facteurs antinutritionnels dans les feuilles de MO comme l'oxalate, le phytate et la saponine mais augmente la teneur en tanins. Le séchage au four à 60°C pendant 4 heures est la méthode augmentant le moins la teneur en tanins (Mbah, Eme, & Paul, 2012).

La quantité de poudre de MO pouvant être ajoutée au pap reste à déterminer. Dans notre étude sur les biscuits nous avons démontré qu'une concentration de 10% de feuilles de MO conduisait à une acceptation par les consommateurs tout en augmentant l'apport en protéines et en bénéficiant de la meilleure digestibilité. Notre objectif est donc d'atteindre

cette concentration pour le pap. Toutefois, une étude récente (Ntila et al., 2019) réalisée en AS a montré que l'addition de 2 et 3 % de poudre de MO dans du pap conduisait à un rejet de la part des consommateurs. Ce rejet semble être lié essentiellement à l'amertume et à l'odeur non-familière du MO et peut être dû à la façon d'incorporer le MO dans le pap. Des travaux précédents ont montré que l'amertume et la forte odeur du MO apparaissent lors de la cuisson des feuilles de MO à l'eau (Ramaroson, Valentin, & Arvisenet, 2015).

Il sera donc nécessaire d'optimiser la procédure de cuisson et d'incorporation du MO pour limiter l'amertume et l'odeur forte de MO et obtenir un pap avec un % de MO supérieur à celui utilisé par Ntila et al. (2019). En effet, dans cette dernière étude, seuls les échantillons avec un ajout de 1% de MO ont été acceptés. Hors, dans une autre étude Ntila et al. (2020) ont montré qu'un ajout de 1%, 2% et 3% de feuilles de MO séchées à l'ombre dans un bouillon de maïs a permis l'augmentation de la teneur en protéines de 8,70 à 9,68 g/100 g. Même sans détermination de la digestibilité des protéines, la concentration en protéines du bouillon supplémenté de 3% de feuilles de MO est inférieure à l'apport nutritionnel recommandé en protéines (AJR, 11 g de protéines pour les enfants de 7 à 12 mois). En revanche, la même étude montre que la supplémentation en poudre de feuille de MO améliore le profil d'AA des bouillies de maïs notamment en lysine et tryptophane qui sont limitant dans le grain de maïs blanc.

Un autre point à prendre en compte dans la détermination des quantités de MO à ajouter au pap est la teneur en facteurs antinutritionnels notamment les tanins sachant que Teixeira et al. (2014) et Ferreira et al. (2008) ont conclu que les feuilles de MO contiennent des teneurs faibles en tanins. Il faut également tenir en compte la teneur en polyphénols bénéfiques dont les flavonoïdes et les acides phénoliques qui sont des antioxydants. Les flavonoïdes éliminent efficacement les radicaux libres d'oxygène dans le corps et améliorent les effets cardiovasculaires et maladies cérébrovasculaires. Les acides phénoliques ont des fonctions antioxydantes et antitumorales (Pandey & Rizvi, 2009).

Pour optimiser la concentration de MO pouvant être ajoutée au pap, nous proposons d'ajouter des proportions de 0%, 5% et 10% de poudre de feuilles de MO dans le pap après

la cuisson et quand la température descend à 40 °C (température à laquelle on évite la dénaturation des protéines et des autres nutriments). L'analyse des propriétés nutritionnelles (teneur en protéines, digestibilité des protéines, teneur en fer et en vitamine A) nous permettra de calculer l'apport exact en protéines après digestibilité en comparant avec l'AJR. Ces analyses nous permettront de choisir le pourcentage de MO à additionner permettant une meilleure digestibilité et par conséquent un bon apport en protéines. En parallèle, l'analyse des propriétés sensorielles de nos échantillons à l'aide du test Check All That Apply et un test consommateur réalisé avec notre population cible nous permettront d'évaluer l'acceptation des différents taux de supplémentation en MO et de les comparer avec les résultats de Ntila et al., (2019). Les essais de fabrication et les tests sensoriels seront réalisés dans la halle technologique de l'Université de Fort Hare.

Les dimensions praticité et coût ayant été soulignées par les participantes des groupes focus le produit final sera présenté sous forme de sachets prêts à l'emploi contenant une portion de pap en poudre et une portion de poudre de feuilles de MO. Les utilisatrices n'auront qu'à rajouter une quantité précise d'eau chaude selon le mode d'emploi indiqué sur l'emballage. Des informations nutritionnelles seront également indiquées pour répondre à la demande d'information exprimée lors des groupes focus. La teneur de ces messages reste toutefois à déterminer sur la base des résultats des groupes focus et leur pertinence devra être validée lors de l'étude consommateur.

CONCLUSION GENERALE

Cette thèse a montré que le MO peut être considérée comme source d'amélioration nutritionnelle de l'alimentation de la population sud-africaine défavorisée. En effet, cette plante pourra être un des moyens possibles pour essayer de faire face aux problèmes de malnutrition dans les provinces de Cap-oriental et Limpopo si elle est correctement utilisée. La difficulté toutefois sera de trouver comment promouvoir les aliments supplémentés en MO auprès de notre population cible. Même si l'aliment est connu pour être riche en nutriments, la diffusion d'informations en lien avec la santé et la nutrition semble être insuffisante pour encourager sa consommation. Le bon choix de la matrice alimentaire, l'acceptation du point de vue sensoriel, l'application des procédés qui préservent au mieux les nutriments, associés à la disponibilité et l'accessibilité facile et simple, permettront d'intégrer le MO dans le répertoire alimentaire sud-africain de façon durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abioye, V. F., & Mo, A. (2015). Proximate composition and sensory properties of Moringa fortified maize-ogi. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 12, 001.
- Abdel-Samie, M., & Abdulla, G., (2014). Effect of Moringa oleifera leaves (Moringa oleifera Lam.) on some physico-chemical and sensory properties of wheat flour cookies. *Zagazig Journal of Agricultural Research*, 41, 304-315
- Adeyemi, S.B., Ogundele, K.O., & Animasaun, M.A., (2014). Influence of drying methods on the proximate and phytochemical composition of Moringa oleifera Lam. *Global Journal of Medicinal Plant Research*, 2, 1-5.
- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- Akande, K.E., & Fabiyi, E.F. (2010). Effect of processing methods on some antinutritional factors in legume seeds for poultry feeding. *International Journal of Poultry Science*, 9, 966-1001.
- Akeson, W.R., & Mark, A. S. (1964). A Pepsin Pancreatin Digest Index of Protein Quality Evaluation. *The Journal of Nutrition*, 83 (3), 257-261.
- Alemu, M. H., & Olsen, S. B. (2019). Linking Consumers' Food Choice Motives to Their Preferences for Insect-Based Food Products: An Application of Integrated Choice and Latent Variable Model in an African Context. *Journal of Agricultural Economics*, 70, (1), 241-258.
- Alajaji, S. A., & Tarek A. (2006). Nutritional Composition of Chickpea (*Cicer Arietinum* L.) as Affected by Microwave Cooking and Other Traditional Cooking Methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, (8), 806-812.
- Aldridge, V., Dovey, T.M., & Halford, J.C.G., (2009). The role of familiarity in dietary development. *Developmental Review*, 29, 32-44.
- Alakali, J. S., Kucha, C. T. & Rabiou, I. A. (2015). Effect of Drying Temperature on the Nutritional Quality of Moringa Oleifera Leaves. *African Journal of Food Science*, 9, (7), 395-399.
- Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2007). Moringa Oleifera: A Food Plant with Multiple Medicinal Uses. *Phytotherapy Research*, 21, (1), 17-25.
- Aletor, O. A. A. O. & Ipinmoroti, K, (2002). Chemical Composition of Common Leafy Vegetables and Functional Properties of Their Leaf Protein Concentrates. *Food Chemistry*, 78, (1), 63-68.
- Anwar, F., Sajid L., Muhammad A., & Anwarul H. G. (2007). Moringa Oleifera: A Food Plant with Multiple Medicinal Uses. *Phytotherapy Research*, 21, (1), 17-25.
- Andersson, I., & Taylor, C. T. (2003). Structural Framework for Catalysis and Regulation in Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase/Oxygenase. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 414, (2), 130-140.
- ANSES, (2016). Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/content/le-fer/> Accessed 2019, November, 18.

- Appelhans, B. M., Waring, M. E., Schneider, K. L., & Pagoto, S. L. (2014). Food Preparation Supplies Predict Children's Family Meal and Home-Prepared Dinner Consumption in Low-Income Households. *Appetite*, 76, 1-8.
- Appleton, K. M., Dinnella, C., Spinelli, S., Morizet, D., Saulais, L., Hemingway, A., Monteleone, E., Depezay, L., Perez-Cueto, F. J. A. & Hartwell, H. (2019). Liking and Consumption of Vegetables with More Appealing and Less Appealing Sensory Properties: Associations with Attitudes, Food Neophobia and Food Choice Motivations in European Adolescents. *Food Quality and Preference*, 75, 179-186.
- Ares, G., Machín, L., Girona, A., Curutchet, M. R., & Giménez, A. (2017). Comparison of Motives Underlying Food Choice and Barriers to Healthy Eating among Low Medium Income Consumers in Uruguay. *Cadernos de Saúde Pública*, 33, (4).
- Arshad, M.U., Faqir, M.A., & Tahir, Z., (2007). Nutritional assessment of cookies supplemented with defatted wheat germ. *Food Chemistry*, 102, 123-128.
- Atkin, D. (2013). Trade, Tastes, and Nutrition in India. *American Economic Review*, 103, (5), 1629-1663.
- Awoyinka, A. F., Abegunde, V. O. & Adewusi, S. R. A. (1995). Nutrient Content of Young Cassava Leaves and Assessment of Their Acceptance as a Green Vegetable in Nigeria. *Plant Foods for Human Nutrition*, 47, (1), 21-28.
- Axtell, J. D., Kirleis, A. W., Hassen, M. M., D'Croze Mason, N., Mertz, E. T., & Munck, L. (1981). Digestibility of Sorghum Proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 78, (3), 1333-1335.

B

- Babayehu, A., Gbadebo, C., Obalowu, M., Otunola, G., Nmomi, I., Kayode, R., Toyeh, A. & Ojo, F. (2014). Comparison of Organoleptic properties of egusi and efo riro soup blends produced with moringa and spinach leaves. *Food Sciences Quality Management*, 28, 15-18.
- Barbeau, W. E., & Kinsella, J. E. (1988). Ribulose biphosphate carboxylase/oxygenase (rubisco) from green leaves-potential as a food protein. *Food Reviews International*, 4 (1): 93-127.
- Babayehu, A., Gbadebo, C., Obalowu, M., Otunola, G., Nmomi, I., Kayode, R., Toyeh, A. & Ojo, F. (2014). Comparison of organoleptic properties of egusi and efo riro soup blends produced with Moringa and spinach leaves. *Food Science and Quality Management*, 28.
- Bradshaw, D., Norman, R., Lewin, S., Joubert, J., Schneider, M., Nannan, N., & Groenewald, P. (2007). Strengthening Public Health in South Africa: Building a Stronger Evidence Base for Improving the Health of the Nation. *South African Medical Journal*, 97, (82), 643-649.
- Bellisle, F. (2003). Why Should We Study Human Food Intake Behaviour? *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 3, (4), 189-193.
- Berthier, L. (2010). Les techniques d'enquête en sciences sociales

- Benhammouche, T, Melo A., Martins, Z. Faria, M. A., Pinho, S. C. M., Ferreira, I. M. L. P. V. O. & Zaidi, F. (2020). Nutritional Quality of Protein Concentrates from Moringa Oleifera Leaves and in Vitro Digestibility. *Food Chemistry*, 348.
- Bech-Larsen, T., & Grunert, K. G. (2003). The perceived healthiness of functional foods: A conjoint study of Danish, Finnish and American consumers' perception of functional foods. *Appetite*, 40, 9-14.
- Bhagave, B., Pandey, I., Nama, K. S., & Pandey, M. (2015). Moringa oleifera Lam. – Sanjana (Horseradish Tree) – A Miracle food plant with multipurpose uses in Rajasthan-India-An overview. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 3, 237-248.
- Blanck, H. M., Yaroch, A. L., Atienza, A. A., Yi, S. L., Zhang, J. & Mâsse, L. C. (2009). Factors Influencing Lunchtime Food Choices among Working Americans. *Health Education & Behavior*, 36, (2), 289-301.
- Birch, L. L., & Fisher, J. O. (1998). Development of Eating Behaviors among Children and Adolescents. *Pediatrics*, 101, (32), 539-549.
- Blanck, H. M., Yaroch, A. L., Audie, A. A., Sarah, L. Y., Zhang, J. & Mâsse, L. C. (2009). Factors influencing lunchtime food choices among working Americans. *Health Education & Behavior*, 36, 289-301.
- Booth, D. A. (2003). Satiety and appetite, The Role of Satiety in Nutrition. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, édité par Benjamin Caballero, 5102-7. Oxford: Academic Press.
- Boots, S. B., Tiggemann, M., Corsini, N., & Mattiske, J. (2015). Managing Young Children's Snack Food Intake. The Role of Parenting Style and Feeding Strategies. *Appetite*, 92, 94-101.
- Borgogno, M., Favotto, S., Corazzin, M., Cardello, A. V., & Piasentier, E. (2015). The Role of Product Familiarity and Consumer Involvement on Liking and Perceptions of Fresh Meat. *Food Quality and Preference*, 44, 139-147.
- Boisen, S., & Eggum, B. O. (1991). Critical Evaluation of in Vitro Methods for Estimating Digestibility in Simple-Stomach Animals. *Nutrition Research Reviews*, 4, (1), 141-162.
- Boisen, S., & Fernandez, J.A., (1995). Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyses. *Animal Feed Science and Technology*, 51, 29-43.
- Bowman, C. C., & Selgrade, M. K. (2009). Utility of Rodent Models for Evaluating Protein Allergenicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 54, (3), 58-61.
- Boye, J., Zare, F. & Pletch, A. (2010). Pulse Proteins: Processing, Characterization, Functional Properties and Applications in Food and Feed. *Food Research International*, 43, (2), 414-431.
- Bruce, A. S., Lim, S. L., Smith, T. R., Cherry, J. B. C., Black, W. R., Davis, A. M., & Bruce, M. (2015). Apples or Candy? Internal and External Influences on Children's Food Choices. *Appetite*, 93, 31-34.
- Brilhante, R. S. N., Sales, J. A., Pereira, V. S., de Souza Collares, D., Castelo-Branco, M., de Aguiar Cordeiro, R., de Souza Sampaio, C. M., Paiva, M. A. N., dos Santos, J. B. S., Sidrim, J. J. C., & Rocha, M. F. G. (2017). Research advances on the multiple uses of

- Moringa oleifera: A sustainable alternative for socially neglected population. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 10, (7), 621-630.
- Bruins, M., Bird, J., Aebischer, C., & Eggersdorfer, M., (2018). Considerations for secondary prevention of nutritional deficiencies in high-risk groups in high-income countries. *Nutrients*, 10, 2-15.
- Burns, C., Cook, K. & Mavoia, H. (2013). Role of expendable income and price in food choice by low-income families. *Appetite*, 71, 209-217.

T

- Can Karaca, A., Low, N. H. & M. T. Nickerson, M. T. (2015). Potential Use of Plant Proteins in the Microencapsulation of Lipophilic Materials in Foods. *Trends in Food Science & Technology*, 42, (1), 5-12.
- CBI, 2019. Centre for the promotion of imports from developing countries, exporting Moringa to Europe.
- Chinma, C. E., Abu, J. O., & Akoma, S. N. (2014). Effect of Germinated Tigernut and Moringa Flour Blends on the Quality of Wheat-Based Bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, (2), 721-727.
- Chicón, R., Belloque, J. Recio, I. & López-Fandiño. R. (2006). Influence of High Hydrostatic Pressure on the Proteolysis of β -Lactoglobulin A by Trypsin. *Journal of Dairy Research*, 73, (1), 121-128.
- Cooke, R., & Papadaki, A. (2014). Nutrition Label Use Mediates the Positive Relationship between Nutrition Knowledge and Attitudes towards Healthy Eating with Dietary Quality among University Students in the UK. *Appetite*, 83, 297-303.
- Collins, R., & Baker, G. (2009). Of Junk Food and Junk Science. *International Food and Agribusiness Management Review*, 12.
- Cullen, K. W., Baranowski, T., Owens, E., Marsh, T., Rittenberry, L. & de Moor, C. (2003). Availability, Accessibility, and Preferences for Fruit, 100% Fruit Juice, and Vegetables Influence Children's Dietary Behavior. *Health Education & Behavior*, 30, (5), 615-626.

D

- Dan, S., Li, S., Zhao, F., Zhang L., Xiaopeng, Z., Wei, L. & Youfu. C. (2010). Effects of High Hydrostatic Pressure on in vitro digestion of soy protein. *International Agricultural Engineering Journal*, 19.
- Daba, M., 2016. Miracle tree: A review on multi-purposes of Moringa oleifera and its implication for climate change mitigation. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 7, 366.
- Damen, F. W. M., Luning, P. A. Fogliano, V. & Steenbekkers, B. L. P. A. (2019). What Influences Mothers' Snack Choices for Their Children Aged 2-7? *Food Quality and Preference*, 74, 10-20.

- Daradkeh, G., & Musthafa, M. E. (2018). Book Chapter - Parseley. In: Leafy medicinal herbs: botany, chemistry, postharvest technology and uses. Ambrose, D. C. P., Manickavasagan, A., & Naik, R. p. 189-197.
- Daziano, L. (2014). Où va l'Afrique du Sud ? Le Point. [Consulté 16 Novembre 2020]. (https://www.lepoint.fr/economie/ou-va-l-afrique-du-sud-19-08-2014-857787_28.php).
- Dachana, K.B., Jyotsna, R., Indrani, D., & Prakash, J., (2010). Effect of dried Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves on rheological, microstructural, nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. *Journal of Food Quality*, 33, 660-677.
- Devisetti, R., Yadahally N. S., & Bhattacharya. S. (2016). Processing Effects on Bioactive Components and Functional Properties of Moringa Leaves: Development of a Snack and Quality Evaluation. *Journal of Food Science and Technology*, 53, (1), 649-657.
- de Bruijn, G., Kroeze, W., Oenema, A. & Brug, J. (2008). Saturated fat consumption and the theory of planned behaviour: Exploring additive and interactive effects of habit strength. *Appetite*, 51, 318-323.
- Dewettinck, K.F., Van Bockstaele, B., Kühne, D., Van de Walle, T., Courtens, M., & Gellynck, X., (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48, 243-257.
- Dhakar, R. C., Pooniya, B., Bairwa, N., Gupta, M., & Sanwarmal, (2011). Moringa : The herbal gold to combat malnutrition. *Chronicles of Young Scientists*, 2, 119-125.
- Dibsdall, L. A., Lambert, N., Bobbin, R. F. & Frewer, L. J. (2003). Low-income consumers' attitudes and behavior towards access, availability and motivation to eat fruit and vegetables. *Public Health Nutrition*, 6, 159-168.
- Douillard, R., & de Mathan. O. (1994). Leaf Protein for Food Use: Potential of Rubisco. In: *New and Developing Sources of Food Proteins*, Hudson, B. F., p; 307-342.
- Douillard, R. (1985). Propriétés biochimiques et physicochimiques des protéines végétales: protéines des feuilles.
- Do, V. B. (2010). Le vin au Vietnam : impact de l'environnement culturel sur les motivations et les préférences gustatives. Thèse, Dijon.
- Dovey, T. M., Staples, P. A., Gibson, E. L. & Halford, J. C. G. (2008). Food Neophobia and 'Picky/Fussy' Eating in Children: A Review. *Appetite*, 50, (2), 181-193.
- Drewnowski, A. (2009). Obesity, diets, and social inequalities. *Nutrition Reviews*, 67, 36-39.
- Drewnowski, A., & Eichelsdoerfer, P. (2010). Can Low-Income Americans Afford a Healthy Diet? *Nutrition today*, 44, (6), 246-249.
- Drake, M. A., X. Q. Chen, S. T., & Leenanon, B. (2000). Soy Protein Fortification Affects Sensory, Chemical, and Microbiological Properties of Dairy Yogurts. *Journal of Food Science*, 65, (7), 1244-1247.
- Dransfield, E., Morrot, G., Martin, J.F. & Ngapo, T. M. (2004). The Application of a Text Clustering Statistical Analysis to Aid the Interpretation of Focus Group Interviews. *Food Quality and Preference*, 15, (5), 477-488.
- Dupont, D., Alric, M., Blanquet-Diot, S., Bornhorst, G., Cueva, C., Deglaire, A., Denis, S. (2019). Can Dynamic in Vitro Digestion Systems Mimic the Physiological Reality? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59, (10), 1546-1562.

£

- Ejoh, R. A., Nkonga, D. V., Inocent, G. & Moses, M. C. (2007). Nutritional Components of Some Non-Conventional Leafy Vegetables Consumed in Cameroon. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6, 6, 712-717.
- Estrella, C. P., Bias, J., Grace, Z. D., & Michelle A. T. (2000). A Double-Blind, Randomized Controlled Trial on the Use of Malunggay (*Moringa Oleifera*) for Augmentation of the Volume Ofbreastmilk among Non-Nursing Mothers of Preterm Infants.

F

- Fahey, J. (2005). *Moringa oleifera*: A Review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. *Trees for Life Journal*, 1, 5. [Consulté le 11 Septembre 2019]. (<http://www.tfljournal.org/article.php/20051201124931586>)
- Farinola, L. A., Famuyide, O. O., Adio, A. F. & Ewolor, A. S. (2014). Households' perception, awareness and willingness to pay for *Moringa oleifera* Lam. powder in Oyo state. *Journal of Agricultural and Crop Research*, 2, 94-103.
- Faber, M., & Wenhold, F. (2007). Nutrition in Contemporary South Africa. *African journal online*, 33, 3.
- Fenneteau, H. (2015). *Enquête : entretien et questionnaire - 3e édition*. Dunod.
- Ferreira, P. M. P., Davi, F. F., de Abreu Oliveira, J. T., & de Fátima Urano Carvalho, A. (2008). *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential. *Revista de Nutrição*, 21, (4), 431-437.
- Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I., & Pérez-Gálvez, A. (2009). In Vitro Bioaccessibility Assessment as a Prediction Tool of Nutritional Efficiency. *Nutrition Research*, 29 (11), 751-760.
- Firdaous, L., Dhulster, P., Amiot, J., Gaudreau, A., Lecouturier, D., Kapel, R., Lutin, F., Louis-Philippe V., & Bazinet, L. (2009). Concentration and Selective Separation of Bioactive Peptides from an Alfalfa White Protein Hydrolysate by Electrodialysis with Ultrafiltration Membranes. *Journal of Membrane Science*, 329, (1), 60-67.
- Fizman, S., Varela, P., Díaz, P., Linares, M. B. & Garrido, M. D. (2014). What Is Satiating? Consumer Perceptions of Satiating Foods and Expected Satiety of Protein-Based Meals. *Food Research International*, 62, 551-560.
- Fitzgerald, A., Heary, C., Nixon, E. & Kelly, C. (2010). Factors Influencing the Food Choices of Irish Children and Adolescents: A Qualitative Investigation. *Health Promotion International*, 25, (3), 289-298.
- Foidl, N., Makkar, H.P.S. & Becker, K. (2001). Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. In international workshop on development potential for *Moringa* products, CIRAD, Montpellier.

- Foegeding, E. A., & Davis, J. P. (2011). Food Protein Functionality: A Comprehensive Approach. *Food Hydrocolloids*, 25, (8), 1853-1864.
- Forde, C. G. (2018). From Perception to Ingestion; the Role of Sensory Properties in Energy Selection, Eating Behaviour and Food Intake. *Food Quality and Preference*, 66, 171-177.
- Fred, V. D. V., Cornelis, A. A., & Laurice, P. (2011). Process for isolating a dechlorophyllized rubisco preparation from a plant material. World Intellectual Property Organization
- Friedman, M. (1996). Nutritional Value of Proteins from Different Food Sources. A Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, (1), 6-29.
- Fuglie, L. J. (2001). *The Miracle Tree: The multiple attributes of Moringa*, Publisher: Church World Service, West Africa Regional Office, Dakar, pp 85.



- Gains, N. (1994). The Repertory Grid Approach. In *Measurement of Food Preferences*, édité par MacFie H. J. H. & Thomson, D. M. H., 51-76. Boston, MA: Springer US.
- Ganorkar, P.M., & Jain, R.K., (2014). Effect of flaxseed incorporation on physical, textural, sensorial and chemical attributes of cookies. *International Food Research Journal*, 21, 1515-1521.
- Galla, N.R., Pamidighantam, P.R., Karakala, B., Gurusiddaiah, M.G., & Akula, S., (2017). Nutritional, textural and sensory quality of biscuits supplemented with spinach (*Spinacia oleracea* L.). *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 7, 20-26.
- Gevers, D. W. M., Kremers, S. P. J., de Vries, N. K. & van Assema, P. (2014). Clarifying Concepts of Food Parenting Practices. A Delphi Study with an Application to Snacking Behavior. *Appetite*, 79, 51-57.
- Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (1998). Influence of Naturally Acid-Soluble Proteins from Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.) on in Vitro Digestibility Determination. *Food Chemistry*, 62, (3), 315-323.
- Giskes, K., Van Lenthe, F. J., Brug, J., Mackenbach, J. P. & Turrell, G. (2007). Socioeconomic inequalities in food purchasing: The contribution of respondent-perceived and actual (Objectively Measured) price and availability of foods. *Preventive Medicine*, 45, 41-48.
- Glover-Amengor, M., Aryeetey, R., Afari, E. & Nyarko, A. (2017). Micronutrient composition and acceptability of Moringa oleifera leaf-fortified dishes by children in Ada-East District, Ghana. *Food Science & Nutrition*, 5, 317-323.
- Greene, J.L., & Bovell-Benjamin, A.C. (2004). Macroscopic and sensory evaluation of bread supplemented with sweet-potato flour. *Journal of Food Science*, 69, 167-173.
- Graaf, C., Kramer, F. M., Meiselman, H. L., Leshner, L. L., Baker-Fulco, C., Hirsch, E. S. & Warber, J. (2005). Food Acceptability in Field Studies with US Army Men and Women: Relationship with Food Intake and Food Choice after Repeated Exposures. *Appetite*, 44, (1), 23-31.
- Guittet, A. (2013). *L'entretien*. 8ème ed. Armand Colin (ed).

Gupta, S. J. L. A., & Prakash, J. (2006). In Vitro Bioavailability of Calcium and Iron from Selected Green Leafy Vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, (13), 2147-2152.

Hf

Hekmat, S., Kathryn, M., Soltani, M., & Robert, G., (2015). Sensory evaluation of locally-grown fruit purees and inulin fibre on probiotic yogurt in Mwanza, Tanzania and the microbial analysis of probiotic yogurt fortified with Moringa oleifera. *Journal of Health, Population, and Nutrition*, 33, 60-67.

Heine, P. (2004). Food Culture in the Near East, Middle East, and North Africa. Greenwood Publishing Group.

Hennessy, E., Sheryl, O. H., Goldberg, J. P., Raymond R. H., & Economos, C. D. (2012). Permissive Parental Feeding Behavior Is Associated with an Increase in Intake of Low-Nutrient-Dense Foods among American Children Living in Rural Communities. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112, (1), 142-148.

Henchion, M., Hayes, M., Mullen, A. M., Fenelon, M. & Tiwari, B. (2017). Future Protein Supply and Demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium. *Foods*, 6, (7), 53.

Hof, K. H., de Boer, B. C. J., Lilian B. M. T., Bianca, R. H. M., Lucius, I. Z., West, C. E., Hautvast, J. G. A. J. & Weststrate, J. A. (2000). Carotenoid Bioavailability in Humans from Tomatoes Processed in Different Ways Determined from the Carotenoid Response in the Triglyceride-Rich Lipoprotein Fraction of Plasma after a Single Consumption and in Plasma after Four Days of Consumption. *The Journal of Nutrition*, 130, (5), 1189-1196.

Hough, G. & Sosa, M. (2015). Food choice in low-income populations – A Review. *Food Quality and Preference*, 40, 334-342.

Holsten, J. E., Deatrick, J. A., Kumanyika, S., Pinto-Martin, J. & Compher, C. W. (2012). Children's Food Choice Process in the Home Environment. A Qualitative Descriptive Study. *Appetite*, 58, (1), 64-73.

Hyardin, A. (2008). Étude de la fonctionnalité alimentaire de plats industriels. Thèse, Vandoeuvre-les-Nancy.

J

Igumbor, E. U., Sanders, D., Puoane, T. R., Tsolekile, L., Schwarz, V., Purdy, C., Swart, R., Durão, S. & Hawkes, C. (2012). "Big Food," the Consumer Food Environment, Health, and the Policy Response in South Africa. *PLoS Medicine*, 9, (7).

Irala-Estévez, J. D., Groth, M., Johansson, L., Oltersdorf, U., Prättälä, R. & Martínez-González, M. A. (2000). A systematic review of socio-economic differences in food

habits in Europe: Consumption of fruit and vegetables. *European Journal of Clinical Nutrition*, 54, 706-714.

Iversen, P. O., du Plessis, L., Marais, D., Morseth, M., & Herselman, M. (2011). Nutritional Health of Young Children in South Africa over the First 16 Years of Democracy. *South African Journal of Child Health*, 5, (3), 72-77.

I

Jacquier, E. F., Deming, D. M., & Eldridge, A. L. (2018). Location influences snacking behavior of US infants, toddlers and preschool children. *BMC Public Health*, 18, (1), 725.

Jambrak, A. R., Vesna, L., Mason, T. J., Krešić, G. & Badanjak, M. (2009). Physical properties of ultrasound treated soy proteins. *Journal of Food Engineering*, 93, (4), 386-393.

Jaeger, S. R. (2006). Non-Sensory Factors in Sensory Science Research. *Food Quality and Preference*, 17, (1), 132-144.

Januszewska, R., Pieniak, Z. & Verbeke, W. (2011). Food Choice Questionnaire Revisited in Four Countries. Does It Still Measure the Same? *Appetite*, 57, (1), 94-98.

Jeong, J., & Kim, H. C. (2020). Korean Mothers' Food Choice Behavioral Intent for Children: An Examination of the Interaction Effects of Food Type, Household Income, and Healthism. *Food Quality and Preference*, 81, 103835.

Johnson, C. M., Sharkey, J. R., Dean, W. R., McIntosh, W. A., & Kubena, K. S. (2011). It's Who I Am and What We Eat. Mothers' Food-Related Identities in Family Food Choice. *Appetite*, 57, (1), 220-228.

K

Kalantzi, L., Goumas, K., Kalioras, V., Abrahamsson, B., Dressman, J. B. & Reppas, C. (2006). Characterization of the Human Upper Gastrointestinal Contents Under Conditions Simulating Bioavailability/Bioequivalence Studies. *Pharmaceutical Research*, 23 (1), 165-176.

Karim, O.R., Kayode, R.M.O., Oyeyinka, S.A. & Oyeyinka, A.T. (2013). Proximate, mineral and sensory qualities of "Amala" prepared from yam flour fortified with Moringa leaf powder. *Food Science and Quality Management*, 12, 10-23.

Khan, M. A., & Hackler, L. R. (1981). Evaluation of food selection patterns and preferences. *Food Science and Nutrition*, 15, (2), 129-153.

Kala, A., & Prakash, J. (2004). Nutrient Composition and Sensory Profile of Differently Cooked Green Leafy Vegetables. *International Journal of Food Properties*, 7, (3), 659-669.

Kavitha, V. Ramadas, V. S. (2013). Nutritional composition of raw fresh and shade dried form of spinach leaf (Spinach oleracea). *JPR: BioMedRx: An International Journal*, 1, (8), 767-770.

Khaton, N., & Prakash, J. (2004). Nutritional Quality of Microwave-Cooked and Pressure-Cooked Legumes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55 (6), 441-448.

- Khalafalla, M., Abdellatef, E., Dafalla, H. M., Nassrallah, A., Aboul-Enein, A., Lightfoot, D. A., El-Deeb, F. & El-Shemy, H. (2010). Active principle from *Moringa oleifera* Lam. leaves effective against two leukemias and a hepatocarcinoma. *African Journal of Biotechnology*, 9, 8467-8471.
- Kitts, David D., & Weiler, K. (2003). Bioactive Proteins and Peptides from Food Sources. Applications of Bioprocesses Used in Isolation and Recovery. *Current Pharmaceutical Design*, 9 (16), 1309-1323.
- Knudsen, J. C., Otte, J., Olsen, K., & Skibsted, L. H. (2002). Effect of high hydrostatic pressure on the conformation of β -lactoglobulin A as assessed by proteolytic peptide profiling. *International Dairy Journal*, 12 (10), 791-803.
- Kourouniotis, S., Keast, R. S. J., Riddell, L. J., Lacy, K., Thorpe, M. G. & Cicerale, S. (2016). The Importance of Taste on Dietary Choice, Behaviour and Intake in a Group of Young Adults. *Appetite*, 103, 1-7.
- Kroeber, A. L., & Kluckhohn, C. (1952). Culture: a critical review of concepts and definitions. Peabody Museum of Archaeology & Ethnology, Harvard University, 47, (1).
- Kueppers, J., Stein, K. F., Groth, S. & Fernandez, I. D. (2018). Maternal and Child Dietary Intake: The Role of Maternal Healthy-Eater Self-Schema. *Appetite*, 125, 527-536.
- Kumssa, D. B., Joy, E. J. M., Young, S. D., Odee, D. W., Louise Ander, E., Magare, C., Gitu, J., & Broadley, M. R. (2017). Challenges and opportunities for *Moringa* growers in Southern Ethiopia and Kenya. *PloS One*, 12, (11).
- Kuikman, M., & O'Connor, K. (2015). Sensory Evaluation of *Moringa*- Probiotic Yogurt Containing Banana, Sweet Potato or Avocado. *Journal of Food Research*, 4, (5), 165.
- Ku, M. S. B., Schmitt, M. R. & Gerald E. E. (1979). Quantitative Determination of RuBP Carboxylase–Oxygenase Protein in Leaves of Several C3 and C4 Plants. *Journal of Experimental Botany*, 30, (1), 89-98.

L

- Lam, R. S. H., & Nickerson, M. T. (2013). Food Proteins: A Review on Their Emulsifying Properties Using a Structure–Function Approach. *Food Chemistry*, 141, (2), 975-984.
- Lamsal, B., Koegel, R.G. & Gunasekaran, S. (2007). Some physicochemical and functional properties of alfalfa soluble leaf proteins. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 1520-1526.
- Lafraire, J., Rioux, C., Giboreau, A. & Picard, D. (2016). Food Rejections in Children: Cognitive and Social/Environmental Factors Involved in Food Neophobia and Picky/Fussy Eating Behavior. *Appetite*, 96, 347-357.
- Lawless, H. T. & Heymann, H. (2010). Sensory Evaluation of Food: Principles and Practices, 2ème ed, Springer Science & Business Media.
- Lebart, L., Piron, M. & Morineau, A. (2006). Statistique exploratoire multidimensionnelle - 4ème éd.: Visualisation et inférence en fouille de données. Dunod.
- Lekgau, S. (2011). *Moringa Oleifera* A Tree Giving Life to Rural Communities. [Consulté le 11 décembre 2020]. (<https://docplayer.net/25487345-Moringa-oleifera-a-tree-giving-life-to-rural-communities.html>).

- Li-Chan, E.C.Y. (2004). Properties of proteins in food systems: an introduction. In « Proteins in Food Processing - 1st Edition » Editor: Yada. R.Y., Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition
- Lieury A. (2000) Psychologie générale. Dunod. Paris.
- Looy, H., Dunkel, F. V. & Wood, J. R. (2014). How Then Shall We Eat? Insect-Eating Attitudes and Sustainable Foodways. *Agriculture and Human Values*, 31, (1), 131-141.
- Ly, J., Samkol, P., & Preston, T.R., (2001). Nutritional evaluation of tropical leaves for pigs: Pepsin/pancreatin digestibility of thirteen plant species. *Livestock Research for Rural Development*.



- Mabapa, M. P., Ayisi, K., Mariga, I. K., Mohlabi, R. C. & Chuene, R. S. (2017). Production and Utilization of Moringa by Farmers in Limpopo Province, South Africa. *International Journal of Agricultural Research*, 12, (4), 160-171.
- Machín, L., Giménez, A., Curutchet, M. R., Martínez, J. & Ares, G. (2016). Motives Underlying Food Choice for Children and Perception of Nutritional Information Among Low-Income Mothers in a Latin American Country. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 48, (7), 478-485.
- Ma, Z. F., Ahmad, J., Zhang, H., Khan, I. & Muhammad, S. (2020). Evaluation of phytochemical and medicinal properties of Moringa (*Moringa oleifera*) as a potential functional food. *South African Journal of Botany*, 129, 40-46.
- Mahmood, K.T., Mugal, T. & Haq, I.U. (2010). Moringa oleifera: A natural gift-a review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2, 775-781.
- Mamabolo, R. L., Alberts, M., Steyn, N. P., Delemarre-van de Waal, H. A. & Levitt, N. S. (2005). Prevalence and Determinants of Stunting and Overweight in 3-Year-Old Black South African Children Residing in the Central Region of Limpopo Province, South Africa. *Public Health Nutrition*, 8, (5), 501-508.
- Mayer, R. E. (2011). Towards a Science of Motivated Learning in Technology-Supported Environments. *Educational Technology Research and Development*, 59, (2), 301-308.
- Mampholo, B. M., Maboko, M. M. Soundy, P. & Sivakumar, D. (2016). Phytochemicals and Overall Quality of Leafy Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) Varieties Grown in Closed Hydroponic System. *Journal of Food Quality*, 39, (6), 805-815.
- Manassero, C. A., Vaudagna, S. R., Añón, M. C., & Speroni, F. (2015). High Hydrostatic Pressure Improves Protein Solubility and Dispersion Stability of Mineral-Added Soybean Protein Isolate. *Food Hydrocolloids*, 43, 629-635.
- Mao, X., & Hua, Y. (2012). Composition, Structure and Functional Properties of Protein Concentrates and Isolates Produced from Walnut (*Juglans Regia* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 13, (2), 1561-1581.

- Maisela, T., & Ross, E. (2018). The Experiences of Motherhood among Black Undergraduate Students at a South African University: Reconciling Competing Roles. *South African Review of Sociology*, 49, (2), 41-60.
- Martin, A. H., Nieuwland, M., Govardus, A., & de Jong, H. (2014). Characterization of Heat-Set Gels from RuBisCO in Comparison to Those from Other Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, (44), 10783-10791.
- Mbah, B. O., Eme, P. E. & Paul, A. E. (2012). Effect of Drying Techniques on the Proximate and Other Nutrient Composition of Moringa Oleifera Leaves from Two Areas in Eastern Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11, (11), 1044-1048.
- McBurney, R. P. H., Griffin, C., Paul, A. A. & Greenberg, D. C. (2004). The nutritional composition of African wild food plants: from compilation to utilization. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17, (3), 277-289.
- McCrickerd, K., & Forde, C. G. (2016). Sensory Influences on Food Intake Control: Moving beyond Palatability. *Obesity Reviews*, 17, (1), 18-29.
- Megido, R. C., Sablon, L., Geuens, M., Brostaux, Y., Alabi, T., Blecker, C., Drugmand, D., Haubruge, E. & Francis, F. (2014). Edible Insects Acceptance by Belgian Consumers: Promising Attitude for Entomophagy Development. *Journal of Sensory Studies*, 29, (1), 14-20.
- Ménard, O., Cattenoz, T., Guillemin, H., Souchon, I., Deglaire, A., Dupont, D., & Picque, D. (2014). Validation of a New in Vitro Dynamic System to Simulate Infant Digestion. *Food Chemistry*, 145 (2), 1039-1045.
- Meiselman, H. L., & MacFie, H. J. H. (1996). Food Choice, Acceptance and Consumption. 1er ed. Springer Science & Business Media.
- Mennella, J. A., Nicklaus, S., Jagolino, A. L., & Yourshaw, L. M. (2008). Variety Is the Spice of Life: Strategies for Promoting Fruit and Vegetable Acceptance during Infancy. *Physiology & Behavior*, 94, (1), 29-38.
- Mession, J. L., Sok, N., Assifaoui, A., & Saurel, R. (2013). Thermal Denaturation of Pea Globulins (*Pisum Sativum* L.) -Molecular Interactions Leading to Heat-Induced Protein Aggregation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, (6), 1196-1204.
- Mishra, S. P., Singh, P. & Singh, S. (2012). Processing of Moringa oleifera leaves for human consumption. *Bulletin of Environment Pharmacology and Life Sciences*, 2, 28-31.
- Milani, J., & Maleki, J. (2012). Hydrocolloids in Food Industry. In: Food Industrial Processes - Methods and Equipment, Valdez B.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Balance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., & Carrière, F. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus. *Food & Function*, 5, 1113-1124.
- Modjadji, P., & Madiba, S. (2019). The Double Burden of Malnutrition in a Rural Health and Demographic Surveillance System Site in South Africa: A Study of Primary Schoolchildren and Their Mothers. *BMC Public Health*, 19, (1), 1087.
- Moyo, B., Masika, P. J., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011). Nutritional Characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) Leaves. *African Journal of Biotechnology*, 10, (60), 12925-12933.

- Mouminah, S.H., 2019. Effect of dried *Moringa oleifera* leaves on the nutritional and organoleptic characteristics of cookies. *International Journal of Science and Agricultural Environments*, 36, 297-302.
- Morgan, David. 1998. The Focus Group Guidebook.
- Möser, A., Chen, S. E., Jilcott, S. B. & Nayga, R. M. (2012). Associations between maternal employment and time spent in nutrition-related behaviours among German children and mothers. *Public Health Nutrition*, 15, (7), 1256-1261.
- Mushaphi, L., Dannhauser, A. Walsh, C., Mbhenyane, X. G. & Rooyen, F. (2015). Effect of a nutrition education programme on nutritional status of children aged 3 - 5 years in Limpopo Province, South Africa. *South African Journal of Child Health*, 9, 98.
- Mughal, M. H., Gayoor, A., Srivastava, P. S. & Iqbal, M. (1999). Improvement of drumstick (*Moringa Pterygosperma Gaertn.*) a unique source of food and medicine through tissue culture. *Hamdard Medicus*, 42, 37-42.
- Murray, M. & Vickers, Z. (2009). Consumer views of hunger and fullness. A qualitative approach. *Appetite*, 53, 174-182.
- Mune, M. A. M., Nyobe, E. C., Bassogog, C. B. & Minka, S. R. (2016). A comparison on the nutritional quality of proteins from *Moringa oleifera* leaves and seeds. *Cogent Food & Agriculture*, 2, (1), 1213618.
- Munialo, C., Linden, E. & Jongh, H. (2014). The ability to store energy in pea protein gels is set by network dimensions smaller than 50 nm. *Food Research International*, 64, 482-491.



- Nagi, H.P.S., Kaur, J., Dar, B.N., & Sharma, S. (2012). Effect of storage period and packaging on the shelf life of cereal bran incorporated biscuits. *American Journal of Food Technology*, 7, 301-310.
- Neal, D. T. & Wood, W. (2007). A new look at habits and the habit-goal interface. *Psychological Review*, 114, (4), 843-863.
- Neal, D. T., Wood, W. & Quinn, J. M. (2006). Habits-A Repeat Performance. *Current Directions in Psychological Science*, 15, (4), 198-202.
- Netshiheni, K. R., Mashau, M. E., & Jideani, A. I. O. (2019). Nutritional and sensory properties of instant maize porridge fortified with *Moringa oleifera* leaves and termite (*Macrotermes falciger*) powders. *Nutrition & Food Science*, 49, (4), 654-667.
- Ndife, J., Abdulraheem, L.O., & Zakari, U.M., (2011). Evaluation of the nutritional and sensory quality of functional breads produced from whole wheat and soya bean flour blends. *African Journal of Food Science*, 5, 466-472.
- Nicklaus, S. & Issanchou, S. (2007). Children and food choice. In: Understanding consumers of food products, p.329-358.

- 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), 11-14.
- Ntila, S., Ndhlala, A. R., Kolanisi, U., Abdelgadir, H. & Siwela, M. (2019). Acceptability of a *Moringa* added complementary soft porridge to caregivers in Hammanskraal, Gauteng province and Lebowakgomo, Limpopo province, South Africa. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 32, 51-57.
- Ntila, S., Ndhlala, A. R., Mashela, P. W., Kolanisi, U. & Siwela, M. (2020). Supplementation of a complementary white maize soft porridge with *Moringa oleifera* powder as a promising strategy to increase nutritional and phytochemical values: A research note. *South African Journal of Botany*, 129, 238-242.

O

- O'Sullivan, J., Murray, B. Flynn, C. & Norton, I. (2016). The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins. *Food Hydrocolloids*, 53, 141-154.
- Oyeyinka, A.T. & Oyeyinka, A.S. (2016). *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17, 127-136.

P

- Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009). Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2, (5), 270-278.
- Pandey, A., Pradheep, K., Gupta, R., Roshini N. E. & Bhandari, D. C. (2011). Drumstick Tree' (*Moringa oleifera* Lam.): A multipurpose potential species in India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58, 453-460.
- Pearson, N., Biddle, S. J. H. & Gorely, T. (2009). Family Correlates of Fruit and Vegetable Consumption in Children and Adolescents: A Systematic Review. *Public Health Nutrition*, 12, (2), 267-283.
- Popoola, J. O. & Olawole, O. O. (2013). Local knowledge, use pattern and geographical distribution of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) in Nigeria. *Journal of Ethnopharmacology*, 150, 682-691.
- Prescott, J, Young, O., O'Neill, O., Yau, N. J. N. & Stevens, R. (2002). Motives for Food Choice: A Comparison of Consumers from Japan, Taiwan, Malaysia and New Zealand. *Food Quality and Preference*, 13, (7), 489-495.

R

- Ramachandran, C., Peter, K. V. & Gopalakrishnan, P. K. (1980). Drumstick (*Moringa oleifera*): A multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany*, 34, 276-283.

- Ramaroson R., V., Valentin, D., & Arvisenet, G. (2014). Studying the nutritional beliefs and food practices of Malagasy school children parents. A contribution to the understanding of malnutrition in Madagascar. *Appetite*, 18, 67-75.
- Ramaroson, R. V., Valentin, D. & Arvisenet, G. (2015). How to use local resources to fight malnutrition in Madagascar? A study combining a survey and a consumer test. *Appetite*, 95, 533-543.
- Ramota, K. O., Monday O. K. R., Adeoye, O. S. & Adewumi Toyin, O. (2013). Proximate, mineral and sensory qualities of 'Amala' prepared from Yam flour fortified with Moringa leaf powder. *Food Science and Quality Management*, 12, 10-23.
- Rathnayake, A.R.M.A.N., & Navarathna, S.B. (2017). Utilization of Moringa oleifera leaves as a functional food ingredient in bakery industry. *International Journal of Science and Research*, 6, 339-344.
- Raffensperger, J. F. (2008). The Least-Cost Low-Carbohydrate Diet Is Expensive. *Nutrition Research*, 28, (1), 6-12.
- Randall, E., & Sanjur, D. (1981). Food preferences—their conceptualization and relationship to consumption. *Ecology of Food and Nutrition*, 11, (3), 151-161.
- Rani, A. E. & Arumugan, T. (2017). Moringa oleifera (Lam) – A nutritional powerhouse. *Journal of Crop and Weed*, 13(2): 238-246.
- Rankin, A., Brendan, P. B., Póinhos, R., van der Lans, I. A., Fischer, A. R. H., Sharron Kuznesof, M. D. V., Markovina, A. J., Frewer, L. J., & Stewart-Knox, B. J. (2018). Food Choice Motives, Attitude towards and Intention to Adopt Personalised Nutrition. *Public Health Nutrition*, 21, (14), 2606-2616.
- Riet, J., Sijtsma, S. J., Dagevos, H., & De Bruijn, G. (2011). The Importance of Habits in Eating Behaviour. An Overview and Recommendations for Future Research. *Appetite*, 57, (3), 585-596.
- Ritson, C., & Petrovici, D. (2001). The Economics of Food Choice: Is Price Important? In: Food, People and Society: A European Perspective of Consumers' Food Choices. Frewer, L. J., Risvik, E., & Schifferstein, H. p.339-363. Springer Berlin Heidelberg.
- Rozin, P. (2006). The integration of biological, social, cultural and psychological influences on food choice. In: The psychology of food choice. Shepherd, R. & Raats, M. pp. 19 - 40. Guildford, UK: CABI.
- Rolnick, S., Calvi, J., Heimendinger, J., Mary Kelley, J., Johnson, C., & Gwen L. A. (2009). Focus groups inform a web-based program to increase fruit and vegetable intake. *Patient Education and Counseling*, 77, 2, 314-318.
- Roos, J. A., George Andries Ruthven, M. J. Lombard, & M. H. McLachlan. (2013). Food Availability and Accessibility in the Local Food Distribution System of a Low-Income, Urban Community in Worcester, in the Western Cape Province. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 26, 4.
- Robson, S. M., Couch, S. C., Peugh, J. L., Glanz, K., Zhou, C., Sallis, J. F., & Saelens, B. E. (2016). Parent Diet Quality and Energy Intake Are Related to Child Diet Quality and Energy Intake. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116, (6), 984-990.
- Rozin, P. (2007). Food choice: an introduction. In: Understanding Consumers of Food Products Frewer, L. & van-Trijp, H. *Food Science, Technology and Nutrition*, p. 3-29.

Russell, C. G., Worsley, A. & Liem, D. J. (2015). Parents' Food Choice Motives and Their Associations with Children's Food Preferences. *Public Health Nutrition*, 18, (6), 1018-1027.

J

- Salem, A.S., Salama, W., & El Kebir, G. (2013). Enhancement of nutritional and biological values of Labneh by adding dry leaves of *Moringa oleifera* as innovative dairy products. *World Applied Sciences Journal*, 22, 1594-1602
- Saini, R. K., Sivanesan, I. & Keum, Y. (2016). Phytochemicals of *Moringa oleifera*: A review of their nutritional, therapeutic and industrial significance. *Biotech*, 6, 203-217.
- Saldiva, S. R. D. M., Venancio, S. I., de Santana, A. C., da Silva Castro, A. L., Escuder, M. M. L., & Giugliani, E. R. J. (2014). The Consumption of Unhealthy Foods by Brazilian Children Is Influenced by Their Mother's Educational Level. *Nutrition Journal*, 13, (1), 13-33.
- 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, (3), 175-180.
- Saini, R. K., N. P., Prakash, S. M. & Giridhar, P. (2014). Effect of Dehydration Methods on Retention of Carotenoids, Tocopherols, Ascorbic Acid and Antioxidant Activity in *Moringa Oleifera* Leaves and Preparation of a RTE Product. *Journal of Food Science and Technology*, 51, (9), 2176-2182.
- Sengev, A.I., Joseph, O.A. & Gernah, D.I. (2013). Effect of *Moringa oleifera* leaf powder supplementation on some quality characteristics of wheat bread. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 720-726.
- Scaglioni, S., Arrizza C., Vecchi, F. & Tedeschi, S. (2011). Determinants of Children's Eating Behavior. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94, 2006-2011.
- Shepherd, R., & Raats, M. M. (1996). Attitudes and Beliefs in Food Habits. In: Food Choice, Acceptance and Consumption. Meiselman H. L. & MacFie, H. J. H., p. 346-364. Boston, MA: Springer US.
- Shepherd, D. 1985. « Dietary Salt Intake. *Nutrition & Food Science*, 85, (5), 10-11.
- Sheen, S. J. (1991). Comparison of chemical and functional properties of soluble leaf proteins from four plant species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, (4), 681-685.
- Sijtsema, S., Linnemann, S., van Gaasbeek, T., Dagevos, H., & Jongen, W. (2002). Variables Influencing Food Perception Reviewed for Consumer-Oriented Product Development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42, (6), 565-581.
- Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003). Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of Drumstick tree (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2144-2155.

- Sobowale, S.S., Olatidoye, O.P., Olorode, O.O, & Akinlotan, J.V. (2011). Nutritional Potentials and Chemical Value of Some Tropical Leaf Vegetables Consumed in South West Nigeria. *Journal of Sciences and Multidisciplinary Research*, 3, 55, 65.
- Spreitzer R. J., & Salvucci, M. E. (2002). RUBISCO: Structure, Regulatory Interactions, and Possibilities for a Better Enzyme. *Annual Review of Plant Biology*, 53, (1), 449-475.
- Sreelatha, S. & Padma, P.R. (2009). Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* leaves in two stages of maturity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64, 303-311.
- Steenhuis, I., Waterlander, W. E. & de Mul, A. (2011). Consumer food choices: The role of price and pricing strategies. *Public Health Nutrition*, 14, 2220-2226.
- Story, M., Kaphingst, K. M., Robinson-O'Brien, R. & Glanz, K. (2008). Creating healthy food and eating environments: Policy and environmental approaches. *Annual Review of Public Health*, 29, 253-272.
- STATS SA. (2017). Poverty Trends in South Africa. [Consulté le 26/11/2020]. (http://www.statssa.gov.za/?page_id=1854&PPN=Report-03-10-06).
- Suliaman, A.A., Ke-Xue, Z., Wei, P., Hassan, H.A., Mohammed, O., Azhari, S., & Hui-Ming, Z. (2019). Rheological and quality characteristics of composite gluten-free dough and biscuits supplemented with fermented and unfermented *Agaricus bisporus* polysaccharide flour. *Food Chemistry*, 271, 193-203.
- Sularz, O., Smoleń, S., Koronowicz, A., Kowalska, I., & Leszczyńska, T. (2020). Chemical Composition of Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) Biofortified with Iodine by KIO₃, 5-Iodo-, and 3,5-Diiodosalicylic Acid in a Hydroponic Cultivation. *Agronomy*, 10, (7), 1007-1022.
- Swinburn, B. A., Sacks, G., Hall, K. D., McPherson, K., Finegood, D. T., Moodie, M. L., & Gortmaker, S. L. (2011). The Global Obesity Pandemic: Shaped by Global Drivers and Local Environments. *The Lancet*, 378, (9793), 804-814.
- Symoneaux, R., & Galmarini, M.V. (2014). Open-ended questions, In: Novel techniques in sensory characterization and consumer profiling. Varela, P., Gastón, A. Taylor & Francis group, London, p. 307-330.

J

- Tabita, F. R., Satagopan, S., Hanson, T. E., Kreel, N. E., & Scott, S. S. (2008). Distinct form I, II, III, and IV Rubisco proteins from the three kingdoms of life provide clues about Rubisco evolution and structure/function relationships. *Journal of Experimental Botany*, 59, (7), 1515-1524.
- Takeiti, C. Y., Graziella C. A., Motta, E. M. P., Collares-Queiroz, F. P., & Park, K. J. (2009). Nutritive Evaluation of a Non-Conventional Leafy Vegetable (*Pereskia Aculeata* Miller). *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60, 148-160.
- Tamayo Tenorio, A., Gieteling, J., de Jong, G. A. H., Boom, R. M. & van der Goot, J. A. (2016). Recovery of Protein from Green Leaves: Overview of Crucial Steps for Utilisation. *Food Chemistry*, 203, 402-408.

- Teixeira, E.M., Carvalho, M.R., Neves, V.A., Silva, M.A., & Arantes-Pereira, L. (2014). Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* Lam. leaves. *Food Chemistry*, 147:51-54.
- Tiedje, K., Wieland, M. L., Meiers, M. S., Mohamed, A. A., Formea, C. M., Ridgeway, J. L., Asiedu, G. B., Boyum, G., Weis, J. A., Nigon, J. A., Patten, C. A., & Sia, I. G. (2014). *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11, 63.
- Teixeira, E.M., Carvalho, M.R., Neves, V.A., Silva, M.A., & Arantes-Pereira, L. (2014). Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* Lam. leaves. *Food Chemistry*, 147:51-54.
- Tu, V. P. (2010). Pour moi, le goût du soja n'est pas une barrière à la consommation. Et pour vous?: Effet de la culture sur les croyances, attitudes et préférence vis-à-vis des produits à base de soja. Thèse, Université de Bourgogne.

U

- Udenigwe, C. C., Okolie, C. L., Qian, H., Ohanenye, I. C., Agyei, D., & Aluko, R. E. (2017). Ribulose-1,5-Bisphosphate Carboxylase as a Sustainable and Promising Plant Source of Bioactive Peptides for Food Applications. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 74-82.
- UNICEF, (2019). State of the World's Children 2019: Children, Food and Nutrition Report. Pretoria.
- Urala, N., & Lähteenmäki, L. (2004). Attitudes behind Consumers' Willingness to Use Functional Foods. *Food Quality and Preference*, 15, (7), 793-803.
- Uusiku, N. P., Oelofse, A., Duodu, K. G., Bester, M. J. & Faber, M. (2010). Nutritional Value of Leafy Vegetables of Sub-Saharan Africa and Their Potential Contribution to Human Health: A Review. *Journal of Food Composition and Analysis, Horticulture, Biodiversity and Nutrition*, 23, (6), 499-509.

V

- Venturi, F., Andrich, G., Sanmartin, C., Scalabrelli, G., Ferroni, G., & Zinnai, A. (2014). The expression of a full-bodied red wine as a function of the characteristics of the glass utilized for the tasting. *Journal of Food*, 12, (3), 1-7.
- Voet, Donald. 2005. Biochimie. 2^{ème} ed. Bruxelles, De Boeck.
- 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. *Industrial Crops and Products*, 44, 566-571.

W

- Wang, W., Tai, F., & Chen, S. (2008). Optimizing Protein Extraction from Plant Tissues for Enhanced Proteomics Analysis. *Journal of Separation Science*, 31, (11), 2032-2039.
- Wadhwa, D., & Capaldi-Phillips, E. D. (2014). A Review of Visual Cues Associated with Food on Food Acceptance and Consumption. *Eating Behaviors*, 15, (1), 132-143.
- Warren, C., Adams, M., & Chen, Z. (2000). Is photosynthesis related to concentration of nitrogen and Rubisco in leaves of Australian native plants? *Functional Plant Biology*, 27, 407-416.
- Wansink, B., Sonka, S. T., & Cheney, M. M. (2002). A Cultural Hedonic Framework for Increasing the Consumption of Unfamiliar Foods: Soy Acceptance in Russia and Colombia. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 24, (2), 353-365.
- Wardle, J., Haase, A. M., Steptoe, A., Nillapun, M., Jonwutiwes, K., & Bellis, F. (2004). Gender Differences in Food Choice: The Contribution of Health Beliefs and Dieting. *Annals of Behavioral Medicine*, 27, (2), 107-116.
- Watts, A. W., Mâsse, L. C., Barr, S. I., Lovato, C. Y., & Hanning, R. M. (2014). Parent-Child Associations in Selected Food Group and Nutrient Intakes among Overweight and Obese Adolescents. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114, (10), 1580-1586.
- Wind, M., Bobelijn, K., de Bourdeaudhuij, I., Klepp, K., & Brug, K. (2005). A Qualitative Exploration of Determinants of Fruit and Vegetable Intake among 10- and 11-Year-Old Schoolchildren in the Low Countries. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 49, (4), 228-235.
- Wit, J. B. F., Marijn Stok, F., Smolenski, D. J., de Ridder, D. D. T., de Vet, E., Gaspar, T., Johnson, F., Nureeva, L., & Luszczynska, A. (2015). Food Culture in the Home Environment: Family Meal Practices and Values Can Support Healthy Eating and Self-Regulation in Young People in Four European Countries. *Applied Psychology: Health and Well-Being*, 7, (1), 22-40.
- Witt, K.A., 2013. The nutrient content of *Moringa oleifera* leaves, Ecocommunity. <https://www.echocommunity.org/resources/a7ee06e3-40f2-4ef0-859e-4e64b90a56c8>
- World Bank, (2018). Overcoming Poverty and Inequality in South Africa: An Assessment of Drivers, Constraints and Opportunities. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Washington DC 20433

Y

- Yaméogo, C., Bengaly, M. D., Savadogo, A., Nikiema, P. A. & Traore, A. (2011). Determination of chemical composition and nutritional values of *Moringa oleifera* leaves. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10, 264-268.

- Youssef, M., Lafarge, C., Valentin, D., Lubbers, S., & Husson, F. (2016). Fermentation of Cow Milk and/or Pea Milk Mixtures by Different Starter Cultures: Physico-Chemical and Sensorial Properties. *LWT - Food Science and Technology*, 69, 430-437.
- Yusuf, A. O., Mlambo, V., & Iposu, S. O. (2018). A Nutritional and Economic Evaluation of *Moringa oleifera* Leaf Meal as a Dietary Supplement in West African Dwarf Goats. *South African Journal of Animal Science*, 48, (1), 81-87.

Z

- Zengin, G., Aktumsek, A., Guler, G., Cakmak, Y. S., Girón-Calle, J., Alaiz, M., & Vioque, J. (2012). Nutritional Quality of Protein in the Leaves of Eleven Asphodeline Species (Liliaceae) from Turkey. *Food Chemistry*, 135, (3), 1360-1364.
- Ziani, B. E. C., Rached, W., Bachari, K., Alves, M. J. Calhelha, R. C., Barros, L. & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Detailed Chemical Composition and Functional Properties of *Ammodaucus Leucotrichus* Cross. & Dur. and *Moringa Oleifera* Lamarck. *Journal of Functional Foods*, 53, 237-247.

ANNEXES

Annexe 1

Moderator's guide of Focus Group

1. Background and Introductions

- Greetings and welcome
- *Introduction of Participants*

Could we begin by each of you telling us your first name and a little something about yourself like year and course of study and number of children has and their ages? Let's start with you [*address one participant*].

[Thank participants for agreeing to come for the FGD session.]

*Prior to commencing the FGD session, ask participants to talk on any of following: Can you discuss your most favorite food with other group members?

2. Reasons for selecting foods

On the sticky papers provided to you, please identify:

- In words not in sentences, write the reasons why you choose the foods you eat frequently on the blue sticky notes.
- In words not in sentences, write the reasons why you feed your children the foods they eat frequently on the yellow sticky notes.

[The moderator will paste these notes on a white board or arrange it on the table to form themes. Find the most common themes from the sticky notes and initiate discussion among participants]

[Start with the reasons for student mother food choices, then ask participants to list reasons why they feed their children the food they eat]

3. Staple Food Types Eaten by Student Mothers and their Children

- Please mention at least three staple foods that you and your children eat either every day or frequently
- Please mention three staple foods you feed your children. What do you think of the nutritional benefits of the staple foods you eat and feed your children?

4. Food Habits Discussion

- Based on our discussion on "nutritional benefits of food." How is the way we eat related to our health ?
- What foods do you think can be mixed with your favorite food or snack to make it a nutritious meal?
- Can you please mention some examples of leafy vegetables that can be added to your favorite food or your children favorite food or snack?

5. Healthy Eating Habits

- When I say "eating right" or "eating healthy" what comes to mind for you? What do you think of when you think of eating right or eating healthy?
- What are some of the things that KEEP you and your children from making changes in both your eating habits?
- Now that we have talked about things that keep us from making changes, what are some of the things that could HELP you make changes in your eating habits?

[If necessary, use the following probe]

- What would you need to learn how to do in order to eat healthier?

6. Moringa Benefits

- From talking to other groups like this and from previous readings, I know that lots of people have heard of the nutritional benefits of Moringa. Despite all its benefits, we all know that many people do not eat Moringa or buy Moringa supplemented products. So, here is a message for those of us who aren't eating Moringa and Moringa supplemented products yet.

[Hand out papers]

- Look at the message on your sheet.

"Moringa is claimed to have many nutritional benefits: antibacterial, anticancer, antiasthma, antihypertensive, immunity booster, anti-inflammatory, improves fertility and reproductive health and nutritional supplement."

- What do you think about this message?
- What is the value of these nutritional benefits of Moringa to you ("antibacterial," "anticancer," and "immunity booster"...)? *[Keep discussion brief.]*

- Which of these nutritional values do you derive from the consumption Moringa (vitamin A, iron, minerals)? [*Keep discussion brief.*]
- If you are not likely to eat Moringa despite its benefits, what are some of the things that are likely to KEEP you from eating Moringa products?
- What are some of the things that could HELP you eat Moringa supplemented food products?

[If necessary, use the following probe]

- What would you need to know to eat more Moringa food products?
- If you were trying to convince someone to get more eat Moringa products, how would you do that?

7. **Wrap up and departure**

- Check with observers and quickly cover any final issues if necessary.
- Offer an opportunity for any *short* final comments participants would like to make.
- Have participants complete short demographic questionnaire before they leave the room.
- Thank participants for their time and insights.

Annexe 2