

# SOMMAIRE

	Pages
REMERCIEMENTS.....	I
LISTE DES FIGURES.....	III
LISTE DES TABLEAUX.....	IV
LISTE DES ABREVIATIONS.....	IX
GLOSSAIRE.....	XI

INTRODUCTION .....	1
--------------------	---

## **PARTIE 1: REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

<b>Chapitre 1: Généralités sur la nutrition.....</b>	<b>3</b>
1.1. Les besoins nutritionnels.....	3
1.2. Les facteurs de risque de malnutrition par carence en micro et macronutriment....	4
1.3. La diversification alimentaire.....	5
1.4. La malnutrition.....	5
1.5. Situation alimentaire des jeunes enfants à Madagascar.....	6
<b>Chapitre 2: Présentation du <i>Moringa oleifera</i> et ses spécificités.....</b>	<b>7</b>
2.1. Classification.....	7
2.2. Description botanique.....	8
2.3. Culture.....	10
2.4. Utilisation.....	10
2.5. Composition nutritionnelle.....	11
<b>Chapitre 3: Présentation de quelques fruits de saison.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1. Le tamarin.....</b>	<b>12</b>
3.1.1. Classification.....	12
3.1.2. Description botanique.....	13
3.1.3. Culture.....	13
3.1.4. Utilisation.....	13
3.1.5. Composition nutritionnelle.....	14

<b>3.2. La banane</b>	14
3.2.1. Classification	14
3.2.2. Description botanique	15
3.2.3. Culture	15
3.2.4. Utilisation	15
3.2.5. Composition nutritionnelle	15
<b>3.3. La papaye</b>	16
3.3.1. Classification	16
3.3.2. Description botanique	16
3.3.3. Utilisation et Composition nutritionnelle	17
<b>3.4. Le fruit à pain</b>	17
3.4.1. Classification	17
3.4.2. Description botanique	18
3.4.3. Utilisation	18
3.4.4. Composition nutritionnelle	18
<b>3.5. Le kaki</b>	19
3.5.1. Classification	19
3.5.2. Description botanique	19
3.5.3. Composition nutritionnelle	19
<b>Chapitre 4: Présentation de procédés de valorisation des aliments</b>	20
<b>4.1. Valorisation des fruits</b>	20
4.1.1. Définition de pâtes de fruits	20
4.1.2. Fabrication des pâtes de fruit	20
4.1.3. Importance de la pectine	21
<b>4.2. Enrichissement des produits alimentaires</b>	22
4.2.1. Principe de l'enrichissement	22
4.2.2. Enrichissement en micronutriments	22
4.2.3. Enrichissement en macronutriments	23
<b>4.3. Fermentation lactique des aliments</b>	23
4.3.1. Définition	23
4.3.2. Processus chimique de la fermentation lactique	23
4.3.3. Les bactéries de la fermentation	24
4.3.4. Les bactéries de la fermentation lactique	24

4.3.5. Les rôles des bactéries lactiques.....	25
<b>Chapitre 6: L'étude sensorielle.....</b>	<b>26</b>
6.1. Généralités .....	26
6.2. Principe de l'analyse sensorielle .....	26
6.3. Utilisation et avantages.....	26
6.4. Appréciation des propriétés sensorielles.....	27
<b>Chapitre 7: L'étude physico-chimique des aliments.....</b>	<b>27</b>
7.1. Intérêts.....	27
7.2. La texture des aliments.....	28
7.2.1. Définition.....	28
7.2.2. Principe.....	28
7.3. La couleur des aliments.....	29
7.4. L'activité de l'eau dans les aliments.....	29
<b>Chapitre 8: Les molécules antioxydants dans les aliments.....</b>	<b>31</b>
8.1. Définition.....	31
8.2. Origine des antioxydants.....	31
8.3. Classification des antioxydants.....	32
8.4. Molécules antioxydants des plantes.....	32
8.5. Mécanisme d'action des antioxydants.....	33

## **PARTIE 2: MATERIELS ET METHODES**

### **Chapitre 9: LES MATERIELS**

9.1. Le <i>Moringa oleifera</i> .....	34
9.2. Les fruits .....	34

### **Chapitre 10: LES METHODES**

10.1. Obtention de la poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	34
10.2. Récolte des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	34
10.3. Préparation des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	34
10.4. Analyses chimiques de la poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	36
10.4.1. Détermination du taux de matières sèches.....	36
10.4.2. Détermination du pH.....	37
10.4.3. Détermination de la teneur en protéines totales.....	37
10.4.4. Détermination de la teneur en lipides totaux.....	38

10.4.5. Détermination de la teneur en cendres brutes.....	39
10.4.6. Détermination de la teneur en glucides totaux.....	40
10.4.7. Détermination de la valeur énergétique.....	40
10.4.8. Identification des acides aminés.....	41
10.4.9. Etude des polyphénols.....	41
a. <i>Les méthodes d'extraction</i> .....	41
b. <i>Les solvants</i> .....	41
c. <i>Les étapes d'extraction</i> .....	42
d. <i>Dosage des composés phénoliques</i> .....	45
e. <i>Activité antioxydante</i> .....	46
f. <i>Analyse en HPLC-MS des échantillons éthanoliques</i> .....	46
<b>Chapitre 11: Procédés de valorisation du <i>Moringa oleifera</i></b> .....	47
11.1. Pâtes de fruit aux feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	47
11.1.1. Préparation des fruits.....	47
11.1.2. Fabrication des pâtes de fruit.....	47
11.1.3. Incorporation du <i>Moringa oleifera</i> .....	48
11.1.4. Diagramme de fabrication des pâtes de fruit.....	48
11.1.5. Analyses sensorielles.....	51
a. <i>Groupes de sujets cibles</i> .....	51
b. <i>Organisation des épreuves</i> .....	51
c. <i>Evaluation sensorielle des pâtes de fruit non enrichies</i> .....	51
d. <i>Evaluation sensorielle des pâtes de fruit enrichies</i> .....	51
d <sub>1</sub> . <i>Test triangulaire</i> .....	52
d <sub>2</sub> . <i>Test de Friedman</i> .....	52
d <sub>3</sub> . <i>Test hédonique</i> .....	53
d <sub>4</sub> . <i>Test de classement par rang</i> .....	53
11.1.6. Analyses nutritionnelles des pâtes de fruit aux feuilles de <i>Moringa oleifera</i> ...54	
a. <i>Préparation des échantillons</i> .....	54
11.1.7. Analyses microbiologiques des pâtes de fruit aux protéines de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	54
a. <i>Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FAMT)</i> .....	55
b. <i>Dénombrement des <i>Staphylococcus aureus</i></i> .....	55
c. <i>Dénombrement des coliformes totaux et fécaux</i> .....	55
d. <i>Dénombrement des <i>Escherichia coli</i></i> .....	56



e. Recherche des Salmonelles.....	56
f. Mode de calcul du dénombrement.....	56
g. Détermination de la date limite de consommation.....	57
h. Evaluation de la toxicité des pâtes de tamarin et de banane à 30% de <i>Moringa oleifera</i> .....	57
11.1.8. Analyse du profil de texture et physico-chimique des pâtes de fruit aux protéines de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	58
a. Profil de texture des pâtes de tamarin.....	58
b. Caractères physico-chimiques.....	60
b.1. Mesures de couleurs.....	60
b.2. Mesure de l'activité de l'eau.....	61
b.3. Mesure des teneurs en eau.....	62
11.1.9. Détermination des isothermes de sorption des pâtes de fruit aux protéines de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	62
11.2. Fermentation du <i>Moringa oleifera</i> .....	63
11.2.1. Principe de la fermentation.....	63
11.2.2. Méthodes de fermentation.....	64
a. Préparation des échantillons.....	64
b. Préparation de l'inoculum.....	64
c. Culture des bactéries.....	65
11.2.3. Mesure de la densité optique.....	66
11.2.4. Mesure de pH.....	66
11.2.5. Détermination de la teneur en protéines par la méthode de BRADFORD.....	66
11.2.6. Détermination de la teneur en sucres réducteurs par la méthode de MILLER .....	67
11.2.7. Analyses statistiques.....	67

### **PARTIE 3: RESULTATS ET DISCUSSIONS**

<b>Chapitre 12: Etude analytique du <i>Moringa oleifera</i>.....</b>	<b>68</b>
12.1. Composition nutritionnelle des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	68
12.2. Extraction des composés phénoliques des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	70
12.3. Dosage de l'activité antioxydante par le test au DPPH.....	71
12.4. Analyse en HPLC –MS des composés phénoliques.....	72
<b>Chapitre 13: Incorporation des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> dans les fruits.....</b>	<b>75</b>

13.1. Fabrication des pâtes de fruits.....	75
13.2. Analyses nutritionnelles des pâtes de tamarin et des pâtes de banane.....	77
13.3. Analyses sensorielles des pâtes de tamarin et des pâtes de banane aux protéines de feuilles <i>Moringa oleifera</i> .....	78
13.4. Qualité microbiologique des pâtes de tamarin et des pâtes de banane aux protéines de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	80
13.5. Corrélation profil de texture et analyse sensorielle des pâtes de tamarin aux protéines de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	82
13.6. Composition nutritionnelle des pâtes de tamarin et des pâtes de banane à 30% de poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	84
13.7. Caractérisation physico-chimique des pâtes de tamarin supplémentées aux différents teneurs de poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	85
13.8. Vieillessement des pâtes de tamarin enrichies aux protéines de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	87
13.9. Isothermes de sorption des pâtes de tamarins influencés par la concentration en poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	90
<b>Chapitre 14: Fermentation de la poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i></b> .....	92
14.1. Analyses nutritionnelles des poudres fermentées.....	92
14.1.1. Teneurs en protéines (PR).....	92
14.1.2. Teneurs en sucres réducteurs (SR).....	93
14.1.3. Teneurs en composés phénoliques (CP).....	94
14.2. Effets de la fermentation sur les propriétés nutritionnelles des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	95
14.3. Effet de la fermentation sur la chromacité des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	98

## **PARTIE 4: CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES**

<b>Conclusions et perspectives</b> .....	100
<b>Bibliographie</b> .....	102
<b>ANNEXES</b> .....	a
<b>PUBLICATIONS</b>	

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé :

- A l'**HOMEOPHARMA** pour la mise au point du processus de fabrication et pour l'analyse hédonique des pâtes de fruits.
- A l'Université Athénée Saint Joseph d'Antsirabe pour les analyses microbiologiques.
- A l'Université de Bourgogne AgroSup Dijon pour l'analyse physicochimique et l'analyse du profil de texture.
- A l'Ecole Supérieure d'Ingénieurs de l'Université de La Réunion Océan Indien pour l'analyse des molécules bioactives
- Au Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition pour les analyses nutritionnelles et l'analyse sensorielle.

Ce travail a obtenu un appui financier :

- une Bourse du Gouvernement Français, nous adressons nos remerciements chaleureux.
- Un financement du programme pour le Renforcement de la Recherche Scientifique pour la Gouvernance et le Développement humain Durable (G/DHD)
- Une aide conséquente et une franche collaboration scientifique du réseau QuaLiReg de l'Océan Indien

Nous exprimons nos vifs remerciements.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance au *Professeur Julia Louisette RAZANAMPARANY*, mon Directeur de thèse, qui tout au long de ces années m'a suivie et encouragée, mais aussi pour toute la confiance qu'elle m'a accordée. Je tiens à la remercier pour son infinie patience, ses conseils non seulement dans le travail mais dans la vie, et son aide précieuse jusqu'à l'aboutissement de ce travail. Pour tout cela, je tiens à lui témoigner toute ma gratitude et mon profond respect.

J'adresse mes remerciements au *Professeur Rémi SAUREL* Directeur-adjoint PAM, Responsable de l'équipe PAPC (Procédés Alimentaires et Physico-Chimie) AgroSup Dijon UMR PAM qui m'a accueillie au sein de son laboratoire à l'AgroSup de Dijon, j'ai pu bénéficier d'un environnement scientifique de haut niveau et d'une atmosphère de travail exceptionnelle.

Je remercie particulièrement **Céline LAFARGE** du Département des Sciences des Aliments et Nutrition, UNITE PAM (Procédés Alimentaires et Microbiologiques) équipe PAPC (Procédés Alimentaires et Physico-Chimie) AgroSup Dijon, mon responsable scientifique qui m'a dirigée, aidée tout au long de mon stage dans son laboratoire, jusqu'à la rédaction de mon article.

J'adresse mes vifs remerciements au **Professeur Abel HIOL** en Biochimie de la Nutrition - UMR QUALISUD. Responsable de la Spécialité Agroalimentaire. ESIROI-Université de la Réunion. Parc Technologique Universitaire, pour m'avoir permis de finaliser ce travail en m'accueillant dans son laboratoire.

Je remercie également **Docteur Vincent PORPHYRE**, membre du réseau QuAliReg pour son appui financier et sa précieuse collaboration

J'exprime ma reconnaissance au **Professeur Victor JEANNODA**, Directeur de l'école doctorale « Science de la vie et de l'environnement » pour l'honneur qu'il me fait de présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit des membres de jury :

*Madame le Professeur Laurence RALAMBORANTO* et *Monsieur le Professeur RANAIVONIARIVO Gabriely* d'avoir accepté d'être les rapporteurs de cette thèse. Merci infiniment d'avoir apporté vos compétences et votre contribution dans l'amélioration de ce document.

*Madame le Professeur Blandine ANDRIANARISOA* et *Monsieur le Professeur Marson RAHERIMANDIMDY*, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, d'avoir accepté d'être les examinateurs de cette thèse malgré vos multiples tâches.

Qui ont accepté d'être membre du jury et de juger ce travail.

A ceux qui de près ou de loin m'ont apporté leur aide et leurs encouragements tout au long de ce travail.

A mes 3 enfants : Aurélie, Johanna et Kenny pour leur Amour et leur patience malgré les difficultés qui ont surgit le long du chemin et les absences répétées qui vous ont beaucoup affectées. Sans VOUS je n'aurai jamais pu terminer ce travail. Je vous dédie ce travail, qu'il soit un exemple et comme je dis toujours « **Il faut faire mieux** ».

A mon Mari, pour son soutien précieux,

A mon père et ma mère pour leur soutien moral, leur encouragement et leur écoute.

A toutes et à tous, Merci infiniment.

*Nirina HARIMALALA ANDRIAMBELO*

# LISTE DES FIGURES

	Pages
<b>Figure 1</b> : Disponibilité énergétique alimentaire (DEA) journalière de 1992 à 2011.....	4
<b>Figure 2</b> : Appareil végétatif de <i>Moringa oleifera</i> .....	8
<b>Figure 3</b> : Graine de <i>Moringa oleifera</i> .....	9
<b>Figure 4</b> : Arbuste de <i>Moringa oleifera</i> .....	9
<b>Figure 5</b> : Fruit du tamarinier.....	13
<b>Figure 6</b> : La banane.....	14
<b>Figure 7</b> : La papaye.....	16
<b>Figure 8</b> : Le fruit à pain.....	18
<b>Figure 9</b> : Le kaki.....	19
<b>Figure 10</b> : Dissociation des chaînes de pectine sous l'action de la chaleur et gélification au cours du refroidissement.....	22
<b>Figure 11</b> : Allure type d'un profil de texture instrumental.....	28
<b>Figure 12</b> : Risque de détérioration des aliments en fonction de l'activité de l'eau (Aw).....	31
<b>Figure 13</b> : Technique de récolte des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	35
<b>Figure 14</b> : Technique de séchage des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	35
<b>Figure 15</b> : Poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	36
<b>Figure 16</b> : Extraction acétonique des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	42
<b>Figure 17</b> : Extraction aqueuse des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	43
<b>Figure 18</b> : Extraction éthanolique des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	44
<b>Figure 19</b> : Diagramme de fabrication des pâtes de fruits et obtention des pâtes de fruits.....	49
<b>Figure 20</b> : Analyseur de texture RHEO TA-HD+.....	58
<b>Figure 21</b> : Capteur analyseur des échantillons soumis aux déformations.....	58
<b>Figure 22</b> : Appareil de mesure de coloration Minolta CR-200B Handheld.....	59
<b>Figure 23</b> : Diagramme de chromacité.....	60
<b>Figure 24</b> : Appareil de mesure de l'Aw Rotronic Hygropalm.....	60
<b>Figure 25</b> : Diagramme de fermentation des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	64
<b>Figure 26</b> : Comparaison des teneurs en composés phénoliques selon le solvant utilisé.....	70
<b>Figure 27</b> : Pourcentage d'inhibition des extraits aqueux et des extraits acétonique des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	71
<b>Figure 28</b> : Chromatogramme en HPLC des poudres de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	72

<b>Figure 29a et b :</b> Profil sensoriel des pâtes de fruits.....	75
<b>Figure 30a :</b> Courbe de croissance des FAMT dans les pâtes de tamarin aux feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	81
<b>Figure 30b :</b> Courbe de croissance des FAMT dans les pâtes de banane aux feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	81
<b>Figure 31 :</b> Classification hiérarchique ascendante réalisée sur les pâtes de tamarin supplémentées avec différentes teneurs en <i>Moringa oleifera</i> âgés de 15jrs....	85
<b>Figure 32a et 32b :</b> Analyse à composantes principales (ACP) des pâtes de tamarin selon leur âge et la teneur en <i>Moringa oleifera</i> .....	87
<b>Figure 33 :</b> Classification hiérarchique ascendante des pâtes de tamarin selon la teneur en <i>Moringa oleifera</i> et leur âge.....	89
<b>Figure 34 :</b> Isothermes de sorption des pâtes de tamarin à 0% et 30% de <i>Moringa oleifera</i> enrobées et non enrobées obtenus à des températures de 25°C.....	92
<b>Figure 35a :</b> Analyses en composantes principales des feuilles fermentées par DMS 2601 selon le temps de fermentation et la maturité de la plante.....	97
<b>Figure 35b :</b> Analyses en composantes principales des feuilles fermentées par 27A selon le temps de fermentation et la maturité de la plante.....	97
<b>Figure 36 a :</b> Poudre de <i>Moringa oleifera</i> non fermentée.....	99
<b>Figure 36 b :</b> Poudre de <i>Moringa oleifera</i> non fermentée.....	99

# LISTE DES TABLEAUX

## Pages

<b>Tableau 1 :</b> Disponibilité des principaux groupes d'aliments.....	4
<b>Tableau 2 :</b> Valeur nutritive de la banane.....	16
<b>Tableau 3 :</b> Valeur nutritive de la papaye.....	17
<b>Tableau 4 :</b> Rôle des bactéries lactiques.....	26
<b>Tableau 5 :</b> Méthodes de dosage des composés phénoliques par la méthode Folin-Ciocalteu.....	46
<b>Tableau 6 :</b> Méthode de dosage des antioxydants par la méthode de réduction du DPPH.....	47
<b>Tableau 7 :</b> Conditions d'élution des solvants A (H <sub>2</sub> O/HCOOH/CH <sub>3</sub> CN) et B CH <sub>3</sub> CN....	47
<b>Tableau 8 :</b> Composition nutritionnelle des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	68
<b>Tableau 9 a :</b> Valeurs nutritionnelles de légumes feuilles consommés en Afrique.....	69
<b>Tableau 9 b :</b> Valeurs nutritionnelles de légumes feuilles consommés à Madagascar...	70
<b>Tableau 10 :</b> Les composés phénoliques identifiés en HPLC-MS des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	72
<b>Tableau 11 :</b> Composition nutritionnelle du tamarin et de la banane.....	77
<b>Tableau 12 :</b> Composition nutritionnelle des pâtes de tamarin et des pâtes de banane.....	78
<b>Tableau 13 :</b> Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Nemenyi/ test bilatéral des pâtes de tamarin.....	79
<b>Tableau 14:</b> Comparaisons multiples par paires suivant la procédure de Nemenyi/ test bilatéral des pâtes de banane.....	80
<b>Tableau 15a:</b> Analyse microbiologique des pâtes de tamarin aux feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	80
<b>Tableau 15b:</b> Analyse microbiologique des pâtes de banane aux feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	80



<b>Tableau 16 :</b> Somme des rangs des pâtes de tamarin à la poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	83
<b>Tableau 17 :</b> Résultats du test de classement par rang des pâtes de tamarin à la poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	83
<b>Tableau 18 :</b> Propriétés rhéologiques des pâtes de tamarin supplémentées des différentes teneurs en <i>Moringa oleifera</i> âgés de 15 jrs.....	84
<b>Tableau 19 :</b> Composition nutritionnelle des pâtes de tamarin et des pâtes de banane enrichies à 30% de poudre de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	85
<b>Tableau 20 :</b> Propriétés physico-chimiques des pâtes de tamarin supplémentées aux différentes teneurs en <i>Moringa oleifera</i> âgés de 15 jrs.....	85
<b>Tableau 21 :</b> Impact du vieillissement sur les propriétés physico-chimiques des pâtes de tamarin supplémentées des différentes teneurs en <i>Moringa oleifera</i> âgés de 15 jrs.....	87
<b>Tableau 22 :</b> Impact du vieillissement sur les propriétés rhéologiques des pâtes de tamarin supplémentées des différentes teneurs en <i>Moringa oleifera</i> .....	91
<b>Tableau 23 :</b> Teneurs en protéines des feuilles fermentées par <i>Weissella</i> (27A).....	95
<b>Tableau 24 :</b> Teneurs en protéines des feuilles fermentées par <i>Lactobacillus plantarum</i> (DMS 2601).....	96
<b>Tableau 25 :</b> Teneurs en sucres réducteurs des feuilles fermentées par <i>Weissella</i> (27A).....	96
<b>Tableau 26:</b> Teneurs en sucres réducteurs des feuilles fermentées par <i>Lactobacillus plantarum</i> (DMS 2601).....	97
<b>Tableau 27 :</b> Teneurs en composés phénoliques des feuilles fermentées par <i>Weissella</i> (27A).....	97
<b>Tableau 28 :</b> Teneurs en composés phénoliques des feuilles fermentées par <i>Lactobacillus plantarum</i> (DMS 2601).....	97

<b>Tableau 29A :</b> Effets de la fermentation par <i>Weissella</i> (27A) sur les propriétés nutritionnelles, sur le pH des différents stades de développement des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	96
<b>Tableau 29B :</b> Effets de la fermentation par <i>Lactobacillus plantarum</i> (DMS 2601) sur les propriétés nutritionnelles, sur le pH des différents stades de développement des feuilles de <i>Moringa oleifera</i> .....	96
<b>Tableau 30a :</b> Mesure colorimétrique des poudres de jeunes feuilles fermentées par <i>Lactobacillus plantarum</i> (DMS2601).....	98
<b>Tableau 30b :</b> Mesure colorimétrique des poudres de jeunes feuilles fermentées par <i>Weissella</i> (27 A).....	98

## ABREVIATIONS

**ACP** : Analyse en composante principale

**ACSQDA** : Agence de Contrôle de la Qualité Sanitaire des Denrées Alimentaires.

**ADP** : Adénosine Diphosphate

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**AFSSA** : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments.

**ANC** : Apports nutritionnels conseillés

**ANSES** : L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

**ATP** : Adénosine Triphosphate

**Aw** : Activité de l'eau

**BHA 320** : 3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole

**BHT 321** : 3,5- ditertiobutyl-4-hydroxytoluène

**CB** : Cendres brutes

**CCM** : Chromatographie sur couche mince

**CIE** : Commission Internationale sur l'éclairage

**CP** : Composés phénoliques

**DEA** : Disponibilités énergétiques alimentaires

**DLC** : Date Limite de Consommation

**DPPH** : 2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl

**ED** : Eau distillée

**EFL** : Extraits foliaires de luzerne

**ES** : Evaluation sensorielle

**FAMT** : Flore mésophile aérobie totale

**FM** : Faiblement méthoxylées

**FAOSTAT** : Food and Agricultural Organisation Statistique

**HM** : hautement méthoxylées

**HPLC-MS** : Chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse

**IC** : Indice chimique

**IRD** : Institut de Recherche pour le Développement

**MG** : Matière grasse

**MPE** : Malnutrition protéino-énergétique

**MRS** : Milieu de De Man, Rogosa et Sharpe

**MS** : Matière sèche

**MF** : Matière fraîche

**Na Fe EDTA** : Sel de sodium et de fer d'acide éthylène diamine tétra-acétique

**Pb** : pâtes de banane

**PCA** : Milieu de plat count agar

**PR** : Protéines

**Pt** : Pâtes de tamarin

**SAB** : Sérum albumine bovine

**SDA** : Score de diversité alimentaire

**SR** : Sucres réducteurs

**TPA** : Analyse de profil de texture

**TBHQ** : tertibutyl- hydroquinone

**UFC** : Unité Formant Colonie

**VRBL** : gélose au cristal violet et au rouge neutre biliée et lactosée



# INTRODUCTION

# INTRODUCTION

Face à la démographie galopante, la malnutrition est un problème réel à Madagascar. Elle demeure un problème majeur à la fois de santé publique et socio-économique qui touche une grande partie de la population. Les pratiques alimentaires inadéquates telles la rigidité des habitudes alimentaires sont parmi les causes majeures de l'apparition et de l'installation de la malnutrition. De plus, l'alimentation du Malagasy est hyperglucidique, pauvre en lipides et déficitaire en protéines d'origine animale ainsi qu'en éléments minéraux et en vitamines. Ces problèmes touchent aussi bien le milieu rural que le milieu urbain. Or il est indispensable de disposer d'une nourriture adéquate en quantité, en qualité et variété pour répondre aux besoins énergétiques et nutritionnels. Sans une nutrition adéquate, les enfants ne peuvent pas développer leur potentiel et les adultes rencontrent des difficultés à conserver ou à élargir le leur. Comparé aux autres pays en voie de développement, Madagascar n'est pas parvenu au stade de la diversification alimentaire si bien qu'une personne sur cinq souffre de malnutrition protéino-énergétique (MPE) et une forte proportion de personnes de tous les âges présente des carences en micronutriments.

Or par sa situation géographique et son climat, Madagascar est privilégié par la richesse de ses ressources disponibles et comestibles. Cependant beaucoup de ces ressources sont méconnues ou mal utilisées. Citons le cas du *Moringa oleifera* appelé Ananambo ou Neverdier, qui est passé en une décennie du statut de plante marginale à celui de nouvelle ressource alimentaire pour les pays du sud. Les feuilles, faciles à produire et très riches en protéines, sont sollicitées en Afrique dans la lutte contre la malnutrition. Elle concurrence actuellement l'utilisation de la spiruline qui est onéreuse.

De par ses potentialités agro-climatiques, Madagascar se caractérise par une grande diversité et une production abondante de fruits. Toutefois, selon l'enquête FAO/PAM en 2013, sur l'évaluation de la sécurité alimentaire à Madagascar, la fréquence de consommation des fruits n'est que de 30%. Les fruits sont des végétaux non amyliacés, avec une teneur variable en glucides, mais très riches en eau, en fibres et en micronutriments. Par contre, ils sont pauvres en protéines, avec des protéines de mauvaise qualité biologique. Certains acides aminés essentiels sont déficitaires, c'est dans ce cadre que s'insère cette étude afin d'enrichir nutritionnellement cette ressource en mettant un accent sur une nouvelle présentation du produit afin de promouvoir sa consommation.

L'objectif de notre travail qui s'intitule « Enrichissement protéique des pâtes de fruits par des feuilles de *Moringa oleifera* » est de mettre au point des procédés pour enrichir en protéines les fruits tropicaux en utilisant des feuilles d'Ananambo et d'assurer la qualité alimentaire du produit obtenu. En effet, l'incorporation de l'Ananambo dans ces ressources alimentaires constitue une première dans la recherche relative à la nutrition.

Ainsi, ce document se divise en 4 parties:

La première partie rassemble la « synthèse bibliographique »,

La deuxième partie, décrit les « matériels et les méthodes » utilisés,

Une troisième partie présente et commente les résultats.

Les conclusions et les perspectives de recherche sont formulées dans la dernière partie.



# REVUE BIBLIOGRAPHIQUE



## **Chapitre 1: Généralités sur la nutrition:**

### **1.1. Les besoins nutritionnels:**

Les besoins nutritionnels représentent la quantité de nutriments ou d'énergie nécessaire pour assurer le bon fonctionnement de l'organisme comme l'entretien, le fonctionnement métabolique et physiologique dont l'activité physique, la thermorégulation, le sexe, le poids, l'âge et faire face à certaines périodes de la vie comme: la croissance, la lactation et la grossesse (**MASSE-RAIMBAULT, 1989**).

Ces besoins nutritionnels doivent être assurés par une alimentation équilibrée où figurent les trois aliments principaux: les protéines, les lipides, les glucides mais aussi les éléments minéraux, les vitamines et les micronutriments tels que les antioxydants.

La consommation d'eau à raison de 2 litres / jour est aussi indispensable chez l'adulte.

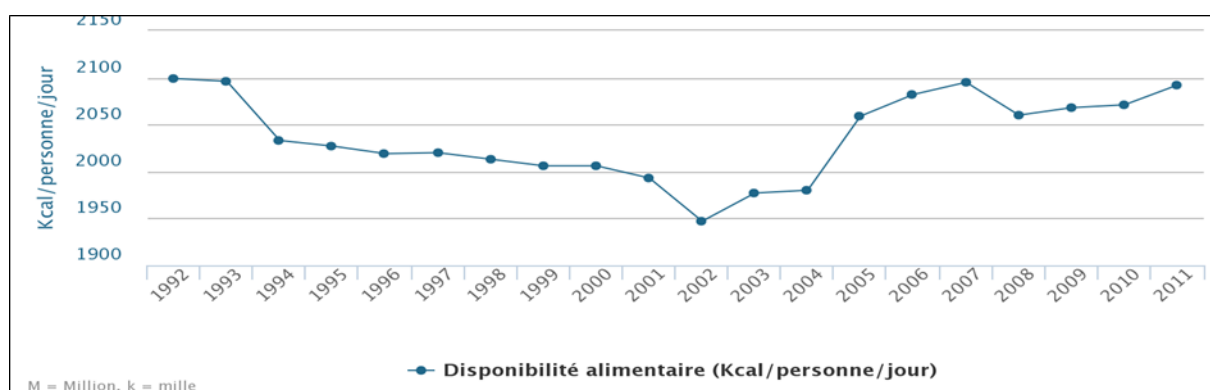
Les protéines doivent être apportées par des aliments d'origine animale et végétale car l'organisme construit et désintègre en permanence les protéines. Un apport protéique insuffisant conduit l'organisme à utiliser ses propres protéines, à les détruire pour produire de l'énergie. Elles deviennent indisponibles pour la croissance, pour le renouvellement cellulaire et les autres besoins métaboliques (**BERRADA, 2009 ; FAO, 2001**). Les protéines sont le principal constituant de la structure des cellules, des tissus, des muscles et des organes; elles sont indispensables pour le bon fonctionnement de l'organisme: la croissance, l'entretien, le développement du corps, le remplacement des tissus usés ou endommagés, pour la production d'enzymes métaboliques et digestives et pour la constitution des hormones (**WEIL, 1994**).

Les glucides, dans le régime alimentaire, sont principalement sous la forme d'amidon et de divers sucres. Ils jouent un rôle important dans le fonctionnement des cellules, des tissus. Ils sont indispensables pour le bon fonctionnement des intestins, du cerveau et des muscles. Ils représentent la principale source d'énergie soit 40 à 50 % de l'apport alimentaire ; Ce qui n'est pas le cas chez la majorité des Africains, des Asiatiques, des Sud-Américains: la part des glucides peut atteindre 80 % de la ration (**FAO, 2001**). A Madagascar, l'apport énergétique est de 82,47 % largement supérieur aux besoins de références (**SECALINE, 1997**).

Les lipides peuvent être apportés par les aliments d'origine végétale et animale. Ils sont formés par des acides gras qui sont nécessaires comme source d'énergie et indispensables pour les activités métaboliques et structurelles. La proportion requise des lipides dans l'alimentation est de 15 à 20 % mais dans la plupart des pays en développement, les lipides ne

constituent que 8 à 10 % de la ration énergétique. Dans les pays industrialisés, cette proportion est plus élevée (SANOKHO YEBEDIE, 2005).

A Madagascar, le besoin énergétique journalier minimal recommandé de 2133 kcal / j n'est pas satisfait, il n'est que de 2092 Kcal / per capita / jour en 2011 (FAOSTAT, 2014), (figure 1).



**Figure 1:** Disponibilités énergétiques alimentaires (DEA) journalière de 1992 à 2011. (Source: FAOSTAT, 2014).

La disponibilité énergétique insuffisante est due essentiellement au manque de ressources pour la production et pour l'acquisition des aliments de qualité supérieure. Ainsi des sources d'aliments traditionnelles ou présentes dans la nature, sont identifiées, domestiquées, pour être des moyens simples et financièrement accessibles pour répondre aux besoins alimentaires.

### 1.2. Facteurs de risque de malnutrition par carence en micro et macronutriments (LATHAM, 2003)

Le risque de malnutrition peut être causé par:

- un régime alimentaire monotone entraînant une faible biodisponibilité des micronutriments, des macronutriments et des éléments minéraux ;
- une faible consommation des aliments d'origine animale ;
- une faible concentration des éléments nutritifs dans les aliments complémentaires ;
- une augmentation des besoins physiologiques à certaine période (la croissance, la grossesse et l'allaitement) ;
- une augmentation des besoins causée par une infection aiguë ou chronique (tuberculose, VIH, cancer...) ;

- une malabsorption du fait de la présence de parasites intestinaux ou à la diarrhée ;
- une variation saisonnière de la disponibilité des denrées alimentaires, disette ;
- une situation sociale défavorisée, analphabétisme, faible niveau d'instruction ;
- une situation économique défavorisée, pauvreté ;

### 1.3. La diversification alimentaire:

La diversification alimentaire consiste à apporter une variété d'aliments riches en micro et macronutriments. Ce sont des aliments apportés en quantités suffisantes surtout chez les populations et groupes de personnes à risques ou vulnérables. La diversification alimentaire nécessite l'accessibilité, la disponibilité et la consommation des aliments, permettant l'amélioration des apports des divers constituants et l'amélioration de la situation nutritionnelle. Il est important d'éduquer les populations sur les aliments qui fournissent les micronutriments et les substances nécessaires au développement physique, intellectuel et pour un bon état de santé de l'individu.

### 1.4. La malnutrition:

La malnutrition est un état pathologique qui résulte d'une carence ou d'un excès d'un ou de plusieurs nutriments essentiels au fonctionnement de l'organisme. Une des manifestations est la malnutrition protéino-énergétique, c'est le résultat d'une insuffisance de consommation d'aliments d'origine protéique, d'un déficit des apports caloriques ou d'une mauvaise utilisation des aliments (**FAO, 2001**). Elle se manifeste par une perte de poids et une maigreur. Le corps ne peut plus assurer ses fonctions dont: la défense de l'organisme, l'oxygénation des cellules et l'activité cérébrale.

A Madagascar, malgré la richesse en ressources disponibles et comestibles, le régime alimentaire est déséquilibrée, monotone, peu diversifié, et hyper- glucidique: Le Malagasy consomme beaucoup de racines, de tubercules et de riz. Le régime comporte peu d'apport protéique, il est pauvre en lipides, carencé en vitamines et en éléments minéraux, (tableau 1).

**Tableau 1:** Disponibilité des principaux groupes d'aliments. (Source FAOSTAT 2005)

Groupes d'aliments	Disponibilité pour l'alimentation humaine en g / jour					
	1965-67	1972-74	1979-81	1986-88	1993-95	2000-2002
Céréales	387	394	371	334	296	310
Racines et tubercules	409	399	441	510	471	477
Légumineuses, noix et oléagineux	22	21	20	20	21	20
Fruit et légumes	245	339	264	235	199	176
Huiles végétales	4	5	9	7	7	9
Graisses animales	2	2	2	2	2	1
Viandes et abats	77	70	72	67	62	55
Poissons et fruits de mer	23	20	16	22	19	22
Lait et œufs	158	133	137	121	102	91
Autres	25	17	22	20	17	20

La carence alimentaire est marquée par l'insuffisance du pouvoir d'achat, par la méconnaissance des ressources naturelles comestibles et une éducation nutritionnelle insuffisante. Les ressources naturelles sont mal utilisées, peu connues et souvent accompagnées d'une rigidité des habitudes alimentaires, des tabous et des interdits (**Politique Nationale de Nutrition, 2004**).

#### I.5. La situation alimentaire des jeunes enfants à Madagascar:

Un des indicateurs de niveau de développement d'un pays est le taux de mortalité chez les enfants. Depuis 2010 jusqu'en 2013, le taux de mortalité des enfants de moins de 5 ans connaît une baisse de 63 ‰ à 56 ‰, mais il est toujours élevé surtout en milieu rural et dans les groupes les moins instruits: 1 enfant sur 13 meurt avant 1an, et 1 enfant sur 8 décède avant l'âge de 5 ans dans les zones rurales (**PROFILES, 2005**). Les causes du taux élevé de la mortalité sont une mauvaise pratique de l'allaitement maternel dès le jeune âge (1/3 des enfants ne suivent pas la recommandation de l'allaitement exclusif), une alimentation complémentaire introduite en temps opportun mais insuffisante en qualité, en quantité, en densité et en fréquence (**PROFILES, 2005**).

Les bouillies ne contiennent que le tiers des éléments nutritifs contenus dans les aliments industriels (**MASSE- RAIMBAULT, 1992**), induisant l'augmentation progressive des niveaux de malnutrition des enfants: 54 % des décès d'enfants de moins de 5 ans sont dus à la malnutrition protéino-énergétique et au déficit énergétique (**SECALINE, 1997 ; PROFILES, 2005**). De 1992 à 2011, la prévalence de la malnutrition chronique est passée de 56 % à 53, 2 %, celle de la malnutrition aiguë de 12 % à 5,5 %, celle de l'insuffisance pondérale de 47 % à 34 % (**EDS 1992 et Enquête Nutritionnelle Nationale 2011**), des valeurs qui restent assez importantes. En 2012, 1.300.000 enfants malgaches de moins de 5ans souffrent de malnutrition chronique ou de retard de croissance.

Pour développer au maximum leurs potentialités, les enfants doivent avoir une nutrition adéquate dans les premières années de la vie. Or ce n'est pas le cas, car les enfants d'âge préscolaire sont confrontés au problème de la « faim immédiate »: soit la réduction du nombre de repas à 2 fois par jour. Dans les quartiers défavorisés, 16,4 % des enfants ne prennent que deux repas par jour, et un enfant sur quatre arrive à l'école le ventre vide (**De SESMAISONS, 2004**), réduisant la concentration et le rendement de travail en classe. La malnutrition est caractérisée par la malnutrition protéino-énergétique: les protéines ne constituent que 10 % de l'apport énergétique et les glucides 50 à 60 %.

### **Chapitre 2: Présentation du *Moringa oleifera* et ses spécificités:**

Des études faites sur 4 espèces de *Moringa*: le *Moringa oleifera*, le *Moringa peregrina*, le *Moringa stenopala* et le *Moringa drouhardii*, ont montré l'importance de la qualité nutritionnelle du *Moringa oleifera* (**RAY-YU YANG et coll., 2006**).

#### **2.1. Classification:**

Règne: Plantae

Sous - règne: Tracheobionta

Division: Magnoliophyte

Classe: Magnoliopsida

Sous classe: Dillniidae

Ordre: Capparales

Famille: Moringaceae

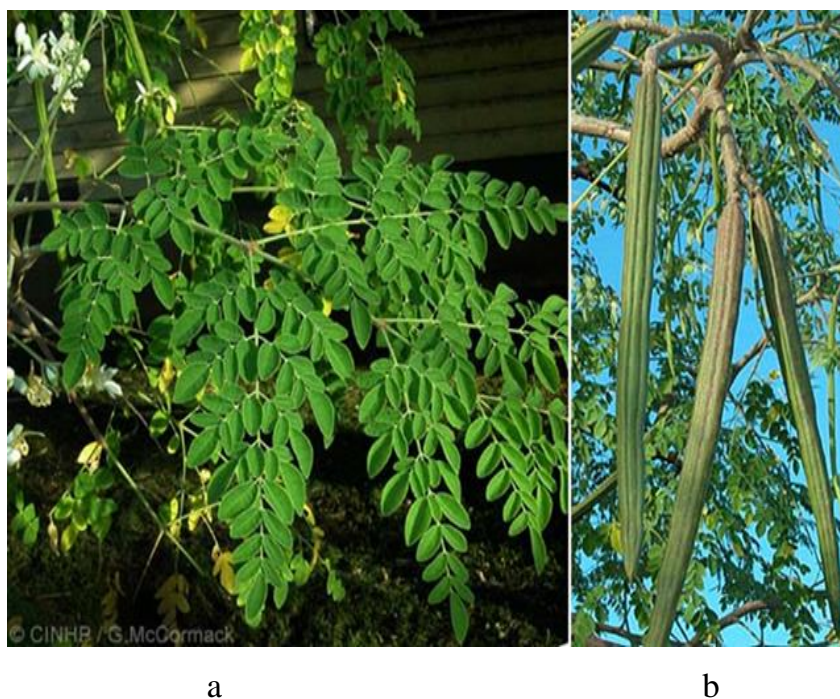
Genre: *Moringa* (Adanson no, 1763)

Espèce: *Moringa oléifera* LAM (synonyme de *Moringa pterygosperma* Gaertn)

Noms vernaculaires: Néverdier (en français) ou Ananambo, Felamorongy ou Morongy (en malgache) et Drumstick tree (en anglais).

## 2. 2. Description Botanique:

*Moringa oleifera* est un arbre originaire d'Inde, aujourd'hui largement répandu à travers les régions tropicales du monde. Il est domestiqué par l'homme et se cultive par bouturage ou par semis de graines, sa racine tubéreuse se forme 20 jours après le semis. Il pousse aussi de façon spontanée aux environs des habitations. C'est un arbre qui produit de longues branches verticales avec un feuillage à ses extrémités, il peut atteindre 3 à 10 mètres de haut. Les feuilles sont caduques, alternées, composées, faites de plusieurs folioles opposées qui sont produites tout au long de l'année avec un ralentissement pendant la saison sèche et les périodes de sécheresse. L'arbre porte des fleurs blanches et jaunes en grappes de janvier à juin, il porte continuellement des fruits en forme de gousse, de couleur verte ou marron d'une longueur de 20 à 35 cm (figure 2, 3 et 4).



**Figure 2:** Appareil végétatif de *Moringa oleifera*; a: feuilles; b: fruits

(<http://www.wikiherb.info/2012/08/moringa-moringa-oleifera-lamk.html>)





**Figure 3:** Graine de *Moringa oleifera* (FORMAD, 2011)



**Figure 4:** Arbustes de *Moringa oleifera*  
(<http://www.ilovemoringa.com/MoringaOleifera.html>)

Le *Moringa oleifera* est résistant à la sécheresse, il peut se développer dans des conditions arides ou semi-arides, et il s'adapte à toutes les conditions climatiques (FOILD et coll., 2001).

### 2.3. Culture:

Le *Moringa oleifera* est cultivé de deux manières:

- de façon extensive pour produire soit des graines, utilisées comme semences soit en huile.
- En culture intensive pour obtenir un maximum de feuilles nutritives dont la récolte se fait toutes les six semaines.

A Madagascar, cette plante pousse dans les régions côtières de Tamatave, dans la région de Diégo-Suarez, à Mahajanga, à Fianarantsoa et à Tuléar; elle pousse occasionnellement sur les hauts plateaux. Elle pousse à proximité des habitats ou sert de haie. Sa culture progresse dans la brousse et dans les potagers scolaires.

### 2.4. Utilisations:

Le *Moringa oleifera* est passé en une décennie du statut de plante marginale à celui de nouvelle ressource alimentaire et économique pour les pays du sud. A Madagascar, c'est une plante peu connue, qui pousse à l'état sauvage. Elle est reléguée au second plan par la population des hauts plateaux en raison du manque de connaissance de ses vertus et de sa disponibilité insuffisante.

Le *Moringa oleifera* est appelé « l'arbre à multiples usages ».

En alimentation humaine, toutes les parties de l'arbre présentent un intérêt nutritionnel: Les fruits verts se consomment comme un légume, les racines peuvent substituer le raifort, les feuilles se consomment fraîches en salade, bouillies, sautées, en assaisonnement, ou en accompagnement avec de la viande ou du poisson. A Madagascar, les habitudes alimentaires font qu'elles sont consommées sous la forme de bouillon. Les feuilles peuvent aussi se consommer sèches, ajoutées aux différents plats cuisinés en tant que complément alimentaire. La graine se consomme grillée comme une arachide, c'est également une bonne source d'huile de qualité pour l'assaisonnement et la cuisson (40 % d'huile avec 73 % d'acides oléiques), les gousses sont consommées fraîches ou cuites.

En alimentation animale, les feuilles et les jeunes tiges servent de fourrage au bétail: Les protéines des feuilles sont mieux digérées (87 %) que celles des jeunes tiges (53 % à 60 %), (**MAKKAR et coll., 1997**). Les feuilles de *Moringa oleifera* améliorent la quantité, la qualité du lait des chèvres soit une augmentation de 29 % des acides gras insaturés (**KHOLIF et coll., 2015**). Elles permettent d'améliorer la performance de croissance et les caractéristiques



de la carcasse de volaille (**DONKOR et coll., 2013 ; NKUKWANA et coll., 2014 ; SEBOLA et coll., 2015**). Elles sont données en lyophilisat aux poissons d'élevage à 10 % du régime alimentaire pour améliorer leur croissance (**RICHTER et coll., 2003**).

En médecine, chaque partie de la plante a ses vertus: Le jus de feuilles de *Moringa* traite certains cas de diabète en améliorant le streptozotocine (substance toxique dans les cellules de Langerhans à l'origine du diabète sucré), en stabilisant le taux de sucre. Il traite l'anémie hypochrome (diminution du nombre de globules rouges dans le sang) et mycrocitaire (diminution de la taille des globules rouges) par sa teneur élevée en fer et de traiter l'hypertension artérielle (**ATAKPAMA et coll., 2014**). Sa consommation permet d'augmenter la sécrétion lactée des femmes allaitantes, par contre les racines et les écorces ne peuvent être utilisées chez les femmes enceintes. Le taux élevé en antioxydants permet de lutter contre le stress oxydatif (**ARTIR et coll., 2009**). Il stimule la réponse immunitaire grâce à la multiplication des lymphocytes T périphériques et à la réduction du taux de triglycérides sanguins (**RAY-YU YANG et coll., 2006**). Les feuilles améliorent la réponse immunologique et l'efficacité des médicaments des sujets atteints du VIH / SIDA (**TETE- BENISSAN et coll., 2012**). En médecine traditionnelle, il est considéré comme un laxatif, diurétique, il permet de traiter les rhumes, les bronchites, la fièvre, les maux de tête, ainsi que la maladie de la peau, etc...

En industrie, l'huile extraite des graines de *Moringa oleifera* est appréciée par sa quantité et sa qualité dans le domaine de la cosmétique et de la parfumerie et dans l'éclairage car elle produit une lumière claire sans fumée. Les graines de *Moringa oleifera* contiennent des composés flocculant qui permettent de traiter les eaux turbides en éliminant jusqu'à 90 % des bactéries. L'écorce exsude une teinture bleue utilisée pour tanner les peaux, le bois peut servir dans la papeterie. Le *Moringa oleifera* est une source naturelle d'antioxydants polyphénoliques dont les extraits permettent d'agir sur la qualité organoleptique lors de la conservation de la viande (**HAZRA et Coll., 2012 ; SHAD AHMAD et Coll., 2014**).

### 2.5. Composition nutritionnelle:

Les feuilles fraîches de *Moringa oleifera* ont un taux élevé de matières sèches de 20 à 25 % par rapport aux autres légumes feuilles (10 à 15 %), ce qui en fait un aliment riche en nutriments. Elles sont une source de protéines (5-7 gr / 100 g de matières fraîches), de calcium (50-550 mg / 100 g de matières sèches), de fer (5-8 gr / 100 gr de matières fraîches), de  $\beta$ -carotène (1500-4000  $\mu$ g équivalent en rétinol), de vitamine C (120- 200 mg / 100g de

matières sèches) et de vitamine E (150-200 mg / 100 g de matières sèches) (**VANISHA NAMBIAR, 2006**).

Les feuilles et les graines sont riches en antioxydants surtout en composés phénoliques et en flavonoïdes. Ils ont une activité antioxydante et antimicrobienne élevée (32,22 mg d'équivalent en acide gallique) (**GOVARDHAN SINGH et coll., 2013**) puis en acide ascorbique et en caroténoïdes (**VONGSAK et coll., 2013**). Les graines de *Moringa oleifera* permettent d'extraire jusqu'à 40 % d'huile de bonne qualité puisqu'elle contient 73 % d'acide oléique (C<sub>18</sub>)  $\Delta^9$ . L'huile de *Moringa oleifera* est stable à 100°C contrairement à l'huile d'amande douce, stable pendant 5 heures ou l'huile d'olive pendant 40 heures. ([www.moringanews.org](http://www.moringanews.org)).

### **Chapitre 3: Présentation de quelques fruits de saison:**

#### **3.1. Le tamarin (FANDOUHAN et coll., 2010).**

##### **3.1.1. Classification:**

Règne: Plantae

Sous – règne: Tracheobionta

Division: Magnoliophyte

Classe: Magnoliopsida

Sous classe: Rosidae

Ordre: Fabales

Famille: Caesalpiniaceae

Genre: Tamarin dus

Espèce: *Tamarindus indica* (L 1753)



**Figure 5:** Le fruit du tamarinier (<http://www.metissgourmande.fr/img/cms/Tamarin.png>)

### 3.1.2. Description botanique:

Le tamarin, originaire d'Afrique, pousse à l'état sauvage dans les savanes. Il est introduit aux Indes, en Arabie, en Europe et dans les régions tropicales et subtropicales. Le tamarinier est un arbre au tronc court avec des branches qui s'infléchissent vers le sol. Il peut atteindre une hauteur de 10 à 20 m ; le feuillage est persistant, il donne des fleurs jaunes qui durent du mois de Mai au mois d'Octobre. Les fruits sont de grosses gousses qui contiennent des graines entourées d'une pulpe moelleuse et fibreuse brun rougeâtre constituant la partie comestible.

### 3.1.3. Culture:

Le tamarinier est généralement cultivé dans les pays tropicaux, il est adapté aux conditions de sécheresse, semi-arides et humides. Il pousse dans les forêts, les savanes et la brousse.

Il supporte les sols pauvres, le vent et les embruns salés. Il préfère les endroits très ensoleillés.

### 3.1.4. Utilisation:

Le tamarin est généralement cultivé pour sa pulpe à la fois acide et sucrée, pour la fabrication de boissons acidulées. La pulpe sert d'épice dans les pays tels que l'Inde mais aussi à parfumer le riz. Elle est très riche en pectine, son extraction permet la fabrication des confitures dans les industries. Son jus très acide trouve un usage comparable à celui du jus de citron. Une des voies de valorisation de la pulpe est le séchage au soleil pour en faire des confiseries, des boissons sucrées et des condiments.

En médecine traditionnelle, l'écorce du tamarinier soigne les blessures profondes et les feuilles bouillies sont des puissants antibiotiques.

Selon les tribus africaines, le tamarinier a une valeur médicale, culturelle et artisanale (pour la tribu Fulani au Bénin) ou commerciale (tribu Gourma).

### 3.1.5. Composition nutritionnelle:

Le tamarin est classé comme étant un fruit demi sec par sa faible teneur en eau (38 %). La pulpe constitue les 30 % du fruit, elle est riche en pectine (2,8 %), en acide tartrique (98 % de la matière sèche). Le responsable de l'arôme est le 2-acétyl-furanne (**GROLLER, et coll., 1998**). C'est un fruit très acide; la teneur en sucre et l'acidité déterminent la qualité gustative du fruit (**SOLOVIEV et coll., 2003**).

## **3.2. La banane: (LASSOUDIERE, 2007)**

### 3.2.1. Classification

Règne: Plantae

Sous - règne: Tracheobionta

Division: Magnoliophyte

Classe: Liliopsida

Sous classe: Zingiberidae

Ordre: Zingiberales

Famille: Musaceae

Genre: Musa

Espèce: *Musa sativa*



**Figure 6:** La banane (<http://www.metissgourmande.fr/img/cms/Banane.jpg>)

### 3.2.2. Description botanique:

La banane originaire de l'extrême Orient est répandue dans toutes les régions chaudes d'Afrique et de l'Amérique. Le bananier est une herbe géante monocotylédone de grande taille sans tige végétative aérienne. La tige est souterraine, donnant ainsi les racines, les feuilles et les inflorescences. Les inflorescences parcourent le faux tronc et les fleurs femelles donnent le régime de bananes.

### 3.2.3. Culture:

Les bananiers sont plantés près des habitations en touffes ou bien isolés, ils bénéficient des résidus ménagers comme engrais et de l'eau de maison. Ils sont aussi cultivés dans les jardins, autour des habitations ou proches des villages mais aussi dans les champs en association avec d'autres plantes vivrières.

### 3.2.4. Utilisation:

En alimentation, il existe deux types de banane: les bananes consommées fraîches appelées « banane dessert » et les bananes à cuire qui regroupent les bananes plantains. Ces dernières constituent l'aliment de base des pays tropicaux de climat humide; dans les pays tempérés elles sont identiques à la pomme de terre (**LASSOIS et coll., 2009**). La banane dessert est consommée à tous les âges: c'est un aliment de la diversification alimentaire chez les enfants de moins de 5 ans, elle améliore le petit déjeuner des enfants d'âge scolaire, elle sert de collation ou à compléter un repas chez l'adulte; elle est recommandée pour le sportifs du fait de sa richesse en glucides, en vitamines, en potassium et en magnésium.

### 3.2.5. Composition nutritionnelle:

**Tableau 2:** Valeur nutritive de la banane. (Source: Santé Canada. Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2010).

	Banane dessert, taille moyenne, 18 cm à 20 cm/120 g
Calories	105
Protéines	1,3 g
Glucides	27,0 g
Lipides	0,4 g
Fibres alimentaires	2,1 g

La banane est facile à consommer et à digérer (1 h 45 contre 2 h 45 pour l'orange, ou 3 h 30 pour la pomme de terre), son goût est dû à l'acétate d'isoamyle. Elle a un pouvoir antioxydant élevé.

### **3.3. La papaye: ([www.1001fruits.net/pectine.php](http://www.1001fruits.net/pectine.php))**

#### **3.3.1. Classification:**

Règne: Plantae

Sous – règne: Tracheobionta

Division: Magnoliophyte

Classe: Magnoliopsida

Sous classe: Zingiberidae

Ordre: Violales

Famille: Caricaceae

Genre: Carica

Espèce: *Carica papaya L*



**Figure 7:** La papaye (<http://www.metissgourmande.fr/img/cms/Papaye.jpg>)

#### **3.3.2. Description Botanique:**

Le papayer est une herbe géante semi-ligneuse, domestiqué produisant des fruits tout au long de l'année. Il existe 3 sortes de papayer: les papayers femelles, mâles et hermaphrodites. Son

fruit pousse directement sur l'arbre. C'est une baie de forme ovale ou arrondie de 20 à 30 cm de long dont la pulpe est de couleur jaune orange avec une chair juteuse jaune orangée.

### 3.3.3. Utilisation et composition nutritionnelle:

La papaye se consomme fraîche en dessert ou sèche en collation; elle peut aussi être cuite, réduite en purée. Le fruit vert est aussi utilisé en salade. La papaye est réputée pour son pouvoir endogène, sa composition nutritionnelle est illustrée dans le tableau 3.

**Tableau 3:** Valeur nutritive de la papaye. (Source: Santé Canada. Fichier canadien sur les éléments nutritifs, 2010).

	Papaye fraîche, ½ fruit, 13 cm diamètre /150 g
Calories	59
Protéines	0,9 g
Glucides	15,0 g
Lipides	0,2 g
Fibres alimentaires	2,7 g

### 3.4. Le fruit à pain: (FAO, 1983)

#### 3.4.1. Classification:

Règne: Plantae

Sous - règne: Tracheobionta

Division: Magnoliophyte

Classe: Magnoliopsida

Sous classe: Hamamelidae

Ordre: Urticales

Famille: Moraceae

Genre: Artocarpus

Espèce: *Artocarpus altilis* Parkinson, 1941.



**Figure 8:** Le fruit à pain

([http://www.metissgourmande.fr/img/cms/Fruit\\_a\\_pain.jpg](http://www.metissgourmande.fr/img/cms/Fruit_a_pain.jpg))

#### 3.4.2. Description Botanique:

L'arbre du fruit à pain pousse sur tous les types de sols, il peut atteindre une hauteur de 9 à 18 mètres et il ne fructifie qu'au bout de 6 ans. Ses feuilles sont grandes, larges, dures, et peuvent atteindre plus de 30 cm de long. Il existe plusieurs variétés de fruit à pain, différentes par la forme des fruits et des feuilles, mais toutes fructifient durant la saison humide.

#### 3.4.3. Utilisation:

Toutes les parties de l'Artocarpus se consomment: les graines, les feuilles, les fleurs et les fruits. Les graines sont utilisées comme les noix, les feuilles et les fleurs sont exploitées jeunes. Quant au fruit, il est consommé mûr. Quand le fruit est trop mûr, une partie de l'amidon se transforme en sucre, donnant ainsi sa saveur sucrée et tendre. Le fruit se sèche au soleil ou au four pour permettre sa conservation.

#### 3.4.4. Composition nutritionnelle:

La richesse en amidon, en sucre et en vitamine C font du fruit à pain un aliment énergétique. Le fruit est riche en fibres, les graines contiennent des protéines, de la vitamine B<sub>1</sub> et les feuilles sont une source de vitamine C, de fer et de calcium.



### **3.5. Le kaki: ([www.1001fruits.net/pectine.php](http://www.1001fruits.net/pectine.php))**

#### **3.5.1. Classification**

Règne: Plantae

Sous - règne: Tracheobionta

Division: Magnoliophyte

Classe: Magnoliopsida

Sous classe: Dillniidae

Ordre: Ebenales

Famille: Ebenaceae

Genre: Diospyros

Espèce: *Diospyros kaki* Thum, 1780



**Figure 9:** Le kaki (<http://www.maison.com/cuisiner/ingredients/kaki-persimon-atout-energie-automne-5815/galerie/21135/>)

#### **3.5.2. Description botanique:**

L'arbre kaki ne dépasse pas les 6 à 10 mètres de haut. Il donne facilement des fruits en saison chaude et au printemps. Le fruit est de la grosseur d'une tomate, de teinte orangée; à maturité la peau devient translucide.

#### **3.5.3. Composition nutritionnelle:**

Le kaki est classé parmi les fruits riches en glucides (soit 15 %), il est une source de vitamine C (7 %). C'est un fruit très riche en provitamine A, il contient divers pigments comme le

carotène, les lycopènes et les xanthines en abondance. Il est également riche en fibres (2 %) essentiellement sous la forme de pectines.

#### **Chapitre 4: Présentation de procédés de valorisation des aliments:**

##### 4.1. Valorisation des fruits:

Pour pallier les pertes de fruits du fait d'une surproduction et / ou d'une faible consommation, ceux-ci peuvent être transformés en boissons, en fruits séchés, en compotes, en confits, en conserves ou en pâtes de fruits.

Madagascar possède une diversité et une abondance de fruits tropicaux: le marché n'est jamais absent de fruits. Or, selon des enquêtes faites à Toliara et Antananarivo, 16,3 % de la population de Toliara et 33,2 % de la population d'Antananarivo consomment moins de 5 fruits et légumes par jour (**FAO - PAM, 2013**).

Les fruits sont des végétaux non amylacés avec une teneur variable en glucides, très riches en eau, en fibres et en micronutriments (**AUBERT et coll., 1993**). Elles sont pauvres en protéines (moins de 0,5 g /100 g de produit), et de mauvaise qualité biologique (déficitaires en certains acides aminés essentiels) (**Groupe intergouvernemental sur la banane et les fruits tropicaux, 2003**).

##### 4.1.1. Définition de « pâtes de fruits »:

Les pâtes de fruits sont des confiseries à base de sucre et de pulpes de fruits dont la texture est solide, souple, non élastique. Elles sont présentées sous différentes formes géométriques, glacées, enrobées ou non enrobées de sucre. Elles peuvent être aromatisées et/ou colorées.

La dénomination de « pâtes de fruits » signifie que la confiserie contient au moins 50 % de fruits par rapport au produit fini avant la finition (c'est-à-dire le sucrage ou candissage). La pulpe du fruit est écrasée ou coupée en morceaux. Pour le calcul, la quantité de fruits prise en considération est celle de la pulpe (**COVES, 1984**).

##### 4.1.2. Fabrication des pâtes de fruits:

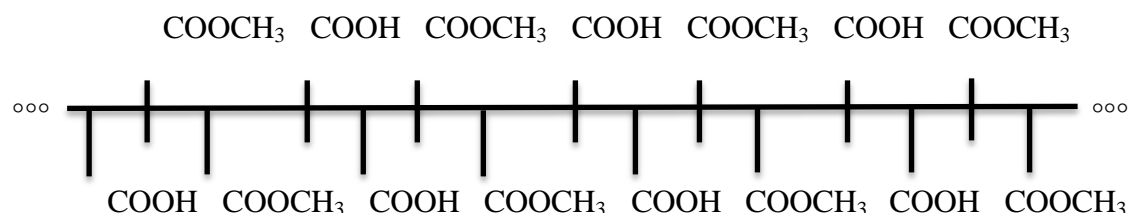
Les pâtes de fruits sont obtenues par cuisson de purée de fruits avec du sucre jusqu'à l'évaporation d'une partie de leur eau et l'obtention d'un degré °Brix de 75 %. Ce procédé est suivi d'une déshumidification au séchoir. Elles sont présentées sous différentes formes géométriques et roulées dans du sucre cristallisé.

#### 4.1.3. Importance de la pectine: (AUBREE, 1996)

La pectine est responsable de la rigidité et de la cohésion de la paroi cellulaire des végétaux. Elle est associée à d'autres composants chimiques membranaires comme la cellulose, la lignine et l'hémicellulose. On rencontre la pectine sous 2 formes: la protopectine insoluble dans l'eau et la pectine soluble dans l'eau. Cette dernière peut être libérée par chauffage dans un milieu acide. La transformation de la protopectine en pectine se fait au cours de la maturation du fruit.

La pectine tient une place importante dans le cas de la fabrication des pâtes de fruits et des confitures du fait de ses propriétés gélifiantes, viscosifiantes et stabilisantes.

C'est un polymère linéaire d'acide D-galacturonique (1,4) dont une grande partie des fonctions carboxyles sont estérifiées par des radicaux méthyles, schématisée ci-dessous.



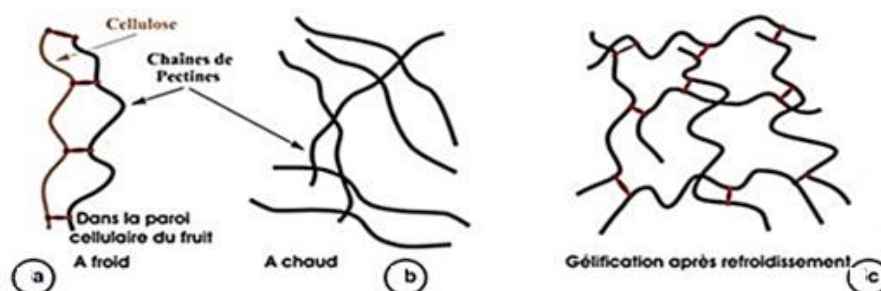
(Source: CHEFTEL et Coll, 1997)

Selon les proportions de fonctions – COOCH<sub>3</sub>, on distingue:

- Les pectines hautement méthoxylées (HM) avec un degré de méthylation supérieur à 50 %,
- Les pectines faiblement méthoxylées (FM), le degré de méthylation est compris entre 5 % et 50 %.
- Les acides pectiques de méthylation inférieure à 5 %

Les pectines hautement méthoxylées (HM) ne nécessitent pas de sucre pour la gélification. La quantité de sucre dans les fruits est suffisante pour absorber l'eau et favoriser le rapprochement entre les chaînes de pectines (FRENOT et coll., 2002). En effet, la gélification est un réseau tridimensionnel de chaînes de pectines avec un piégeage de molécules d'eau et dont les liaisons moléculaires sont faibles (VORAGEN et coll., 2003). Sous l'action de la chaleur, le polymère de pectine est libéré des autres molécules le rendant mobile. Au cours du refroidissement, l'agitation moléculaire diminue, il se produit une interaction entre les macromolécules qui s'associent peu à peu, pour donner une structure rigide (figure 10 c).

Une gélification réussie donne une concentration finale en pectine de 0,2 à 1 %. Pour ce faire, il faut ajouter de la pectine ou mélanger des fruits riches en pectines (**FRENOT et coll., 2002**).



**Figure 10:** Dissociation des chaînes de pectine sous l'action de la chaleur et gélification au cours du refroidissement

## **4.2. Enrichissement des produits alimentaires:**

### **4.2.1. Principe de l'enrichissement:**

L'enrichissement (de l'anglais « fortification ») est une forme de transformation des aliments, qui est défini comme l'adjonction d'un ou de plusieurs nutriments, normalement ou non contenu dans l'aliment. Il s'agit d'une part, de prévenir ou de corriger une carence installée en un ou plusieurs nutriments dans la population ou dans des groupes de population spécifiques. Il est ainsi obtenu une amélioration de la qualité nutritionnelle de l'aliment. La réussite d'une telle intervention nécessite un plan National d'Action pour la Nutrition (**BERGER, 2003**). Et d'autre part, d'ajuster le contenu nutritif de l'aliment transformé pour en obtenir le niveau nutritif du produit avant la transformation (**LATHAM, 2001**). L'enrichissement des aliments se fait avec des micronutriments mais aussi avec des macronutriments, induisant une réduction de la prévalence de la carence dite.

### **4.2.2. Enrichissement en micronutriments:**

Deux types d'enrichissement en micronutriments sont connus pour être efficaces: l'iodation et la fluoration du sel: l'iodation est apparue dans les années 20. Depuis, il y a une chute spectaculaire de la prévalence du goitre et de la surdité chez l'enfant (**BERGER, 2003**). Il existe d'autres suppléments comme l'ajout de vitamine A dans la margarine ou dans les farines infantiles permettant une baisse de la prévalence des faibles taux de rétinol sérique (26 % à 10 %) (**BERGER, 2003**). L'adjonction de fer sous la forme Na Fe EDTA dans la

sauce de soja, de poissons, dans la poudre de curry ou dans les céréales a amélioré significativement le taux d'hémoglobine, le taux de ferritine et la prévalence de l'anémie ferriprive (22 % à 5 %) (**BERGER, 2003**). Des enrichissements en vitamine B et D peuvent également être effectués.

A Madagascar, on peut citer des cas de fortification tel que: l'iodation et la fluoration du sel, l'addition de vitamine A et de fer dans les viennoiseries (exemple des produits locaux Mofoko) ou des céréales infantiles (exemple de FARILAC et de Koba aina) ou du lait concentré de SOCOLAIT et bien d'autres.

### 4.2.3. L'enrichissement en macronutriments:

Il s'agit d'un ajout de matières grasses (exemple de l'oméga 3) afin d'augmenter la densité énergétique de l'aliment; de l'addition d'acides aminés à des aliments à base de céréales pour améliorer la qualité protéique; ou l'adjonction de protéines, de sucres ou d'huiles à une préparation alimentaire, pour un aliment de sevrage industriel ou un complément nutritionnel tel que le mélange maïs / soja / lait / pour les ravitaillements d'urgence (**LATHAM, 2001**).

## 4.3. La fermentation lactique des aliments:

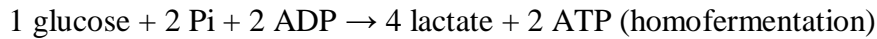
### 4.3.1. Définition:

La fermentation lactique ou lacto-fermentation est un processus réalisé par des bactéries lactiques (ferments lactiques). Dans un milieu anaérobie, en présence de glucides (spécifiquement de lactose) et sous l'action des enzymes (que l'on nomme ferment) produites par les bactéries, les bactéries lactiques induisent la formation d'acide lactique provoquant l'acidification du milieu et l'élimination éventuelle de bactéries pathogènes.

La fermentation lactique permet également de développer les propriétés organoleptiques de l'aliment en agissant sur le goût et la texture, mais aussi sur sa valeur nutritionnelle, et c'est un procédé très utile dans la conservation des aliments.

### 4.3.2. Processus chimique de la fermentation lactique:

Les bactéries lactiques constituent un ensemble de microorganismes capables de transformer des sucres simples comme le lactose ou le glucose en acide lactique. Cette transformation génère une ou deux molécules d'ATP, en fonction de la voie métabolique homofermentaire ou hétérofermentaire. Ces molécules peuvent être mobilisées pour la production de l'énergie nécessaire aux biosynthèses et à la multiplication cellulaire:



#### 4.3.3. Les bactéries de la fermentation:

Il existe deux types de micro-organismes qui interviennent lors d'une fermentation:

- Les bactéries intervenant dans tous les processus de décomposition de la matière vivante
- Les levures et les moisissures (champignons microscopiques). Les levures qui interviennent dans les fermentations alcooliques et les moisissures qui sont à l'origine des altérations et qui peuvent aussi être de « bonne qualité » (exemple de l'obtention du fromage).

**([http://www.grezentransition.be/IMG/pdf/La\\_lactofermentation.pdf](http://www.grezentransition.be/IMG/pdf/La_lactofermentation.pdf).)**

La fermentation est déclenchée lorsque les conditions de température, d'acidité, d'oxygène et de nutriments sont réunies et favorables au développement des micro-organismes. Ceux-ci produisent des enzymes qui vont décomposer les grosses molécules en plus petites molécules pour les assimiler.

#### 4.3.4. Les bactéries de la fermentation lactique:

Les bactéries de la fermentation lactique colonisent de nombreux produits alimentaires comme les produits laitiers, la viande, les céréales et les végétaux. Elles font partie de la flore intestinale et vaginale humaine ou animale.

Les bactéries lactiques sont principalement utilisées en tant que starter dans les produits alimentaires fermentés. Il existe un grand nombre de bactéries qui sont responsables de la fermentation lactique, deux genres sont développés: *Lactobacillus plantarum* et *Weissella*. Ces bactéries sont à Gram+, immobiles, non flagellées, anaérobies facultatives, partiellement tolérantes à l'oxygène et à l'acide. Elles ne produisent pas de spores.

- le *lactobacillus plantarum* à la forme de bâtonnet, dont la croissance se fait à une température optimale de 30°C, elles sont hétérofermentaires facultatives. Elles ont la forme de coque ou de bâtonnet et elles sont capables de fermenter les sucres en acide lactique.

- Le *Weissella* a la forme cocci, il se présente isolé ou par paire ou en courte chaîne, il peut se développer à 15°C et c'est un hétérofermentaire stricte.

#### 4.3.5. Les rôles des bactéries lactiques (tableau 4)

Les principales fonctions des bactéries lactiques en alimentation nutrition sont présentées dans le tableau 4.

**Tableau 4:** Rôles des bactéries lactiques

Rôles	Fonction	Références
Formation de l'arôme et de la saveur	L'acétoïne et ses dérivés, le composé (1-propanol, l'acétate d'isoamyle, l'acétate d'éthyle, le 3-méthyl 1-1-butanol), sont les principaux composés volatils qui proviennent de l'action des bactéries et donnent au produit ses caractéristiques organoleptiques. Des peptidases issues de certaines bactéries lactiques ( <i>Lactobacillus</i> ) hydrolysent des oligopeptides et produisent des substances responsables de la flaveur et de la texture des produits fermentés	<b>AMOA et coll., 1996</b> <b>AMMOR et coll., 2005</b> <b>PAPAMANOMI et coll., 2003</b> <b>HUGHES et coll., 2002</b>
Préservation de l'innocuité de l'aliment	Les acides organiques (lactiques, acétique, formique, phényles- lactique, caproïque), le dioxyde de carbone, le peroxyde d'hydrogène, le diacétyle, l'éthanol et les bactériocines,) sont produits par les bactéries lactiques entraînant une réduction importante du pH. Ils déterminent la stabilité microbienne des produits ainsi que l'inhibition des bactéries pathogènes et d'autres microorganismes.	<b>MESSENS et coll., 2002</b>
Influence sur la valeur nutritionnelle	Les bactéries lactiques réduisent les facteurs antinutritionnels tels que les phytates qui affectent la biodisponibilité des minéraux conduisant à une meilleure solubilité du fer.	<b>TOU et coll., 2006</b> <b>YAO et coll., 2009</b>
Propriétés probiotiques	Les bactéries lactiques améliorent la digestion du lactose, l'équilibration de la flore intestinale, la prévention ou le raccourcissement de la durée de la diarrhée, la diminution du risque d'allergie alimentaire, amélioration de la maladie inflammatoire intestinale et la prévention du cancer (cas de certaine souche bactérienne)	<b>YAO et coll., 2009</b>

## **Chapitre 6: L'étude sensorielle**

### **6.1. Généralités:**

L'évaluation sensorielle est fortement normalisée ces dernières années. Elle est définie comme étant « la mise en œuvre de techniques qui utilisent les sens humains (l'audition, le goût, l'olfaction et la vision) pour mesurer la qualité sensorielle ou la qualité hédonique d'un produit » (AFNOR, 1995).

L'analyse sensorielle est indispensable dans l'industrie agro-alimentaire. Les caractéristiques sensorielles d'un produit et / ou, de sa présentation doivent être prises en compte dès sa conception et suivies en production pour garantir sa qualité et son succès.

### **6.2. Principe de l'analyse sensorielle: (WATTS et coll., 1991)**

L'évaluation sensorielle implique l'intervention active de l'homme.

Il s'agit de la mise en jeu d'un ensemble de mécanismes qui font qu'un stimulus de nature matérielle engendre des sensations qui deviennent des perceptions traduites en une réponse. La réponse verbalisée peut varier d'un individu à l'autre selon la culture, le contexte et la personnalité.

L'évaluation sensorielle comprend deux épreuves:

- Les **épreuves discriminatives** visent à détecter la présence ou l'absence de différences sensorielles entre deux produits.
- Les **épreuves descriptives** mesurent l'intensité de la sensation perçue pour chacun des descripteurs choisis et permet d'établir à l'aide de l'ensemble des descripteurs quantifiés, le profil sensoriel du produit.

Pour plus d'objectivité, les mesures humaines peuvent être complétées par des mesures instrumentales, appelées « rhéologie ».

### **6.3. Utilisation et avantages: (LEFEBVRE, 2003)**

L'analyse sensorielle est un moyen de contrôler la qualité organoleptique d'un produit, elle constitue une aide dans le développement et dans la conception de nouveaux produits. Elles contribuent à maîtriser les efforts de conception, nécessaires à l'amélioration des stimuli perçus par le consommateur.



### 6.4. Appréciation des propriétés sensorielles:

La couleur, la flaveur (saveur et odeur) et la texture (consistance) d'un aliment sont des propriétés importantes qui déterminent l'attrait et l'appréciation de l'aliment pour le consommateur. Ces paramètres sont évalués par les organes olfactifs:

- L'appréciation de la couleur et de l'aspect des aliments se fait par le toucher (par la présence de récepteurs situés sur la peau et sur la langue) et par la vue.
- L'odeur est perçue lorsque le stimulus odorant agit sur les récepteurs situés dans la partie supérieure de la cavité nasale. Il existe dans la cavité nasale 13 à 20 sites pour caractériser les odeurs dont la sensibilité est très élevée. Les odeurs sont difficiles à identifier, sauf pour les odeurs de référence. Ainsi sont-elles classées en 2 groupes: les bonnes et les mauvaises odeurs (**DOTY, 1994**).
- La texture est un des critères pour évaluer la qualité, la fraîcheur et les caractères organoleptiques des aliments.

## **Chapitre 7: L'étude physico-chimique des aliments**

### **7.1. Intérêts:**

Lors du développement de nouveaux produits alimentaires, il est important de caractériser ses propriétés physicochimiques telles que: la texture, la couleur et l'activité de l'eau ( $A_w$ ).

La texture et la couleur sont des facteurs importants pour déterminer la qualité sensorielle et l'acceptabilité des consommateurs aux produits alimentaires. Il est important de minimiser les pertes de couleur et le changement de texture lors du processus de fabrication et du stockage.

Le test « Texture d'analyse de profil (TPA) » permet de caractériser les attributs texturaux des produits.

L' $A_w$  est un outil important pour prédire l'eau disponible dans les aliments pour les réactions chimiques, biochimiques, le changement d'état ou le développement de micro-organismes.

Elle permet de déterminer les propriétés physiques et mécaniques des aliments, ainsi que leur conservation. Pour éviter le risque de détérioration chimique des aliments (comme l'oxydation des lipides, le brunissement enzymatique et non enzymatique), la valeur de l'activité de l'eau doit être comprise entre 0,2-0,3. Pour pallier le risque de développement des micro-organismes lors de la conservation des aliments à température ambiante, la valeur de l'activité de l'eau doit être inférieure à 0,9.

Les données sur les propriétés physico-chimiques permettent aux industriels de développer de nouveaux produits alimentaires tout en contrôlant leur qualité pendant le processus de fabrication.

## **7.2. La texture des aliments: (SCHER, 2009)**

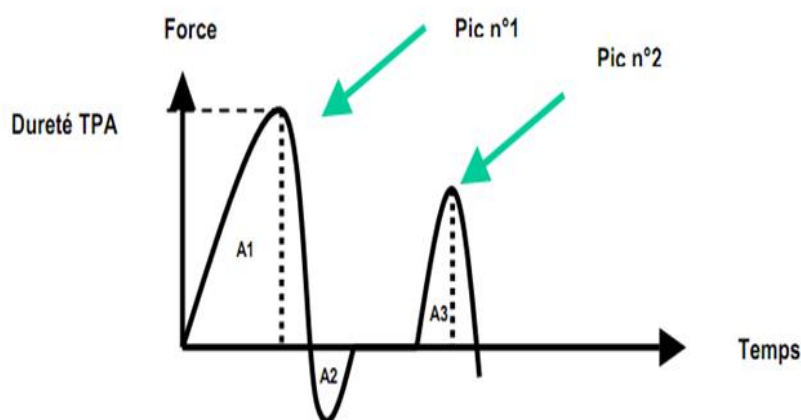
### **7.2.1. Définition:**

Le terme de « rhéologie » d'Eugène Bingham en 1928 signifie « écoulement »: C'est la science qui étudie et décrit l'écoulement, la déformation et la rupture de corps sous l'effet d'une contrainte. Ces corps peuvent être des liquides, des solides ou des matériaux pulvérulents.

### **7.2.2. Principe:**

Les aliments sont des matériaux dont la taille, la forme et la structure peuvent être modifiées. Ils sont sensibles à la température, à l'oxygène, à l'humidité et aux nombreuses techniques qui leur sont appliquées lors de la préparation, de la transformation ou de leur formulation. Il existe ainsi de nombreuses interactions entre les constituants de l'aliment dont la texture est modifiée de façon irréversible.

Dans le domaine alimentaire, la texture est considérée comme une propriété sensorielle, son évaluation peut se faire instrumentalement et simuler l'appréciation sensorielle. Une corrélation peut être établie entre l'instrumental et le sensoriel. La mesure instrumentale de la texture de l'aliment est donnée en figure 11.



**Figure 11:** Allure type d'un profil de texture instrumental.

Ce test est appelé « test à deux morsures », utilisé en pénétration de l'aliment et simule les canines (compression de l'aliment) et les molaires (le toucher):

- ❖ la dureté ou la fermeté du produit est représenté par le pic n°1
- ❖ l'adhésivité est le travail nécessaire pour décoller l'échantillon de la sonde est représentée par A2
- ❖ l'élasticité est le temps A3 / temps A1
- ❖ la cohésion représenté par A3/ A1
- ❖ la masticabilité est le produit (dureté  $\times$  cohésion  $\times$  élasticité) dans le cas des aliments solides

### **7.3. La couleur des aliments: (JACQUOT et coll., 2011)**

Une bonne alimentation doit contenir des aliments variés et la couleur est un moyen qui permet d'obtenir la diversité des apports nutritifs.

La couleur est un des facteurs importants pour déterminer la qualité sensorielle et l'acceptabilité des consommateurs. Lors du processus de fabrication et de stockage des aliments, il est important de minimiser la perte de couleur ou d'y apporter des corrections.

La couleur des aliments se détermine selon un modèle de représentation des couleurs de surface CIE Lab ( $L^*a^*b^*$ ) adoptée en 1976 par la commission internationale de l'éclairage (CIE). Dans ce modèle trois grandeurs caractérisent les couleurs: le paramètre  $L^*$  qui caractérise la clarté et les paramètres  $a^*$  et  $b^*$  qui caractérisent l'écart de couleur par rapport à celle d'une surface grise de même clarté.

### **7.4. L'activité de l'eau dans les aliments: (BRANGER et coll., 2007)**

L'activité de l'eau ( $A_w$ ) correspond au rapport entre la pression de la vapeur d'eau à la surface de l'aliment et la pression de la vapeur d'eau pure, à la même température.

L'activité de l'eau indique la disponibilité de l'eau d'un produit pour des réactions chimiques, biochimiques, un changement d'état ou de développement de micro-organismes.

L'eau est un constituant majeur de l'organisme (60 % chez l'adulte et 70 % chez le nourrisson), et c'est aussi le constituant majeur des aliments (exemples de la viande qui est

constituée de 60 à 70 % d'eau, des fruits de 75 à 95 % d'eau et des graines de 12 % d'eau). Les principales fonctions de l'eau dans les aliments sont :

- la fonction de solubilisation: l'eau est le solvant des substances hydrophiles
- la fonction de structuration: l'eau est importante dans la configuration des macromolécules protéiques et glucidiques
- la fonction de mobilisation: c'est le solvant intracellulaire qui permet la dispersion et le déplacement des différents constituants cellulaires.

L'eau dans les aliments se trouve sous deux formes:

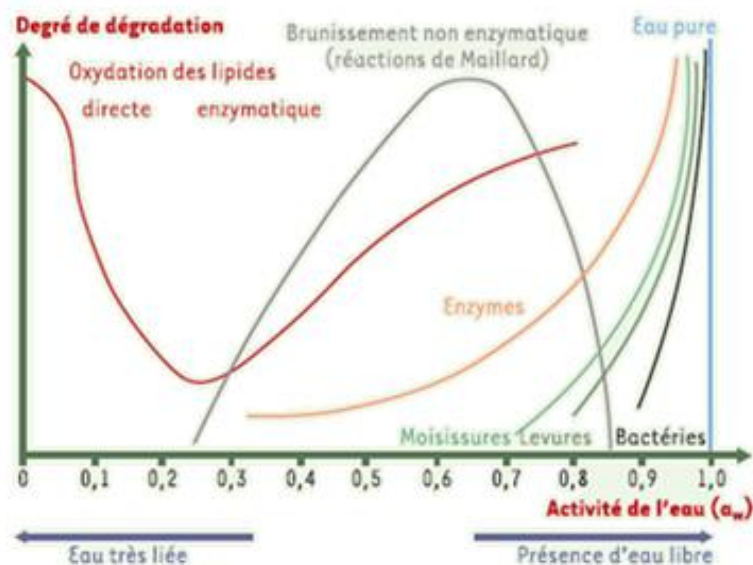
1. l'eau libre ou disponible qui peut entraîner la croissance des bactéries, des levures et des moisissures, ce qui nuit à la salubrité des aliments.
2. l'eau liée aux différentes molécules comme les protéines et les glucides pour les besoins des réactions biologiques et qui détermine la croissance des micro-organismes.

La quantité d'eau totale d'un aliment et la disponibilité de l'eau pour les réactions chimiques sont étroitement liées, cette relation est représentée par une courbe des isothermes de sorption qui se divise en 3 zones:

- zone  $A_w < 0,3$ : il s'agit de l'eau de constitution ou « eau fortement liée ». Cette eau n'est pas disponible comme solvant ou comme réactif, elle est liée aux composants cellulaires par des liaisons hydrogènes et des forces de Van der Waals (qui sont des interactions électriques d'intensité faible à courtes distances entre atomes et/ou molécules)
- zone  $0,3 < A_w < 0,7$ : il s'agit de l'eau faiblement liée qui se trouve sous la forme de couche qui recouvre partiellement la surface du substrat sec. Cette eau est faiblement disponible.
- zone  $A_w > 0,7$  qui correspond à l'eau libre, cette eau est retenue à la surface du substrat par des forces capillaires. Les micro-organismes ainsi que les réactions enzymatiques ne peuvent se produire que lorsque l'eau se trouve sous cette forme.

La connaissance de l'isotherme de désorption est importante pour les opérations de séchage, de stockage et de conservation des aliments (**GATHIER et coll., 1986**) (figure 12).

En général, la stabilité des denrées alimentaires est obtenue quand  $A_w$ :  $0,2 < A_w < 0,3$ .



**Figure 12:** Risques de détérioration des aliments en fonction de l'Aw.

A une  $A_w > 0,7$  il y a une élévation de l'activité des enzymes qui peut avoir lieu lors de l'entreposage des aliments déshydratés ou congelés.

Le développement des micro-organismes est étroitement lié avec l'activité de l'eau: les moisissures et les levures sont inhibées vers une  $0,7 < A_w < 0,8$ , le développement des bactéries est impossible à  $A_w < 0,9$ .

## **Chapitre 8: Les molécules antioxydants dans les aliments**

### **8.1. Définition:**

Les antioxydants sont des substances présentes à faibles concentrations dans notre organisme qui retardent ou empêchent les radicaux libres d'oxyder les protéines, les acides gras et les autres molécules du corps. Les antioxydants protègent le corps de l'oxydation, ils sont présents naturellement dans notre organisme, mais pour une grande part, ils doivent être apportés par l'alimentation (SHEBIS et coll., 2013).

### **8.2. Origine des antioxydants:**

Les antioxydants ne peuvent pas être synthétisés par notre organisme, de ce fait, ils doivent être apportés par l'alimentation. Les antioxydants se rencontrent surtout dans les fruits rouges et bleu foncé (fraises, prunes, grenades, pastèques, goyaves, papayes...) et dans les légumes (le cresson, le chou vert, l'ail, les épinards, la luzerne, le chou de Bruxelles...).

On y trouve principalement les polyphénols et les caroténoïdes. Ces antioxydants en plus de jouer un rôle important dans les plantes, contribuent aux propriétés organoleptiques des aliments et permettent de prévenir les maladies dégénératives.

### 8.3. Classification des antioxydants:

Il existe 3 catégories d'antioxydants:

- Les antioxydants synthétiques qui sont autorisés dans certains aliments comme le BHT 321 (3,5-ditertiobutyl-4-hydroxytoluène), BHA 320 (3-tertiobutyl-4-hydroxyanisole). Ils sont solubles dans les lipides, résistants à la chaleur. Ils ont l'inconvénient d'avoir une odeur désagréable et de s'évaporer rapidement. Le TBHQ (tertiobutyl-hydroxyquinone) qui présente l'avantage d'être soluble dans l'eau mais il est peu soluble dans les lipides. Il est peu résistant à la chaleur et il donne des sels de couleur foncée en présence de fer. On peut également citer le nitrite, les polyphosphates et les dérivés d'acide citrique.
- Les antioxydants synergiques sont des substances dont l'activité antioxydante n'apparaît qu'en présence d'autres molécules antioxydantes en améliorant leur action. On peut citer: L'acide lactique, tartrique et ortho phosphorique et leurs sels de sodium, potassium ou calcium.
- Les antioxydants d'origine végétale: Les plantes constituent des sources très importantes d'antioxydants. Les antioxydants naturels dont l'efficacité la plus reconnue aussi bien dans l'industrie agroalimentaire que pour la santé humaine sont: les tocophérols, les caroténoïdes et les polyphénols.

### 8.4. Les molécules antioxydants des plantes:

Les antioxydants sont en quantité importante dans les plantes car elles sont soumises aux différentes attaques de l'environnement (soleil, pollution...), elles doivent donc produire les éléments qui permettront de les protéger des diverses agressions externes. On peut citer l'importance des composés phénoliques.

Les composés phénoliques (ou polyphénols) se caractérisent par la présence dans leurs molécules, d'un ou de plusieurs cycles aromatiques qui portent un ou plusieurs groupements hydroxyles. Leur pouvoir antioxydant est élevé du fait de la présence des groupements hydroxy phénoliques qui peuvent piéger les radicaux libres comme les radicaux OH<sup>•</sup>.

Ce sont des composés qui interviennent dans la qualité organoleptique des aliments: ils participent dans l'arôme et l'odeur par la présence de molécules volatiles qui peuvent être agréable comme la vanilline et désagréable comme le 4-vinyl guaiacol produit lors du stockage des jus de citrus (**FLEURIET et coll., 2013**).

Les composés phénoliques interviennent également dans la qualité nutritionnelle des aliments par leur pouvoir antioxydant. Il est estimé que la consommation de 1g / j de composés phénoliques dont 25-30 % sous la forme de boisson est suffisante pour avoir des effets inhibiteurs de la mutagenèse et de la carcinogenèse (**FLEURIET et coll., 2013**).

### 8.5. Mécanisme d'action des antioxydants:

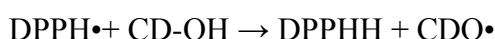
La réaction antioxydant / radicaux libres s'effectue en permanence dans l'organisme. Il se produit des réactions en chaîne où peuvent paraître des dysfonctionnements quand les radicaux libres sont en excès. Ces radicaux libres attaquent la membrane et les composantes cellulaires, conduisant à une multiplication anormale des cellules (**GARDES ALBERT et coll., 2003**).

L'augmentation de radicaux libres dans l'organisme est due aux agressions de l'environnement (pollution, rayon UV, les rayonnements...). Ainsi, il faut un excès d'antioxydants dans le corps qui est apporté par l'alimentation pour atténuer leurs actions.

Les antioxydants piègent les radicaux libres par deux types de mécanismes:

- la libération de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle (cinétique rapide de certaines acides et dérivées phénoliques)
- la libération d'un électron (cinétique lente des dérivés de la glycolyse et des anthocyanes)

Dans le cas des composés phénoliques (CD-OH), l'action principale est le piégeage des radicaux libres par le transfert de l'atome H sur le DPPH• qui se transforme en une molécule stable DPPH H.





# MATERIELS ET METHODES



### **Chapitre 9: LES MATERIELS:**

#### **9.1. Le *Moringa oleifera***

Le matériel étudié est l'espèce *Moringa oleifera*. L'appareil végétatif utilisé est constitué de feuilles dont la collecte a eu lieu respectivement dans la région de Toamasina, d'Antseranana et de Mahajanga. La récolte a été faite près des habitations durant la saison des pluies (en Mars / Avril).

#### **9.2. Les fruits**

Les fruits utilisés sont ceux qui existaient pendant la période d'étude:

- La banane, genre *Musa sativa*
- Le tamarin, genre *Tamarindus indica*
- La papaye, genre *Carica papaya*
- La goyave, genre *Psidium guajava*
- Le kaki, genre *Diospyros chinensis blume*
- Le fruit à pain, genre *Artocarpus altilis*

### **Chapitre 10: LES METHODES**

#### **10.1. Obtention de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*:**

##### **10.1. Récolte des feuilles de *Moringa oleifera***

La récolte des feuilles de *Moringa oleifera* n'a pas tenu compte des caractères pédologiques, elle a été menée de deux manières:

- Dans un premier temps de manière aléatoire.
- Dans un deuxième temps de façon déterminée, par séparation des feuilles matures et des feuilles jeunes selon des critères sensoriels (la vue et le toucher).

##### **10.2. Préparation des feuilles de *Moringa oleifera***

Les branches feuillues de *Moringa oleifera* ont été coupées sur des arbustes, conditionnées dans des sacs plastiques (figure 13) et acheminées au plus vite à Antananarivo par voie terrestre. Elles ont été menées au laboratoire où elles ont été lavées, effeuillées, égouttées et triées.

Les feuilles ont été séchées par étalement sur des sacs de jute en plastique (figure 14). Elles ont été régulièrement brassées, deux fois par jour pour éviter le développement des moisissures. Le séchage s'est fait durant trois à quatre jours selon la période de l'année, dans une salle bien aérée à la température ambiante de 27°C. La durée de séchage est plus longue pendant les saisons de pluies et le brassage plus fréquent. Les feuilles séchées ont été réduites en fine poudre (figure 15) avec un robot ménager. Les poudres de feuilles obtenues ont été conservées dans des boîtes en plastiques non transparentes, à l'abri de la lumière (De SAINT SAUVEUR et coll., 2010).



**Figure 13:** Technique de récolte des feuilles de *Moringa Oleifera*  
(<http://sohanews2.vcmedia.vn/2013/Cay-chum-ngay-1-4f525-1a182.jpg>)



**Figure 14:** Technique de séchage des feuilles de *Moringa Oleifera* (DOERR et coll., 2005)



**Figure 15:** Poudre de feuilles de *Moringa Oleifera* (MOUSSA et coll., 2007)

### **10.4 Analyses chimiques de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera***

#### **10.4.1. Détermination du taux de matières sèches:**

##### **Principe**

Elle revient à enlever l'humidité de l'échantillon par dessiccation à 70°C dans une étuve. La perte de masse est déterminée par des pesées jusqu'à obtenir un poids constant (BIZOT, 2010).

##### **Méthode**

Dans une capsule sèche et tarée, est mise une quantité bien déterminée d'échantillon (environ 5 g  $\pm$  0,001g). Le tout est placé dans une étuve préalablement chauffée à 70°C jusqu'à obtenir un poids constant. La capsule est refroidie dans un dessiccateur puis pesée sur une balance de précision.

La teneur en matières sèches est obtenue par différence:

$$\% \text{ MS} = 100 - \% \text{ H}_2\text{O}$$

Le % H<sub>2</sub>O est donné par la formule:

$$\text{H \%} = \frac{\text{M} - \text{m}}{\text{M} - \text{mo}} \times 100$$

Où mo: Poids de la capsule vide (g)

m: Poids de la capsule et de l'échantillon après séchage (g)

M: Poids de la capsule et de l'échantillon avant séchage (g)

### 10.4.2. Détermination du pH:

#### Principe

La détermination du pH consiste à mesurer la différence de potentiel qui existe entre une électrode de verre et une électrode de référence plongeant dans une même solution. L'ensemble donne une force électromotrice mesurée avec un voltmètre dont la lecture donne directement le pH de la solution.

**([http://www.alimentairepro.com/dossiers/conservation/pH\\_des\\_aliments.php](http://www.alimentairepro.com/dossiers/conservation/pH_des_aliments.php))**

#### Méthode

20 g de broyat d'échantillon additionnés de 80 ml d'eau distillée sont introduits dans un bécher et homogénéisés sous agitation magnétique. Après décantation, le pH est mesuré.

### 10.4.3. Détermination de la teneur en protéines totales (GAVRILOVIC et coll., 1996)

#### Principe

Elle est réalisée suivant la méthode de KJELDAHL qui consiste en une attaque de la substance organique par de l'acide sulfurique concentré à chaud en présence de catalyseur. Le carbone et l'hydrogène sont dégagés sous forme de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O. L'azote organique est transformé en sulfate d'ammonium. Par distillation, la soude déplace l'ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, l'ammoniaque ainsi formée est dosé par un acide titré en présence d'un indicateur coloré.

La teneur moyenne des protéines est de 16 % d'azote (N), le pourcentage de protéines est donné par la formule suivante:  $P \% = N \times 6,25$ .

#### Méthode

- La minéralisation de l'azote organique: 0,5 g de l'échantillon est introduit dans un matras avec 10 ml d'acide sulfurique concentré et une pastille de catalyseur à base de sulfate de cuivre (CuSO<sub>4</sub>) et de sulfate de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Un essai à blanc est réalisé: 0.25 g de sucre est utilisé à la place de l'échantillon. La minéralisation de l'échantillon et du témoin est faite dans un digesteur jusqu'à obtenir une solution limpide de couleur verte. Le minéralisât est refroidi puis distillé.

- La distillation: 34,5 ml d'eau distillée sont introduits dans le matras pour dissoudre complètement les sulfates, le tout est distillé en présence de NaOH 30 % pour neutraliser les sels d'ammonium et les déplacer en ammoniac. Le minéralisât est distillé en présence de NaOH 40 % qui permet de libérer l'ammoniac. Ce dernier est recueilli dans de l'acide borique 4 % contenant quelques gouttes de réactif de Tashiro.
- La quantité d'azote ammoniacal dans la solution de récupération est dosée avec de l'acide sulfurique 0,1 N jusqu'au virage de la couleur.

La teneur en azote est obtenue à partir de la formule:

$$N \% = \frac{V N 0,0014}{m} \times 100$$

où N%: Teneur en azote total en g pour 100 g d'échantillon

V: Volume en ml d'acide sulfurique (0,1N) nécessaire pour obtenir le virage

N: Normalité de l'acide sulfurique utilisé lors du titrage

M: Masse en g de la prise d'essai

Le pourcentage de protéines P % correspondant est égal à:

$$P \% = \frac{V N 0,0014 \times 100}{6,25} \times m$$

Les résultats doivent être exprimés en pourcentage de la matière sèche.

#### 10.4.4. Détermination de la teneur en lipides (WOLFF, 1991)

##### Principe

La méthode de FOLCH est une référence pour la détermination de la matière grasse dans les aliments solides déshydratés. Cette méthode consiste à extraire la matière grasse avec le solvant d'extraction. Le résidu est séché puis pesé après élimination du solvant par distillation et par dessiccation.

##### Méthode

2,5 g d'aliment sont introduits dans une cartouche de cellulose puis placés dans l'appareil SOXHLET pour extraction en continu avec de l'hexane à ébullition durant 7 h à 70°C.

La matière grasse est graduellement dissoute par effet de siphonage.

Seul le solvant est évaporé, la matière grasse s'accumule dans le ballon jusqu'à extraction complète. Une fois l'extraction terminée, l'hexane est évaporé sur un évaporateur rotatif, la matière grasse est pesée.

La teneur en lipides est obtenue à partir de la formule suivante:

$$\text{MG \%} = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100$$

Avec MG %: Teneur en matières grasses ou lipides

$m_0$ : Poids de la prise d'essai en grammes

$m_1$ : Poids du ballon vide en grammes

$m_2$ : Poids du ballon avec les lipides en gramme

L'expression des résultats se fait en pourcentage de matières sèches.

### 10.4.5. Détermination des cendres brutes (DIDIER DE SAINT ARMAND, 1967)

#### Principe

L'incinération à 550°C d'une substance végétale permet d'obtenir un résidu contenant les éléments minéraux.

#### Méthode

Les cendres brutes sont obtenues par calcination d'une prise d'essai de 10 g au four à moufle pendant 6 h à 550°C: Les échantillons sont placés dans des creusets préalablement tarés. Le pourcentage de cendres brutes est obtenu par la formule:

$$\% \text{ CB} = \frac{M2 - M1}{M1 - M0} \times 100$$

Ces cendres sont utilisées pour le dosage des éléments minéraux: Le sodium, le potassium et le magnésium effectués au spectrophotomètre d'absorption atomique.

### 10.4.6. Détermination de la teneur en glucides totaux (COFRAC, 1994)

La teneur en glucides totaux G est obtenue par la relation suivante exprimée en grammes par 100 g de matières sèches :

$$G \% = 100 - [P + L + C + H]$$

Avec G: Teneur en glucides totaux en %

P: Teneur en protéines totales en %

L: Teneur en lipides totaux en %

C: Teneur en cendres brutes en %

H: Humidité en %

### 10.4.7. Détermination de la valeur énergétique:

La valeur énergétique de l'aliment est obtenue en multipliant la teneur de chaque macronutriment par l'indice d'Atwater correspondant (AFNOR, 1989). La valeur des indices sont:

1g de protéine apporte 4 Kcal

1g de glucide apporte 4 Kcal

1g de lipide apporte 9 Kcal

La valeur énergétique (VE) de l'échantillon à analyser est obtenue avec la formule suivante:

$$VE = (G \times 4) + (P \times 4) + (L \times 9)$$

Avec VE: Valeur énergétique en Kcal

G: Teneur en glucides totaux en %

P: Teneur en protéines totales en %

L: Teneur en lipides totaux en %

### 10.4.8. Identification des acides aminés :

#### Principe

La détermination des acides aminés se base sur la rupture des liaisons peptidiques par des acides forts, mais qui provoquent la destruction du tryptophane. Ces acides aminés sont soumis en chromatographie sur couche mince dont le principe est basé sur le transfert d'une substance d'une phase à l'autre: une phase mobile qui migre par capillarité à travers une phase fixe à des vitesses différentes.

#### Méthode

Les échantillons sont préalablement hydrolysés dans de l'acide concentré HCl 12 N à 110°C puis dilués au 1/2. Les hydrolysats sont ensuite déposés sur une plaque de CCM. Le solvant de migration (100 ml de solvant: 70 ml de butanol + 18 ml d'acide acétique + 12 ml d'eau) migre par capillarité sur la plaque CCM et solubilise les acides aminés. Le chromatogramme est révélé avec une solution de ninhydrine 5 % dans de l'acétone.

### 10.4.9. Etude des polyphénols:

Lors de la préparation des échantillons et des études bibliographiques (**COLIN-HENRION, 2008**), il nous est apparu nécessaire, d'une part de séparer les feuilles de *Moringa oleifera* à leurs deux stades de développement de jeunes feuilles et de feuilles matures. D'autre part, d'optimiser les conditions d'extraction des composés phénoliques en évaluant la quantité extraite ainsi que leur pouvoir antioxydant.

Le principe de dosage des composés phénoliques est basé sur le traitement de l'extrait avec le réactif de Folin-Ciocalteu en milieu alcalin qui développe une coloration bleue dont l'absorbance est mesurée à 760 nm (**MACHEIX et coll., 2005**).

#### *a. Les méthodes d'extraction*

L'extraction des polyphénols se fait par macération de l'échantillon à 35°C pendant 2 h ou dans une cuve à ultrason à 37°C pendant 15 min à 35 MHz en mode sweep.

#### *b. Les solvants*

Les polyphénols sont des molécules hydrosolubles extraites avec des solvants de polarité moyenne à forte. Les solvants utilisés sont le méthanol, l'éthanol et l'acétone de polarité

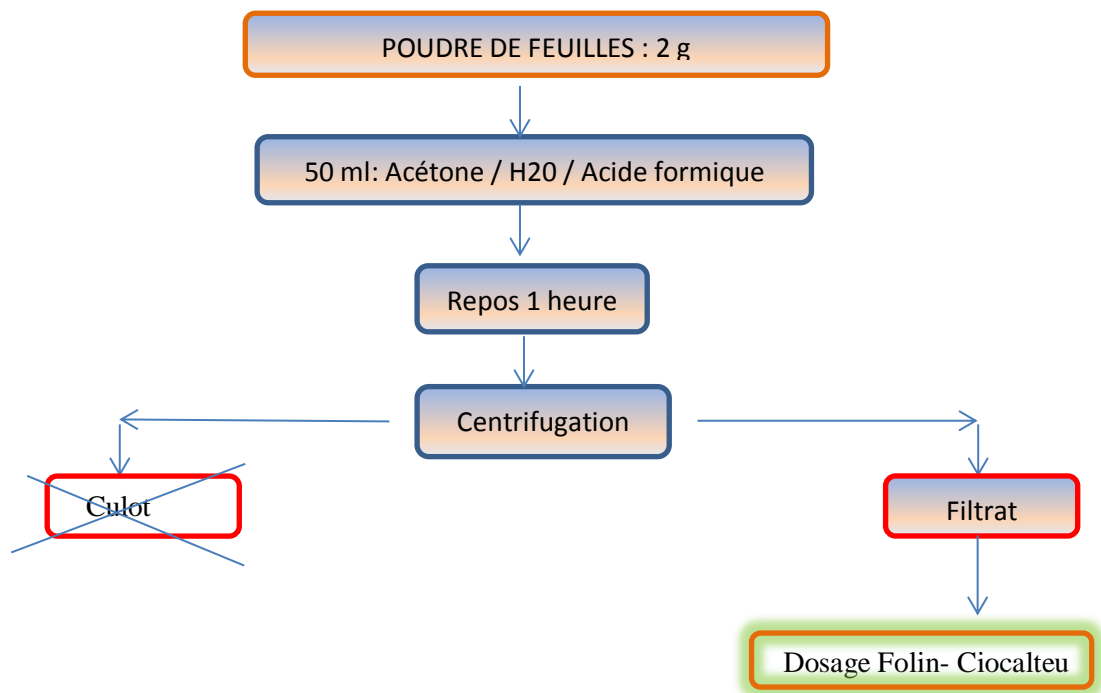


moyenne ainsi que l'eau qui est de polarité plus élevée. Des mélanges de solvants sont utilisés, tels les mélanges d'éthanol / eau (70 / 30, v / v) et d'acétone/eau (70 / 30, v / v), dont la polarité est dite intermédiaire.

Trois méthodes d'extraction sont appliquées : l'extraction acétonique, l'extraction aqueuse et l'extraction éthanolique.

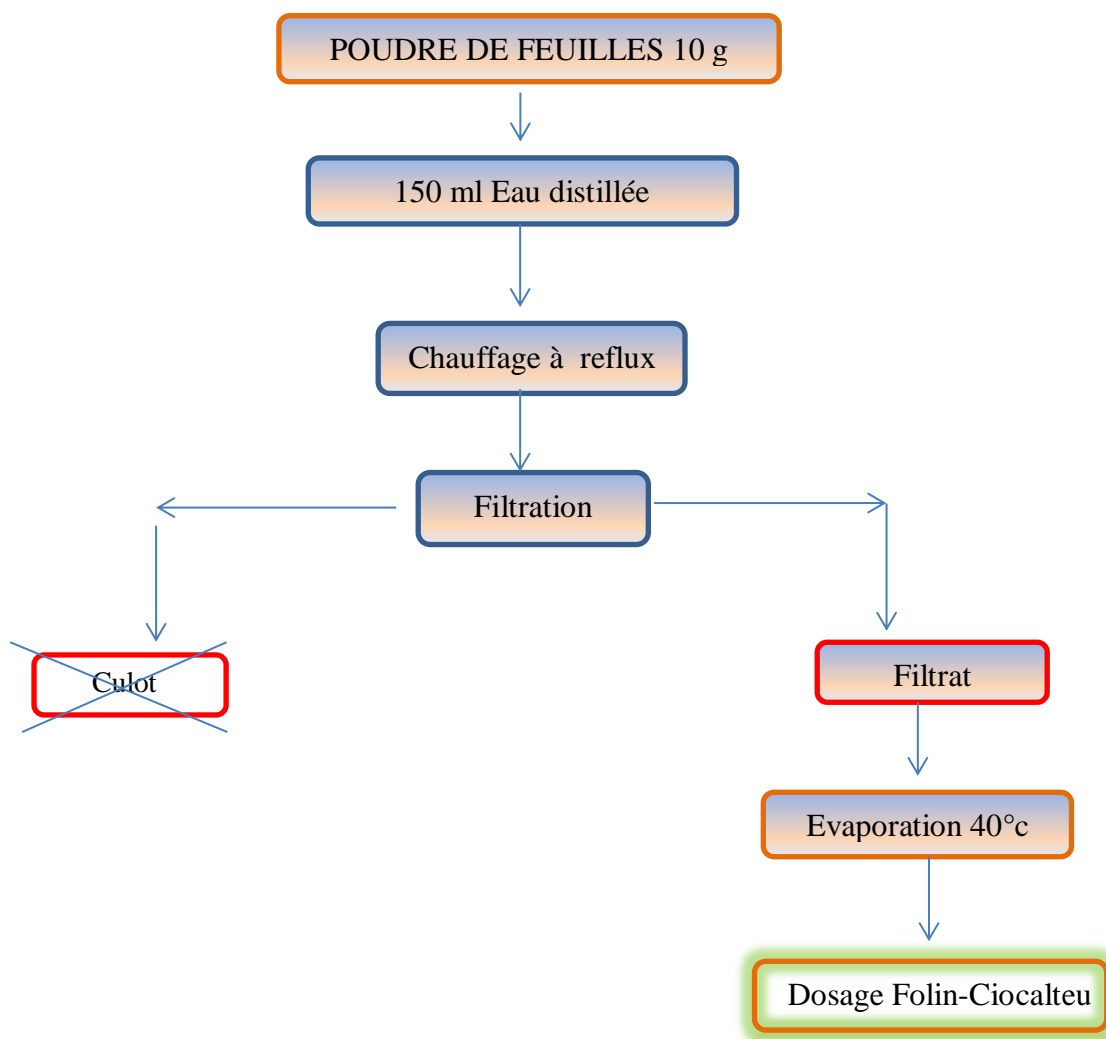
### c. Les étapes d'extraction

Les polyphénols sont des molécules sensibles à la lumière, les ballons d'extraction sont ainsi enveloppés de papier aluminium. Les protocoles utilisés sont ceux décrit par **VONGQSAK, 2013 ; RODRIGUEZ PEREZ, 2015** auxquels des modifications ont été apportées (figure 16, 17, 18).



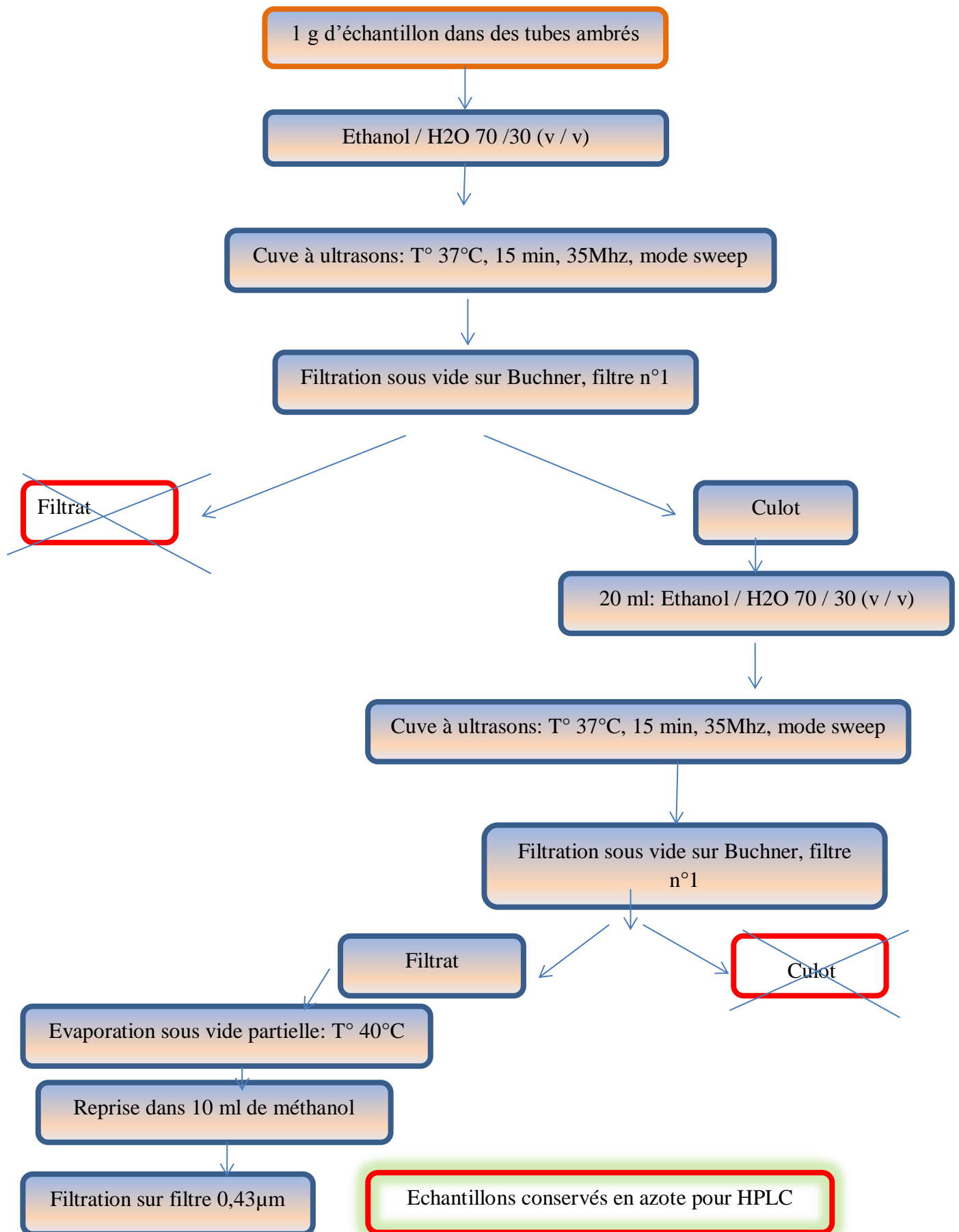
Remarque 1: Le culot obtenu lors de l'extraction acétonique n'est pas pris en compte lors de la suite des analyses.

**Figure 16:** Extraction acétonique des feuilles de *Moringa oleifera*



Remarque 2: Le culot obtenu lors de l'extraction aqueuse n'est pas pris en compte lors de la suite des analyses.

**Figure 17:** Extraction aqueuse des feuilles de *Moringa oleifera*



**Figure 18 :** Extraction éthanolique des feuilles de *Moringa oleifera*

Remarque 3: Au cours de l'extraction éthanolique sont obtenues une phase liquide et une phase solide après filtration sous vide sur Buchner. Ces phases ne sont pas retenues pour la suite de l'extraction.

Les extractions sont suivies d'une évaporation à sec du surnageant à l'aide d'un Rotavapor rotatif. L'extrait sec est ensuite redissout dans le solvant d'extraction pour être analysé en HPLC / MS.

### *d. Dosage des composés phénoliques*

Les composés phénoliques des extraits aqueux et acétonique sont dosés par la méthode de Folin-Ciocalteu (**SIGLETON et coll., 1999**). Une gamme étalon d'acide gallique à 1mg / ml de méthanol est réalisée ainsi qu'une solution de carbonate de sodium anhydre à 20 % dans de l'eau distillée ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). La méthode est décrite au tableau 5.

**Tableau 5:** Méthode de dosage des composés phénoliques par la méthode Folin-Ciocalteu.

	Extrait acétonique 120 $\mu\text{l}$	Extrait aqueux 120 $\mu\text{l}$	Témoin eau distillée
HOMOGENEISATION			
Réactif de Folin ( $\mu\text{l}$ )	60	60	60
REPOS 5 min, T° ambiante			
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ 20 % ( $\mu\text{l}$ )	240	240	240
Ajouter 800 $\mu\text{l}$ ED			
Incubation 1 heures à l'obscurité			
Lecture à 760 nm			
Résultats exprimés en équivalent g / l d'acide gallique			

A partir de la solution mère d'acide gallique 1 mg / ml sont préparées des solutions filles de concentration allant de 0 à 500  $\mu\text{g}$  / ml afin d'obtenir la droite de référence (gamme étalon). Les concentrations en composés phénoliques des extraits sont lues à partir de cette droite de référence.

Les teneurs en composés phénoliques sont exprimées en milligrammes par 100 g de matières sèches équivalent en acide gallique.

e. Activité antioxydante

Le dosage des antioxydants est basé sur leur particularité de pouvoir libérer un électron qui réagit avec le réactif DPPH, engendrant une décoloration allant du violet au jaune clair.

La décoloration est fonction de la teneur en antioxydant. Cette propriété permet de mesurer la capacité antioxydante de l'échantillon en mesurant la diminution de l'absorbance du DPPH à 517 nm. La méthode utilisée est celle de **KORDALI et coll., 2005** avec des modifications. Le dosage a été fait sur les extraits aqueux et acétonique. Une solution de DPPH à 0,2 mM (3,94 mg de DPPH dans 50 ml de méthanol pur) a été préparée extemporanément.

La méthode est consignée dans le tableau 6.

**Tableau 6:** Méthode de dosage des antioxydants par la méthode de réduction du DPPH

Témoin 250 µl	Extrait acétonique dilué 250 µl	Extrait aqueux dilué 250 µl
Solution de DPPH (µl)	750	
Agitation		
Repos 30 min à Température ambiante, à l'obscurité		
Lecture à 517 nm		
Activité anti radicalaire est estimée en pourcentage d'inhibition (PI) PI = [(DO témoin - DO extrait) / DO témoin] * 100		
Pourcentage de piégeage du radical DPPH I % = [1 – (DO extrait ÷ DO témoin)] × 100		

f. Analyse en HPLC-MS des échantillons éthanolique

L'HPLC a été effectuée sur les extraits éthanolique de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*. L'analyse par HPLC / MS est réalisée sur une chaîne CLHP SURVEYOR, équipée d'un détecteur à barrette de diodes modèle UV6000LP, de pompes quaternaires P4000, d'un injecteur automatique AS3000 et couplée à un spectromètre de masse LCQ équipé d'une source d'ionisation électro-spray (THERMO FINNIGAN, San José, USA). La séparation est effectuée à l'aide d'une colonne ACE C18 phase inverse (250 mm x 4,6 mm, 5 µm, AIT, France) thermostatée à 30°C. Le volume d'injection est de 20 µl et les conditions d'élution sont décrites comme suit:

**Tableau 7:** Conditions d'élution des solvants A (H<sub>2</sub>O/HCOOH/CH<sub>3</sub>CN) et B CH<sub>3</sub>CN

	Time(min)	Flow(ml/min)	%A	%B
1	0.00	0.700	95.00	5.00
2	20.00	0.700	75.00	25.00
3	40.00	0.700	40.00	60.00
4	50.00	0.700	0.00	100.00
5	55.00	0.700	0.00	100.00
6	60.00	0.700	95.00	5.00
7	72.00	0.700	95.00	5.00
*	72.00	0.700	95.00	5.00

Les solvants utilisés sont **A**: H<sub>2</sub>O / HCOOH / CH<sub>3</sub>CN (99,1 / 0,1 / 0,8 : v/v/v) et **B**: CH<sub>3</sub>CN. La détection est effectuée à 280, 330 et 360 nm.

L'électro-nébulisation est réalisée en mode négatif. La plage de masses est comprise entre 100 et 2000 Da. La température de désolvatation est de 300°C. La tension du spray est de 5000 V. Les fragmentations de type MS<sup>n</sup> sont réalisées avec une énergie de collision comprise entre 30 et 50 %.

### **Chapitre 11: Procédés de valorisation du *Moringa oleifera***

La valorisation des feuilles de *Moringa oleifera* se fait par des essais de son incorporation dans des fruits et par des essais de fermentation par des bactéries lactiques.

#### **11.1. Pâtes de fruit aux feuilles de *Moringa oleifera***

##### **11.1.1. Préparation des fruits**

Les fruits ont été achetés au marché, frais, aptes à la consommation. Puis ils ont été amenés au laboratoire où ils ont été lavés et égouttés avant leur utilisation. Il s'agit de la papaye, de la banane, du kaki et du fruit à pain. Les fruits ont été pelés, épluchés, épépinés, dénoyautés, pour ne garder que les pulpes. Quant au tamarin, il a été débarrassé de sa coque, des fibres et de ses noyaux. La pulpe a été conservée dans des sacs alimentaires à 4°C.

##### **11.1.2. Fabrication des pâtes de fruit**

Les pulpes sont ramollies à 50°C pendant 10 min au thermostat 5 (feu chaud), puis broyées au mixeur de cuisine à la vitesse 2 (vitesse forte). Les quantités de sucre cristallisé nécessaires à la cuisson sont variées:

100 %, 75 % et 50 % du poids des pulpes; Le sucre est ajouté et l'ensemble est cuit à 80°C pendant 30 min, jusqu'à réduction de la masse.

### 11.1.3. Incorporation du *Moringa oleifera*

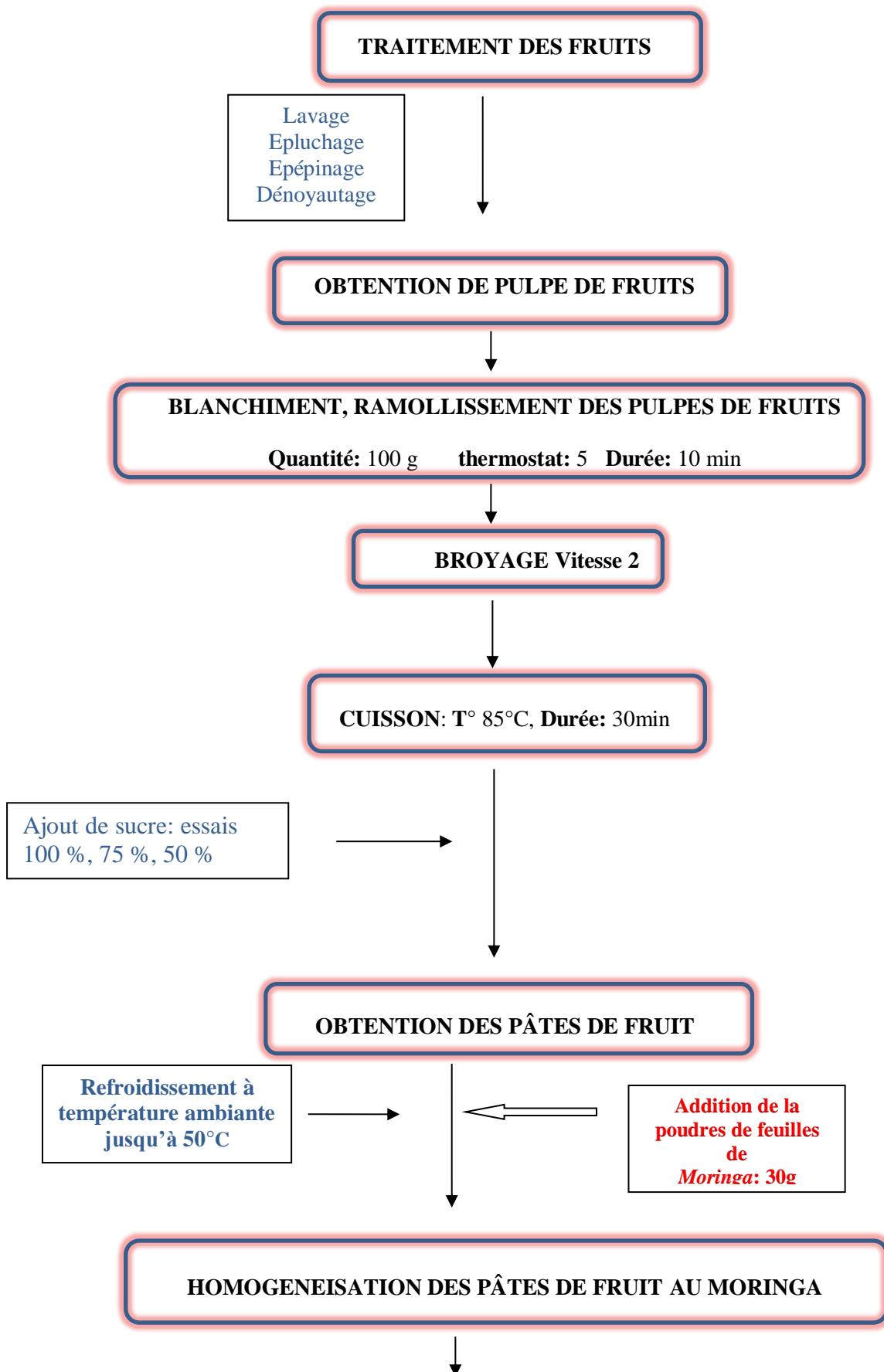
La poudre de feuilles de *Moringa oleifera* est progressivement incorporée dans les pâtes de fruit en tenant compte de:

- la température des pâtes de fruit cuites, elle doit être inférieure à 50°C;
- des caractères organoleptiques des produits obtenus;
- du besoin protéique d'un enfant de moins de 5 ans fixé à 20-25 g / jour (**AFSSA, 2007**).

Les taux d'incorporation de *Moringa oleifera* sont fixés à 10 %, 15 %, 17,5 % puis à 30 % de pulpe (exemple: 30 g de poudre de *Moringa oleifera* pour 100 g de pulpe de fruit).

### 11.1.4. Diagramme de fabrication des pâtes de fruit

Le diagramme de fabrication des pâtes de fruit enrichies au *Moringa oleifera* est schématisé en figure 19. (**HARIMALALA et coll., 2014**)





**ETALAGE SUR DES PLAQUES: Durée du process 30 – 40 min**

**SECHAGE: T° 45°C, Durée: 3 jours**

**OBTENTION DE PATES DE FRUIT ENRICHIES**

Découpage  
Morcelage en carré de 1,5×1,5×0,5 cm  
Sucrage

**CONDITIONNEMENT, EMPAQUETAGE**



**Figure 19:** Diagramme de fabrication des pâtes de fruit et obtention des pâtes de fruit (source Auteur)

Remarques: les teneurs en sucre ont été variées pour essayer de diminuer les apports dans l'aliment. En effet le sucre est à l'origine des caries dentaires et de l'élévation du taux de sucre dans le sang. Ces variations des teneurs en sucre tiennent compte non seulement des problèmes de santé mais aussi de la texture de l'aliment, c'est-à-dire de la prise en masse des pâtes fabriquées.

### 11.1.5. Analyses sensorielles

#### a. Groupe de sujets cibles:

Les sujets cibles sont les enfants de moins de 5 ans. Du fait d'avoir des avis non précis par les enfants, donnant des résultats biaisés, les tests ont été menés auprès d'hommes et de femmes âgés entre 20 ans et 40 ans.

#### b. Organisation des épreuves:

Les analyses sensorielles ont été effectuées sur des pâtes de fruit non enrichies et enrichies en feuilles de *Moringa oleifera*.

#### c. Evaluation sensorielle des pâtes de fruit non enrichies:

L'objectif est de pouvoir choisir la ou les pâtes de fruit qui conviennent le mieux pour le processus d'enrichissement.

Elle est effectuée par 10 juges: Il leur est demandé de donner une appréciation sur la qualité organoleptique des pâtes de fruit sans ajout de feuilles de *Moringa oleifera*. Après une séance d'entraînement, ils ont procédé à l'évaluation des produits sur une échelle de notation continue de 0 à 9 sur les variables de texture, de couleur, de goût, d'amertume, de consistance et d'astringence. Afin de mettre en évidence les corrélations entre les descripteurs et les produits, les données sont soumises à une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur XLSTAT. (BACCINI, 2010).

#### d. Evaluation sensorielle des pâtes de fruit enrichies:

Ces analyses sensorielles ont été faites sur des pâtes de fruit enrichies en feuilles de *Moringa oleifera*. Elles ont été réalisées par des sujets naïfs hommes et femmes sans distinction d'âge, qui avaient déjà goûté ou qui n'avaient jamais goûté de pâtes de fruit: Des pâtes de fruit enrichies aux concentrations 10 %, 15 % et 17,5 % et 30 % de *Moringa oleifera* ont été présentées aux juges-consommateurs. Les échantillons ont été codés par un nombre aléatoire à trois chiffres. Des épreuves hédoniques sont réalisées en procédant à (WATTS et coll., 1991):

### *D<sub>1</sub> : Un test triangulaire: (WATTS et coll., 1991)*

Ce test définit l'existence de différences perceptibles qui peut exister entre deux échantillons de pâtes de fruit avec et sans feuilles de *Moringa oleifera*.

Pour ce faire, trois échantillons codés de façon aléatoire sont présentés aux juges: deux sont identiques et un est différent (soit 2 échantillons A et un B ou 2 échantillons B et un A).

Les échantillons sont présentés tous ensemble à chaque juge dans un ordre retenu et ils peuvent les goûter plusieurs fois. Ils doivent identifier l'échantillon qui est différent, choisir un échantillon même s'ils ne peuvent pas distinguer de différence et donc choisir au hasard en cas de doute.

La fiche d'enquête (annexe 2) est rédigée en malgache pour faciliter la compréhension.

Traitement des résultats: Les données sont traitées avec le test binomial à une queue puisqu'un échantillon est différent et il n'y a qu'une réponse correcte. Le nombre de juges qui a identifié l'échantillon différent est totalisé. Si le nombre de réponses correctes est supérieur au nombre donné dans le tableau des nombres critiques en annexe 5, il existe donc une différence perceptible entre les produits (**DELACHARLERIE et coll., 2008**).

### *d<sub>2</sub> : Un test de Friedman:*

Ce test permet de déterminer s'il y a une différence entre les pâtes de fruit aux différentes concentrations 10 %, 15 % et 17 % de *Moringa oleifera*. L'hypothèse nulle (H<sub>0</sub>) est posée: la concentration en *Moringa oleifera* n'a aucun effet différenciateur dans le goût des pâtes de fruit. Le test de Friedman conduit au rejet ou à l'acceptation de cette hypothèse H<sub>0</sub> en se basant sur la valeur du nombre risque critique  $\alpha$ . L'hypothèse sera rejetée si les valeurs sont en dessous de 5 % ( $\alpha < 0,05$ ).

Traitement des résultats: Le coefficient F de Friedman est calculé selon la formule suivante:

$$F = \frac{12}{np(p+1)}(R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + \dots + R_p^2) - 3n(p+1)$$

n: Nombre de juges

p: Nombre de produits

R<sub>i</sub>: somme des rangs pour le produit i

La valeur observée est comparée à une valeur théorique  $z$ , obtenue dans une table de  $\chi^2$  au risque  $\alpha = 5 \%$  pour  $(p-1)$  degré de liberté (annexe 6). Si la valeur de  $F$  est supérieure à  $z$  les produits sont significativement différents. Un test de comparaison de  $k$  échantillons avec XLSTAT est effectué.

### *d<sub>3</sub>: Un test hédonique :*

Ce test permet de déterminer la préférence des consommateurs des pâtes de fruits aux différentes concentrations de *Moringa oleifera*. Un test de classement par rang par 115 consommateurs pris au hasard est appliqué.

Les consommateurs goûtent les 2 séries d'échantillons de pâtes de fruit (les pâtes de banane et les pâtes de tamarin) enrichies à 10 %, 15 %, 17,5 % et 30 % de *Moringa oleifera* un à un et ils les classent selon leur préférence. (Note 1 = échantillon le plus préféré, note 3 = échantillon pas aimé du tout, note 2 = échantillon intermédiaire).

La fiche questionnaire d'enquête (annexe 3) est rédigée en malgache pour faciliter la compréhension.

Traitement des résultats: Une analyse de différence est faite en comparant le total des classements pour toutes les paires possibles des échantillons en se servant du test de Friedman (F) sur XLSAT 15.1.01.

### *d<sub>4</sub>: Un test de classement par rang :*

Pour obtenir une indication sur le goût le plus acceptable des pâtes de fruit aux feuilles de *Moringa oleifera*, un test de classement par rang est fait par un panel de dégustateurs initié (des étudiants en Biochimie option alimentation- nutrition en masters 1 et 2).

Il leur est demandé de classer les échantillons selon le goût sans donner d'égalité, allant du moins acceptable vers le plus acceptable (cote 1 = l'échantillon qui a le goût le plus acceptable et cote 4 = le moins acceptable avec des intermédiaires). Le bulletin qui a servi au classement par rang se trouve en annexe 7.

Traitement des résultats: Une analyse de la variance (ANOVA) à 1 facteur est réalisée, sur l'ensemble des individus, sur la note « appréciation du consommateur des pâtes de fruit ».

Pour identifier les produits qui sont différents, un test de comparaisons multiples: Test L.S.D de Fisher est réalisé.

### 11.1.6. Analyses nutritionnelles des pâtes de fruit aux feuilles de *Moringa oleifera*:

L'analyse nutritionnelle renseigne sur les divers apports en nutriments de l'aliment, sa qualité est fonction des divers nutriments qu'il contient. La teneur en protéines des échantillons de pâtes de fruit aux feuilles de *Moringa oleifera* est analysée.

Trois répétitions par échantillon sont faites, l'expression des résultats se fait pour 100 g de produit.

#### a. Préparation des échantillons: (AMPONSAH, 2009)

100 g de pâtes de fruit aux feuilles de *Moringa oleifera* sont broyées au mortier pour déterminer la teneur en protéines des échantillons dont la méthode est décrite comme ci-dessus au chapitre II.2.1.3.

Suite à ces analyses sensorielles sont retenues 2 types de pâtes de fruit: les pâtes de banane et les pâtes de tamarin aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*.

### 11.1.7. Analyses microbiologiques des pâtes de fruit enrichies aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*

Des analyses microbiologiques sont effectuées sur les pâtes de fruit sélectionnées suite aux analyses sensorielles et aux analyses nutritionnelles, pour définir leur qualité hygiénique.

Deux groupes de germes sont recherchés: les germes pathogènes pour le consommateur et les germes de contamination fécale.

Pour se faire, dans trois sachets plastiques stériles sont placés 25 g de pâtes de fruit aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera* préalablement broyées.

Dans le premier sachet stérile sont ajoutés 225 ml de triptone sel eau (TSE), pour donner les suspensions mères  $10^{-1}$ . A partir de ces solutions mères sont réalisées des dilutions en cascade: la solution  $10^{-2}$  en prenant 1 ml de la suspension mère introduite dans un tube stérile, puis additionné de 9 ml d'eau distillée; la solution  $10^{-3}$  est faite en prenant 1 ml de ce mélange et versé dans un autre tube stérile contenant 9 ml de diluant; la dilution  $10^{-4}$  est réalisée de la même manière. Ces dilutions serviront à rechercher la flore mésophile aérobie totale (FAMT). Dans le deuxième sachet stérile sont introduits 225 ml d'eau peptone tamponnée (EPT). Une dilution en cascade est réalisée comme précédemment. Cette préparation va servir à rechercher et à dénombrer les salmonelles et autres.

### a. Dénombrement de la flore mésophile aérobie totale (FAMT): (NF ISO 4833-1:2013)

La FAMT regroupe les micro-organismes thermophiles, mésophiles et psychrophiles. Sa détermination permet d'avoir une estimation de la qualité de germes présents naturellement dans le produit.

Le principe consiste à déterminer les unités formant colonies par gramme d'échantillon (UFC / g) sur une gélose Plate Count Agar (PCA) à 30°C durant 72 h.

La méthode consiste à prendre 1 ml d'inoculum des dilutions  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  qui sont ensemencés en double dans des boîtes de Pétri vides et stériles à l'aide d'une pipette stérile. Un milieu de PCA en surfusion à 45°C est coulé dans chaque boîte de pétri, le tout est mélangé soigneusement. Les UFC sont dénombrées, les boîtes de pétri qui contiennent 30 à 300 colonies sont considérées.

### b. Dénombrement des *Staphylococcus aureus*:

Le *Staphylococcus aureus* produit une entérotoxine protéique responsable des intoxications alimentaires. Le dénombrement est effectué sur un milieu BAIRD-PARKER (annexe 8). La méthode consiste à inoculer 0,1 ml d'inoculum des dilutions  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  à la surface du milieu de culture par étalement et faire une incubation à 37°C pendant 48 h (NF V 08- 057-1). Les UFC / g sont déterminées.

La flore secondaire est inhibée par la présence dans le milieu de chlorure de lithium, de tellurite, et d'une forte concentration en glycine. Le *Staphylococcus aureus* se caractérise par la formation de colonies noires qui traduit la réduction de la tellurite en tellure. Pour le dénombrement, il faut tenir compte des boîtes de pétri qui ont entre 15 et 150 colonies.

### c. Dénombrement des coliformes totaux et fécaux:

Les coliformes totaux sont des bacilles Gram négatifs, non sporulés, aérobies et anaérobies facultatifs, ils peuvent se multiplier en présences de sels biliaires et fermenter le lactose en produisant de l'acide et du gaz à une température de 37°C. Les coliformes totaux regroupent les germes fécaux et les germes d'autres sources environnementales (aquatique et tellurique). Les coliformes fécaux ont les propriétés identiques à celles des coliformes totaux, mais ils ont la particularité de produire de l'indole à 44°C à partir du tryptophane. La méthode consiste à mélanger 1 ml de l'inoculum des dilutions  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  au milieu de culture de gélose au cristal violet et au rouge neutre biliée et lactosée (VRBL). Il est réalisé deux séries: des boîtes de pétri pour dénombrer les coliformes totaux, qui sont incubées à T° 30°C et des boîtes de pétri

pour rechercher les coliformes fécaux, qui sont incubés à 44°C. Les colonies doivent contenir moins de 150 colonies (NF v 08-060, NF v 08-050).

d. Dénombrement des *Escherichia coli*:

L'*Escherichia coli* est un coliforme thermo tolérant. Le dénombrement est réalisé sur un milieu EMB (Eosine Bleu de Méthylène) dont la présence de colorants inhibe la croissance de la flore secondaire à Gram positif. La méthode consiste à ensemencer 0,1 ml d'inoculum des différentes dilutions à la surface des boîtes de pétri contenant au préalable le milieu EMB. L'inoculum est étalé, séché, les boîtes de pétri sont incubées à 44°C pendant 24 h. Les colonies présentes à la surface des boîtes sont ensuite comptées, il est déterminé les UFC/ g (NF v08 - 053).

e. Recherche de *Salmonella*:

La recherche et le dénombrement des Salmonelles se fait sur un milieu gélosé sélective. L'inoculum est ensemencé en strie sur le milieu, l'incubation est faite à 37°C pendant 24 h (NFV 08 052).

f. Mode de calcul du dénombrement :

Les résultats sont obtenus selon la formule suivante:

$$N = \frac{\Sigma a}{V(n1 + 0,1n2)d}$$

N: nombre d'UFC/g

V: Volume d'inoculum ensemencé

$\Sigma a$ : Somme des UFC comptées sur toutes les boîtes de pétri de 2 dilutions successives dont une au moins contient au minimum 15 UFC bleue.

n2: Nombre de boîtes retenues à la 2ème dilution

d: facteur de dilution de la 1<sup>ère</sup> dilution retenue

Si les 2 boîtes contiennent moins de 15 UFC, on fait l'estimation du petit nombre tel que:

$$N = \frac{\Sigma a}{V \cdot n \cdot d}$$

$\Sigma a$ : Somme des UFC comptées sur toutes les boîtes de Pétri de 2 dilutions successives

V: Volume d'inoculum ensemencé

n1 : Nombre de boîtes retenues

d: facteur de dilution de la 1<sup>ère</sup> dilution retenue

g. Détermination de la date limite de consommation (DLC):

La date limite de consommation (DLC) est déterminée à partir d'expériences faites en laboratoire en procédant au vieillissement des produits. La méthode consiste à faire des prélèvements réguliers au 1<sup>er</sup> jour j 0 (correspondant au jour de retrait des pâtes de fruits de l'étuve), à j 10, j 80, j 160 et j 180 (**LEGUERINEL, 2011**). La mesure des populations est faite par dénombrement sur boîte de Pétri.

La variation de la charge bactérienne est décrite par une équation différentielle linéaire de la forme  $Y = ax + b$  (**SANAA, 2002**).

h. Evaluation de la toxicité des pâtes de tamarin et de banane à 30 % de *Moringa oleifera*:

Des tests de toxicité ont été réalisés sur des souris en utilisant des extraits de pâtes de tamarin et de pâtes de banane à 30 % de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*.

Trois lots de trois souris sont préparés au préalable: un lot témoin et deux lots expérimentaux. Chaque lot est isolé sans nourriture pendant 12 h. Au lot témoin a été administré de l'eau physiologique stérile 9‰ de NaCl, au lot expérimental est donné des extraits bruts de pâtes de tamarin et de pâtes de banane à la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*. Les extraits bruts sont obtenus après macération aqueuse, filtration et concentration au Rotavapor jusqu'à avoir un volume de 10 ml: 10 % v / p soit 10 ml pour 100 g de pâte. L'eau stérile est administrée par voie intra-péritonéale et les extraits par gavage.



### 11.1.8. Analyse du profil de texture et physico- chimiques des pâtes de fruit aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*

Cette étude a été réalisée dans le laboratoire de l'AgroSup –Dijon (France).

#### a. Le profil de texture des pâtes de tamarin:

Dans ce paragraphe, seules les pâtes de tamarin aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera* ont fait l'objet d'une étude physico-chimique et une étude du profil de texture du fait de la difficulté de conservation et de transport de la banane sur les lieux d'études (Madagascar / France: AgroSup de Dijon).

#### Méthode:

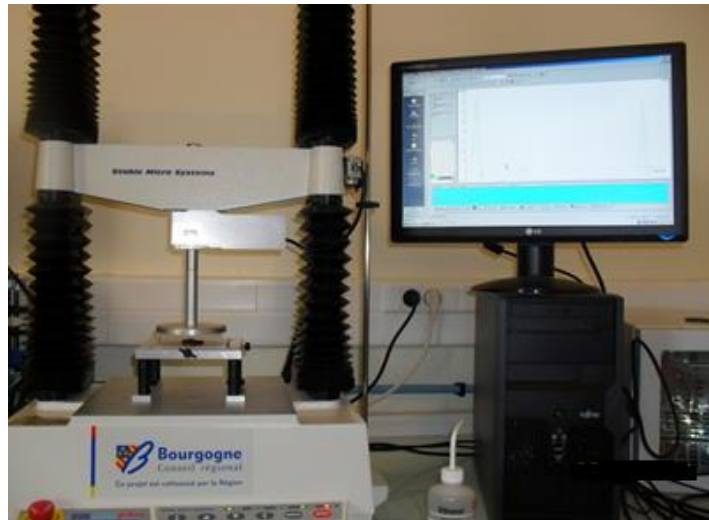
Il est procédé à la fabrication des pâtes de tamarin à 0 %, 10 %, 15 %, 30 %, 36 % et 42 % de feuilles de *Moringa oleifera*, en notant les différents paramètres de leur préparation (annexe 9). Les échantillons sont fabriqués en triple.

L'étude des propriétés rhéologiques des pâtes de tamarin enrichies en protéines de feuilles de *Moringa oleifera* est faite sur des produits datant de 15 jours de fabrication, pour reproduire les mêmes conditions réalisées lors de l'analyse sensorielle.

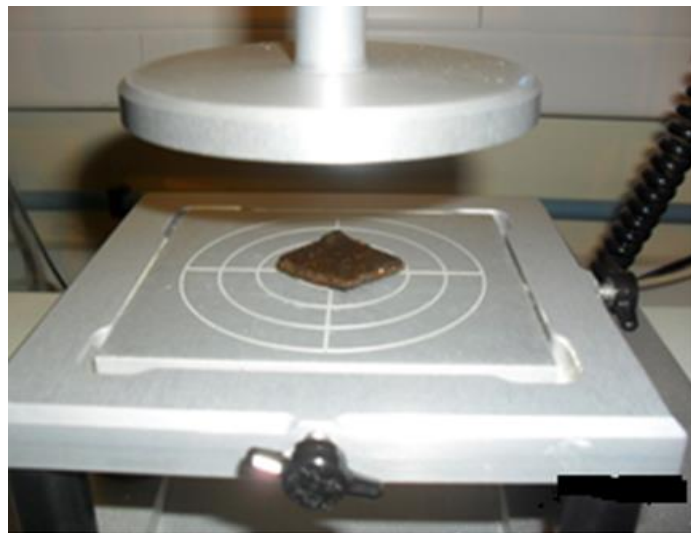
Parallèlement, une étude est faite sur le vieillissement des pâtes de tamarin. Pour ce faire, les mesures sont réalisées sur les pâtes de tamarin aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera* aux temps suivants:

- J 0: jour de retrait des pâtes de tamarin de l'étuve
- J 15: correspond à 15 jours après le retrait des produits de l'étuve
- J 30: correspondant à 15 jours après le retrait des produits de l'étuve

Il est réalisé une analyse instrumentale du profil de texture (TPA) avec un analyseur de texture RHEO TA-HD+ (Stable Microsystems Ltd., Surrey, England) équipé d'un capteur pouvant supporter jusqu'à 5 kN. Un carré de pâte de fruit est placé soigneusement au centre de la surface métallique inférieure de l'analyseur de texture et immédiatement passé au test. L'échantillon est soumis à deux déformations successives. La vitesse de compression est fixée à 1 mm / s et la force de déclenchement automatique à 0,049 N. La force de compression est appliquée jusqu'à ce que la déformation des échantillons ait atteint 40 % de leur hauteur initiale. Un temps de 5 secondes est appliqué entre les deux compressions (Figure 20 et 21).



**Figure 20:** Analyser de texture RHEO TA-HD+. (AgroSup Dijon).



**Figure 21:** Capteur analyseur des échantillons soumis aux déformations. (AgroSup Dijon)

A partir des courbes de forces-déformation obtenues, les paramètres suivants sont déterminés:

- la fermeté (valeur de la force maximale de la première compression),
- le collant (aire négative suite à la première compression),
- l'élasticité (pente à l'origine de la première compression),
- la cohésion (l'aire positive de la seconde compression divisée par l'aire positive de la première compression),

- la résilience (ratio de l'aire positive située entre le début de la courbe jusqu'à la valeur de la force maximale et l'autre aire positive de la courbe située entre la valeur de la force maximale jusqu'à 0),
- la masticabilité (produit de la fermeté par l'élasticité et la cohésion).

Les mesures sont répétées 3 fois pour chaque produit.

### b : Les caractères physico-chimiques:

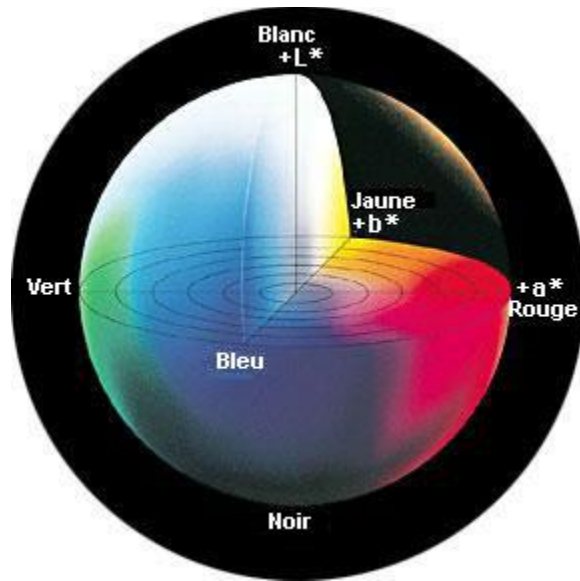
#### b. 1. Mesures de couleur:

La couleur est un facteur important pour déterminer la qualité sensorielle et l'acceptabilité des consommateurs vis-à-vis des produits alimentaires. Il est important de minimiser soit les pertes de couleur, soit d'y apporter des modifications cela lors du processus de fabrication et du stockage. La couleur des pâtes de tamarin est donc évaluée à l'aide d'un chromamètre « Minolta CR-200B Handheld » (figure 22) en utilisant l'espace de couleur  $L^*a^*b^*$  (CIELAB-Commission International de l'Eclairage, 1976).

$L^*$  indique la clarté ou la luminance,  $a^*$  et  $b^*$  traduisent la chromacité ou  $a^*$  : indique la gamme de coloration du vert au rouge et  $b^*$  : indique la gamme de coloration du bleu au jaune (Figure 22). Le chromamètre est étalonné avec le blanc de la plaque réflecteur standard de l'appareil. Trois répétitions par échantillon sont réalisées.



**Figure 22:** Appareil de mesure de coloration Minolta CR-200B Handheld. (AgroSup Dijon)



**Figure 23:** Diagramme de chromacité. (Source CIELAB- Commission International de l'Eclairage, 1976)

b. 2. Mesure de l'activité de l'eau:

L'activité de l'eau des pâtes de tamarin est mesurée avec le Rotronic Hygropalm (Rotronic France) à température ambiante. La mesure a duré 5 minutes par échantillon (figure24). Trois répétitions par échantillons sont réalisées



**Figure 24:** Appareil de mesure de l'Aw Rotronic Hygropalm. (AgroSup Dijon)

### b. 3. Mesure des teneurs en eau:

La teneur en eau des échantillons est mesurée par dessiccation pendant 24 heures à 105°C d'environ 10 g échantillon. Le résultat est exprimé en pourcentage massique (g d'eau pour 100 g de produit). Trois répétitions par échantillons sont réalisées.

Lorsqu'un effet significatif est observé, une comparaison de moyennes utilisant le test de Newman-Keuls (SNK) est réalisé avec un risque de 5 %. A partir des valeurs significatives, une classification hiérarchique ascendante est effectuée pour catégoriser les produits.

Dans l'étude du vieillissement des produits, une analyse de variance (Anova) à deux facteurs (la teneur en *Moringa* et le nombre de jours) est effectuée.

Une analyse à composantes principales et une classification hiérarchique ascendante est effectuée pour caractériser les différences entre les produits.

Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel Statistica 6.0 (StatSoft, Maisons Alfort, France).

#### 11.1.9. Détermination des isothermes de sorption des pâtes de tamarin aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*:

Le principe de détermination des isothermes de sorption est basé sur la mesure de la masse de l'échantillon au cours du temps avec des conditions ambiantes fixées. L'échantillon est placé dans des conditions de pression relative fixe, la masse de l'échantillon est mesurée au cours du temps jusqu'à atteindre un palier dont la détermination est fonction des critères d'équilibre fixés (**LOWELL, 1991**).

La méthode consiste à calibrer l'appareil avec des solutions salines saturées standard. L'humidité relative et la température dans l'appareil est maintenue entre 0,1 et 0,85, et 25°C.

Environ 0,2 g d'échantillons est préalablement pré-séché dans un dessiccateur en présence de P<sub>2</sub>O<sub>4</sub> durant 24 h, puis placé dans des bocaux au-dessus des solutions salines dans l'analyseur de sorption.

La masse humide du produit est pesée à intervalle de temps réguliers. L'obtention d'une masse fixe indique l'atteinte de l'équilibre hygroscopique. L'expérience a duré 1 mois. Les masses humides terminées, les échantillons sont introduits dans une étuve réglée à 105°C pendant 24 heures, puis pesés afin de déterminer la masse sèche de l'échantillon. Les différentes teneurs en eau d'équilibre sont déterminées en faisant la moyenne de 3 lectures et exprimées en matières sèches.

### 11.2. Fermentation du *Moringa oleifera*:

Cette étude a été réalisée dans le laboratoire de l'ESIROI (Ecole Supérieure d'Ingénieurs Réunion Océan Indien) de La Réunion.

Le processus de fermentation est suivi sur deux stades de développement des feuilles de *Moringa oleifera*: les feuilles matures et les feuilles jeunes puis sur des feuilles sans distinction de maturité ou cueillies au hasard.

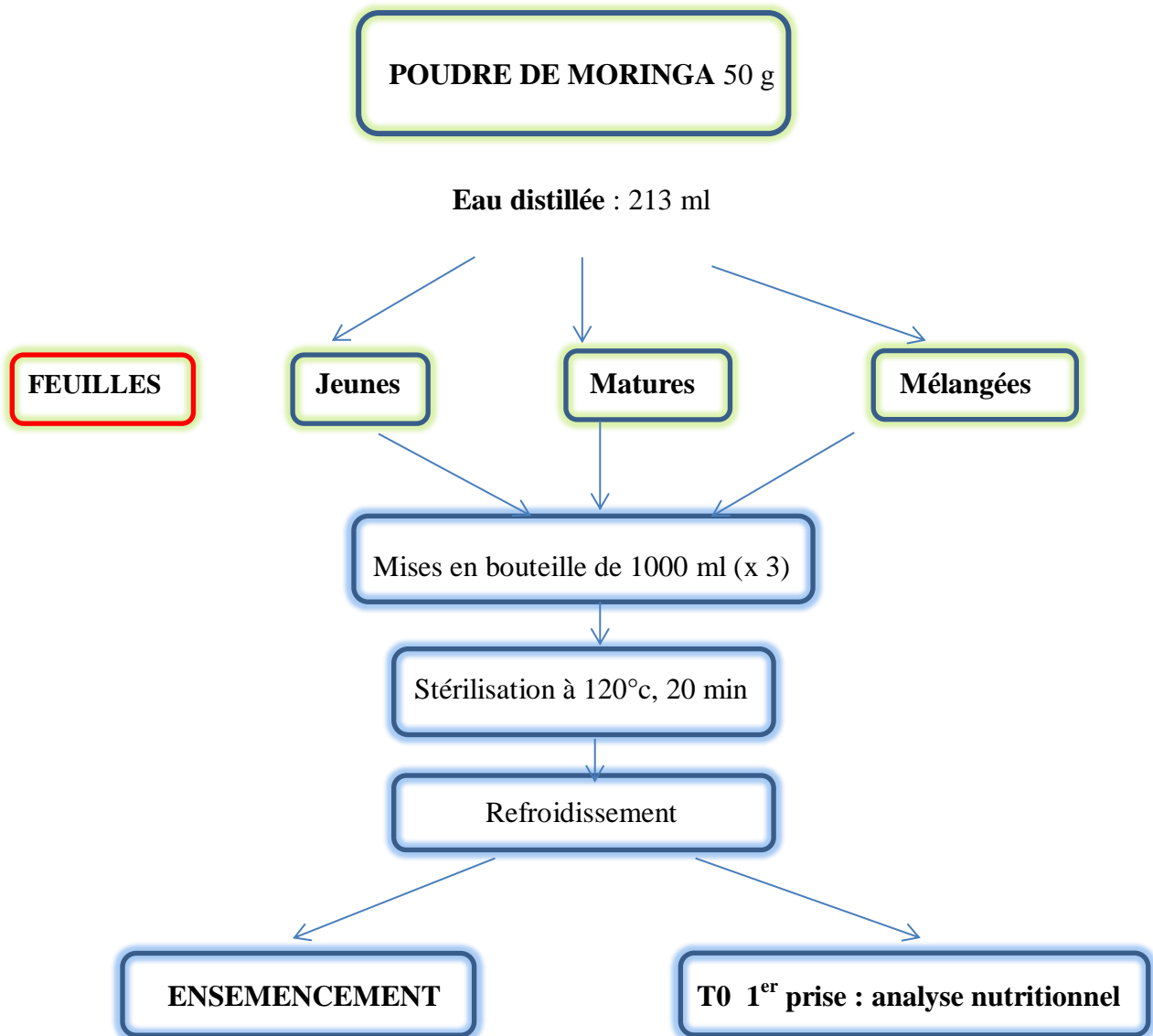
#### 11.2.1. Principe de la fermentation:

La lacto-fermentation consiste à favoriser le développement des bactéries lactiques qui acidifient le milieu par la production d'acide lactique, empêchant la prolifération des micro-organismes pathogènes et indésirables. La lacto-fermentation est ainsi divisée en 3 étapes:

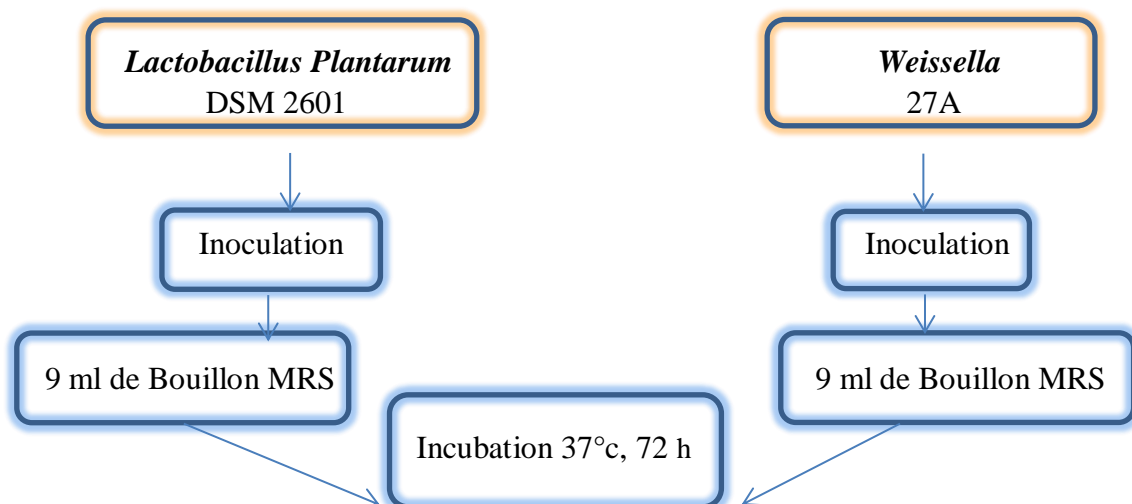
- la pré-fermentation où il y a le développement de nombreuses espèces de micro-organismes et caractérisée par le ramollissement et la décomposition de l'aliment.
- L'acidification quand les bactéries lactiques prennent le dessus sur les autres micro-organismes. Il se développe de nouvelles substances comme l'acide lactique, ainsi que d'autres composés.
- Le pH du milieu devient acide: inférieur à 4,1. Les micro-organismes indésirables ne peuvent plus se développer, les bactéries lactiques arrêtent de se multiplier et de nouveaux arômes apparaissent.

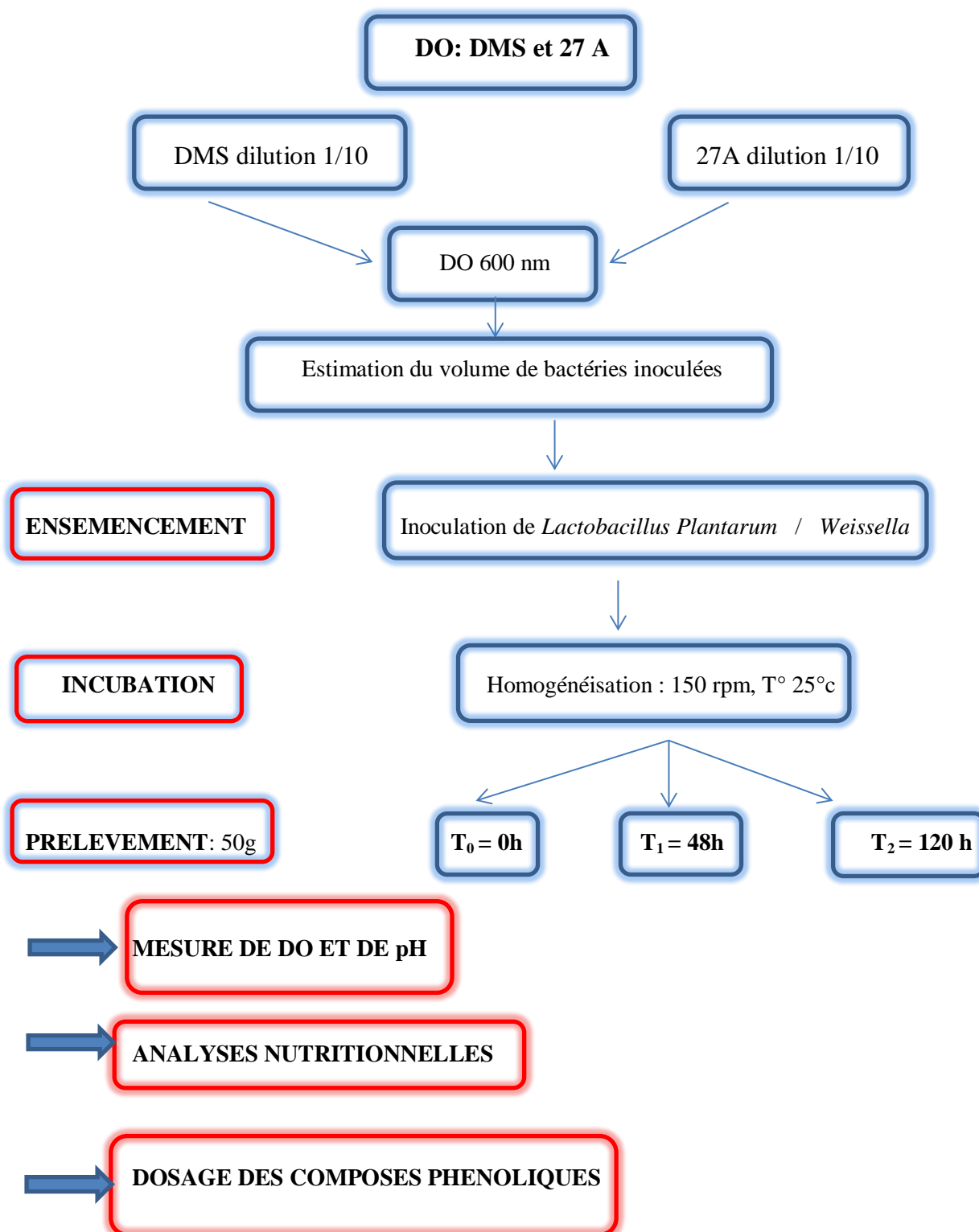
11.2.2. Méthode de fermentation:

a. Préparation des échantillons



b. Préparation de l'inoculum:



c. Culture des bactéries:

Remarque: Les étapes de préparation des échantillons (a), la préparation de l'inoculum (b) et la culture des bactéries lactiques (c) se réalisent dans des conditions stériles sous hotte à flux lumineuse à la flamme d'un bec bunsen.

**Figure 25:** Diagramme de fermentation des feuilles de *Moringa oleifera*



### 11.2.3. Mesure de la densité optique

La mesure de la densité optique se fait au spectrophotomètre à 660 nm et permet le suivi de la croissance bactérienne.

### 11.2.4. Mesure de pH

Le pH est mesuré sur les échantillons fermentés selon la méthode citée au paragraphe 2.1.3.2.

### 11.2.5. Détermination de la teneur en protéines par la méthode de BRADFORD

#### a. Principe:

Le dosage des protéines par la méthode de BRADFORD est une méthode colorimétrique, qui utilise le réactif éponyme, dont le constituant principal est le bleu de Coomassie. Sous sa forme cationique libre, ce réactif absorbe la lumière à 465 nm. Quand il est mis en contact avec une solution protéique à doser, il se lie aux protéines présentes et aux groupements aromatiques ce qui a pour effet de déplacer sa principale raie d'absorption à 595 nm. L'absorbance du rayonnement visible à 595 nm est mesurée par un détecteur, et permet de doser indirectement la teneur en protéine de la solution à l'aide d'une courbe d'étalonnage en SAB de 2 mg / ml.

#### b. Méthode:

La courbe de référence est faite à partir d'une solution de SAB 2 mg / ml sur une gamme de 0 à 1,5 mg / ml dilués jusqu'à obtenir un volume final de 2 ml. 3 ml de réactif de BRADFORD sont ajoutés à chaque dilution. Après 15 min à l'obscurité, l'absorbance est lue au spectrophotomètre à 595 nm.

Le dosage des échantillons se fait sur des produits dilués 20 fois, le dosage se réalise selon le même procédé sus cité.

La courbe étalon  $DO = f([SAB])$  permet de déduire la concentration en protéines des extraits à doser.

### 11.2.6. Détermination de la teneur en sucres réducteurs par la méthode de MILLER

#### *a. Principe:*

La méthode de MILLER est une méthode de dosage colorimétrique utilisant le DNS (3,5-acide dinitrosalicylique). L'acide 3,5- dinitrosalicylique est oxydé par les extrémités réductrices des sucres (fonction cétones et aldéhydes).

#### *b. Méthode :*

Une courbe de référence est faite à partir d'une solution de glucose 1 g / l sur une gamme de 0 à 1 g / ml de glucose dilués jusqu'à obtenir un volume final de 1 ml. 1,5 ml de réactif de MILLER sont ajoutés à chaque dilution, puis portés à ébullition à 100°C pendant 5 min, puis au bain de glace 4°C. 7,5 ml d'eau distillée sont ajoutés, la lecture est faite à 540 nm.

Le dosage des échantillons se fait sur 1 ml auxquels sont ajoutés 1,5 ml de réactif de MILLER, puis portés à ébullition à 100°C pendant 5 min, puis au bain de glace 4°C. 7,5 ml d'eau distillée sont ajoutés, la lecture est faite à 540 nm après un repos de 15 min à l'obscurité.

La courbe étalon  $DO = f([glucose])$  permet de déduire la concentration en sucres réducteurs des extraits à doser.

### 11.2.7. Analyses statistiques:

Pour caractériser des propriétés nutritionnelles des poudres de feuilles fermentées, une analyse de variance (Anova) à 2 facteurs (fermentation et maturité des feuilles) test de comparaison multiples avec le test de Fischer à intervalle de confiance 95 % est réalisée.

Une analyse à composantes principales est effectuée pour mettre en évidence les différences entre les produits. Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel XLTSAT 7.0 pour identifier la différence entre les produits.

Il se développe un produit rouge-brun orangé: l'acide 3-amino-5-nitrosalicylique qui absorbe à 540 nm.



# RESULTATS ET DISCUSSIONS

**Chapitre 12: ETUDE ANALYTIQUE DU *MORINGA OLEIFERA***

**12.1. Composition nutritionnelle des feuilles de *Moringa oleifera***

La composition nutritionnelle des feuilles de *Moringa oleifera* a été déterminée sur les feuilles fraîches récoltées dans 3 régions de Madagascar, à savoir Mahajanga, Tamatave et Antseranana. Ce qui a permis d'obtenir les résultats consignés dans le tableau 8.

**Tableau 8:** Composition nutritionnelle des feuilles de *Moringa oleifera*.

Analyses	Feuilles fraîches Toamasina	Feuilles fraîches Antseranana	Feuilles fraîches Mahajanga
Humidité H % (g pour 100g de MF)	56,26	60,26	49,10
Teneur en MS (%)	43,74	39,74	50,90
pH à T° ambiante	5,5	5,8	5,5
Protéines totales %	15,22	12,42	12,07
Protéines totales (% MS)	34,79	31,25	23,71
Lipides (% MS)	4,99	6,37	6,01
Glucides (%MS)	11,87	11,17	22,61
Cendres (% MS)	11,66	9,78	10,21
Valeur énergétique (Kcal)	153,27	151,69	192,81
Sodium (mg/100 g MS)	-	10,1	-
Potassium (mg/100 g MS)	22	-	-
Magnesium(mg/100 g MS)	10	87	-

MF: Matière fraîche; MS: Matière sèche;

Ces résultats montrent l'importance de la teneur en humidité des feuilles de *Moringa oleifera* en provenance d'Antseranana (60,26 % de MF), puis celle de Toamasina (56,26 % de MF). Il s'en suit une importance de la matière sèche (MS) respectivement de 43,74 % MS et 39,74 % MS pour les régions de Toamasina et Antseranana.

La teneur en protéines est conséquente dans les feuilles de *Moringa oleifera* en provenance de Toamasina (34,79 % de MS) comparée à celle d'Antseranana (31,25 % de MS) et de Mahajanga (23,71 % de MS). De ce fait, les feuilles de *Moringa oleifera* de Toamasina sont retenues pour la suite de l'étude.

La mise en exergue de l'importance des protéines dans les travaux, conduit à faire des comparaisons avec des légumes feuilles les plus consommés dans les pays tropicaux (tableau 9 a) et les plus consommés dans le pays (tableau 9 b). Ainsi, il est noté que le *Moringa oleifera* a une teneur élevée en protéines: 31 à 34 % MS comparé par exemple aux feuilles de Niébé (*Vigna unguiculata*) qui contiennent 26,48 % de protéines ou aux feuilles de Margose (*Momordique charentais*) qui en renferment 22,62 %. Une comparaison avec des légumes feuilles de références riches en protéines (tableau 9 b) révèle que la teneur en protéines du *Moringa oleifera* dépasse de loin celle des feuilles de manioc séchées (27 %), elle tient la 2<sup>ème</sup> place après la spiruline (50 à 60 %) ; sa teneur est plus importante que celle des haricots blancs (21,3 %), par contre, elle est comparable à celle des graines de soja (40 %).

**Tableau 9 a:** Valeurs nutritionnelles de légumes feuilles consommées en Afrique (**Source: TCHIEGANG et coll.; 2004**)

Noms des légumes	Teneurs en eau	Protéines	Lipides	Sucres réducteurs	Sucres totaux
<i>Thallium. Triangular</i> (Auvergne d'Afrique)	90,20±0,34b*	19,37 ±0,01e	6,33 ±0,00b	42,12±0,00abc	49,26 ±0,01b
<i>Momordica. Charantia</i> (Margose)	84,47 ±0,27e	22,62 ±0,03d	7,01 ±0,02a	42,21 ±0,01ab	45,90 ±0,00c
<i>Corchorus. Olithorus</i> (Jute)	84,30 ±0,01e	20,40 ±0,01e	1,60 ±0,00f	39,76 ±0,00bc	43,35 ±0,00d
<i>Vigna. Unguiculata</i> (Niébé)	90,85 ±0,06a	26,48 ±0,01a	2,54 ±0,00e	43,59 ±0,00a	49,31 ±0,0b
<i>Hibiscus. Sabdariffa</i> (Oseille de Guinée)	87,63 ±0,00c	18,39 ±0,02f	2,54 ±0,00e	37,26 ±0,00de	50,16 ±0,01a

\*Les chiffres en colonne ayant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

**Tableau 9 b:** Valeurs nutritionnelles de légumes et feuilles consommés à Madagascar

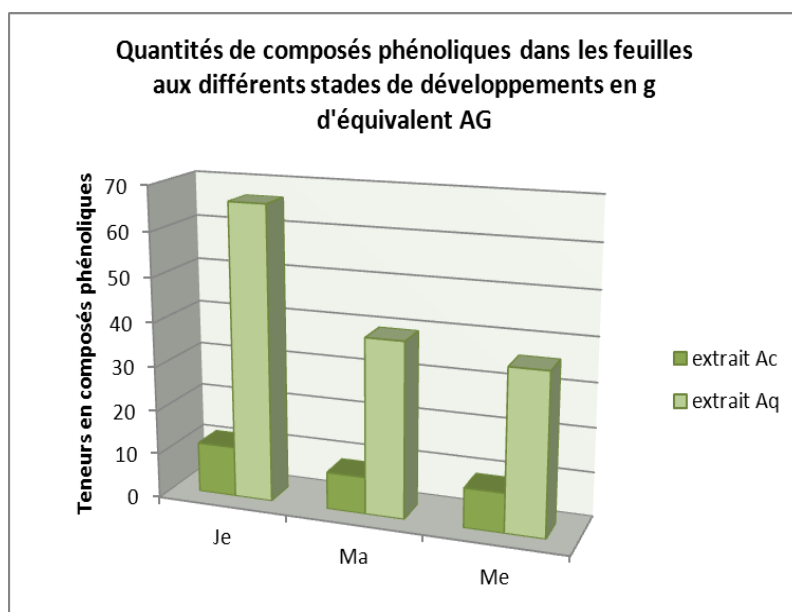
Légumes feuilles	MS%	Protéines %	Lipides %	Glucide s %	Cendres %	Valeurs énergétiques	Sources
Spiruline	70-80	50-60	8	15-25	7-13	397,3±41,5	<b>RAZAFINDRAJONA et coll., 2000</b>
Feuilles de manioc séchées	0	27%	10,7	57,35	4,8	-	<b>BUSSON et coll., 1958</b>
Soja	-	40	20	35	5	403	<b>BOISLEVE, 2010 www santé vivante .fr</b>
Haricot mungo	-	21,3	1,6	57,6	5	330	<b>BOISLEVE, 2010 www santé vivante. fr</b>

## 12.2. Extraction des composés phénoliques des feuilles de *Moringa oleifera*

La teneur en composés phénoliques des extraits acétonique et des extraits aqueux des poudres de feuilles de *Moringa oleifera* aux deux stades de leur développement, est obtenue graphiquement par régression linéaire de la courbe étalon d'acide gallique

( $y = 0,0644x - 0,1066$  avec  $R^2 = 0,8511$ ). Les résultats sont exprimés en équivalent gramme d'acide gallique (AG). La comparaison entre les 2 types d'extraction montre que la méthode de macération aqueuse permet d'extraire plus de composés phénoliques qu'avec le solvant acétonique (figure 26). En effet la composition du solvant et sa polarité, le temps d'extraction, la température, le pH, la proportion solide / liquide et la taille des particules peuvent influencer l'extraction des composés phénoliques (**DENT et coll., 2013**). Par ailleurs, l'acétone n'est pas un bon solvant d'extraction des composés phénoliques car il précipite les protéines qui sont associées aux tanins. Il favorise ainsi la diminution en tanins qui influence l'activité antioxydante des extraits (**REZAIRE, 2012**).

Les résultats (figure 26) montrent également que la teneur en composés phénoliques des extraits aqueux est plus importante dans les jeunes feuilles (66,428 g en équivalent d'acide gallique) que dans les feuilles matures (39,444 g en équivalent d'acide gallique). La quantité de composés phénoliques varie donc au cours du développement et de la maturité des feuilles. Elle est abondante dans les stades jeunes des plantes puis diminue jusqu'au début de la maturation pour ensuite se stabiliser (**COLIN-HENRION, 2008**).



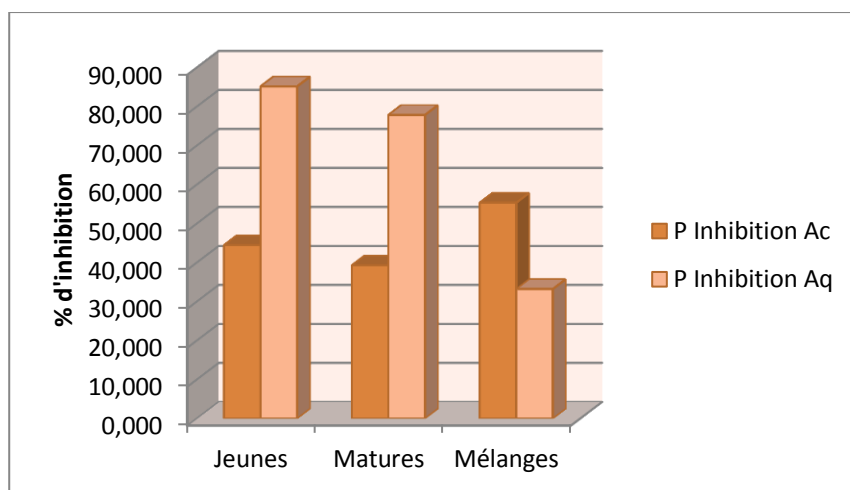
Je: Jeunes; Ma: Matures; Me: Mélanges

**Figure 26:** Comparaison des teneurs en composés phénoliques selon le solvant utilisé.

### 12.3. Dosage de l'activité antioxydante par le test au DPPH

La capacité antioxydante des extraits aqueux et acétonique vis-à-vis du radical DPPH est évaluée au spectrophotomètre en suivant la réduction de ce radical s'accompagnant du passage de la couleur violette (DPPH•) à la couleur jaune (DPPH-H) mesurable à 515 nm. Les résultats du pouvoir antioxydant des extraits acétonique et aqueux montrent que le pourcentage d'inhibition des extraits aqueux est plus important que celui des extraits acétonique (figure 27). Ce pouvoir antioxydant est supérieur à 85 % dans les jeunes feuilles et supérieur à 75 % dans les feuilles matures.

En effet, les composés phénoliques sont plus importants dans les organes jeunes que dans les organes matures. La quantité de composés phénoliques diminue au cours de la maturation puis se stabilise (COLIN HENRION, 2008).



**Figure 27:** Pourcentage d'inhibition des extraits aqueux et des extraits acétonique des feuilles de *Moringa oleifera*.

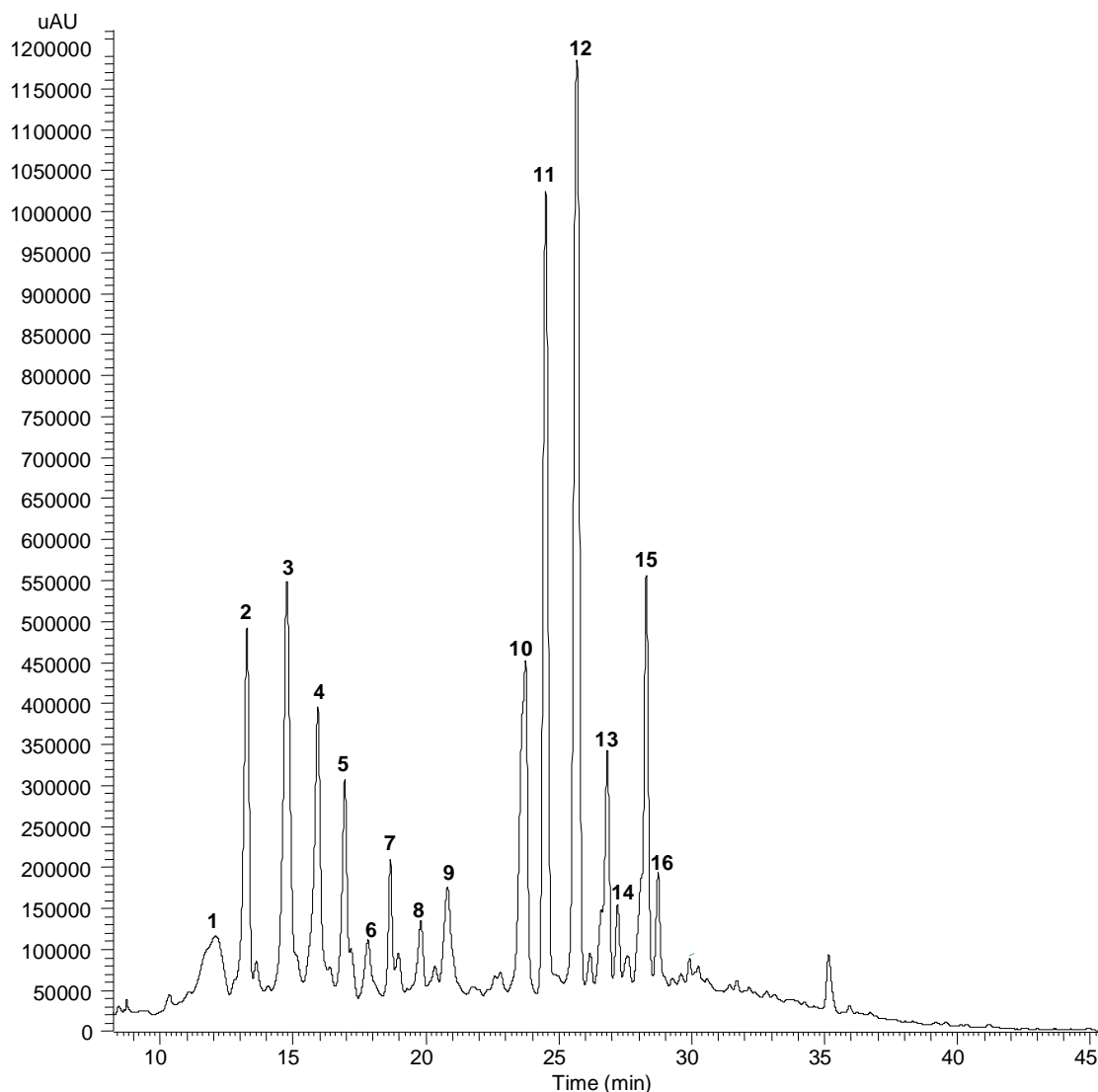
## 12. 4. Analyse en HPLC des composés phénoliques

Une analyse en HPLC de l'extrait éthanolique de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* a permis d'identifier les molécules citées au tableau 10 et d'obtenir le spectre de la figure 28.

**Tableau 10:** Les composés phénoliques identifiés en HPLC MS des feuilles de *Moringa oleifera*

Pic	Tr (min)	UV-Vis	MS(-)	MS(+)	MS-MS (-)	Identification
1	12	300sh, 327	353		191, 179, 135	acide cafeoyl quinique
2	13,2	300sh, 327	353		191, 179, 135	acide cafeoyl quinique
3	14,7	281	nd	205		
4	15,8	314	337		163, 191, 119	acide p coumaroyl quinique
5	16,8	300sh, 328	353		179, 173, 191	acide 4 cafeoyl quinique
6	18,5	300sh, 328	593	595	503, 473, 413, 383, 353	apigénine di C- hexoside
7	18,9	311	337		173, 191, 163	acide p coumaroyl quinique
8	19,8	314	337		173, 191, 163	acide p coumaroyl quinique
9	20,8	274, 332	593	595	503, 473, 431, 371, 341, 269	apigenine c-hexoside o hexoside
10	23,7	272, 339	431	433	341, 311	apigénine C- hexoside
11	24,5	258, 356	463	465	301	quercétine O hexoside
12	25,6	258, 356	505	551	301, 463	quercétine O malonyl hexoside
13	26,8	268, 350	447	449	285	kampférol O hexoside
14	27,1	255, 356	477	479	315	isorhamnétine O hexoside
15	28,3	268, 351	489	535	285, 327	kampférol O malonyl hexoside
16	28,7	257, 356	519	565	315, 357	isorhamnétine O malonyl hexoside





**Figure 28 :** Chromatogramme en HPLC des poudres de feuilles de *Moringa oleifera*

Il est identifié deux groupes de composés phénoliques : les acides phénoliques et leurs dérivés et les flavonoïdes.

Les acides phénoliques et dérivés sont des métabolites secondaires aromatiques largement répandus dans les plantes. Dans l'extrait étudié, il est identifié 5 acides phénoliques:

- deux isomères d'acide caféoyl quinine (pic 1, 2) et
- trois isomères d'acide p coumaroyl quinine (pic 4, 7, 8).

Ce sont des composés récemment identifiés comme étant en abondance dans le *Moringa oleifera* et dans la famille des Moringaceae (**PEREZ et coll., 2015**).

Les flavonoïdes identifiés sont:

- l'apigénine c-hexoside o-hexoside et l'apigénine c-hexoside ((pic 9, 10),
- la quercétine o-hexoside et la quercétine o malonyl hexoside (pic 11, 12),
- le kampférol o hexoside et le kampférol o malonyl hexoside (pic 13,15),
- l'isorhamnétine o hexoside et l'isorhamnétine o malonyl hexoside (pic 14, 16)

Les composés phénoliques les plus abondants dans le *Moringa oleifera* sont le groupe des flavonoïdes caractérisés par l'importance de la quercétine et du kampférol (**PEREZ et coll., 2015**). Des études épidémiologiques démontrent l'intérêt du kampférol dans la lutte contre la production de cellules cancéreuses et inflammatoires (**CHEN et coll., 2013**).

La quercétine est la molécule la plus représentée dans les flavonoïdes. Elle permet de lutter contre les maladies dégénératives et les maladies cardiovasculaires ainsi que le cancer (**RUSO et coll., 2012**).

L'apigénine dont les dérivés de C-glycosylated d'apigénine, est un antidiabétique puissant, un anti-Alzheimer et anti-inflammatoire (**CHOI et coll., 2014**).

L'étude analytique de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* montre que: c'est un aliment qui peut être utilisé comme supplément nutritionnel pour contribuer d'une part dans les carences protéiques et d'autre part, c'est une bonne source de molécules bioactives qui permet de prévenir les problèmes de santé du millénaire.

Des études faites ont démontré que le *Moringa oleifera* est utilisé en alimentation animale et en alimentation humaine pour pallier les carences nutritionnelles. On peut citer le cas du régime de la chèvre essentiellement constitué de graines de sésame remplacé par 15 % de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*: La prise alimentaire, la digestibilité et la production de lait se trouvent améliorées (**KHOLIF et coll., 2015**).

La supplémentation du régime de la volaille avec des feuilles de *Moringa oleifera* permet d'obtenir une augmentation de leur poids et une amélioration de la carcasse. Cette supplémentation peut aller jusqu'à un niveau de 50 à 70 g/kg du régime alimentaire (**NKUKWANA et coll., 2014; SEBOLA et coll., 2015**). Les feuilles de *Moringa oleifera* peuvent également être introduites dans l'alimentation du Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) sous la forme de lyophilisat. La performance de croissance est obtenue avec 10 % de lyophilisat introduite dans le régime alimentaire (**RICHTER et coll., 2003**) mais au-delà de 10 %, il y a une dépression des paramètres de croissance.

En alimentation humaine, des études sont faites pour développer de nouveaux produits alimentaires comme les biscuits salés fabriqués avec de la farine de manioc ou de patate douce dans lesquels sont ajoutés du *Moringa oleifera*. Cette étude a démontré que les produits obtenus sont adaptés aux individus intolérants au gluten (OWUSU et coll., 2011). D'autres auteurs ont utilisé la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* pour enrichir des formulations alimentaires fortifiées comme le maïs / soja / arachide dans les proportions 60:30:10. 10 % d'incorporation suffisent à donner une meilleure performance après des essais sur rat (SHIRIKI et coll., 2015).

Ainsi, les résultats que nous avons obtenus sont prometteurs; aux fins d'utiliser le *Moringa oleifera* en alimentation humaine pour lutter contre les carences nutritionnelles.

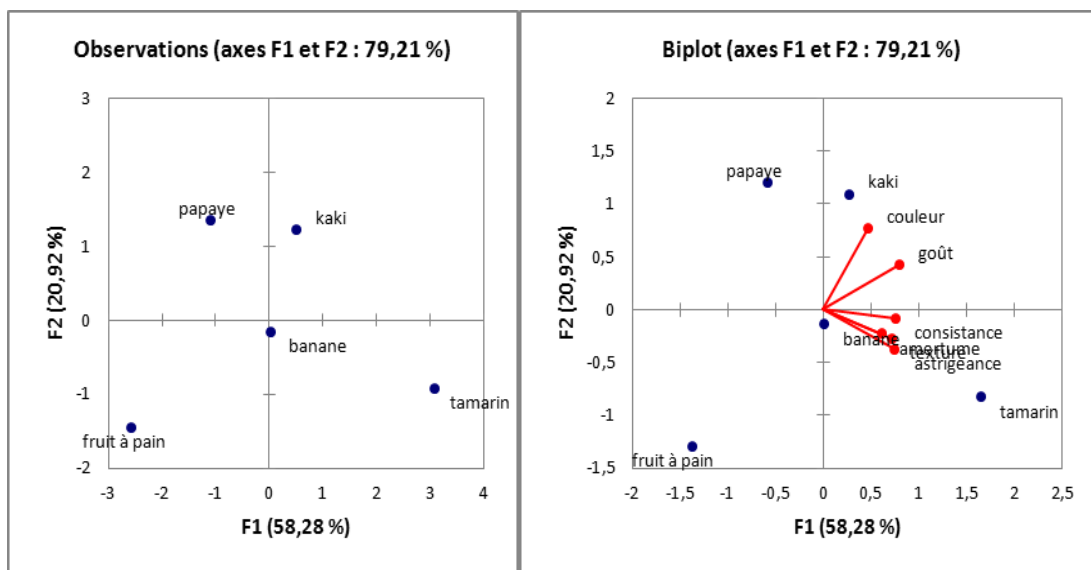
### **Chapitre 13: INCORPORATION DES FEUILLES DE MORINGA OLEIFERA DANS LES FRUITS (HARIMALALA et coll., 2014)**

#### **13.1. Fabrication des pâtes de fruits:**

Les fruits obtenus durant l'étude sont transformés en pâtes de papaye, en pâtes de banane, en pâtes de fruit à pain, en pâte de tamarin et en pâtes de kaki dans lesquelles les teneurs en sucre sont variées en commençant par 50 %, 75 % et 100 %. Les proportions en sucre sont testées afin de diminuer l'apport dans l'organisme mais tout en tenant compte de la texture des produits.

En effet, le sucre ajouté est un des facteurs important dans la gélification des fruits. Il fait sortir l'eau des cellules par osmose et lors du chauffage, il libère des polymères de pectine. Il se forme alors des liaisons hydrogène entre les chaînes de pectine. Ces liaisons sont apportées par les molécules de saccharose qui absorbent l'eau en favorisant l'interaction entre les chaînes sous l'action conjuguée d'un milieu acide. Les groupements COO<sup>-</sup> sont neutralisés par l'acide ce qui favorise la gélification (BRANGER et coll., 2007).

Ces différentes pâtes de fruit sont soumises à des tests organoleptiques afin de déterminer les différents descripteurs qui permettront de choisir la ou les pâtes de fruit qui vont être utilisées pour l'enrichissement. Les figures 29 a et 29 b représentent respectivement 79,21 % de la totalité des informations sur les produits et de leurs descripteurs.



**Figure 29 a et b:** Profil sensoriel des pâtes de fruit

Le 1<sup>er</sup> axe représente 58,28 %, il est constitué de manière positive des attributs de consistance, d'amertume, et d'astringence. Quant au 2<sup>ème</sup> axe, il représente 20,92 %. Il est constitué de manière positive des attributs de couleur et de goût. Ainsi, les produits suivants: le tamarin et la banane sont considérés les caractères de consistance, d'amertume et d'astringence, au kaki et à la papaye les caractères de couleur et de goût. A l'opposé de la banane et du tamarin il y a le fruit à pain et la papaye auxquels n'est attribué aucun descripteur. La banane et le tamarin figurant sur l'axe 1 qui présente un score élevé sont retenus pour la suite de l'étude.

### 13.2. Analyses nutritionnelles des pâtes de tamarin et des pâtes de banane

L'analyse nutritionnelle est faite sur la banane et le tamarin. Les résultats sont consignés dans le tableau 11.

**Tableau 11:** Composition nutritionnelle du tamarin et de la banane

<b>Analyses</b>	<b>Tamarin</b>	<b>Banane</b>
<b>Humidité H %</b>	<b>27,52</b>	<b>46,22</b>
<b>Teneur MS %</b>	<b>72,48</b>	<b>53,78</b>
<b>pH à T° ambiante</b>	<b>2,7</b>	<b>5,0</b>
<b>Protéines totales (% MS)</b>	<b>0,87</b>	<b>0,70</b>
<b>Lipides (% MS)</b>	<b>0,23</b>	<b>0,43</b>
<b>Glucides (% MS)</b>	<b>61,86</b>	<b>49,71</b>
<b>Cendres (% MS)</b>	<b>9,52</b>	<b>2,94</b>
<b>Fibres (% MS)</b>	<b>1,18</b>	<b>0,40</b>
<b>Sodium (% MS)</b>	<b>32</b>	<b>3</b>
<b>Potassium (% MS)</b>	<b>-</b>	<b>74</b>
<b>Magnesium(% MS)</b>	<b>19</b>	<b>58</b>
<b>Calories (Kcal)</b>	<b>252,99</b>	<b>205,51</b>

L'analyse nutritionnelle du tamarin et de la banane a montré une teneur en protéines élevée, soit respectivement 0,87 % et 0,70 % de MS pour le tamarin et la banane, la quantité de lipides est inférieure à 1 %. La teneur en eau est élevée soit 46,22 % pour le tamarin et 27,52 % pour la banane. Elles sont riches en glucides soit respectivement de 61,86 % et 49,71 % de MS pour le tamarin et la banane. Ce sont des aliments très énergétiques puisque la consommation de 100 g de tamarin ou de banane peut apporter 252,99 et 205,51 Kcal.

A partir de ces fruits sont conçues des pâtes de banane et des pâtes de tamarin sur lesquelles ont été faites des analyses nutritionnelles (tableau 12).

**Tableau 12:** Composition nutritionnelle des pâtes de tamarin et des pâtes de banane.

Analyses	Pâtes de tamarin	Pâtes de banane	*Pâtes de Fruits (bibliographie)
Humidité H %	6,69	14,08	43
Teneur en MS %	93,31	85,92	57
Protéines totales (MS %)	0,75	0,81	1
Lipides (% MS)	0,022	0,029	00
Glucides (% MS)	81,87	70,04	53,3
Cendres (% MS)	10,67	15,05	1,3
Calories (Kcal)	330,67	283,66	219,8

\*<http://www.i-dietetique.com/?action=table-composition-aliment&id=1689>

La transformation du tamarin et de la banane en pâtes de fruit a permis d'augmenter la matière organique de 30 à 35 %. La quantité de glucides connaît une augmentation de 20 %. Par contre, les protéines et les lipides ne connaissent qu'une faible variation. Comparativement à d'autres résultats d'études faites sur la pâte de fruit, la teneur en eau est de 43 % de MS (<http://www.i-dietetique.com/?action=table-composition-aliment&id=1689>). La teneur en eau des pâtes de tamarin et des pâtes de banane obtenue n'est respectivement que de 6,69% et 14,08 % de MS pour la pâte de tamarin et la pâte de banane. Il s'agit donc de produits de faible teneur en eau presque déshydratés, d'où leur intérêts dans la conservation.

### 13.3. Analyses sensorielles des pâtes de tamarin et des pâtes de banane aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*

A partir des pâtes de tamarin et des pâtes de banane à la concentration de 10 %, 15 %, 17,5 % et 30 % de *Moringa oleifera* ont été réalisées des analyses sensorielles.

L'hypothèse testée  $H_0$  posée étant « il n'y a pas de différences perceptibles entre les pâtes de tamarin et les pâtes de banane contenant du *Moringa oleifera* et ceux qui n'en contiennent pas » Le test triangulaire a montré un nombre d'individus (n) ayant identifié les pâtes de tamarin enrichies au nombre de n = 11, ceux qui ont identifié les pâtes de banane enrichies sont au

nombre de  $n' = 13$  sur 18. D'après la table des nombres critiques pour les tests triangulaires (Annexe 5),  $n$  et  $n' > 9$  (9 étant le nombre critique de réponses correctes à 5%). Au seuil de risque de 5%, l'hypothèse  $H_0$  est rejetée: les juges ont trouvé qu'il y a une différence perceptible entre les pâtes de tamarin et de banane contenant et ne contenant pas de *Moringa oleifera*.

Les pâtes de tamarin et les pâtes de banane aux différentes concentrations de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* ont été analysées. Il est posé l'hypothèse  $H_0$  qu'il n'y a pas de différence significative entre les pâtes de tamarin et les pâtes de banane aux concentrations 10 %, 15 % et 17,5 % de *Moringa oleifera*.

Les données concernant les pâtes de tamarin soumises au test de Friedman ont donné une p-value calculée  $p = 0,0001$  qui est inférieure au niveau de signification  $\alpha = 0,05$ . L'hypothèse  $H_0$  est ainsi rejeté, un test de comparaison par paire suivant la procédure de Nemenyi est appliqué (tableau 13).

<b>Tableau 13:</b> comparaison multiples par paire suivant la procédure de Nemenyi/test bilatéral des pâtes de tamarin				
Echantillons	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
Pt 10 %	115	270,000	2,348	B
Pt 15 %	115	221,000	1,922	B
Pt 17,5 %	115	199,000	1,730	A

Pt: pâtes de tamarin aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*

Ces résultats montrent qu'il n'y a pas de différence entre les pt 10 % et pt 15 %, puisqu'elles appartiennent au même groupe B. Par contre les pt 10 % et 17,5 % puis pt 15 % et 17,5 % sont différentes car elles appartiennent à des groupes différents. Ainsi, les pt 17,5 % sont perçus comme étant différents.

Dans le cas des pâtes de banane (pb): Le test de Friedman a montré une p-value calculée ( $p = 0,112$ ) supérieure au niveau de signification  $\alpha = 0,05$ . L'hypothèse  $H_0$  est donc acceptée: il n'y a pas de différence significative entre les pâtes de banane aux différentes concentrations 10 %, 15 % et 17,5 % de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*. Ce résultat est confirmé par le test de comparaison multiple par paire au tableau 14: Le test de comparaison multiple des pâtes de banane aux différentes concentrations de *Moringa oleifera* de 15 %, 17,5 % et 10 % a montré qu'elles appartiennent au même groupe A.

**Tableau 14:** comparaison multiples par paire suivant la procédure de Nemenyi/test bilatéral des pâtes de banane

Echantillon	Effectif	Somme des rangs	Moyenne des rangs	Groupes
Pb 15 %	115	218,000	1,896	A
Pb 17,5 %	115	224,000	1,948	A
Pb 10 %	115	248,000	2,157	A

## 13.4. Qualité microbiologique des pâtes de tamarin et des pâtes de banane aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*:

L'étude de la flore aérobie mésophile totale et de la flore spécifique des pâtes obtenues a donné les résultats consignés dans le tableau 15a et 15b.

**Tableau 15 a:** Analyse microbiologique des pâtes de banane aux feuilles de *Moringa oleifera*

Germes dans les pâtes de banane	D <sub>0</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>80</sub>	D <sub>160</sub>	D <sub>180</sub>	Critères de référence
FAMT à 30 °C	1,8 10 <sup>2</sup>	5,6.10 <sup>2</sup>	7,4.10 <sup>2</sup>	9,1.10 <sup>2</sup>	9,5.10 <sup>2</sup>	1.10 <sup>3</sup>
<i>E.coli</i>	<1	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10 <sup>1</sup>
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10 <sup>1</sup>
<i>Bacillus cereus</i>	1,5. 10 <sup>1</sup>	1,5. 10 <sup>1</sup>	1,5. 10 <sup>1</sup>	1,5. 10 <sup>1</sup>	1,5. 10 <sup>1</sup>	1.10 <sup>2</sup>
Coliformes totaux	5.10 <sup>1</sup>	5,4.10 <sup>1</sup>	6,3.10 <sup>1</sup>	6,4.10 <sup>1</sup>	6,4.10 <sup>1</sup>	1.10 <sup>2</sup>
Coliformes fécaux	<1	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10 <sup>1</sup>
<i>Salmonella sp.</i>	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g

**Tableau 15 b:** Analyse microbiologique des pâtes de tamarin aux feuilles de *Moringa oleifera*

Germes dans les pâtes de tamarin	D <sub>0</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>80</sub>	D <sub>160</sub>	D <sub>180</sub>	Critères de référence
FAMT à 30 °C	0,99.10 <sup>2</sup>	1,4.10 <sup>2</sup>	4,3.10 <sup>2</sup>	7,6.10 <sup>2</sup>	8,4.10 <sup>2</sup>	1.10 <sup>3</sup>
<i>E.coli</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10 <sup>1</sup>
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10 <sup>1</sup>
<i>Bacillus cereus</i>	1. 10 <sup>1</sup>	1,1. 10 <sup>1</sup>	1,1. 10 <sup>1</sup>	1,4. 10 <sup>1</sup>	1,4. 10 <sup>1</sup>	1.10 <sup>2</sup>
Coliformes totaux	6,1.10 <sup>1</sup>	7,2.10 <sup>1</sup>	7,3.10 <sup>1</sup>	7,5.10 <sup>1</sup>	7,5.10 <sup>1</sup>	1.10 <sup>2</sup>
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10 <sup>1</sup>
<i>Salmonella sp.</i>	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g



Les pâtes de tamarin et de banane enrichies en feuilles de *Moringa oleifera* contiennent toutes une FAMT ( $1,8.10^2$  -  $9,9.10^2$ ) mais à des concentrations inférieures aux critères microbiologiques de références ( $1.10^3$ ).

- Les coliformes totaux sont présents dans les deux produits ( $5.10^1$  –  $6,1.10^1$ ) mais dans le respect des normes ( $1.10^2$ ).
- Les coliformes fécaux, *Staphylococcus aureus* et les Salmonelles à l'origine des toxi-infections sont exempts dans les deux produits.
- Les bactéries à l'origine des intoxications alimentaires telles qu'*Escherichia coli* sont absentes des pâtes de tamarin et des pâtes de banane. Par contre, *Bacillus cereus* se retrouve dans les deux produits mais dont les taux ( $1,5. 10^1$  -  $1. 10^1$ ) sont inférieurs à la norme ( $10^2$ ).

Au regard des résultats, la qualité hygiénique qui définit l'innocuité, la salubrité des produits alimentaires par rapport à la multiplication et à l'action des micro-organismes est respectée.

### **Ce qui a valu l'obtention d'un certificat de consommabilité de l'ACSQDA (annexe 10).**

Le test de toxicité réalisé sur les souris par gavage d'extraits bruts de pâtes de tamarin et de pâtes de banane à 30 % de feuilles de *Moringa oleifera* n'a révélé aucun signe d'intoxication.

Ces résultats de satisfaction microbiologique sont obtenus, d'une part grâce au sucre qui a un rôle antibactérien; en effet, celui-ci se lie aux molécules d'eau et les rend indisponibles pour la croissance des microorganismes qui en ont besoin pour se développer et d'autre part grâce au pH acide des pâtes de fruits (3,4): les agents pathogènes ne peuvent que très peu se développer à un pH inférieur à 4; en effet, le pH idéal pour la croissance des bactéries varie de 6,5 à 7,5. Le séchage en étuve contribue également dans la conservation des pâtes de fruits en diminuant la teneur en eau dans celle-ci.

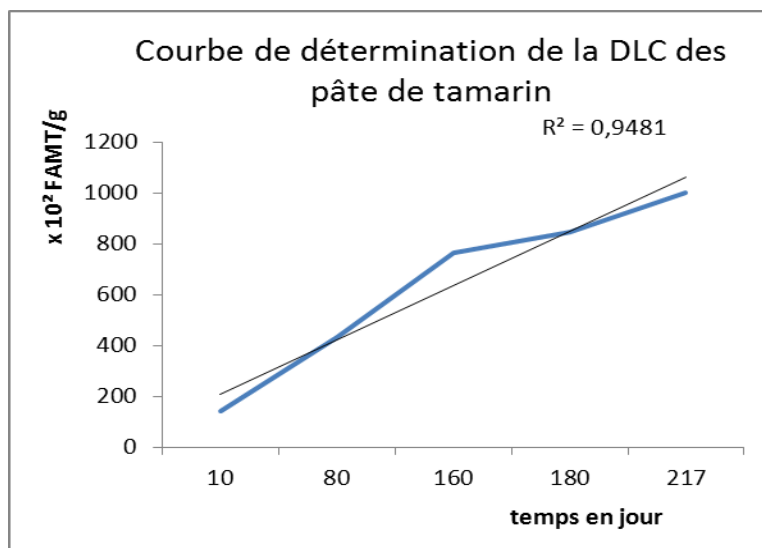
Puisqu'il s'agit de nouveaux produits destinés à la consommation, les dates limites de consommation (DLC) sont déterminés par les droites de régression linéaires suivantes (Figures 30a et b):

- DLC des pâtes de tamarin aux feuilles de *Moringa oleifera*:

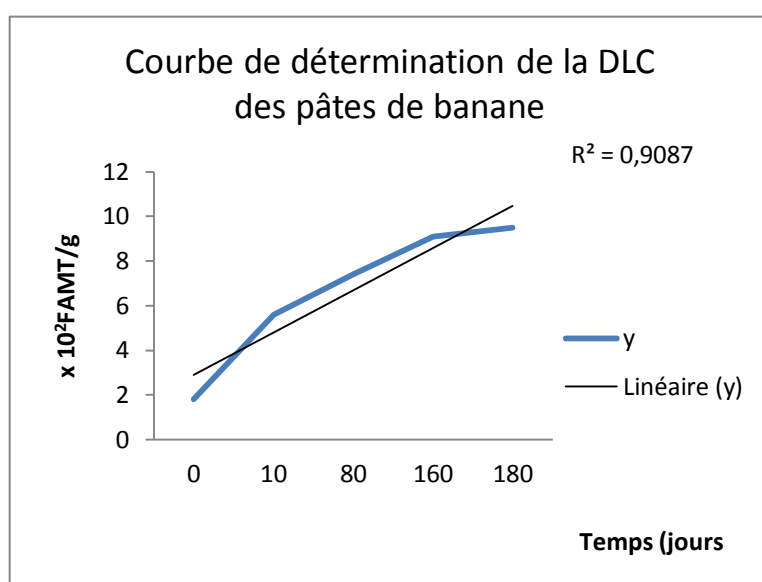
$y = 4,15x + 0,99.10^2$ ,  $R^2 = 0,9481$  Les produits sont conservables durant 7 mois et 3 jours.

- DLC des pâtes de banane aux feuilles de *Moringa oleifera*:

$y = 2,33 x + 537,2$  ;  $R^2 = 0,9087$  donnant des produits conservables pendant 6 mois et 5 jours.



**Figures 30 a:** Courbe de croissance des FAMT dans les pâtes de tamarin aux feuilles de *Moringa oleifera*



**Figures 30 b:** Courbe de croissance des FAMT dans les pâtes de banane aux feuilles de *Moringa oleifera*

### 13.5. Corrélation profil de texture et analyse sensorielle des pâtes de tamarin aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*:

Le but de l'étude étant de faire une supplémentation en apport protéique, la quantité de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* dans les pâtes de tamarin est augmentée jusqu'à une teneur de 30 %.

Les résultats du test de classement par rang sont consignés dans les tableaux 16 et 17. La valeur critique calculée pour  $p = 0,05$ , pour 15 dégustateurs et 4 échantillons est 18 d'après le

tableau 17 des différences des sommes de classement par rang absolu pour les comparaisons de tous les traitements à un seuil de signification de 5 %. Il est noté qu'il n'y a pas de différence de goût entre les pâtes de tamarin à 10 % et 15 %, entre 10 % et 17 %, entre 15 % et 17,5 %, entre 15 % et 30 %, entre 17 % et 30 %. Par contre, il y a une sensible différence de goût entre les pâtes de tamarin à 10 % et 30 % de *Moringa oleifera*. Au vu de ces résultats, la limite d'acceptabilité de l'incorporation de la poudre de *Moringa oleifera* est à 30 %.

**Tableau 16:** Somme des rangs des pâtes de tamarin à la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*.

Pâtes de tamarin	10%	15%	17,5%	30%
<b>Somme des rangs</b>	<b>44</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>23</b>

Produits considérés	Nombre de bonnes réponses: X	Comparaison
<b>pt10 % - pt 15 %</b>	<b>44-36= 8</b>	<b>X&lt;18</b>
<b>pt10 % - pt 17, 5 %</b>	<b>44-34= 10</b>	<b>X&lt;18</b>
<b>pt10 % - pt 30 %</b>	<b>44-23= 21</b>	<b>X&gt;18</b>
<b>pt15 % - pt 17, 5 %</b>	<b>36-34= 2</b>	<b>X&lt;18</b>
<b>pt15 % - pt 30 %</b>	<b>36-23= 13</b>	<b>X&lt;18</b>
<b>pt17, 5% - pt 30%</b>	<b>34-23= 11</b>	<b>X&lt;18</b>

**Tableau 17:** Résultats du test de classement par rang des pâtes de tamarin à la poudre de feuilles de *Moringa oleifera*

Les résultats du profil de texture sont donnés dans le tableau 18. Les résultats de l'Anova ont montré un effet significatif au seuil  $\alpha = 0,05$  de la variation de la teneur en *Moringa oleifera* sur les pâtes de tamarin pour les paramètres rhéologiques de fermeté ( $p = 0,004$ ), de cohésion ( $p = 0,000$ ) et de résilience ( $p = 0,001$ ). Les teneurs croissantes en *Moringa oleifera* augmentent les valeurs de fermeté et diminuent les valeurs de cohésion et de résilience. Les tests de comparaison de moyennes effectués sur les paramètres discriminants ont indiqué que jusqu'à 30 % de *Moringa oleifera*, les pâtes de tamarin présentent les mêmes propriétés de fermeté et de cohésion. Pour le paramètre de résilience (qui se traduit par la façon dont comment le produit offre une résistance pour retrouver son état initial), la différence est apparue au-delà de 36 % de *Moringa oleifera* (HARIMALALA et coll., 2015).

Les autres descripteurs: le collant, l'élasticité et la masticabilité n'ont pas permis de discriminer les six teneurs en *Moringa oleifera*.

**Tableau 18:** Propriétés rhéologiques des pâtes de tamarin supplémentées des différentes teneurs en *Moringa oleifera* âgés de 15 jours.

Teneur Moringa (%)	Fermeté (N)	Collant (Ns)	Elasticité (N mm)	Cohesion	Resilience	Masticabilité
0	156 ± 26 <sup>A</sup>	-0,011 ± 0,011	0,655 ± 0,052	0,660 ± 0,017 <sup>A</sup>	0,468 ± 0,031 <sup>A</sup>	67 ± 9
10	169 ± 14 <sup>AB</sup>	-0,005 ± 0,004	0,587 ± 0,027	0,633 ± 0,023 <sup>A</sup>	0,491 ± 0,032 <sup>A</sup>	63 ± 5
15	213 ± 10 <sup>AB</sup>	-0,047 ± 0,042	0,628 ± 0,104	0,626 ± 0,010 <sup>A</sup>	0,441 ± 0,038 <sup>A</sup>	84 ± 17
30	210 ± 44 <sup>AB</sup>	-0,038 ± 0,036	0,603 ± 0,059	0,602 ± 0,034 <sup>A</sup>	0,415 ± 0,050 <sup>A</sup>	75 ± 14
36	254 ± 46 <sup>B</sup>	-0,065 ± 0,057	0,595 ± 0,051	0,419 ± 0,058 <sup>B</sup>	0,419 ± 0,058 <sup>A</sup>	64 ± 19
42	251 ± 35 <sup>B</sup>	-0,023 ± 0,020	0,599 ± 0,027	0,579 ± 0,030 <sup>B</sup>	0,579 ± 0,030 <sup>B</sup>	86 ± 9

Par colonne, les lettres indiquent le résultat du test de comparaison de moyenne

Des résultats de l'analyse sensorielle et du profil de texture, il est déduit que la quantité maximale de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* qui peut être incorporée aux pâtes de tamarin est de 30 %. Il y a une corrélation entre le profil de texture et le profil sensoriel des pâtes de tamarin.

### 13.6. Composition nutritionnelle des pâtes de tamarin et des pâtes de banane à 30 % de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*:

L'analyse nutritionnelle a été faite sur les pâtes de tamarin à 30 % de *Moringa oleifera*.

Les résultats consignés dans le tableau 19 montrent que les pâtes de tamarin enrichies contiennent 8,60 g de protéines pour 100 g de MS et les pâtes de banane 10,24 g de protéines pour 100 g de MS. Les essais ont ainsi permis d'obtenir un enrichissement protéique des fruits de 10 à 15 fois plus.

L'analyse qualitative des acides aminés des pâtes de tamarin et des pâtes de banane a permis de déceler 6 acides aminés dont l'acide aspartique, la thréonine, l'arginine, l'alanine, la valine et la glycine. Les pâtes de banane contiennent en plus de la lysine, celle-ci pourrait provenir de la banane elle-même. En effet la majorité des fruits possèdent les 8 acides aminés essentiels, il s'agit d'une analyse qualitative et non quantitative.

**Tableau19:** Composition nutritionnelle des pâtes de tamarin et des pâtes de banane enrichies à 30 % de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* (HARIMALALA et coll., 2014)

	Pâtes de tamarin enrichies	Pâtes de banane enrichies
pH	3,4	3,4
Humidité H %	9,4	3,4
Teneur en matières sèches MS %	90,6	96,6
Protéines totales (% MS)	8,60	10,24
Lipides (% MS)	1,21	1,34
Glucides (% MS)	78,17	76,87
Cendres (% MS)	2,62	4,15
Valeur énergétique (Kcal)	354,34	371,80
Acidité en acide citrique %	0,622	0,465
Acides aminés présents	Asp, Thr, Arg, Ala, Val, Gly	Arg, Asp, Thr, Lys, Ala, Val, Gly.

## 13.7. Caractérisation physico-chimiques des pâtes de tamarin supplémentées aux différentes teneurs de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*: (HARIMALALA et coll., 2015)

Les paramètres physico-chimiques des différentes pâtes de tamarin sont présentés au tableau 20.

**Tableau 20:** Propriétés physicochimiques des pâtes de tamarin supplémentées aux différentes teneurs de *Moringa oleifera* âgés de 15 jours.

Teneur Moringa (%)	L	a	b	Teneur en eau (%)	Aw
0	4,1 ± 0,1 <sup>A</sup>	0,493 ± 0,001 <sup>A</sup>	0,304 ± 0,002 <sup>A</sup>	24,4 ± 0,7 <sup>A</sup>	0,49 ± 0,01
10	4,0 ± 0,5 <sup>A</sup>	0,486 ± 0,004 <sup>C</sup>	0,313 ± 0,001 <sup>C</sup>	23,1 ± 1,7 <sup>A</sup>	0,52 ± 0,02
15	3,8 ± 0,2 <sup>A</sup>	0,486 ± 0,006 <sup>C</sup>	0,312 ± 0,002 <sup>C</sup>	24,6 ± 2,3 <sup>AB</sup>	0,53 ± 0,03
30	3,7 ± 0,0 <sup>A</sup>	0,485 ± 0,001 <sup>C</sup>	0,315 ± 0,002 <sup>C</sup>	25,6 ± 2,9 <sup>AB</sup>	0,55 ± 0,04
36	10,6 ± 0,7 <sup>B</sup>	0,444 ± 0,001 <sup>B</sup>	0,300 ± 0,001 <sup>B</sup>	23,4 ± 1,4 <sup>AB</sup>	0,53 ± 0,04
42	10,8 ± 0,0 <sup>B</sup>	0,439 ± 0,000 <sup>B</sup>	0,299 ± 0,001 <sup>B</sup>	20,7 ± 0,0 <sup>B</sup>	0,59 ± 0,00

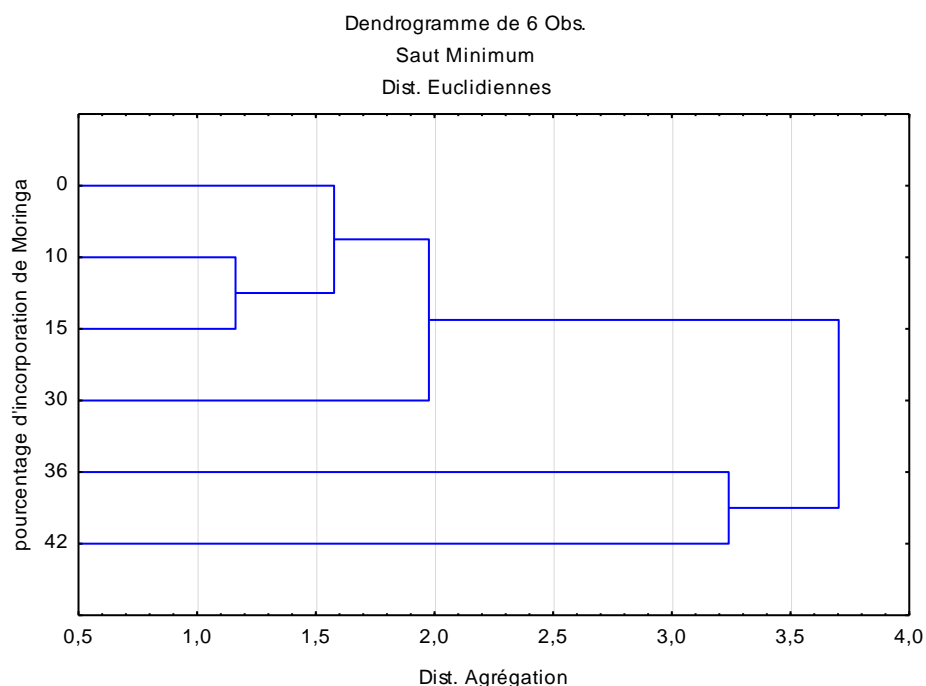
Les résultats de l'Anova ont montré un effet significatif au seuil  $\alpha = 0,05$  de la variation de la teneur en *Moringa oleifera* sur les pâtes de tamarin pour l'Aw ( $p = 0,009$ ), L ( $p = 0,000$ ), a ( $p = 0,000$ ), b ( $p = 0,000$ ). Par contre, aucun effet significatif sur le paramètre teneur en eau n'est montré. Ce paramètre ne sera pas conservé pour la suite des analyses.

L'Aw, environ 0,550 est une valeur totalement cohérente pour ce type de produit riche en glucides. Il est fortement hygroscopique et il est considéré comme ayant une humidité intermédiaire. Cette faible valeur est un avantage pour l'aliment car les réactions d'oxydations et enzymatiques sont très limitées dans des valeurs Aw de cet ordre.

A partir de toutes ces données physicochimiques et rhéologiques, une classification hiérarchique ascendante est réalisée (figure 31). La distance d'agrégation est de deux. Il est obtenu trois groupes:

- le premier groupe avec des teneurs en *Moringa oleifera* de 0 %, 10 %, 15 % et 30 %.  
Ces quatre produits peuvent donc être considérés comme significativement identiques.
- Le deuxième groupe correspond aux produits contenant 36 % de *Moringa oleifera*.
- Le dernier groupe correspond au produit contenant 42 % de *Moringa oleifera*.

La quantité maximale de *Moringa oleifera* ajoutée pour ne pas modifier les paramètres physicochimiques et rhéologiques est de 30 % (m/m). Ce résultat est en accord avec les analyses sensorielles et les tests consommateurs qui ont été réalisés.



**Figure 31:** Classification hiérarchique ascendante réalisée sur les pâtes de tamarin supplémentées avec différentes teneurs en *Moringa oleifera* âgés de 15 jours.

## 13.8. Vieillissement des pâtes de tamarin enrichies aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera* (HARIMALALA et coll., 2015)

Afin d'étudier l'évolution des pâtes de tamarin enrichies en *Moringa oleifera* dans le temps, des mesures rhéologiques et physicochimiques sont réalisées:

- à J0 (jours du retrait des produits de l'étuve)
- à J15 (soit 15 jours après le retrait des produits de l'étuve)
- à J30 (soit 30 jours après le retrait des produits de l'étuve).

Les résultats sont présentés dans les tableaux 21 et 22.

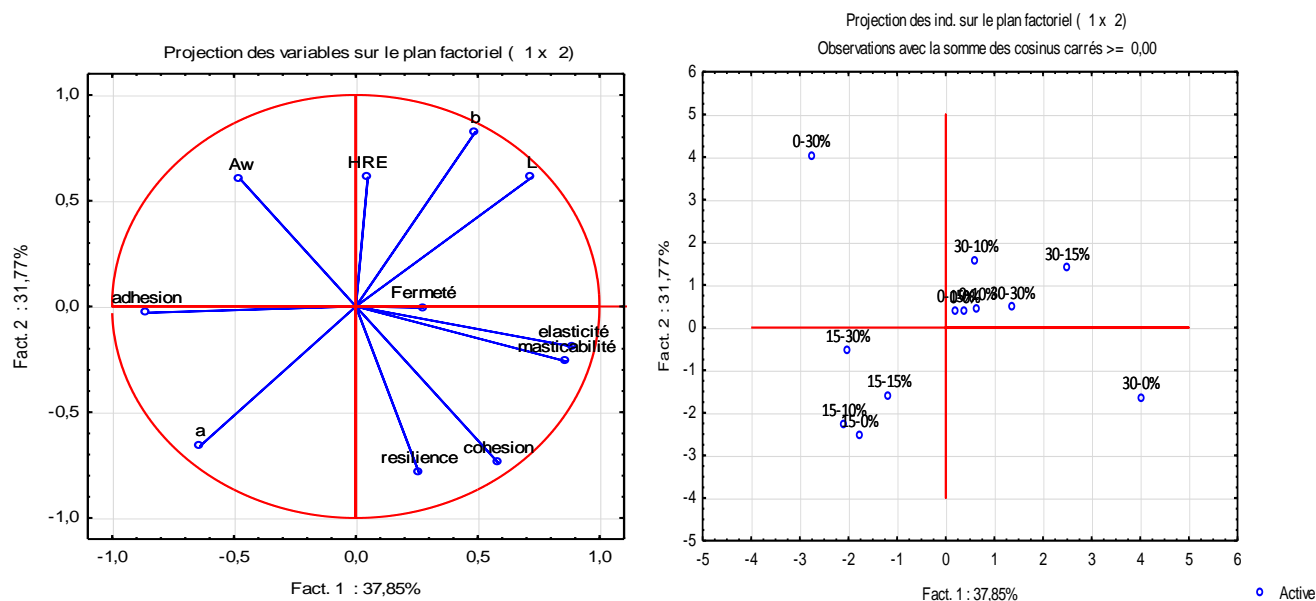
**Tableau 21:** Impact du vieillissement sur les propriétés physicochimiques des pâtes de tamarin supplémentées des différentes teneurs en *Moringa oleifera*.

Age des produits (jours)	Moringa	Aw	Teneur en eau (%)	L	a	b
0	0	$0.52 \pm 0.03^{AB}$	$26 \pm 2^A$	$8 \pm 1^A$	$0.34 \pm 0.00^A$	$0.33 \pm 0.00^{BC}$
	10	$0.56 \pm 0.02^{AB}$	$23 \pm 1^{BC}$	$8 \pm 1^A$	$0.34 \pm 0.01^A$	$0.34 \pm 0.00^{CE}$
	15	$0.56 \pm 0.02^{AB}$	$21 \pm 3^B$	$9 \pm 1^A$	$0.33 \pm 0.00^C$	$0.33 \pm 0.00^B$
	30	$0.58 \pm 0.03^B$	$29 \pm 2^{ABC}$	$8 \pm 1^A$	$0.35 \pm 0.00^A$	$0.35 \pm 0.00^D$
15	0	$0.53 \pm 0.04^{AB}$	$23 \pm 1^{ABC}$	$4 \pm 0^B$	$0.49 \pm 0.00^B$	$0.30 \pm 0.00^F$
	10	$0.52 \pm 0.02^{AB}$	$23 \pm 2^{ABC}$	$4 \pm 0^B$	$0.49 \pm 0.00^B$	$0.31 \pm 0.00^A$
	15	$0.53 \pm 0.03^{AB}$	$25 \pm 2^{ABC}$	$4 \pm 0^B$	$0.49 \pm 0.01^B$	$0.31 \pm 0.00^A$
	30	$0.55 \pm 0.04^{AB}$	$26 \pm 3^{ABC}$	$4 \pm 0^B$	$0.49 \pm 0.00^B$	$0.31 \pm 0.00^A$
30	0	$0.50 \pm 0.02^A$	$24 \pm 4^{ABC}$	$9 \pm 3^A$	$0.34 \pm 0.00^A$	$0.34 \pm 0.01^{BC}$
	10	$0.54 \pm 0.02^{AB}$	$27 \pm 1^{ABC}$	$9 \pm 1^A$	$0.36 \pm 0.00^D$	$0.36 \pm 0.00^G$
	15	$0.52 \pm 0.02^{AB}$	$27 \pm 1^{AC}$	$10 \pm 1^A$	$0.35 \pm 0.01^A$	$0.35 \pm 0.00^D$
	30	$0.56 \pm 0.03^{AB}$	$29 \pm 2^{ABC}$	$8 \pm 1^A$	$0.34 \pm 0.01^A$	$0.034 \pm 0.01^{DE}$

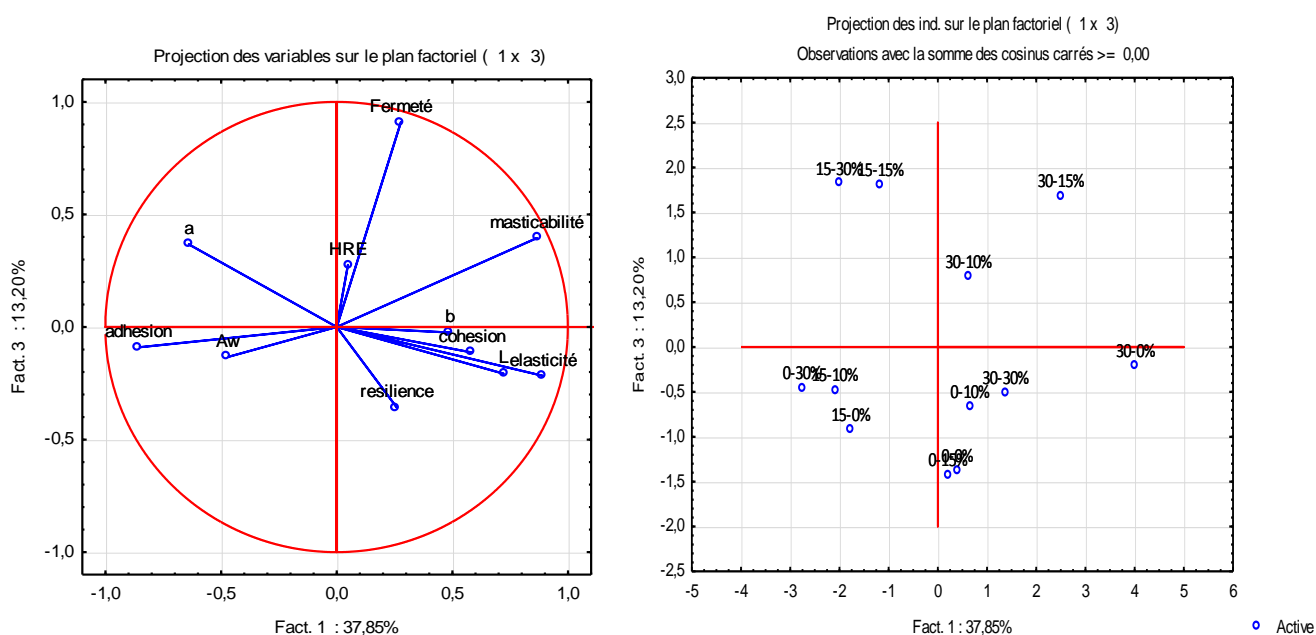
Par colonne, les lettres indiquent le résultat du test de comparaison de moyenne

L'analyse statistique a montré un effet significatif au seuil  $\alpha = 0,05$  de la teneur en *Moringa oleifera* ( $p = 0.0001$ ) et du temps ( $p = 0.0000$ ) sur les tous les paramètres de texture du produit, il est également observé un effet significatif de la teneur en *Moringa oleifera* ( $p = 0.0015$ ) et du temps ( $p = 0.0061$ ) sur les tous les paramètres physicochimiques des pâtes de tamarin.

Afin de faciliter l'interprétation des différences entre les produits, toutes les variables sont projetées dans un plan factoriel en analyse à composantes principales (ACP) (figure 32 a, 32 b). Trois composantes expliquent 82,8 % de la variance totale



**Figure 32a:** Analyses à composantes principales (ACP) des pâtes de tamarin selon leur âge et la teneur en *Moringa oleifera*. (Exemple: 15-30 %: produit âgé de 15 jours contenant 30 % de *Moringa oleifera*). A gauche cercle de corrélation, à droite projection des individus.



**Figure 32b:** Analyses à composantes principales (ACP) des pâtes de tamarin selon leur âge et la teneur en *Moringa oleifera*. (Exemple: 15-30 %: produit âgé de 15 jours contenant 30 % de *Moringa oleifera*). A gauche cercle de corrélation, à droite projections des individus.



**Tableau 22:** Impact du vieillissement sur les propriétés rhéologiques des pâtes de tamarin supplémentées avec différentes teneurs en *Moringa oleifera*

Age des produits (jours)	Teneur Moringa (%)	Fermeté (N)	Adhésion (Ns)	Elasticité (Nmm)	Cohésion	Résilience	Masticabilité
0	0	152 ± 25 <sup>A</sup>	-0.049 ± 0.048 <sup>A</sup>	0.75 ± 0.06 <sup>BC</sup>	0.62 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.42 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	71 ± 9 <sup>AB</sup>
	10	184 ± 28 <sup>ABC</sup>	-0.130 ± 0.183 <sup>AB</sup>	0.68 ± 0.09 <sup>ABC</sup>	0.62 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.45 ± 0.05 <sup>AB</sup>	79 ± 19 <sup>ABC</sup>
	15	174 ± 24 <sup>ABC</sup>	-0.069 ± 0.060 <sup>A</sup>	0.69 ± 0.08 <sup>ABC</sup>	0.61 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.46 ± 0.05 <sup>AB</sup>	73 ± 11 <sup>AB</sup>
	30	161 ± 17 <sup>AB</sup>	-0.042 ± 0.062 <sup>A</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>D</sup>	0.55 ± 0.03 <sup>C</sup>	0.35 ± 0.05 <sup>C</sup>	47 ± 9 <sup>D</sup>
15	0	156 ± 26 <sup>A</sup>	-0.011 ± 0.011 <sup>A</sup>	0.65 ± 0.05 <sup>ABCD</sup>	0.66 ± 0.02 <sup>AB</sup>	0.47 ± 0.03 <sup>AB</sup>	67 ± 9 <sup>AD</sup>
	10	169 ± 14 <sup>ABC</sup>	-0.004 ± 0.005 <sup>A</sup>	0.59 ± 0.03 <sup>AD</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>A</sup>	63 ± 5 <sup>AD</sup>
	15	213 ± 10 <sup>BC</sup>	-0.047 ± 0.042 <sup>A</sup>	0.63 ± 0.10 <sup>ABD</sup>	0.63 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.44 ± 0.04 <sup>AB</sup>	84 ± 17 <sup>ABC</sup>
	30	210 ± 44 <sup>BC</sup>	-0.038 ± 0.036 <sup>A</sup>	0.60 ± 0.06 <sup>AD</sup>	0.60 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.42 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	76 ± 15 <sup>AB</sup>
30	0	187 ± 22 <sup>ABC</sup>	-0.250 ± 0.083 <sup>A</sup>	0.79 ± 0.03 <sup>C</sup>	0.69 ± 0.02 <sup>B</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>A</sup>	103 ± 16 <sup>C</sup>
	10	200 ± 24 <sup>ABC</sup>	-0.040 ± 0.020 <sup>A</sup>	0.66 ± 0.06 <sup>ABCD</sup>	0.62 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.40 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	82 ± 15 <sup>ABC</sup>
	15	215 ± 15 <sup>C</sup>	-0.0163 ± 0.078 <sup>AB</sup>	0.72 ± 0.08 <sup>ABC</sup>	0.62 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>BC</sup>	97 ± 14 <sup>BC</sup>
	30	180 ± 18 <sup>ABC</sup>	-0.066 ± 0.042 <sup>B</sup>	0.075 ± 0.04 <sup>BC</sup>	0.65 ± 0.02 <sup>AB</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>A</sup>	88 ± 10 <sup>ABC</sup>

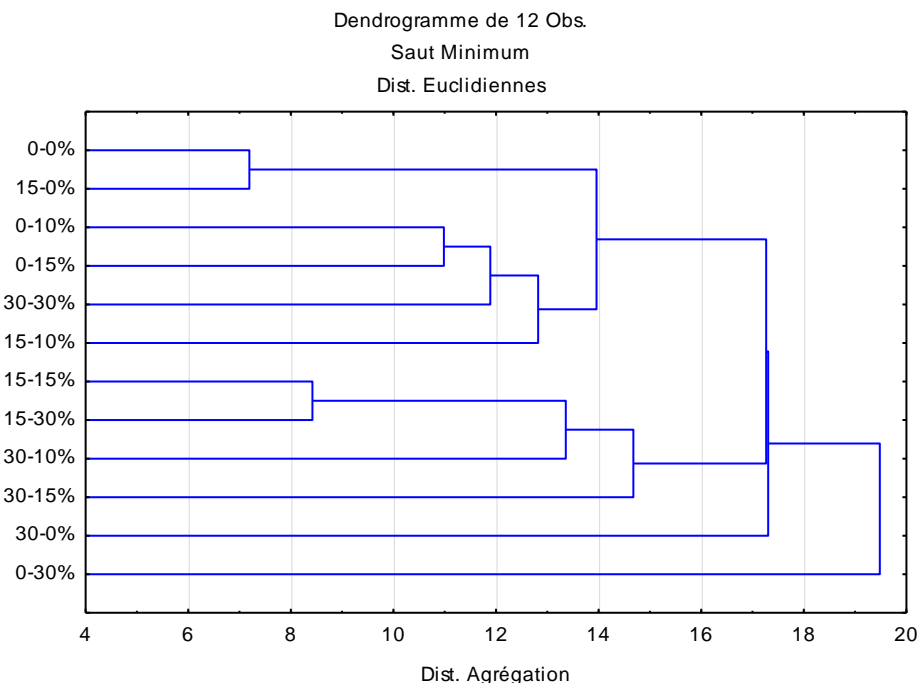
Par colonne, les lettres indiquent le résultat du test de comparaison de moyenne

La première composante principale explique 37.8 % de la variance totale (figure 32 a). Elle oppose les produits 0-30 % (0 jours-30 % *Moringa oleifera*) et tous le produits âgés de 15 jours caractérisés par une forte adhésion, aux produits 30-15 % (30 jours – 15% *Moringa oleifera*) et 30-0 % (30 jours – 0% *Moringa oleifera*) caractérisés comme étant très élastique et à forte masticabilité (il faut donc mâcher beaucoup plus). Avec le temps, les produits deviennent de plus en plus durs et élastique.

La composante principale 2 explique 31.8 % de la variance totale (figure 32 a), elle est inversement corrélée avec les paramètres de résilience et de cohésion. Elle permet de distinguer le produit 0 - 30 % (0 jours – 30 % *Moringa oleifera*) aux propriétés peu cohésif et à faible résilience au groupe formé par 30 – 0 % (30 jours 0 % *Moringa oleifera*) 15 - 10 % (15 jours 10 % *Moringa oleifera*) et 15 - 0 % (15 jours 0 % *Moringa oleifera*).

La composante principale 3 explique 13.2 % de la variance totale (figure 32 b). Elle permet de caractériser les produits 15 - 30 %, 15 - 15 % et 30 - 15 % comme étant ferme à l'opposé des produits 0 - 15 % et 0- 0 %.

Pour conclure, une classification hiérarchique ascendante a été réalisée (figure 33). La distance d'agrégation est à 15.



**Figure 33:** Classification hiérarchique ascendante des pâtes de tamarin selon la teneur en *Moringa oleifera* et leur âge.

Il est obtenu 4 groupes distincts de pâtes de tamarins enrichis en *Moringa oleifera* (figure 33).

- J0 – 30 % (0 jour 30 % *Moringa oleifera*) définit comme étant collant, avec une forte teneur en eau.
- J30 – 0 % (30 jours 30 % *Moringa oleifera*) caractérisé par une forte élasticité, masticabilité, une bonne résilience et cohésion
- J15 – 30 %, J15 - 15 %, J30 - 10 %, J30 - 15 % caractérisés par leur fermeté
- Le dernier groupe regroupant les produits restants

Ainsi J0 - 30 % et J30 - 0 % sont les deux produits les plus significativement différents. Cet exemple traduit parfaitement l'effet du temps et de la quantité de *Moringa oleifera* ajouté sur les propriétés physicochimiques des pâtes de fruit.

En effectuant un focus sur la pâte de tamarin à 30 % de *Moringa oleifera*, nous pouvons constater que sur 30 jours les propriétés texturales du produit évoluent et passent du statut de collant avec une forte Aw à collant avec une plus faible Aw pour finir par être ferme, cohésif et fortement masticable.

En adaptant de bonnes conditions de stockage (emballage, température, humidité), le produit serait relativement stable et pourrait être conservé au-delà de 30 jours. Ce qui est confirmé par les résultats des analyses microbiologiques définissant la conservation des produits à 6 mois.

### 13.9. Isothermes de sorption des pâtes de tamarin influencés par la concentration en *Moringa oléifera*: (HARIMALALA et coll., 2015)

La détermination expérimentale des isothermes de désorption des pâtes de tamarin est faite pendant 30 jours à une température de 25°C. La figure 34 montre les isothermes de sorption des pâtes de tamarin à 0 % et 30 % de *Moringa oleifera*, enrobées et non enrobées. Chaque point des courbes représente la moyenne de trois valeurs de la teneur en eau.

Les courbes des isothermes de sorption des pâtes de tamarin ont une forme sigmoïde de type III caractéristique des aliments riches en glucides (IGLESIAS et coll., 1982), le phénomène d'hystérésis est observé.

Les courbes de désorption renseignent sur les valeurs limites de la teneur en eau du produit et favorisent l'optimisation du processus (AJIBOLA et coll., 1986; DESMORIEUX, 1992).

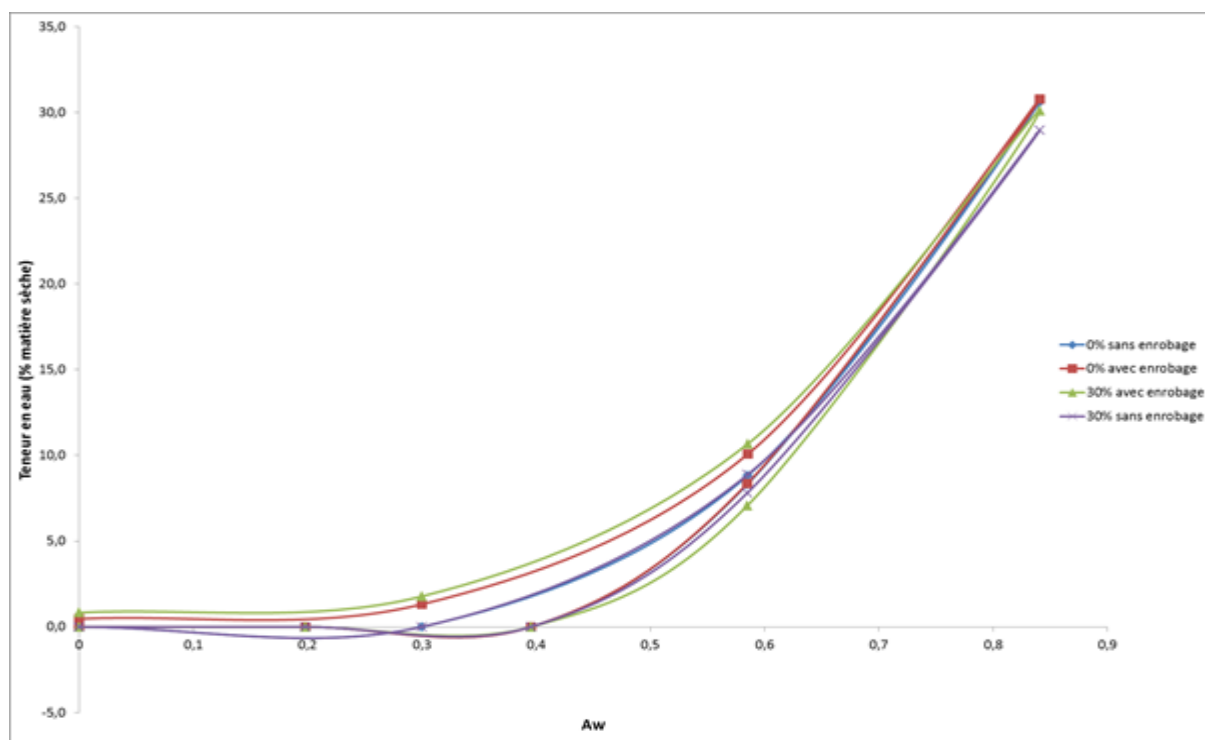
Dans les opérations de stockage, l'isotherme d'adsorption indique la nature hygroscopique d'un produit (**OTENG-GYANG, 1982; DA-WEN SUN WOODS, 1994**), ce qui permet de prévoir l'influence de la variation de l'humidité relative de stockage.

Ainsi:

- Pour les pâtes de tamarin à 0 % - 30 % de *Moringa oleifera*, sans enrobage: les courbes de sorption sont pratiquement superposées, avec une teneur en eau quasiment nulle, une  $A_w < 0,4$ . Ce qui montre que la teneur en *Moringa oleifera* et l'enrobage des pâtes de tamarin n'a à priori pas d'effet significatif sur les isothermes d'adsorption et de désorption des produits non enrobés.

- Pour les pâtes de tamarin à 0 % - 30 % de *Moringa oleifera*, avec enrobage, il est observé sur les courbes d'adsorption:  $A_w = 0$  à  $A_w = 0,4$  une faible teneur en eau et une faible activité de l'eau. Ceci est spécifique des aliments riches en sucres, ils adsorbent relativement peu d'eau aux faibles activités de l'eau (**MIRANDA et coll., 2011**). Les molécules d'eau sont fortement liées et considérées comme partie intégrante de la phase solide. Elle ne participe à aucune réaction ou interaction (**JANNOT, 2008**). La faible teneur en eau de l'aliment et la faible  $A_w$  (0,4) fait qu'il ne peut y avoir de développement de microorganismes, ainsi que des dégradations chimiques et enzymatiques.  $A_w > 0,6$  correspond à la fraction d'eau libre, retenue à la surface du substrat sec par des forces capillaires. C'est uniquement sous cette forme que l'eau est utilisable par les micro-organismes et peut permettre les réactions enzymatiques. (**CHEFTEL, 1977 ; MAFART, 1991 ; MULTON, 1978**).

Sur les courbes de désorption des pâtes de tamarin à 0 % - 30 % de *Moringa oleifera* avec enrobage, il est observé une augmentation des teneurs en eau pour des mêmes valeurs de  $A_w$  sur les deux courbes. Il y a donc un effet significatif de la teneur en *Moringa oleifera* et de l'enrobage sur la désorption des pâtes de tamarin. L'équilibre est atteint quand l' $A_w$  est inférieur à 0,3 (Figure 34).



**Figure 34:** Isothermes de sorption des pâtes de tamarin à 0 % et 30 % de *Moringa oleifera* enrobées et non enrobées obtenus à une température de 25°C.

## Chapitre 14: Fermentation des feuilles de *Moringa oleifera*:

### 14.1. Analyses nutritionnelles des poudres fermentées

La poudre de feuilles de *Moringa oleifera* des différents stades de maturation ont été fermentées par 2 genres de bactéries: le *Lactobacillus plantarum* (DMS2601) et le *Weissella* (27A). Le temps de fermentation a duré 5 jours (120 h) et a permis de suivre les paramètres de teneurs en protéines (PR), la quantité de sucres réducteurs (SR), et la teneur en composés phénoliques (CP).

#### 14.1.1. Teneurs en protéines (PR)

**Tableau 23:** Teneur en protéines des feuilles fermentées par *Weissella* (27A)

	Temps (hr)	Jeunes	Matures	Mélanges
MS %		91,150	89,933	88,890
PR% MS	0	3,705	5,267	7,809
PR% MS	48	5,008	8,025	7,809
PR% MS	120	11,070	8,370	8,629

PR% MS: teneur des protéines en g pour 100g de matières sèches

**Tableau 24:** Teneur en protéines des feuilles fermentées par *Lactobacillus plantarum* (DMS 2601)

	Temps (hr)	Jeunes	Matures	Mélanges
MS%		91,150	89,933	88,890
PR%MS	0	3,742	3,645	3,240
PR%MS	48	4,984	5,555	4,980
PR%MS	120	8,124	10,986	7,429

PR%MS: teneur des protéines en g pour 100 g de matières sèches

Les résultats des tableaux 23 et 24 montrent que:

- Une faible teneur en protéines dans les poudres jeunes, matures et mélanges fermentées par les bactéries 27A et DMS 2601 au temps T0 respectivement de 3,705 % MS, 5,267 % MS, 7,809 % MS pour 27A et 3,742 % MS, 3,640 % MS et 3,240 % MS pour 2601.
- Cette teneur en protéines augmente au cours de la fermentation (T0 à T120). A T120, la teneur en protéines passe à 11,07 % MS, 8,37 % MS, 8,62 % MS pour 27A et 8,124 % MS, 10,986 % MS, 7,4298 % MS dans le cas de DMS 2601.
- Il est observé que la teneur en protéines est plus importante dans les feuilles jeunes fermentées par 27A (11,070 % MS) et dans les feuilles matures fermentées par 2601 (10,986 % MS).

L'augmentation de la teneur en protéines de la poudre fermentée s'explique par une augmentation de la biomasse dans le milieu.

L'analyse de variance présentée au tableau 29 A et 29 B montre que le classement et le regroupement des groupes pour la variable de teneur en protéines des poudres fermentées ne présentent pas de différences significatives.

### 14.1.2. Teneurs en sucres réducteurs (SR)

**Tableau 25:** Teneur en sucres réducteurs des feuilles fermentées par *Weissella* (27A)

	Temps (hr)	Jeunes	Matures	Mélanges
MS%		91,150	89,933	88,890
SR%MS	0	23,639	5,977	4,641
SR%MS	48	19,484	16,853	12,348
SR%MS	120	25,645	25,377	16,756

SR%MS: teneur en sucres réducteurs en g pour 100 g de matières sèches

**Tableau 26:** Teneur en sucres réducteurs des feuilles fermentées par *Lactobacillus plantarum* (DMS 2601)

	Temps (hr)	Jeunes	Matures	Mélanges
MS%		91,150	89,933	88,890
SR% MS	0	19,903	17,803	10,247
SR% MS	48	21,143	22,482	25,053
SR% MS	120	15,258	22,746	22,080

SR% MS : teneur en sucres réducteurs en g pour 100 g de matières sèches

Les résultats des tableaux 25 et 26 révèlent une teneur élevée en sucres réducteurs dans les jeunes feuilles au début de fermentation: 23,639 % MS pour 27A et 19,903 % MS pour DMS2601. Cette teneur en sucres réducteurs augmente durant le processus qui pourrait s'expliquer par une possibilité d'hydrolyse des extrémités réductrices de sucres complexes. Le classement et le regroupement des groupes ne présentent pas de différence significative selon une analyse ANOVA (Tableau 29).

### 14.1.3. Teneurs en composés phénoliques (CP)

**Tableau 27:** Teneur en composés phénoliques des feuilles fermentées par *Weissella* (27A)

	Temps (hr)	Jeunes	Matures	Mélanges
MS%		91,150	89,933	88,890
CP% MS	0	23,559	31,492	22,932
CP% MS	48	23,758	16,760	16,894
CP% MS	120	11,926	7,979	5,352

CP% MS: teneur en composés phénoliques en g pour 100g de matières sèches

**Tableau 28:** Teneur en composés phénoliques des feuilles fermentées par *Lactobacillus plantarum* (DMS 2601)

	Temps (hr)	Jeunes	Matures	Mélanges
MS%		91,150	89,933	88,890
CP% MS	0	19,971	33,512	21,359
CP% MS	48	26,287	23,940	8,342
CP% MS	120	6,701	11,575	13,161

CP% MS: teneur en composés phénoliques en g pour 100 g de matières sèches

Les résultats des tableaux 27 et 28 montrent: qu'au début de la fermentation (T0), au stade de jeunes feuilles, la quantité de composés phénoliques est inférieure à celle des feuilles matures, soit respectivement de 23,55 % MS et 31,49 % MS dans le cas des feuilles fermentées par *Weissella* (27A). Et dans le cas de *Lactobacillus plantarum* (DMS 2601) la teneur en composés phénoliques est de 19,97 % MS au stade jeune et 33,51 % MS au stade de maturité. Il est constaté que le processus de fermentation diminue la teneur en composés phénoliques des feuilles de *Moringa oleifera*. La teneur des polyphénols des jeunes feuilles fermentées par *Weissella* est de 23,55 % MS à T0, elle est évaluée à 11,92 % MS à T120. Il en est de même avec les feuilles matures, 31,49 % à T0 et 7,97 % MS à T120. Le même phénomène s'observe pour la fermentation par le *Lactobacillus plantarum*: la quantité de composés phénoliques contenue dans les jeunes feuilles est de 19,97 % MS à T0 et 6,70 % MS à T120. En ce qui concerne les feuilles matures, la teneur baisse de 33,51 % MS à T0 à 11,57 % MS à T120. La diminution des composés phénoliques au cours de la fermentation est due à la présence des enzymes tels que les polyphénols oxydases et les peroxydases. Ces enzymes sont produites par les bactéries ou présentes dans les aliments et hydrolysent les composés phénoliques (NOUMO et coll., 2013).

### 14.2. Effets de la fermentation sur les propriétés nutritionnelles des feuilles de *Moringa oleifera*

Afin d'étudier l'évolution des poudres de feuilles aux différents stades de maturation (jeunes, matures et mélanges) lors de leur fermentation (T0, T48, T120), des mesures de densité optique (DO), de pH, de sucres réducteurs (SR), de protéines (PR), et de composés phénoliques (CP) sont réalisés.

Les résultats d'une analyse statistique Anova à 2 facteurs (Fermentation et maturité des feuilles) en réalisant un test de comparaison multiples avec le test de Fisher à un intervalle de confiance à 95 % sont présentés dans les tableaux 29 A et 29 B. L'analyse statistique a montré qu'il n'y a pas d'effet significatif de la fermentation et du stade de maturation des feuilles sur les paramètres nutritionnels du produit, mais il y a un effet significatif de la fermentation et du stade de maturation des feuilles sur le pH du produit.



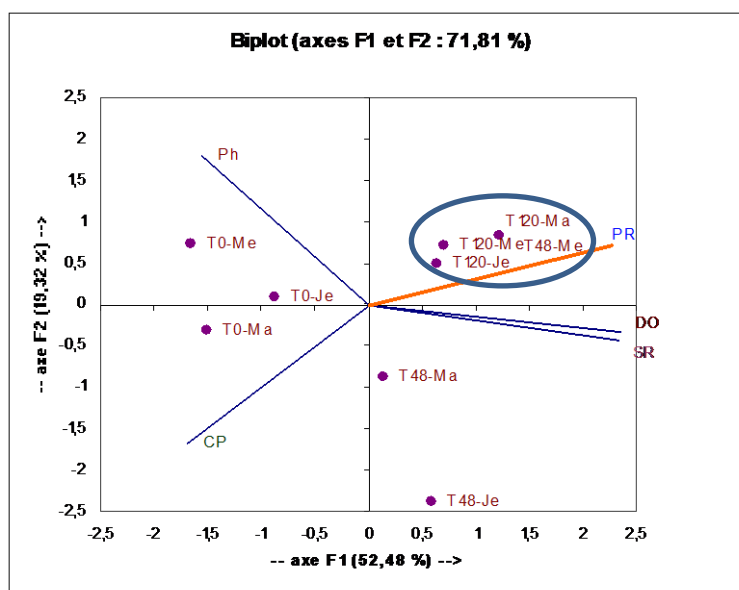
**Tableau 29A:** Effets de la fermentation par *Weissella* 27A sur les propriétés nutritionnelles des feuilles de *Moringa oleifera*

27A	Ages	DO	pH	SR	CP	PR
Jeunes	T0	2,4 <sup>A</sup>	5,22 <sup>B</sup>	21,547±0,070 <sup>A</sup>	21,474±0,004 <sup>A</sup>	3,377±0,327 <sup>A</sup>
	T48	1,775 <sup>A</sup>	4,65 <sup>A</sup>	17,76±0,023 <sup>A</sup>	21,655±0,032 <sup>A</sup>	4,565±0,007 <sup>A</sup>
	T120	1,866 <sup>A</sup>	4,74 <sup>AB</sup>	23,375±0,001 <sup>A</sup>	10,871±0,010 <sup>A</sup>	10,09±0,004 <sup>A</sup>
Matures	T0	1,878 <sup>A</sup>	5,22 <sup>B</sup>	5,375±0,011 <sup>A</sup>	28,322±0,008 <sup>A</sup>	4,737±0,007 <sup>A</sup>
	T48	2,222 <sup>A</sup>	4,95 <sup>AB</sup>	15,156±0,175 <sup>A</sup>	15,073±0,013 <sup>A</sup>	7,217±0,007 <sup>A</sup>
	T120	2,458 <sup>A</sup>	4,74 <sup>AB</sup>	22,822±0,011 <sup>A</sup>	7,176±0,028 <sup>A</sup>	7,527±0,009 <sup>A</sup>
Mélanges	T0	1,524 <sup>A</sup>	5,2 <sup>B</sup>	4,125±0,015 <sup>A</sup>	20,384±0,022 <sup>A</sup>	6,941±0,002 <sup>A</sup>
	T48	2,8 <sup>A</sup>	5,2 <sup>B</sup>	10,976±0,035 <sup>A</sup>	15,017±0,012 <sup>A</sup>	6,941±0,003 <sup>A</sup>
	T120	2,51 <sup>A</sup>	5,18 <sup>B</sup>	14,894±0,021 <sup>A</sup>	4,757±0,056 <sup>A</sup>	7,67±0,003 <sup>A</sup>

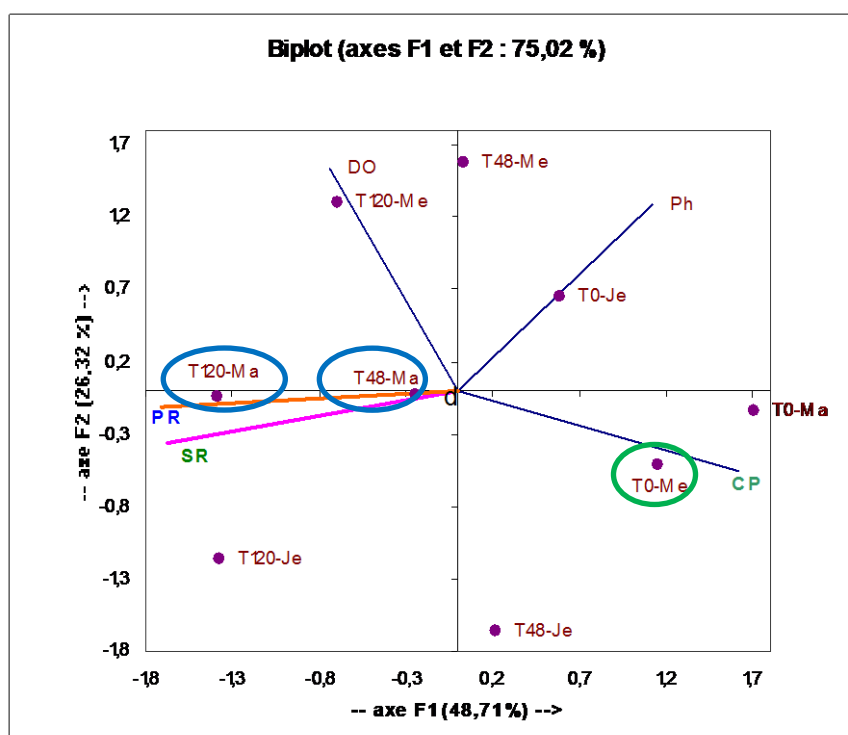
**Tableau 29B:** Effets de la fermentation par (DMS 2601) sur les propriétés nutritionnelles des feuilles de *Moringa oleifera*

DMS	Ages	DO	pH	SR	CP	PR
Jeunes	T0	0,754 <sup>A</sup>	5,07	18,142±0,244 <sup>A</sup>	18,204±0,057 <sup>A</sup>	3,411±0,003 <sup>A</sup>
	T48	2,687 <sup>A</sup>	4,28 <sup>CD</sup>	19,272±0,090 <sup>A</sup>	23,961±0,031 <sup>A</sup>	4,543±0,005 <sup>A</sup>
	T120	2,015 <sup>A</sup>	4,62 <sup>A</sup>	13,908±0,004 <sup>A</sup>	6,111±0,046 <sup>A</sup>	7,405±0,003 <sup>A</sup>
Matures	T0	0,921 <sup>A</sup>	5,33 <sup>AB</sup>	16,011±0,020 <sup>A</sup>	30,138±0,013 <sup>A</sup>	3,278±0,303 <sup>A</sup>
	T48	2,094 <sup>A</sup>	4,81 <sup>D</sup>	20,219±0,018 <sup>A</sup>	21,53±0,031 <sup>A</sup>	4,996±0,008 <sup>A</sup>
	T120	2,475 <sup>A</sup>	4,95 <sup>BC</sup>	20,456±0,000 <sup>A</sup>	10,41±0,054 <sup>A</sup>	9,88±0,001 <sup>A</sup>
Mélanges	T0	0,869 <sup>A</sup>	5,29 <sup>BCD</sup>	9,109±0,048 <sup>A</sup>	18,986±0,027 <sup>A</sup>	2,88±0,007 <sup>A</sup>
	T48	2,692 <sup>A</sup>	5,1 <sup>D</sup>	22,27±0,030 <sup>A</sup>	7,417±0,046 <sup>A</sup>	4,427±0,003 <sup>A</sup>
	T120	2,692 <sup>A</sup>	5,1 <sup>CD</sup>	22,27±0,030 <sup>A</sup>	7,417±0,015 <sup>A</sup>	4,427±0,010 <sup>A</sup>

Pour trouver la différence qui peut exister entre les produits fermentés, il est procédé à une analyse à composantes principales où les variables sont projetées (figures 35a et 35b).



**Figure 35 a:** Analyse en composantes principales des feuilles fermentées par DMS 2601 selon le temps de fermentation et la maturité de la plante.



**Figure 35 b:** Analyse en composantes principales des feuilles fermentées par 27A selon le temps de fermentation et la maturité de la plante.

L'analyse en ACP, figure 35a permet de caractériser les produits T120-Ma, T120-Me, T48-Me et T120-Je fortement corrélés qui sont riches en protéines. En figure 35b ce sont les produits T120-Ma et T48-Ma qui sont corrélés avec les variables protéines et sucres réducteurs. Ces produits sont opposés à T0-Me si l'on considère la variable composés phénoliques.

### 14.3. Effets de la fermentation sur la chromacité des feuilles de *Moringa oleifera*

Après la lecture de la chromacité, les valeurs (L, a, b.) sont indiquées dans les tableaux 30a et 30b.

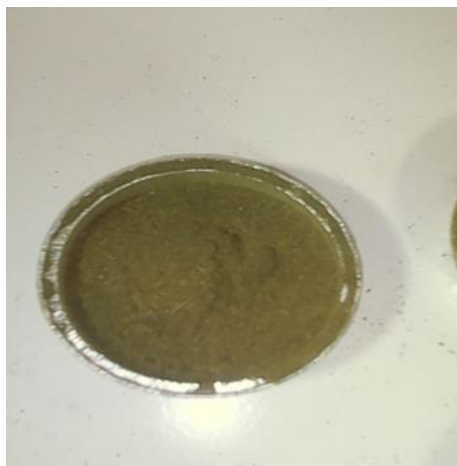
**Tableau 30a:** Mesure colorimétrique des poudres de jeunes feuilles fermentées par *Lactobacillus plantarum* (DMS2601)

Temps (T) en heure	0	48
<b>L</b>	59	58,83
<b>a</b>	-7,97	-2,9
<b>b</b>	34	33,53

**Tableau 30b:** Mesure colorimétrique des poudres de jeunes feuilles fermentées par *Weissella* (27 A)

Temps (T) en heure	0	48
<b>L</b>	59,89	59,53
<b>a</b>	-7,06	-1,7
<b>b</b>	35,55	35,08

Les valeurs de (L, a, b) placé sur le diagramme de chromacité (figure 23, p 62) montre que la couleur de la poudre fermentée se place dans la zone du (blanc, vert, jaune). Il est ainsi obtenu un éclaircissement du produit. Ce paramètre pourrait être exploité pour améliorer son aspect visuel. En effet, une comparaison visuelle de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* non fermentée et fermentée montre une différence de coloration dans le vert



**Figure 36 a:** poudre de *Moringa oleifera* non fermentée. (source: Auteur)



**Figure 36b:** poudre de *Moringa oleifera* fermentée (source: Auteur).

Ainsi, la fermentation de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* permet d'une part d'augmenter la teneur en protéine des produits du fait d'une augmentation de la biomasse, d'augmenter la teneur en sucres réducteurs du fait de l'hydrolyse de sucres complexes, et des composés phénoliques. En effet les composés phénoliques sont abondants dans les stades de développement jeunes des plantes, ils diminuent au début de la maturation puis se stabilisent (COLIN-HENRION, 2008).

### Conclusion partielle:

La fermentation de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* donne un aliment de haute valeur protéique qui pourra contribuer dans la lutte contre la malnutrition. La poudre fermentée lyophilisée pourra être utilisée pour enrichir les pâtes de tamarin ou les pâtes de banane, comme nous l'avons testé, ou d'autres supports alimentaires.



# CONCLUSIONS

### CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

A Madagascar, la biodiversité végétale constitue une ressource variée pour l'alimentation humaine souvent peu exploitée. Le *Moringa oleifera*, dans les pays du Sud est une ressource alimentaire et économique, il est peu connu et mal utilisé par les Malagasy.

Ainsi le *Moringa oleifera* provenant de trois régions de Madagascar a été analysé. La mise en exergue de l'importance des protéines en l'alimentation a montré l'importance des feuilles de *Moringa oleifera* originaire de Tamatave, avec une teneur en protéine de 34,79 % MS.

Entre autre de l'importance des protéines, la capacité antioxydante a été étudiée. Les résultats ont montré que le *Moringa oleifera* a un pouvoir antioxydant supérieur à 60 %. L'analyse en HPLC a montré la présence de molécules bioactives importantes pour la santé telles que les acides phénoliques dont l'acide cafeoyl quinine et l'acide coumaroyl quinine, et des flavonoïdes dont l'apigénine, la quercétine et l'isorhamnétine.

Différents fruits (la banane, le kaki, la goyave, le fruit à pain, le tamarin, la papaye) durant l'étude ont été transformé en pâtes de fruits et soumis à une analyse sensorielle. Les résultats de l'analyse en composantes principales ont montré une préférence pour les pâtes de tamarin et les pâtes de banane. Ainsi, des pâtes de tamarin et des pâtes de banane ont été conçues contenant 30 % de poudre de feuilles de *Moringa oleifera*.

La qualité nutritionnelle de ces pâtes a révélé un enrichissement protéique des fruits de 10 à 15 fois plus. La quantité de protéines des pâtes de tamarin et de banane est de 8 à 10 % MS, et révèle la présence, entre autres, de trois acides aminés indispensables: la valine, la thréonine et l'arginine.

Quant à la qualité hygiénique des produits, l'étude microbiologique a permis de démontrer l'innocuité des produits obtenus, ce qui a valu l'obtention d'un certificat de consommabilité par les autorités compétentes. En effet les produits sont exempts de germes pathogènes, le test sur souris ne présente pas de toxicité et la date limite de consommation (DLC) est déterminée à plus de 6 mois. Cette étude microbiologique est en corrélation avec l'étude du profil de texture et physico-chimique des produits (TPA). Cette dernière a démontré que le paramètre de fermeté, de collant, de cohésion et de masticabilité évoluent au cours du vieillissement des produits.

La qualité organoleptique est attestée par l'acceptation des produits par des adolescents et des adultes. L'analyse sensorielle est en corrélation avec l'analyse texturale et physico-chimique fixant le maximum de *Moringa oleifera* incorporé à 30 %.

Dans l'axe de valorisation des aliments, la fermentation des feuilles de *Moringa oleifera* par le *Lactobacillus plantarum* (DMS2601) et le *Weissella* (27A) a montré la possibilité d'augmenter la teneur en protéines des différents stades de développement des feuilles: la fermentation par DMS 2601 montre une augmentation des protéines à 8,12 % MS, 10,98 % MS et 7,42 % MS dans les feuilles jeunes, matures et mélanges et de 11,07 % MS, 8,37 % MS, 8,62 % MS pour les feuilles fermentées par 27A. Ce résultat sera exploité ultérieurement. La fermentation a également montré une augmentation de la teneur en sucres réducteurs jusqu'à 25,5 % pour les feuilles fermentées par 27 A, et 22 % pour celle fermentées par DMS 2601. Par contre la teneur en composés phénoliques diminue au cours de la fermentation, elle est de 11,92 %, 7,97 % et 5,35 % dans les feuilles jeunes, matures, mélanges fermentées par 27A et 6,70 %, 11,57 % et 13,16 % dans celles fermentées par DMS 2601. La fermentation a également engendré un éclaircissement des feuilles, point important pour rehausser un critère organoleptique tel que l'apparence.

Cette étude est loin d'être exhaustive, en perspective d'avenir, nous envisageons les actions suivantes:

- mener une étude approfondie sur les cinétiques de séchage des pâtes de tamarin et de banane;
- suivre la cinétique de production des protéines, leur valeur qualitative et quantitative lors de la fermentation, parallèlement à l'évolution des autres paramètres nutritionnels;
- procéder à la fabrication des pâtes de tamarin et de banane avec les produits de fermentation obtenus et aux analyses sensorielles et texturales;
- faire une comparaison des procédés chimiques et biotechnologiques pour l'obtention des pâtes de tamarin et de banane enrichies aux protéines de feuilles de *Moringa oleifera*;
- faire les essais nutritionnels des produits obtenus en cantines scolaires;



# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES



## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

1. **AFNOR.** *Contrôle de la qualité des produits alimentaires. Méthodes d'analyse officielle*, Paris : AFNOR, 1ère édition, 1989, 373 p
2. **AFNOR.** 2002. *Microbiologie alimentaire, méthodes de routines et évaluation d'une méthode alternative*. 8<sup>ème</sup> édition. Tome 2.
3. **AFNOR.** 1995. *Analyse sensorielle. Vocabulaire*. Paris La Défense
4. **AGENCE FRANCAISE de SECURITE SANITAIRE des ALIMENTS (AFSSA).** 2007. *Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations*. 461p.
5. **ALLART Ph.** 2009. *Intérêt potentiel de l'utilisation des extraits foliaires de luzerne pour lutter contre la malnutrition chronique chez le sujet séropositif pour le VIH dans les pays en voie de développement*. Thèse pour le Diplôme de Docteur en Pharmacie.
6. **AMMOR S., RACHMAN C., CHAILLOU S,** 2005, et al. *Phenotypic and genotypic identification of lactic acid bacteria isolated from a small-scale facility producing traditional dry sausages*. Food Microbiology. 22 : 373-382.
7. **AMPONSAH G.A.,** 2009. *L'échantillonnage des aliments pour l'analyse*. West Africa Graduate Course on Food Composition and Biodiversity
8. **AMUA AWUA W.K.A., APPOH F.E., et JAKOBSEN .A. M.,** 1996. *Lactic acide fermentation of cassava dough into agbelima*. Int. J. Food Microbial. 31: 87-98
9. **ANTENNA TECHNOLOGIES.** 1999. *Nutrition et malnutrition chez l'enfant*. 7 ème congrés international sur la nutrition, New Dehli- India.
10. **ANWAR F., LATIF S., ASHRAF M., HASSAN GILANI A.,** 2007. *Moringa oléifera: A food plant with multiple medicinal uses*. Journal of Phytotherapy research 21: 17-25.
11. **ARTI R.V., VIJAYAKUMAR M., CHANDRA S. M., CHANDANA V.R.,** 2009. *In vitro and in vivo antioxydant properties of different fractions of Moringa Oleifera*. Food and Chemical Toxicology 47: 2196-2201.

12. **ATAKPAMA, W., KPONOR, E. G. E., KANDA, M., DOURMA, M., BATAWILA, K., & AKPAGANA, K.** 2014. *Moringa oleifera Lamarck (Moringaceae): une ressource phytogénétique à usage multiple*. Science de la vie, de la terre et agronomie, 2 :1.
13. **AUBERT S., CHEVAUSSUS-AGNES S., CIRAD-FLOHR., et AL.** 1993. *Répertoire des aliments : Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillett d'Afrique*. INRA : TEC et DOC et ORSTOM.. Vol 3.
14. **AUBREE E.**, 1996. *Mécanisme de gélification des pectines : Texture des produits sucrés*. 15p.
15. **BACCINI A.**, *Statistiques Descriptives Multidimensionnelles*. Publications de l'Institut de Mathématiques de Toulouse. 2010.
16. **BERGER J.**, 2003. *Enrichissement des aliments en micronutriments: élément d'une stratégie intégrée de lutte contre les carences en micronutriments, en particulier en fer, dans les pays en développement*. 2 ème Atelier international : Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles. Ouagadougou, 23-28 / 11 / 2003
17. **BIZOT H., MULTON J.L., MARTIN G.**, 2010. « *Mesure de l'eau adsorbé dans les aliments : teneur en eau, activité de l'eau, sorption* » in Eau Adsorbée Aliments. 62p.
18. **BRANGER A., RICHER M.M., ROUSTEL S.** 2007. *Microbiologie et alimentation* Editeur Educagri. 343p.
19. **BURKILL I. H., PERRIER DE LA BATHIE.** 1950. *Flore de Madagascar et des Comores (plantes vasculaires) Moringaceae*. Typographie Didot et Cie
20. **CHAMBRE SYNDICALE NATIONALE DE LA CONFISERIE.** 2004. *Les codes d'usages en confiserie*. 26p.
21. **CHEN A.Y., CHEN Y.C.**, 2013. A review of the dietary flavonoid, kaempferol on human health and cancer chemoprevention. Food Chemistry. 138 : 2099–2107
22. **COFRAC.** 1994. *Analyses des aliments diététiques et de régime et analyses destinées à l'étiquetage nutritionnel des aliments*. Section d'essais, programme n°60. 10 p.
23. **CHOI J.S., NURUL ISLAM M., YOUSOF ALI M., KIM E.J., KIM Y.M., JUNG H.A.**, 2014. *Effects of C-glycosylation on anti-diabetic, anti-Alzheimer's disease and anti-inflammatory potential of apigenin*. Food Chemistry. Toxicology. 64 : 27–33.
24. **COLIN-HENRION M.**, 2008. *De la pomme à la pomme transformée : impact de procédé sur deux composés d'intérêt nutritionnel. Caractérisation physique et*

25. **CTA, ILO, WEP.** 1990. *Conservation des fruits à petite échelle*, 244p
26. **DAWOOD H.Y., FATHY TOHAMY A.,** 2014. *Extract of Moringa oleifera leaves ameliorates streptozotocin-induced Diabetes mellitus in adult rats*
27. **DELACHARLIE S., DE BIOURGE S., CHENE C., SINDIE M ; DERAONNE C.,** 2008. *HACCP organoleptique :guide pratique*. Editeur Glemboux, Presse agronomique. p 82, 85, 88
28. **DELEIGNE M.C., KAIL B.,** 2007. *Politiques éducatives et scolarisation à Madagascar : le double défi de la contrainte financière des familles et de la pauvreté de l'école. Colloque International « Dynamiques rurales à Madagascar : perspectives sociales, économiques et démographiques ».*
29. **DENT M., DRAGOVIC- RAGOVIC U., PENIC M., BRNIC M., BOSILIKOST., LEVAJ** 2013. *The effect of extraction solvents, temperature and time on the composition and mass fraction of polyphenols in dalmatian wild sage (Salvia officinalis L.). Food Technology. Biotechnology.* 51: 84–91
30. **DE SAINT SAUVEUR A., BROIN M.,** Accra, Ghana, 16-18 novembre 2006. *Moringa et autres végétaux à fort potentiel nutritionnel : L'utilisation des feuilles de Moringa oleifera contre les carences alimentaires : un potentiel encore peu valorisé.*
31. **De SESMAISONS A.** 2004. *Elaboration d'une collation énergétique et fortifiée destinée aux enfants d'écoles primaires et évaluation de la première phase du Programme d'Alimentation Scolaire Nutrimad, à Antananarivo, Madagascar.* Diplôme d'Agronomie Approfondie et Diplôme d'ingénieur agronome de l'INAPG: Paris, 2004.
32. **DOP MC., GOMIS MC., GARDON M., LESAUVAGE S.,** 2003. *Outils d'enquête alimentaire/entretien: Elaboration au Sénégal.* Paris: IRD édition.
33. **DOERR B., CAMERON L.,** 2005. *Moringa leaf powder echo.* Technical Note.
34. **DOTY R.L.,** 1994. *Olfaction and multiple chemical sensitivity.* Journal of Toxicology and Industrial Health. 10, 4/5.
35. **DUPIN et collaborateurs, CNRS-CNERNA.** 1992. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française.* Paris Lavoisier. Technique et Documentation.
36. **FAO,** 1983. South Pacific Commission - Community Health Services - SOUTH PACIFIC FOODS: Leaflet n°9. Breadfruit.
37. **FAO/PAM,** 2013. *Mission d'évaluation de la sécurité alimentaire à Madagascar.* Rapport spécial. 92p.

38. **FAO (2001)** *La nutrition dans les pays en voie de développement*. Archives de documents. Département de l'agriculture. 518p.
39. **FAO, BANQUE DE DONNEES FAOSTAT, 2013-2014**
40. **FANDOCHAN B., ASSOGBADJO A.E., KAKAI R.G., KYNDT T., DE CALUWE E., CODJIA J.T.C., SINSIN B., 2010.** *Women's Traditional Knowledge, Use Value, and the Contribution of Tamarind (Tamarindus indica L.) to Rural Households' Cash Income in Benin*. Journal Economic Botany. 64, 3: 248-259.
41. **FAO, 1983.** South Pacific Commission - Community Health Services - SOUTH PACIFIC FOODS: Leaflet n°9. Breadfruit.
42. **FAO/PAM, 2013.** Mission d'évaluation de la sécurité alimentaire à Madagascar. Rapport spécial. 92p.
43. **FAO (2001)** *La nutrition dans les pays en voie de développement*. Archives de documents. Département de l'agriculture. 518p.
44. **FLEURIET A., UHEL C., DEDALDECHAMPS F., 2003.** *Les composés phénoliques et la qualité des produits d'origine végétale consommés par l'homme*. Acta bot. Gallica, 143, 6 : 493-500.
45. **FOOD AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS.** 2005. *Profil nutritionnel de Madagascar*. 49 pages.
46. **FRENOT M., VIERLING E., 2002.** *Biochimie des aliments: diététique du sujet bien portant, p 70. 297p sensorielle des produits transformés*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Université d'Angers.
47. **GARDES-ALBERT M., BONNEFONT-ROUSSELOT D., ABEDINZADEH Z., JORE D. 2003.** *Espèces réactives de l'oxygène : Comment l'oxygène peut-il devenir toxique ?* Actualité chimique/ Mécanismes biochimiques.
48. **GAUTIER M., BOLNOT F., ROZIER J., CARLIER V.1986.** ' *Activité de l'Eau et Conservation des Denrées Alimentaires* ', RTVA, 220 : 16 – 20
49. **GAVRILOVI CM., LAGINOT M J., WALLACH J. 1996.** *Manipulation d'analyse biochimique*. Biosciences et techniques, Paris Doin 3<sup>ème</sup> édition.
50. **GOVARDHAN SINGH R S., PRADEEP SN., RADHA C., 2013.** *Phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activities of free and bound phenolic extract of Moringa oleifera seed flour*. Journal of functional foods 5:1883-1891.
51. **GROLLIER C., DEBIEN C., DORNIER M., REYNES M. 1998.** *Principales caractéristiques et voies de valorisations du tamarin*. Revue CODEN FRUIAS. 53, 4 : 271-280.

52. **HARIMALALA ANDRIAMBELO N., RAZANAMPARANY L., RASOARAHONA F.**, 2014. *Nutritional quality of fruit pastes enriched with Moringa oléifera leaves. International Journal of Applied Science and Technology.* Vol 4, 5.
53. **HARIMALALA ANDRIAMBELO N., LAFARGE C., SAUREL R., RAZANAMPARANY L.**, 2015. *Analyse et caractérisation du profil de texture (TPA) et caractérisation physicochimiques des pâtes de fruits aux tamarins enrichies en feuilles de Moringa oleifera.* 11, 2 : 66-75.
54. **HAZRA S., BISWAS S., BHATTACHARYYA D., DAS S.K., KHAN A.** 2012. *Quality of cooked ground buffalo meat treated with the crude extracts of Moringa oleifera (Lam.) leaves.* Journal Food Science Technology. 49, 2 : 240-245.
55. **INSTITUT NATIONALE DE LA STATISTIQUE- MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES ET DU BUDGET** (2010), *Enquête Démographique et de Santé 2009 - 2010*
56. **INSTITUT NATIONALE DE LA STATISTIQUE- DIRECTION DES STATISTIQUES DES MENAGES.** 2010. *Enquête périodique auprès des ménages.* Rapport principal. 378p.
57. **ISO 5984-2002.** *Aliments des animaux- Détermination des cendres brutes*, révision 2013.
58. **JACQUOT M., FAGOT P., VOILLEY A.**, 2011. *La couleur des aliments de la théorie à la pratique.* Edition technique et Documentation Lavoisier. 512p.
59. **JANNOT Y.** 2008. *Isothermes de sorption : modèles et détermination.* 16p
60. **JOSHI P., MEHTA D.**, 2010. *Effect of dehydration on the nutritive value of drumstick leaves.* Journal of Metabolomics and Systems Biology. 1, 1: 5-9.
61. **KINDA J.** 2009. *Résultats partiel de l'étude de faisabilité de l'ajout de poudre de feuilles de Moringa dans la recette Misola.*
62. **LASSOIS L., BUSOGORO J.P., JIJAKLI H.**, 2009. *La banane : de son origine à sa commercialisation.* Journal de Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement (BASE). 13, 4 : 575-586.
63. **LASSOUDIERE A.**, 2007. *Le bananier et sa culture.* Edition Quae. 381 p.
64. **LATHAM M.C.**, 2001. *La nutrition dans les pays en développement.* Département de l'agriculture. Archive de documentation de la FAO

65. **LEFEBVRE A.**, 2003. *L'analyse sensorielle, une méthode de mesure au service des acteurs de la conception: ses avantages, ses limites, ses voies d'amélioration. Application aux emballages.* 10 ème Séminaire CONFERE, Belfort – France, pp.3-11
66. **LEGUERINEL Y.** 2011. *Détermination des Dates Limites de Consommation.* Institut Universitaire de Technologie de Quimper.
67. **LOWELL S.; SHIELDS J.E.**, 1991. *Powder surface area and porosity.* Chapman and Hall, London. 3ème édition.
68. **MACHEIX J.J., FLEURIET A., JAY-ALLEMAND Ch.**, 2005. *Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique.* PPUR presses polytechniques, 192 pages.
69. **MAKKAR H.P.S., BECKER K.**, 1997. *Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the moringa oleifera tree.* Journal of Agriculture Science, Cambridge. 128: 311-322.
70. **MANZOOR A.H., SOWRIAPPAN J.D.B., SHABIR A. M.**, 2015. *Effect of Moringa oleifera leaf extract on the physicochemical properties of modified atmosphere packaged raw beef.* Journal of Food Packaging and Shelf life 3. 31-38.
71. **MASSE- RAIMBAULT A.M.**, 1992. *Du lait maternel au plat familial, l'enfant en milieu tropical.* N°202- 203.
72. **MASSE- RAIMBAULT A.M.** 1989. *Les besoins nutritionnels in « La santé en milieu tropical »* Edition Doin Paris.
73. **MESSENS W., et De VUYST L.**, 2002. *Inhibitory substances produced by bacilli isolated from sourdoughs-review.* Int.J.Food Microbiol. 72: 31-43
74. **MOUSSA N., SALIMATA W., DOSSOU N., AMADOU T G., ROKHAYA D G.** 2007. *Valeur nutritionnelle du Moringa oleifera. Etude de la biodisponibilité du fer, effet de l'enrichissement de divers plats traditionnels sénégalais avec la poudre des feuilles.* African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development. 7: 3.
75. **NAGO C.M., et HOUNHOUGAN D.J.**, 1990. *La technologie de transformation du maïs en pâte fermentée au Bénin.* FSA-IRAT-CEE: Bénin, pp, 30.
76. **NAMBIAR V.S., PARNAMI S.**, 2008. *Standardization and Organoleptic Evaluation of Drumstick (Moringa oleifera) Leaves Incorporated Into Traditional Indian Recipes.* Trees for Life Journal 3:2.
77. **NFV 08 052.** *Microbiologie des aliments. Recherche de salmonella. Méthodes de routines.*
78. **NF v 08 – 053.** *Les nouvelles méthodes d'analyses microbiologiques.*



79. **NF v 08 - 057-1.** *Microbiologie des aliments - Méthode de routine pour le dénombrement des staphylocoques à coagulase positive par comptage des colonies à 37 °C - Partie 1 : technique avec confirmation des colonies*
80. **NF v 08-060.** *Microbiologie des aliments - Dénombrement des coliformes thermo tolérants par comptage des colonies obtenues à 44 °C.*
81. **Norme NF ISO 4833-1:2013.** *Microbiologie des aliments -- Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes -- Technique de comptage des colonies à 30 degrés C.*
82. **NKUKWANA T.T., MUCHENJE V., PIETERSE E., MASIKA P.J., MABUSELATP., HOFFMAN LC., DZAMA K.,** 2014. *Effect of Moringa oleifera leaf meal on growth performance, apparent digestibility, digestive organ size and carcass yield in broiler chickens.* Livestock Science 161: 139-146.
83. **NOUMO NGANGMOU T., TATSADJIEU NGOUNE L., MONTET D., F. MBOFUNG C. M.** 2013. *Effect of Pure Culture Fermentation on Biochemical Composition of Moringa oleifera Lam Leaves Powders.* Food and Nutrition Sciences, 4: 851-859
84. **NORME ISO 5984.** *Aliments des animaux : détermination des cendres brutes.* 2002
85. **OFFICE NATIONALE de NUTRITION,** 2008. *Politique nationale de nutrition et plans d'action pour la nutrition.* République de Madagascar, Primature, 64 pages.
86. **OMS, MINSAN/PF.** 2005 *Enquête sur les facteurs de risques des maladies Non Transmissibles à Madagascar.* Enquête STEPS Madagascar.
87. **OWUSU D., ODURO I., ELLIS W.O.,** 2011. *Devolopment of crackers from cassava and sweetpotato flours using Moringa oleifera and Ipomea batatas leaves as fortificant.* American Journal of Food and Nutrition. 1: 114-122.
88. **PAPAMANOLI E., TZANETAKIS N., LITOPOULOUT Z., KOTZEKIDOU P.,** 2003. *Characterization of lactic acid bacteria isolated from a Greek dry-fermented sausage in respect of their technological and probiotic properties.* Meat Science, 65: 859-867.
89. **PASSMORE R., NICOL B. M., NARAYANA R., BEATON G. H., DEMAIEYER E. M.** 1974. *Manuel sur les besoins nutritionnels de l'homme.* FAO-OMS Genève. 64pages.
90. **PETROWITSCH S.** 1999. *La lettre technologique du pôle d'innovation de l'Ecole Nationale Supérieure de la pâtisserie, Confiserie, Glacerie, Chocolaterie, Traiteur.* 7<sup>ème</sup> édition.

91. **PHATSIMO G.M., CUKROWSKA E., CHIMUKA L.** 2014. *Development of pressurised hot water extraction (PHWE) for essential compounds from Moringa oleifera leaf extracts.* Food chemistry 172: 423-427.
92. **PLAN NATIONAL D'ACTION POUR LA NUTRITION** 2012-2015. 2012. Madagascar. 92p.
93. **POLITIQUE NATIONAL DE NUTRITION**, 2004. Madagascar. *Document de Politique National de Nutrition de Madagascar.* 42p.
94. **PROFILES**, 2005. *Nutrition à Madagascar : Analyses de Profiles sur l'état nutritionnel des enfants et des femmes malgaches.* The linkages project et l'équipe Profiles de Madagascar.
95. **PROGRAMME ALIMENTAIRE MONDIAL DES NATIONS UNIES.**, 2005. Madagascar : *Analyse de la sécurité alimentaire et de la vulnérabilité (CFSVA), collecte et analyse des informations secondaires.* 37p.
96. **QWELE K., HUGO A., OYEDEMI S.O., MOYO B., MASIKA P.J., MUCHENJE V.**, 2013. *Chemical composition, fatty acid content and antioxidant potential of meat from goats supplemented with Moringa oleifera leaves, sunflower cake and grass hay.* Journal Meat Science 93: 455-462.
97. **RAVAOZANANY N S.** 2010. *Placer la nutrition au cœur des politiques de développement : Le cas de madagascar (1960-2010).*
98. **RAZAFINDRAKOTO S.** 2010. *Barres de céréales au Moringa à la banane séchée et à l'ananas séché. Diplôme d'Ingénieur Agronome spécialisé en Industrie Agroalimentaire.*
99. **REVATHY R., VANISH S NAMBIAR., SUBADRA S.** 2001 *Impact of Dehydrated Drumstick Leaf Biscuits on Proceedings of XX International Vitamin A Consultative Group, Hanoi, Vietnam.*
100. **REZAIRE A.**, 2012. *Activité anti-oxydante, et caractérisation phénolique du fruit de palmier amazonien Oenocarpus bataua (patawa).* Thèse de Doctorat en phytochimie. Université des Antilles et de la Guyane.
101. **RODRIGUEZ-PEREZ C., QUIRANTES-PINE R., FERNANDEZ-GUTIERREZ A., SEGURA-CARRETERO A.**, 2015. *Optimization of extraction method to obtain a phenolic compounds rich extract from Moringa oleifera Lam leaves.* Journal Industrial Crops and Products 66 : 246-254.



102. **RUSSO M., SPAGNUOLO C., TEDESCO I., BILOTTO S., RUSSO G.L.,** 2012. *The flavonoid quercetin in disease prevention and therapy: facts and fancies.* Biochemistry. Pharmacology. 83: 6–15.
103. **SANAA M.** 2002. *Microbiologie prévisionnelle : les principaux modèles de croissances utilisés en appréciation quantitative des risques.* Epidémiologie et santé animale. 41 : 169-177.
104. **SAINT SAUVEUR A., BROIN M.** *Moringa et autres végétaux à fort potentiel nutritionnel : Stratégies, normes et marchés pour un meilleur impact sur la nutrition en Afrique.* Accra, Ghana, 16-18 novembre 2006.
105. **SAINT SAUVEUR A., BROIN M.** *Moringa et autres végétaux à fort potentiel nutritionnel : L'utilisation des feuilles de Moringa oleifera contre les carences alimentaires : un potentiel encore peu valorisé.* Accra, Ghana, 16-18 novembre 2006.
106. **SANOKHO YEBEDIE M.,** 2005 *Enquête nutritionnelle dans les quatre groupes scolaires de la commune urbaine de KE-MANCINA.* Thèse de Docteur en médecine. Université de Bamako. 84p.
107. **SCHER J.,** 2009. *Rhéologie, texture et texturation des produits alimentaires.* Dossier délivré par SCD-ULP.
108. **SECALINE,** 1997. *Situation alimentaire et nutritionnelle à Madagascar. Stratégie néonatale de sécurité alimentaire et de nutrition,* 133p.
109. **SENGEV A.I., ABU O. J., GERNAH D. I.,** 2013. *Effect of Moringa oleifera leaf powder supplementation on some quality characteristics of wheat bread.* Food and Nutrition Sciences. 4: 270-275.
110. **SHAH AHMAD M., DON BOSCO J.S., AHMAD MIR S.,** 2014. *Effect of Moringa oléifera leaf extract on the physicochemical properties of modified atmosphere package raw beef.* Journal Food Packaging and Shelf Life 3: 31-38.
111. **SHEBIS Y., ILUZ D., KINEL-TAHAN Y., DUNBINSKY Z., YEHOHUA Y.,** 2013. *Natural Antioxidants: Function and Sources.* Food and Nutrition Sciences 4: 643-649
112. **SOLOVIEV P., DAOUDA NIANG T., GAYE A., TOTTE A.** 2003. *Variabilité des caractères physico-chimiques des fruits de trois espèces ligneuses de cueillette, récoltés au Sénégal : Adansonia digitata, Balanites aegyptiaca, Tamarindus indica.*
113. **STONE H., SIDEL J., OLIVER S., WOOLSEY A., SINGLETON R.C.,** 1974. *Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis.* Food technology 28: 24-34.

114. **SUCHANDRA H., SUBHASISH B., DEBASISH B., SUDIP K. D., ANUPAM K.,** 2012. *Quality of cooked ground buffalo meat treated with the crude extracts of Moringa oleifera leaves.* Journal Food Science and Technology. 49, 2: 240-245.
115. **SWINDALE A., ORI-VACHASPATI P.** 2004. *Measuring household food consumption: A technical guide.* Washington DC: Food and Nutrition Technical Assistance (FANTA) Project, Academy for Educational Development (AED).
116. **SWINDALE A., BILINSKY P.,** 2006. *Household Dietary Diversity Score (HDDS) for Measurement of Household Food Access: Indicator Guide VERSION 2.* Food And Nutrition Technical Assistance (FANTA) and USAID.15p
117. **TAKAOKA ALVES BAPTISTA A., COLDEBELLA P. F., HENRIQUE FREITAS CARDINES P., GUTTERRES GOMES R., FERNANDES VIEIRA M., BERGAMESCO R., MARQUETOTTI SALCEDO V.,** 2015. *Coagulation–flocculation process with ultra-filtered saline extract of Moringa oleifera for the treatment of surface water* Chemical Engineering Journal 276: 166-173.
118. **TALLA A., JANNOT Y., KAPSEU C., NGANHOU J.,** 2001. *Etude expérimentale et modélisation de la cinétique de séchage des fruits tropicaux. Application à la banane et à la mangue.* Journal Sciences des aliments 21(5).
119. **TCHIEGANG C., AISSATOU K.,** 2004. *Données ethno nutritionnelles et caractéristiques physico-chimiques des légumes-feuilles consommés dans la savane de l'Adamaoua (Cameroun).* Journal Tropicultura, 22.1 :11-18.
120. **TETE- BENISSAN A., LAWSON-EVI K.A., KOKOU K., GBEASSOR M.,** 2012. *Effet de la poudre de feuilles de Moringa oléifera Lam sur l'évolution du profil de l'hémogramme des enfants malnutris au Togo : Evaluation chez les sujets HIV positifs.* African Journal of Food Agriculture, Nutrition and Developpement. 12, 2.
121. **TOITOU Y.,** 2006. *Biochimie : structure des glucides et lipides.* Faculté de médecine. Pierre et Marie Curie.
122. **TOU E.H., GUYOT J.P., MOUQUET C., ROCHETTE I., COUNIL E., TRAORE A.S., et TRECHE S., GUYOT JP.,** 2007. *Improving the nutritional quality of ben-alga, a traditional fermented millet-based gruel, by co-fermenting millet with groundnut and modifying the processing method.* LWT-Food Science and Technology, 40: 1561-1569.
123. **UNFPA, UNDP, UNICEF, BAD, COMESA, PAM, ONU FEMMES, ONN, BANQUE MONDIALE, PGDI, INSTAT.** 2014. *Enquête Nationale Sur le Suivi des indicateurs des Objectifs du Millénaire pour le développement à Madagascar.*

124. 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 in Industrial Crops and Products*. 44: 566-571.
125. VORAGEN F., SCHOLS H., VISSER R., 2003. *Advances in pectin and pectinase research*. Springer science and business media Dordrecht. 506 pages.
126. WATTS BB., YLIMAKI GL., JEFFERY L.E, ELIAS L.G. *Méthodes de bases pour l'évaluation sensorielle des aliments*. International Developpement Research Center. 1991.
127. WOLFF J.P., 1991. *Analyse et dosage des lipides*. In : MULTON J.L. *Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaire : Analyse des constituants alimentaires*, 2<sup>ème</sup> édition, tome 4, Lavoisier Technique et Documentation, Paris, p : 156-189.

### WEBIOGRAPHIE

1. <http://www.cfaitmaison.com/culinaire/pate-fruit.html>. Date de consultation 14/04/2011.
2. <http://www.1001fruits.net/pectine.php>. Date de consultation 12/08/2012
3. [fruit.htmlhttp://www.lesucre.com/fr/article/de-la-plante-au-sucre/les-proprietes-technologiques-du-sucre](http://www.lesucre.com/fr/article/de-la-plante-au-sucre/les-proprietes-technologiques-du-sucre). date de consultation 25/08/2012
4. [http://www.la\\_maison\\_des\\_bonbons.com](http://www.la_maison_des_bonbons.com) : Codes d'usages des pâtes de fruits. Date de consultation 25/08/2012.
5. <http://www.moringanews.org/documents/Compofeuilles.pdf>. Date de consultation 25/01/2012
6. <http://www.moringanews.org/moringa.html> Date de consultation 25/01/2012.
7. [http://www.alimentaire-pro.com/dossiers/conservation/pH\\_des\\_aliments.php](http://www.alimentaire-pro.com/dossiers/conservation/pH_des_aliments.php). Mesure du pH et conservation des aliments. Date de consultation 24/08/2012.
8. [http://www.guide-des-aliments.com/dietetique/detail\\_nutrition\\_tamarin-cru\\_1689.html](http://www.guide-des-aliments.com/dietetique/detail_nutrition_tamarin-cru_1689.html) date de consultation 29/08/2012
9. <http://www.nutritionnel.com/la-banane.html> Date de consultation 29/08/2012
10. <http://www.i-dietetique.com/?action=table-composition-aliment&id=1689> Date de consultation 29/08/2012

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

11. [www.fondationensemble.org/fichestech/FT\\_moringa.pdf](http://www.fondationensemble.org/fichestech/FT_moringa.pdf)). Date de consultation 21/04/2012
12. [www.moringanews.org](http://www.moringanews.org) Date de consultation 28/04/2012
13. [www.treesforlife.org/project/moringa](http://www.treesforlife.org/project/moringa) Date de consultation 19/04/2012
14. [www.madamaki.com/ananaambo.htm](http://www.madamaki.com/ananaambo.htm) L'ananaambo l'or vert. Date de consultation 13/11/2014.
15. [http://www.grezentransition.be/IMG/pdf/La\\_lactofermentation.pdf](http://www.grezentransition.be/IMG/pdf/La_lactofermentation.pdf). Date de consultation 30/09/2015



# ANNEXES

**Annexe 1** : Process de fabrication des pâtes de banane et de tamarin au *Moringa oleifera*



Triage et lavage des fruits, dénoyautage du tamarin.



Blanchiment et ramollissement des pulpes de banane et de tamarin.



Cuisson de la pulpe de banane et de tamarin dans du sucre à concentrations respectives de 50 % et 75 %. Cuisson jusqu'à réduction de la masse avec mesure de température qui doit être inférieure à 50°C.





Incorporation de la poudre de feuilles d'Ananambo aux différents taux tests : 10 %, 15 %, 17,5 % puis 30 % aux pâtes de banane et de tamarin. Etalage des pâtes dans des moules de 0,3 cm d'épaisseur.



Séchage des pâtes de tamarin et des pâtes exotiques à 45°C pendant 48 heures.



Découpage des pâtes de tamarin et exotiques en morceaux de 1,5 × 1,5 × 0,3 cm.



Obtention de pâtes de tamarin ou de pâtes de banane riches en protéines

## **Annexe 2:** Bulletin du test triangulaire

**CODE SUJET:**

**SEXE:**

**Handrana voaloany:** Manolona anao misy santiona 3, ka ny 2 amin' ireo dia mitovy ary ny iray dia hafa, ka hamariho iza amin' ireo santiona manolona anao no tsy mitovy, ary tsipihy.

<b>I</b>	184	532	386
<b>II</b>	532	386	184
<b>III</b>	386	184	532
<b>IV</b>	386	184	683
<b>V</b>	386	683	184
<b>VI</b>	184	386	683



**Annexe 3:** Questionnaire de classement des pâtes de banane et de tamarin aux concentrations 10 %, 15 %, 17,5 % de Moringa.

• Handrana voalohany:

Misy santiona manolona anao. Andramo izy ireo (izay amin'ny ankavia no andramana voalohany mankany ankavanana). Hanontaniana anao eto ny fitiavanao amin'ny ankapobeny manolona ireto sakafo telo ireto. Alaharo araka izay fitiavanao azy ireo santiona ireo dia soraty eo ambanin'ny kaody ny tarehimarika mifanaraka @ filaharany. Ka izay tianao indrindra amin'izy 3 no mitondra ny laharana "1" ary izay tsy tianao indrindra no mitondra ny laharana "3". Misaotra anao hanaraka ny fomba fanoratana eo ambony taratasy araka ny nazavaina anao teny am-piandohana

**326**

**645**

**689**

Mba hamarino azafady ny antony nandaharanao ireo sakafo tsirairay ireo ka soraty eo ambanin'ny kaody tsirairay ny valiny. Misaotra anao hanoratra ao anatin'ny efajoro ihany.

**326**

**645**

**689**

**Annexe 4:** Echelle d'appréciation des pâtes de fruits aux différentes concentrations de *Moringa*

CODE SUJET:

SEXE:

Manolohana anao misy santiona, ka hamariho ny fahitanao ny fitiavanao azy amin'ny haka-pobehany. Asio lakroa mifanandrify aminy valiny.

**Santiona n°**

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Tena ratsy be	Tena ratsy	Ratsy ratsy	Ratsy	Sady tsy tsara tsy ratsy	Tsara	Tsara tsara	Tena tsara	Tena tsarabe	
Extrêmement désagréable	Très désagréable	Désagréable	Plutôt désagréable	ni bon ni mauvais	agréable	Plutôt agréable	Très agréable	Extrêmement agréable	

**Annexe 5:** Tableau des nombres critiques

Nombres critiques de réponses correctes pour l'épreuve triangulaire

(Source : ASTM, 1968)

Nombre de tests effectués	Nombre critique de réponses correctes			Nombre de tests Effectués	Nombre critique de réponses correctes		
	5%	1%	0.1%		5%	1%	0.1%
6	5	6	-	41	20	22	24
7	5	6	7	42	20	22	25
8	6	7	8	43	21	23	25
9	6	7	8	44	21	23	26
				45	21	24	26
10	7	8	9	46	22	24	27
11	7	8	10	47	22	24	27
12	8	9	10	48	22	25	27
13	8	9	11	49	23	25	28
14	9	10	11				
15	9	10	12	50	23	26	28
16	9	11	12	52	24	26	29
17	10	11	13	54	25	27	30
18	10	12	13	56	26	28	31
19	11	13	14	58	26	29	32
20	11	13	14	60	27	30	33
21	12	13	15	62	28	30	33
22	12	14	15	64	29	31	34
23	12	14	16	66	29	32	35
24	13	15	16	68	30	33	36
25	13	15	17				
26	14	15	17	70	31	34	37
27	14	16	18	72	32	34	38
28	15	16	18	74	32	35	39
29	15	17	19	76	33	36	39
				78	34	37	40
30	15	17	19				
31	16	18	20	80	35	38	41
32	16	18	20	82	35	38	42

**Annexe 6:** Différence des sommes de classement par rang absolu critiques pour les comparaisons de tous les traitements à un seuil de signification de 5 %

**Différences des sommes de classement par rang absolu critiques pour les comparaisons de «tous les traitements» à un seuil de signification de 5 %**

Dégustateurs	Nombre d'échantillons									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	6	8	11	13	15	18	20	23	25	28
4	7	10	13	15	18	21	24	27	30	33
5	8	11	14	17	21	24	27	30	34	37
6	9	12	15	19	22	26	30	34	37	42
7	10	13	17	20	24	28	32	36	40	44
8	10	14	18	22	26	30	34	39	43	47
9	10	15	19	23	27	32	36	41	46	50
10	11	15	20	24	29	34	38	43	48	53
11	11	16	21	26	30	35	40	45	51	56
12	12	17	22	27	32	37	42	48	53	58
13	12	18	23	28	33	39	44	50	55	61
14	13	18	24	29	34	40	46	52	57	63
15	13	19	24	30	36	42	47	53	59	66
16	14	19	25	31	37	42	49	55	61	67
17	14	20	26	32	38	44	50	56	63	69
18	15	20	26	32	39	45	51	58	65	71
19	15	21	27	33	40	46	53	60	66	73
20	15	21	28	34	41	47	54	61	68	75
21	16	22	28	35	42	49	56	63	70	77
22	16	22	29	36	43	50	57	64	71	79
23	16	23	30	37	44	51	58	65	73	80
24	17	23	30	37	45	52	59	67	74	82
25	17	24	31	38	46	53	61	68	76	84
26	17	24	32	39	46	54	62	70	77	85
27	18	25	32	40	47	55	63	71	79	87
28	18	25	33	40	48	56	64	72	80	89
29	18	26	33	41	49	57	65	73	82	90
30	19	26	34	42	50	58	66	75	83	92
31	19	27	34	42	51	59	67	76	85	93
32	19	27	35	43	51	60	68	77	86	95
33	20	27	36	44	52	61	70	78	87	96
34	20	28	36	44	53	62	71	79	89	98
35	20	28	37	45	54	63	72	81	90	99
36	20	29	37	46	55	63	73	82	91	100
37	21	29	38	46	55	64	74	83	92	102
38	21	29	38	47	56	65	75	84	94	103
39	21	30	39	48	57	66	76	85	95	105
40	21	30	39	48	57	67	76	86	96	106
41	22	31	40	49	58	68	77	87	97	107
42	22	31	40	49	59	69	78	88	98	108
43	22	31	41	50	60	70	80	90	100	110

On se sert des valeurs exactes adaptées de Hollander et Wolfe (1973) jusqu'à 15 dégustateurs.

On peut se servir d'interpolation pour les valeurs de tableau non spécifiées faisant appel à plus de 50 dégustateurs.

**Annexe 7:** Bulletin du test de classement par rang d'acceptabilité du goût des pâtes de tamarin et de banane à 10 %, 15 %, 17 % et 30 % de Moringa.

<b>CODE SUJET:</b>		<b>SEXE:</b>	
Misy santiona 4 manolohana anao. Alaharo ireo santiona ireo araky ny hitiavanao ny hahamafy (consistence) ny pâtes de fruits. Ka ny santiona zay <u>tsy tianao ny tsiron'ny</u> noho mitondra laharana - , ary zay <u>tana tianao ny tsiron'ny</u> noho mitondra laharany +			
<b>Pates de tamarin:</b>			
643	281	017	326
-		+	
<b>Tena ratsy tsiro na tsy dia tena ratsy tsiro</b>		<b>Tena tsara be ny tsiron'ny</b> →	
langavina enao hanaraka ny torimarika teo aloha amin'ny santiona 4 manaraka.			
<b>Pates exotique</b>			
153	261	195	689
-		+	
<b>Tena ratsy tsiro na tsy dia tena ratsy tsiro</b>		<b>Tena tsara be ny tsiron'ny</b> →	
Misaotra anao tamin'ny fandraisana anjara			

**Annexe 8:** Composition des milieux de culture utilisés

✓ **Milieu Baid- Parker :**

Triptone.....10g  
 Extrait de viande.....1g  
 Chlorure de lithium.....5g  
 Extrait de levure.....1g  
 Glycine .....12g  
 Pyruvate de sodium.....10g  
 Tellure de potassium.....0,1g  
 Agar.....20g  
 Emulsion de jaune d'œuf.....50ml  
 Eau distillée qsp.....1L

✓ **MILIEU cristal violet et au rouge neutre biliée et lactosée (VRBL):**

Peptone .....7g  
 Extrait de levure.....3g  
 Sels biliés.....1,5g  
 Chlorure de sodium.....5g  
 Lactose.....10g  
 Rouge neutre .....0,03g  
 Cristal violet.....0,002g  
 Agar.....15g  
 Eau distillée qsp.....1L

✓ **MILIEU Eosine bleu de méthylène (EMB):**

Peptone .....10g  
 Lactose.....10g  
 Eosine.....0,4g  
 Bleu de méthylène.....0,0625g  
 Hydrogénophosphate de potassium.....2g  
 Agar.....15g  
 Eau distillée qsp.....1L

**Annexe 9:** Fiche de process de fabrication des pâtes de tamarin ou de banane

Masse du tamarin (g)
Quantité d'eau (ml)
Thermostat de la plaque
Début de cuisson (min)
Fin de cuisson (min)
Durée de cuisson (min)
Debut de broyage (min)
Fin de broyage (min)
Durée de broyage (min)
Puissance du broyage
Quantité de sucre(g)
Température des pâtes (°c)
Début de cuisson (min)
Fin de cuisson (min)
Durée de la cuisson (min)
Température atteinte en fin de cuisson (°c)
Temps d'arrêt de la cuisson (min)
Température des pâtes de tamarin (°c)
Quantité de Moringa (g)
Température en début d'incorporation (°c)
Température en fin d'incorporation (°c)
Temps de début d'incorporation (min)
Temps en fin d'incorporation (min)
Durée du process (min)

## ANNEXE 10: Certificat de consommabilité



REPUBLIKAN'I MADAGASIKARA  
Fitiavana - Tanindrazana - Fandrosoana

MINISTERE  
DE LA SANTE PUBLIQUE

-----  
SECRETARIAT GENERAL

-----  
AGENCE DE CONTROLE DE LA SECURITE  
SANITAIRE ET DE LA QUALITE DES DENREES  
ALIMENTAIRES

-----  
N° 0829 15/MSANP/SG/ACSQDA

### CERTIFICAT DE CONSOMMABILITE

Le Directeur de l'Agence de Contrôle de la Sécurité Sanitaire et de la Qualité des Denrées Alimentaires (ACSQDA) certifie que l'échantillon de **PÂTES DE FRUITS : pâtes de Banane aux feuilles de Moringa oléifera et pâtes de tamarin aux feuilles de Moringa oléifera**, adressé par la Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences des Aliments LABASAN, enregistré au Laboratoire de l'Agence de Contrôle de la Sécurité Sanitaire et de la Qualité des Denrées Alimentaires, Service d'Analyse et de Contrôle de Qualité des Aliments sous le N°0308/15 du 23/01/15, est **propre et sain** à la consommation humaine, d'après les résultats d'analyses faits au laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences des Aliments, au Laboratoire de microbiologie de l'HOMEOPHARMA et au Laboratoire de physico-chimie de l'ASJA

Ce certificat est délivré à **LABASAN** pour faire valoir et servir ce que de droit.

Antananarivo, le 23 JAN 2015

Le Directeur



Dr. RAZAFINDRAMONJY JEAN  
Médecin Diplômé d'Etat

Copie à :

- DPFPC
- Intéressé
- D-C-A



# PUBLICATIONS





REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA

FITIAVANA - TANINDRAZANA - FANDROSOANA

MINISTÈRE  
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



DIRECTION GÉNÉRALE DE LA RECHERCHE ET DU PARTENARIAT

## FORUM DE LA RECHERCHE

Antananarivo, 10-12 juillet 2012

Communication affichée

**Le 3ème Prix est décerné à**

*Andriambelo Harimalala Nirina et al*

Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition, Département de Biochimie Fondamentale et Appliquée (Faculté des Sciences), Département Agro-Alimentaire (ESSA) - Antananarivo

qui ont présenté la communication affichée intitulée « *introduction des feuilles de Moringa oléifera dans des pâtes de fruits tropicaux en vue de la lutte contre la malnutrition* ».

La présente attestation leur est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Antananarivo, le 12 juillet 2012

LE MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



*[Signature]*  
**RAZAFINDEHIBE Amette Etienne Hilaire**





# Introduction des feuilles de *Moringa oléifera* dans des pâtes de fruits tropicaux en vue de la lutte contre la malnutrition

HARIMALALA ANDRIAMBELO Nirina<sup>1</sup>, RASOARAHONA Felamboahangy<sup>2</sup>, RAZANAMPARANY Louisette<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculté des Sciences, Département de Biochimie Fondamentale et Appliquée, Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition (LABASAN), Antananarivo  
<sup>2</sup> Etablissement d'Enseignement Supérieur des Sciences Agronomiques (ESSA), Département Agro-alimentaire, Antananarivo.

## INTRODUCTION ET OBJECTIFS

L'alimentation du malagasy est pauvre en protéines, il en résulte ce qu'on appelle une malnutrition protéino-énergétique qui se traduit chez les jeunes enfants de moins de 5 ans par une insuffisance pondérale. Les causes majeures de la malnutrition sont les habitudes alimentaires inadéquates, les ressources naturelles mal utilisées, peu connues, l'éducation nutritionnelle insuffisante. Il en résulte une forte mortalité infantile-juvénile et maternelle dont la prévalence chez les jeunes enfants est de 48%. Madagascar est riche en ressources naturelles, c'est le cas du *Moringa oléifera* (dit aussi Ananambo ou Felamorony) qui pousse à l'état sauvage sur la côte est, le nord et la côte ouest Malagasy. C'est une plante qui connaît les mêmes vertus que la luzerne et la spiruline : elle est riche en protéines et très sollicitée par les pays d'Afrique dans la lutte contre la malnutrition. Madagascar est aussi riche en fruits, ils ne sont jamais absents du marché malgache. Les fruits sont pauvres en protéines moins de 0,5g /100g de produit et de mauvaises qualité biologique car déficitaires en certains acides aminés essentiels.

Ainsi est venue l'idée de valoriser l'ananambo et les fruits tropicaux pour suivre le plan d'action pour la nutrition, de diversifier les pratiques et les habitudes alimentaires. Nous avons donc conçu des pâtes de tamarin et exotique enrichies à l'ananambo.

## METHODES

### - Fabrication des pâtes de tamarin et des pâtes exotiques



Triage et lavage des fruits, dénoyautage du tamarin.



Blanchiment et ramollissement des pulpes de banane et de tamarin.



Cuisson de la pulpe de banane et de tamarin dans du sucre à concentrations respectives de 50% et 75%. Cuisson jusqu'à réduction de la masse avec mesure de température qui doit être inférieure à 50°C.



Incorporation de la poudre de feuilles d'ananambo aux différents taux tests : 10%, 15%, 17,5% puis 30% aux pâtes de banane et de tamarin. Etalage des pâtes dans des moules de 0,3 cm d'épaisseur.



Séchage des pâtes de tamarin et des pâtes exotiques à 45°C pendant 48 heures.



Découpage des pâtes de tamarin et exotiques en morceaux de 1,5x1,5x0,3 cm



Enrobage de sucre des pâtes de tamarin et des pâtes exotiques. Conditionnement en paquet de 10 morceaux.

### Les différentes étapes de validation du produit sont faites :

#### - Analyse sensorielle des pâtes de fruits enrichies

Les tests sont axés sur les consommateurs, il s'agit de faire des tests de classement par rang pour obtenir une indication sur le « goût des pâtes de fruits la plus acceptable ».

#### - Analyse microbiologique des pâtes de fruits enrichies

Les germes éventuels qui pourraient provoquer des intoxications alimentaires sont détectés et prévision de la Date Limite de Consommation des produits. Les germes suivants sont recherchés avec application des normes reconnues internationalement :

Germes	Critères	Méthodes
FAMT à 30 °C	1.10 <sup>3</sup>	NF ISO 4833 (2003)
E.coli	1.10	NF V 08 053
Staphylococcus aureus	1.10	NF V 08 057-1
Bacillus cereus	10 <sup>2</sup>	XP V 08-058 (1995 )
Coliformes Totaux	1.10 <sup>2</sup>	NF V 08-050 ( 1999)
Coliformes fécaux	1.10	NF V 08-060 (1996)
Salmonella sp.	Abs/25g	NF V 08 052

#### - Analyse physico chimiques des pâtes de fruits enrichies

Le dosage des différents éléments nutritionnels est réalisé: La teneur en humidité, la teneur en matière sèche, la quantité de lipides, de protéines, de glucides, de cendres et des éléments minéraux.

La quantité de protéines est déterminée par la méthode de KJELDAHL.



Appareil de dosage des protéines : minéralisateur et distillateur.



### - Résultats de l'analyse sensorielle

Un test de classement par rang axé sur le consommateur est réalisé. Les résultats ont montré que les pâtes de tamarin et exotiques à 30% sont trouvées comme meilleures par les juges au niveau du goût par rapport aux autres pâtes à 10%, 15%, 17,5%. Les pâtes de tamarin et exotique à 30% d'ananambo sont retenues comme complément nutritionnel pour la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique.

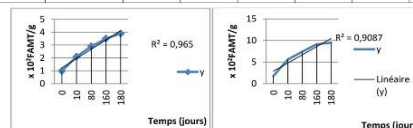
### - Résultats de l'analyse microbiologique

Les analyses microbiologiques sont réalisées sur les pâtes de tamarin et exotiques à 30% d'ananambo avec la détermination de la DLC. Les résultats sont présentés ci-dessous.

Germes des pâtes exotiques	D <sub>0</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>40</sub>	Critères	Méthodes
FAMT à 30 °C	1.8.10 <sup>2</sup>	5.6.10 <sup>2</sup>	7.4.10 <sup>2</sup>	9.1.10 <sup>2</sup>	9.5.10 <sup>2</sup>	1.10 <sup>3</sup>	NF ISO 4833 (2003)
Escherichia.coli	<1	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08 053
Staphylococcus aureus	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08 057-1
Bacillus cereus	1.5. 10	1.5. 10	1.5. 10	1.5. 10	1.5. 10	10 <sup>2</sup>	XP V 08-058 (1995 )
Coliformes totaux	5.10	5.4.10	6.3.10	6.4.10	6.4.10	1.10 <sup>2</sup>	NF V 08-050 ( 1999)
Coliformes fécaux	<1	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08-060 (1996)
Salmonella sp.	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	NF V 08 052
INTERPRETATION	CONFORME					DLC : y=2,66.10 <sup>3</sup> x+4,33 6 mois	

Germes des pâtes de tamarin	D <sub>0</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>20</sub>	D <sub>30</sub>	D <sub>40</sub>	Critères	Méthodes
FAMT à 30 °C	9.9.10	2.1.10 <sup>2</sup>	2.9.10 <sup>2</sup>	3.5.10 <sup>2</sup>	3.9.10 <sup>2</sup>	1.10 <sup>3</sup>	NF ISO 4833 (2003)
Escherichia .coli	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08 053
Staphylococcus aureus	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08 057-1
Bacillus cereus	1. 10	1.1. 10	1.1. 10	1.4. 10	1.4. 10	10 <sup>2</sup>	XP V 08-058 (1995 )
Coliformes totaux	6.1.10	7.2.10	7.3.10	7.5.10	7.5.10	1.10 <sup>2</sup>	NF V 08-050 ( 1999)
Coliformes fécaux	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08-060 (1996)
Salmonella sp.	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	NF V 08 052
INTERPRETATION	CONFORME					DLC : y=9,3.10 <sup>3</sup> x+1,857 2 ans et 4 mois	



Les résultats des analyses microbiologiques montrent que les pâtes de tamarin et exotiques sont de qualités satisfaisantes. La DLC, par la méthode mathématique est fixée à 6 mois pour les pâtes exotiques et 2 ans pour les pâtes de tamarin.

### - Résultats des analyses nutritionnelles

	Pâtes de tamarin enrichies	Pâtes de banane enrichies
poids moyen	1,47g	1,12g
Teneur en matières sèches MS%	90,6	96,6
Protéines totales%	7,8	9,9
Lipides %	1,1	1,3
Glucides %	78,17	76,87
Cendres %	2,9	4,3

Les résultats obtenus révèlent que les pâtes de tamarin enrichies contiennent 7,80 % de protéines et les pâtes exotiques contiennent 9,90 % de protéines. Ainsi les essais d'enrichissement ont permis d'obtenir un enrichissement des fruits de 10 à 15 fois plus et un paquet de pâtes de fruits de 10 morceaux peut apporter 50 à 60% des besoins protéiques journalier d'un enfant de moins de 5 ans.

## CONCLUSION

Cette étude a eu pour objectif de concevoir des compléments nutritionnels : des pâtes de fruits enrichies au *Moringa oléifera* pour contribuer dans la lutte contre la malnutrition protéino-énergétique. Les résultats consistent l'obtention et l'acceptabilité de nouveaux produits de haute qualité alimentaire à partir des ressources locales disponibles. Ces pâtes de tamarin et exotique ont des qualités nutritionnelles requises pour palier le besoin protéique des enfants de moins de 5 ans. Ces produits ayant passé toutes les étapes nutritionnelles seront mises incessamment à l'essai dans les cantines scolaires des écoles publiques puis vulgarisées pour la consommation. Cette étude étant une première à Madagascar, le transfert de technologie sera une source de travail pour les femmes paysannes dans la confection des pâtes de fruits.

## “Nutritional Quality of Fruit Pastes Enriched With *Moringa Oleifera* Leaves”

**Harimalala Andriambelo Nirina**

**Razanamparany Louisette**

Faculty of Sciences

Laboratory of Biochemistry applied to Food Science and Nutrition  
(LABASAN), Antananarivo

**Rasoarahona Felamboahangy**

University of Agricultural Sciences (ESSA)

Food processing Department

Antananarivo

### Abstract

*Madagascar is a predominantly rural country with a degree of rural poverty by more than 70% and characterized by a qualitative and quantitative food deficit. The diet is poor in protein; the proportion of protein is only 12% of energy intake. Sources of protein are available such as Moringa oleifera (ananambo) which are still marginalized by the population. Madagascar is also characterized by an abundance of fruits insufficiently utilized despite their annual provision. To enhance the Moringa oleifera and the use of fruits, processes for nutritional enrichment fruits with powder Moringa leaves have been developed to obtain fruit pastes. Six fruits have been testing in the design of those fruit pastes: banana, persimmon, papaya, guava, breadfruit and tamarind; The results of sensory analysis have allowed us to retain the banana paste and tamarind paste, enrichment Moringa has been achieved at rates of 10%, 15% and 17.5% to 30%. This has resulted in a protein enriched 10-15 times more. These fruit pastes with different levels have been hedonic tests: tamarind pulp and banana are much appreciated by consumers. Banana pastes and tamarind with 30% of Moringa are then used to help in the fight against protein-energy malnutrition. Microbiological analysis showed results in accordance with microbiological criteria a specific reference than 6 months (DLC). These products can help the fight against malnutrition as they provide 30 to 40% of the protein needs of a child less than 5 years.*

**Keywords:** Moringa oléifera, fruit pastes, enrichment, tropical fruits, malnutrition, expiry date for consumption (DLC)

### I- Introduction

In Madagascar, three quarter of the population rely on agriculture for their livelihood. Rural poverty rate is 70%. It is characterized by food insecurity (CFSVA, 2010). The average Malagasy diet is based on cereals; it is poor in plant and animal proteins (FAO, PAM.2013). Thus, demographic survey in 2008-2009 showed that 50% of children fewer than 5 suffer from chronic malnutrition, 24% of which is moderate and 26% acute severe (Plan National d'Action pour la Nutrition, 2012).

Madagascar is endowed with a variety of natural resources available, edible but in majority misused, little known, and lacking nutritional education. Among them, the Moringa oleifera (Ananambo ou Felamorongy), an unknown and wild plant growing in the Eastern, Northern and western parts of the island. It is relegated to the back by highlands population due to the lack of knowledge of its virtues and its insufficient availability. In Southern countries, it is a new nutritional and economic resource (De Saint Sauveur, Broin, 2010), with great demand for the fight against malnutrition in Africa (Ray-Yu Yang and al. 2006).

Madagascar has a great diversity and abundance of tropical fruits according to WHO surveys Taolagnaro and Antananarivo in 2005. 72, 6% of Malagasy eat less than 5 fruits a day (MinSan/OMS, 2005). Fruits contains less than 0,5g of proteins / 100g of products. They are deficient in some amino-acids, (Groupe intergouvernemental sur la banane et les fruits tropicaux, 2003), non-starch with a variable content in carbohydrates, very rich in water, fiber and micronutrients.



The objective of this study is to valorize *Moringa oleifera* leaves and tropical fruits to join the National Action Plan for Nutrition (*PNN, 2012*). It consists in making nutritional complements: fruit pastes enriched with *Moringa oléifera* leaves powder to contribute to fight against malnutrition.

## II-Materials et Methods

### 1. Materials

Collection of *Moringa oléifera* leaves is done on the East Coast, North Coast and West Coast, respectively in the region of Toamasina, Antseranana and Mahajanga (figure 1).

The East coast is exposed to trade winds and is hit by cyclones twice a year. Precipitations can reach three meters per year, which encourages luxurious and wet vegetation.

The Northern part is characterized by a tropical and dry climate divided into a dry and rainy seasons. Precipitations can reach two meters per year. The region is prone to tropical and humid forest.

In the West, dry and humid season are well marked. The climate is dry, savannah wooded with baobabs and tropical and dry forest. Average annual rainfall is one to two meters per year.

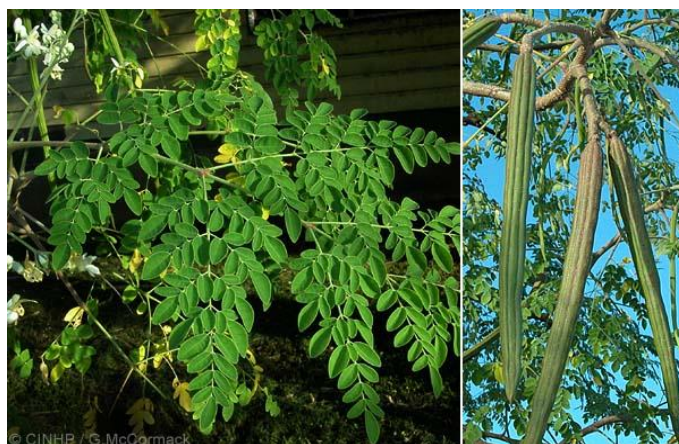


Figure1: Zones of harvest of the *Moringa* (<http://www.madaorchidee.free.fr>)

Figure 2: Bushes of *Moringa oleifera* (<http://www.ilovemoringa.com/MoringaOleifera.html>)

#### 1.1.1. *Moringa oleifera*

*Moringa oleifera* from northern India is acclimated in almost all tropical regions. It is a tree with thin trunk and aerial foliage. It can reach 3 to 10 meters high. Leaves are small, coming out in the dry season and drought periods. The tree carries white and yellow flowers from January to June. It carries continually green or brown capsules, 20 to 35 cm long (figure 2 and 3). *Moringa oleifera* is resistant to drought. It develops in arid or semi-arid conditions: it can adapt to all kind of conditions. (Foild and al, 2001).

**Figure 3: Branches with Leaves, Flowers and Fruits of *Moringa oleifera***

(<http://www.wikiherb.info/2012/08/moringa-moringa-oleifera-lamk.html>)

### 1.1.2. Fruits

Madagascar has a wide variety of fruits, many of which have been introduced in the country. It is the case of the guava (*Psidium Guajava*) which comes from South Africa, tamarind (*Tamarindus Indica*) from India and the Middle East (Trillard, 1999), banana (*Musa Acominata*) from Asia and India, papaya (*Carica Papaya*) from Mexico, grown in America, Asia and Africa. The island has a huge variety of fruits, some of which are available all through the year like banana, papaya and tamarind ([http://www.123fruits.com/article.php3?id\\_article=51](http://www.123fruits.com/article.php3?id_article=51))

## 2. Methods

### 2.1. Preparation of Samples

#### 2.2.1 Preparation of *Moringa*

Leafy branches of *Moringa* are cut from shrub, put in plastic bags and quickly transported to Antananarivo by road. They are taken to the laboratory where they are washed. Then leaves are pulled off, drained and sorted. Leaves are dried by spreading them over plastic jute sacks. They are regularly stirred: twice a day to avoid mold growing. The drying takes days in a well-ventilated room at 27°C. Dried leaves are transformed in fine powder with a mixer. Leaves powder are kept in plastic and non-transparent boxes, away from light. This powder will be used to enrich fruit pastes (De Saint Sauveur, Broin, 2010).

#### 2.2.2 Preparation of Fruits

Fruits are bought on the local market of Anosibe and taken to the laboratory. They are washed, drained before use: case of papaya, banana, persimmon and bread fruit. Tamarind is taken out from its shell and kernels are taken away.

#### 2.2.3 Making of Fruit Pastes

Fruits used to make fruit pastes are those that were available at the time of the study, i.e. from March: papaya, banana, persimmon, breadfruit and tamarind. Fruits are peeled, seeded, pitted, pulp only kept.

Classical fruit pastes are made with fruit pulp cooked with granulated sugar in equal proportions until reduction of the paste. The paste is ready when it pulls away from the recipient. This process is modified in the experimentation: quantity of granulated sugar for cooking are varied: 100%, 75% and 50% of the weight of the pulps. Pulp is first cooked for 10 minutes to soften at 50°C. Then sugar is added and the blend is cooked at 80°C until reduction (about 30 minutes).

#### 2.2.4 Incorporation of *Moringa*

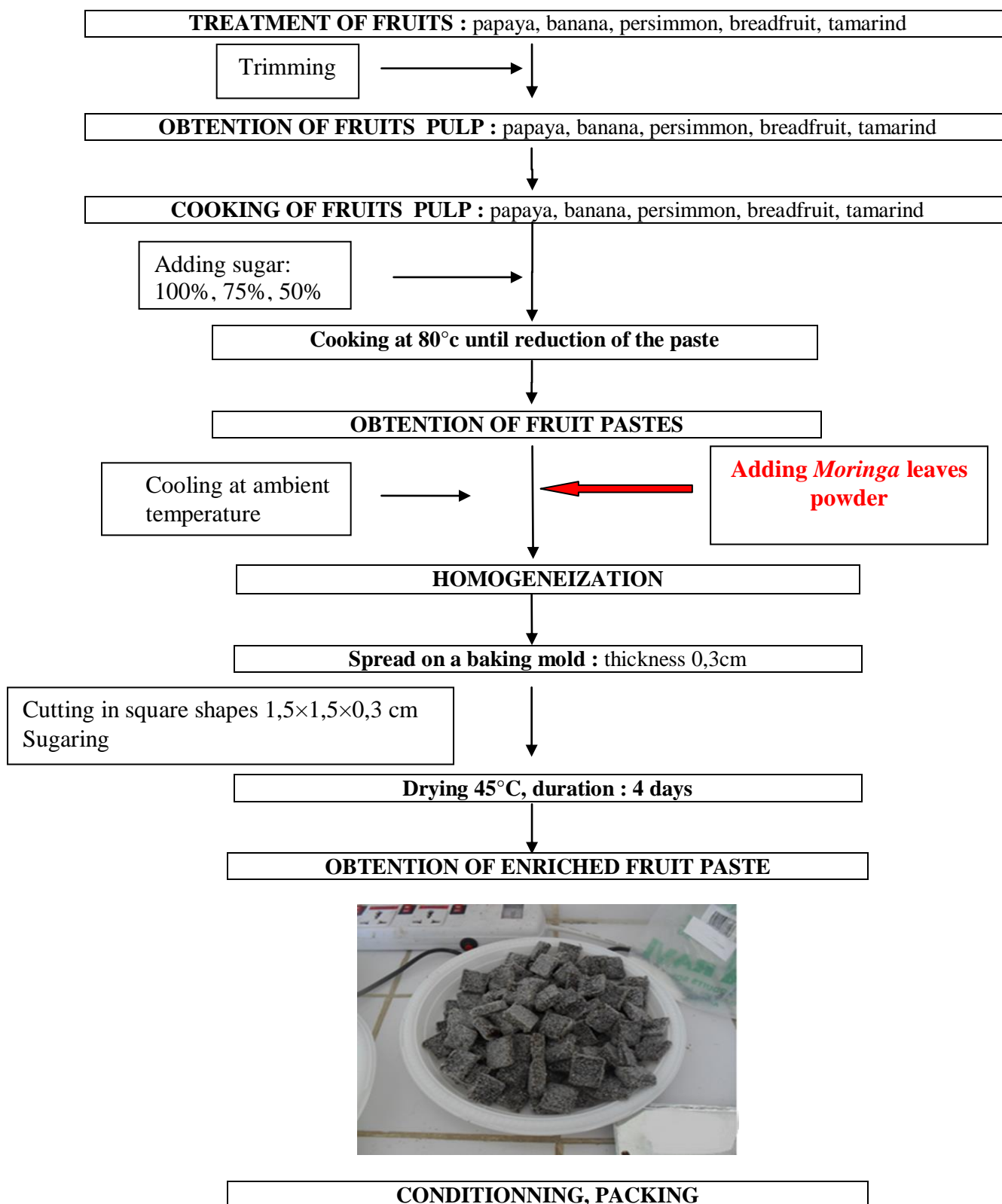
*Moringa* leaves powder is incorporated in fruit pastes progressively taking into account

- Temperature of fruit pastes which should be lower than 50°C
- Organoleptic properties of resulting products

- Daily protein requirement of a child under 5 year-old: 20 to 25 g /day (Latham, 2001).  
Incorporation rate of *Moringa* are set at 10%, 15%, 17, 5% then at 30% of pulp.

### 2.2.5 Diagram of Making Fruit Paste

The diagram of fruit paste making is shown in figure 4.



**Figure 4: Steps in Making Fruit Enriched with *Moringa*****2.2. Sensory Analysis of Enriched and Non-Enriched Fruit Pastes****2.2.1 Sensory Analysis of Non Enriched Fruit Pastes**

Sensory analysis is conducted by a panel of 10 judges. They are asked to give their appreciation on organoleptic properties of fruits pastes (papaya, banana, persimmon, breadfruit, tamarind) without *Moringa* added. After a training session, they proceed to the evaluation of the products on a rating scale from 0 to 9 on the following variables: texture, color, taste, bitterness, consistence, astringency. In order to highlight the correlation between the descriptors and the products, data are analyzed by principal component analysis (PCA) on XLSTAT.

The objective is to be able to choose which fruits paste suits better to enriching process.

**2.2.2 Sensory Analysis of Enriched Fruit Paste**

Sensory analysis of tamarind and banana enriched with different concentration of *Moringa* is done by men and women without age distinction, who have and have not yet tasted fruit pastes.

TRIANGULAR TEST (product-oriented) (Watts et al. 1991)

Perceptible difference between fruit pastes sample with and without *Moringa* is made with triangular test. Three coded samples are presented to judges: two are identical and one is different: judges must identify which one is different.

HEDONIC TEST (consumer-oriented)

To determine consumer's preference for fruit pastes with different concentrations of *Moringa*, a ranking test is done by 115 consumers selected randomly. Consumers tasted two series of enriched fruit pastes samples one by one and ranked their preference. (Score 1= most preferred sample, score 3 =not liked at all, score 2= intermediate). A difference analysis is made by comparing total rankings for all possible pairs using Friedman test (F) On XLSAT 15.1.01.

RANKING TEST (product-oriented)

In order to obtain an indication of the taste that would be most acceptable for fruit pastes, a ranking test is done by a panel of initiated tasters: they are asked to rank samples by tastes, without equality ; from less acceptable taste to most acceptable taste. (Cote 1= most acceptable taste and cote 4 = less acceptable taste with intermediate level).

**2.3. Physico-Chemical Analysis of *Moringa*, enriched Fruit pastes and non-Enriched fruits pastes (AFNOR, 1989)**

- Samples pH is measured with a pH meter (TACUSSEL type) on a sample solution at 20% in distilled water.
- Water content is determined by drying samples in a ventilated oven down to a constant weight to an accuracy of  $\pm 0,001$
- Lipid content is obtained by SOXHLET method: fat content is extracted with light petroleum by reflux system for seven hours.
- Protein quantity is determined by KJELDAHL method by mineralization of the sample with sulfur acid. Nitrogen quantity is determined by acidimetric.
- Ash quantity is determined by calcination of the sample in a muffle furnace for 16 hours at 600°C. Amount of mineral elements (sodium, potassium and magnesium) are measured from ash with an atomic absorption spectrophotometer.
- Glucid content is obtained by difference : % Glucid =  $100 (\%H_2O + \%Protein + \%Lipid + \% crude ash)$
- Energy value of the food is obtained by multiplying each macro nutrient content by Atwater index. Index values are :
  - 1g of protein provides 4 Kcal
  - 1g carbohydrates provides 4 Kcal
  - 1g lipid provides 9 Kcal

Energy value of the sample to be analyzed is obtained by the following formula

$$\text{Energy value} = (\text{Glucid} \times 4) + (\text{Protein} \times 4) + (\text{Lipid} \times 9).$$

## 2.4. Microbiological Analysis of Enriched Fruit Pastes

Microbial identification is done using standard microbiological methods. (GUIRAUD et Al, .2010.)

25g of product and 225 g of Tryptone Water Salt are suspended in a sterile bag. Homogenization is made with a mixer « stomacher ». Initial suspension is obtained (*NFV 08 002*). Serial dilutions:  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  to count the viable microorganisms at 30°C (*NFV 08 010*).

- Total viable count is identified and counted on a Plate Count Agar (PCA) after a 72hour-incubation at 30°C.
- Counting of *Escherichia coli* is done onto a EMB plate after a 24-hour incubation at 44 °C.
- Counting of *Staphylococcus aureus* is done in a selective yellow solid medium, which inoculation is made on surface and with 24-hour incubation at 37°C.
- Counting of *Bacillus cereus* is done in a MOSSEL medium. Incubation is at 30°C for 24h.
- Total and fecal coliforms are counted on agar-plate culture of crystal violet and neutral red with bile and lactose. (**VRBL**). Culture is done by seeding in sandwich de 1ml of the and for fecal coliform: 44°C for 24h.
- Detection of *Salmonella* is done onto a HEKTOEN ENTERIC AGAR plate after 24-hour at 37°C.

Best-before date of fruit paste is determined from products aging experience by proceeding to regular samplings. Measurement of this population is done by counting on petri dishes.

## III- Results and Discussion

### III.1. Sensory Analysis of Non Enriched fruit pastes

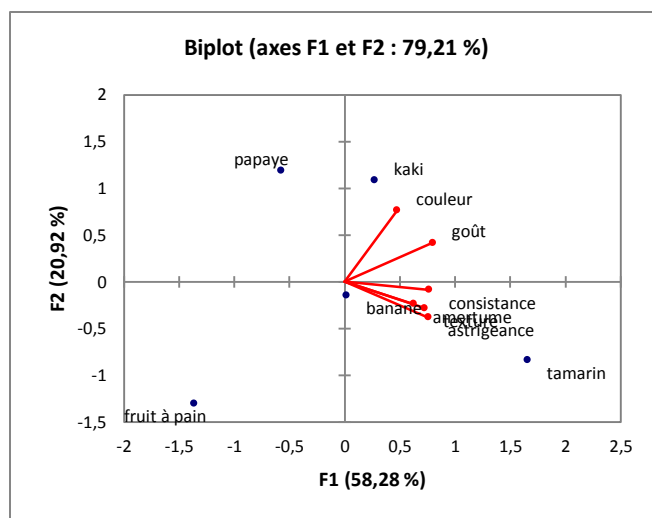


Fig. 5: Sensory Profile of tastes fruits

In this study, some fruits have been tested: papaya, tamarind, and persimmon. Those fruits are cooked successively in sugar in the following proportions: 50/100, 75/100 and 100/100. Indeed, sugar plays an important role in the making of fruit pastes. It reinforces organoleptic properties of products, lowers water activity and maintains the cohesion of gels made of molecules of fruit pectin by trapping water molecule around it.

Various fruit pastes obtained undergo organoleptic tests to determine different descriptors that will help choose fruit pastes to be enriched. Figure 5 presents 79, 21% of all information about the products and their descriptors.

Banana and tamarind on the basis of the following descriptors: consistency, texture, astringency, bitterness are considered for the making of fruit pastes enriched with *Moringa*.

Nutritional analysis is made for those banana and tamarind. (tableau 1).

### III. 2. Nutritional Analysis of fruits and *Moringa*

**Table1: Nutritional Composition of tamarind and banana**

Analysis	Tamarind	Banana
Humidity H%(g for 100g of raw material)	27,52	46,22
Dry matter content MS% (g for 100g raw material)	72,48	53,78
pH at room temperature	2,7	5,0
Total protein (g/100gMS)	0,87	0,70
Lipids (g/100gMS)	0,23	0,43
Carbohydrates (g/100gMS)	61,86	49,71
Ash (g/100gMS)	9,52	2,94
Fiber (g/100gMS)	1,18	0,40
Sodium (mg/100gMS)	32	3
Potassium (mg/100gMS)	-	74
Magnesium (mg/100gMS)	19	58
Calories (Cal)	252,99	205,51

Results show relatively high water content for tamarind and banana: 27,52% et 46,22% . Dry matter content is also high: 72, 48% for tamarind and 53, 78% for banana. They are poor in proteins (0, 87% and 0, 70%), in lipid (content inferior to 1%), but rich in carbohydrates (61, 86% and 49, 71%). These are very energetic food: 100g of tamarind bring 252,99cal and 100g of banana 205, 51 Cal.

Low protein content justifies enriching process of these fruits. The results of nutritional analysis of *Moringa* collected in different regions are in table 2.

**Table 2: Composition of *Moringa oléifera***

Analysis	Fresh leaves Antseranana	Fresh leaves Toamasina	Fresh leaves Mahajanga	Leaves powder Mahajanga
Humidity H%(g for 100g of raw material)	56,26	60,26	49,10	5,63
Dry matter content MS% (g for 100g of raw material)	43,74	39,74	50,90	94,37
pH at room temperature	5,5	5,8	5,5	5,5
Total protein %	15,22	12,42	12,07	23,60
Total protein (g/100g dry matter)	34,79	31,25	23,71	25,00
Lipid %	4,99	6,37	6,01	5,61
carbohydrates%	11,87	11,17	22,61	55,43
Ash %	11,66	9,78	10,21	8,33
Energetic value (Kcal)	153,27	151,69	192,81	366,61
Sodium (mg/100gMS)	-	10,1	-	19
Potassium (mg/100gMS)	22	-	-	1,8
Magnesium(mg/100gM)	10	87	-	71

Humidity content of fresh leaves is very high: 56, 26% for Antseranana, 60, 26% for Toamasina and 49, 10% for Mahajanga.

Vegetal material is dried, ground and analyzed. Nutritional analysis showed: the importance of dry matter (94, 37%) and a higher amount of nutritional elements inputs: protein content of 25g for 100g of dry matter 55, 43% of carbohydrates content and energetic input of 366,61kcal.

Thus, dry leaves of *Moringa* will be used in the enriching process: addition of 10%, 15%, 17, 5% and 30% of *Moringa*. Tamarind and banana pastes enriched were subject to sensory analysis.



### III. 3. Sensory Analysis of Enriched Fruit Pastes

Triangular test: 11 out of 18 individuals identified tamarind fruit pastes that were enriched. 13 out of 18 individuals identified enriched fruit pastes for banana. According to critical numbers tables for triangular tests:  $n$  and  $n' > 9$  (9 is the critical number of correct answers at 5%). This means that judges found a perceptible difference between tamarind and banana pastes with and without *Moringa*.

Hedonic test :

- ✓ Case of tamarind pastes: Friedman test gives a p-value ( $p = 0,0001$ ) which is inferior to significance level  $\alpha = 0,05$ . There is a significant difference between tamarind and banana pastes with different concentrations of *Moringa* : paired comparison test in table 3 at significance level  $\alpha$  shows that tamarind pastes at 10% are different from those at 15% and 17,5%, and there is no difference between tamarind paste at 15% and 17,5%. Thus, tamarind pastes at 17,5% are as much appreciated as those at 15% by consumers.

**Table 3 : Multiples Comparisons by Pairs with Nemenyi Procedure / Bilateral Test**

Sample	Sample size	Sum of ranks	Average of ranks	Groups
pt 17,5% 17	115	270,000	2,348	B
pt 15% 643	115	221,000	1,922	B
pt 10% 326	115	199,000	1,730	A

- ✓ Case of banana pastes: Friedman test gives a p-value ( $p = 0,112$ ) higher than the significance level  $\alpha = 0,05$ . Thus, there is no significant difference between banana pastes with different concentration of *Moringa*. This result is confirmed by multiple paired comparison test (table 4) Consumers appreciate banana paste with *Moringa* at 10% and 15% as well as at 17,5%.

**Table 4 : Multiple Paired Comparisons with Nemenyi Procedure / Bilateral Test**

Sample	Sample size	Sum of ranks	Average of ranks	Groups
pb 15% 261	115	218,000	1,896	A
pb 17,5% 195	115	224,000	1,948	A
pb 10% 689	115	248,000	2,157	A

Protein content is measured for tamarind and banana pastes (table 5).

	Tamarind pastes 17,5%	Banana pastes 17,5%
Average weight (g)	1,47	1,12
Humidity H%	10,10	15,20
Dry matter content MS%	89,90	84,80
Total protein (g/100g of dry matter)	1,35	1,44

**Table 5: Protein Content of Tamarind and Exotic Pastes with 17,5% of Moringa**

Results show: low protein content in fruit pastes at 17,5% at *Moringa*: 1,35% and 1,44%. Conditioning is set for 10 per packet, equivalent to a protein contribution of 0,19 g/ packet. This contribution is very inferior to WHO recommendation (25 to 30g daily intake for children under 5 years). Quantity of *Moringa* in tamarind and banana pastes is increased to a maximum incorporation: 30%.

Ranking test: Differences between pair ranking sum are in table 7 and ranking test of fruit pastes are in table 6. Critical value for  $p < 0,05$  for 14 tasters and samples is 9 (table of difference of sum of absolute ranks for the comparisons of all treatments at a significant threshold of 5%) : Differences between samples of tamarind pastes (10% - 17,5%) and (10% - 30%) and (15% - 30%) and (17,5% - 30%) are significant as well as for banana paste : (10%-30%) and (15%-30%) and (17,5% - 30%).

Tamarind paste	10%	15%	17,5%	30%
Sum of rankings	44	36	34	23
Banana paste	10%	15%	17,5%	30%
Sum of ranking	44	42	35	19

**Table 6: Sum of ranks for tamarind and banana paste**

**Table 7: Results of the Ranking Test**

Products considered	Number of good answers : X	Comparisons
pt10% - pt 15%	44-36= 8	X<9
pt10% - pt 17, 5%	44-34= 10	X>9
pt10% - pt 30%	44-23= 21	X>9
pt15% - pt 17, 5%	36-34= 2	X<9
pt15% - pt 30%	36-23= 13	X>9
pt17, 5% - pt 30%	34-23= 11	X>9
Products considered	Number of good answers : X	Comparison
pb10% - pb15%	44-42= 2	X<9
pb10% - pb 17,5%	44-35= 9	X=9
pb10% - pb 30%	44-19= 25	X>9
pe15% - pe 17,5%	42-35= 7	X<9
pb15% - pb30%	42-19= 23	X>9
pb17,5% - pb 30%	35-19= 16	X>9

pt: tamarind paste ; pb: banana paste

Tamarind and banana pastes at 30% of *Moringa* are not so different from those at 10%, 15% and 17,5%. According to ranking test tamarind and banana pastes at 17,5% of *Moringa* were accepted in hedonic analysis and since the objective is to increase to its maximum the protein content. Thus, it can be considered that tamarind and banana fruit pastes with 30% of *Moringa* content can be taken as a dietary complement.

Nutritional analysis is done on new fruit pastes (tamarind and banana) and results are shown in table 8

	Enriched tamarind fruit pastes	Enriched banana fruit pastes
Average weight	1,47g	1,12g
pH	3,4	3,4
Humidity H% (g for 100g of raw material)	9,4	3,4
Dry matter content MS% (g for 100g of raw material)	90,6	96,6
Total protein (g/100g dry matter)	8,60	10,24
Lipid (g/100g dry matter)	1,21	1,34
Carbohydrates (g/100g dry matter)	78,17	76,87
Ash (g/100g dry matter)	2,62	4,15
Energy value (Kcal)	354,34	371,80

**Table 8: Chemical Composition of the Fruits Pastes Enriched**

Results obtained show that tamarind pastes enriched contain 8,60 g of protein for 100g of dry matter and banana pastes contains 10,24 g of protein for 100g of dry matter. Thus, tests gave a protein enrichment of fruits 10 to 15 times higher. Tamarind and banana pastes bring up 30 to 40% of daily protein needs of a child under 5.

As for energy value, each bit of tamarind and banana paste bring an average of 5, 20 kcal and 4, 16 kcal. As it is a new food product, it is useful to conduct a microbiological analysis and determine its expiry date. Results are shown in table 9, graphs 1 and 2.

Germes in banana pastes	D <sub>0</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>80</sub>	D <sub>160</sub>	D <sub>180</sub>	Criteria	Methods
FAMT à 30 °C	1.8 10 <sup>2</sup>	5.6.10 <sup>2</sup>	7.4.10 <sup>2</sup>	9.1.10 <sup>2</sup>	9.5.10 <sup>2</sup>	1.10 <sup>3</sup>	NF ISO 4833
<i>E.coli</i>	<1	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08 053
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08 057-1
<i>Bacillus cereus</i>	1.5. 10	1.5. 10	1.5. 10	1.5. 10	1.5. 10	10 <sup>2</sup>	XP V 08-058
Total Coliforms	5.10	5.4.10	6.3.10	6.4.10	6.4.10	1.10 <sup>2</sup>	NF V 08-050
Fecal coliforms	<1	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08-060
<i>Salmonella sp.</i>	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	NF V 08 052
<b>INTERPRETATION</b>	<b>CONFORM</b>						<b>Equation of expiry date :</b> <b>y=2,33x +537,2</b> <b>expiry date : 5 months et 5days</b>

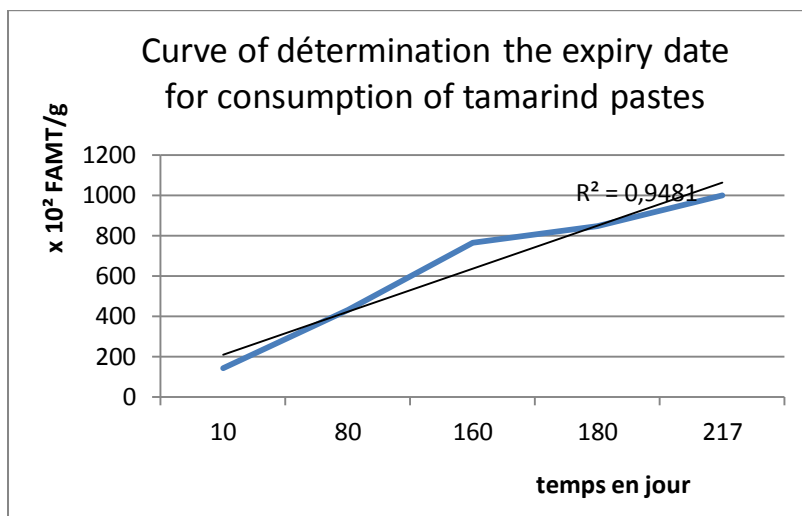
Germes in tamarind pastes	D <sub>0</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>80</sub>	D <sub>160</sub>	D <sub>180</sub>	Crîtèria	Methods
FAMT à 30 °C	0,99.10 <sup>2</sup>	1,405.10 <sup>2</sup>	4,31.10 <sup>2</sup>	7,63.10 <sup>2</sup>	8,46.10 <sup>2</sup>	1.10 <sup>3</sup>	NF ISO 4833
<i>E.coli</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08 053
<i>Staphylococcus aureus</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08 057-1
<i>Bacillus cereus</i>	1. 10	1.1. 10	1.1. 10	1.4. 10	1.4. 10	10 <sup>2</sup>	XP V 08-058
Total coliforms	6.1.10	7.2.10	7.3.10	7.5.10	7.5.10	1.10 <sup>2</sup>	NF V 08-050
Faecal coliforms	Abs	Abs	Abs	Abs	Abs	1.10	NF V 08-060
<i>Salmonella sp.</i>	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	Abs/25g	NF V 08 052
<b>INTERPRETATION</b>	<b>CONFORM</b>						<b>Equation of expiry date :</b> <b>y= 4,15x + 0,99.10<sup>2</sup></b> <b>Expiry date : 7 months et 3 days</b>

Table 9: Microbiological results and expiry date

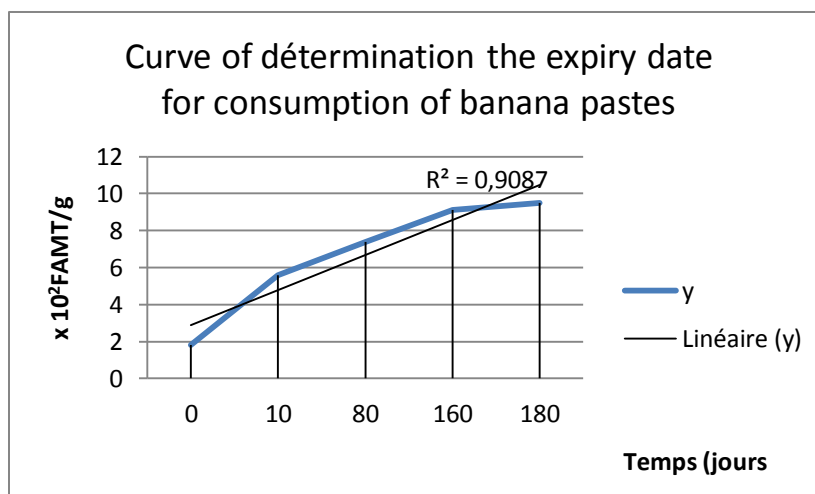
Tamarind and banana enriched with *Moringa* all contain a FAMT (1, 8.10<sup>2</sup> - 9, 9.10) but with concentration inferior to microbiological criteria of reference (1.10<sup>3</sup>). This is probably due to the air-drying of *Moringa* because it did not undergo any thermic treatment. Total coliforms are found in the two products (5.10- 6.1.10) but in line with standards (1.10<sup>2</sup>); fecal coliforms *Staphylococcus aureus* and salmonella at the root of toxic- infections are not found in the two products. Bacteria at the roots of food poisoning such as *Escherichia coli* are absent from tamarind and banana pastes. However, *Bacillus cereus* is found in both products at rate inferior to the standard (10<sup>2</sup>): 1.5. 10 - 1. 10. From these results, it can be said that tamarind and banana pastes have acceptable microbiological quality.

This results partly from the antibacterial role of sugar. It bonds with water molecules and makes them unavailable for the growth of microorganisms which need it for their development. On the other hand, this also thanks to acid pH of fruit paste (3, 4) pathogens that cannot develop well at a pH inferior to 4. Indeed, ideal pH for the growth of bacteria varies from 6, 5 to 7, 5. Stove-drying also enables conservation by water reduction in fruit pastes. Low water content (10, 10% - 15, 20%) also contributes to non-proliferation of microorganisms.

For tamarind and banana pastes, expiry date is given by linear regression line from graphs 1 and 2. For tamarind paste: y= 4,15x + 0, 99.10<sup>2</sup>, which gives an expiry date of 7 months and 3 days. For banana paste: y=2, 33 x + 537,2 and expiry date is 6 months and 5 days.



Graph 1: Curve of growth of the FAMT in the Tamarind pastes



Graphs 2: Curve of growth of the FAMT in the banana pastes

#### IV. Conclusion

Our results allowed us to reach our set target: banana and tamarind, poor in protein are enriched with vegetable leaves: *Moringa* which is little used in diet but rich in protein. Valorization consisted in making fruit pastes: tamarind pastes and banana pastes with *Moringa*. Enriching of fruits is 10 to 15 times higher. Incorporation of *Moringa* is 30%. These are products processed from fruits and sugar. Sugar, in addition to bringing in organoleptic properties, reduces water activity in the products, inhibits bacterial development and helps maintain cohesion of gels in fruit pastes. Acidity rate, low water content and the drying of fruit pastes at 45°C (partial dehydration) contributes also to the inhibition of bacterial development. Products with good microbiological quality and an expiry date over 6 months are obtained. These products will be soon tested in school canteens.

#### V. Acknowledgment

We extend our address to:

HOMEOPHARMA for welcoming us in their laboratories

## VI. Bibliography

- AFNOR., 1989. Contrôle de la qualité des produits alimentaires. Méthodes d'analyse officielle, 1ère éd. Paris, 373 p
- AFNOR., 2002. Microbiologie alimentaire, méthodes de routines et évaluation d'une méthode alternative. 8<sup>ème</sup> édition. Tome 2.
- AUBERT S., CHEVAUSSUS-AGNES S., CIRAD-FLOHR., DELPEUCH F., et AL. 1993 Répertoire des aliments : Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillette d'Afrique. Vol3 INRA, TEC et DOC et ORSTOM
- BONNEFOY C., GUILLET F., LEYRAL G., VERNE BOURDAIS E., 2002. Microbiologie et qualité dans les industries agroalimentaires Editions Doin. 245 pages
- Comité des produits. Groupe intergouvernemental sur la banane et les fruits tropicaux. 2003. Fruits tropicaux : leurs valeurs nutritionnelles, leur biodiversité et leur contribution à la santé. Puerto de la Cruz- Espagne.
- DELACHARLIE S., DE BIOURGE S., CHENE C., SINDIE M ; DERAONNE C., 2008. HACCP organoleptique : guide pratique. Editeur Glombloux, Presse agronomique. p 82, 85, 88.
- De Saint Sauveur A., Broin M. 2010. Produire et transformer les feuilles de moringa. Moringa News/ Moringa association of Ghana. 36 pages.
- DESBORDES D. BLACHIER MJ., 2003 Qualité microbiologique des fruits et légumes : flores, altérations, risques sanitaires, prévention Sous la direction de Marie Jeanne Enseignant Chercheur à l'ISARA.
- ETIEVANT A., DELOLME X., 2011. Formulation des préparations de fruits. Collection documentaire technique et scientifique. Agroalimentaire.
- FAO., PAM., 2013. Mission FAO/PAM d'évaluation de la sécurité alimentaire à Madagascar : Rapport spécial. 75 pages.
- FOILD N., MAKKAR HPS., BECKER K. Potentiel de développement des produits du *Moringa* : Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. 2001. 20 pages.
- FRANCOIS M., 2008. Transformer les fruits tropicaux. Collection le point sur les technologies. GRET, Ministère de la coopération CTA-ACCT, P127-135.
- GUIRAUD JP., 2003. Microbiologie alimentaire. Edition Nathan. 400p.
- GUIRAUD JP., ROSEC P., 2010. Pratique des normes en microbiologie alimentaire. Editeur : AFNOR. 300 pages.
- LEGUERINEL Y., Détermination des Dates Limites de Consommation. Institut Universitaire de Technologie de Quimper.
- LATHAM M.C., La nutrition dans les pays en développement. FAO 2001.
- LATIEUT M., PLANCHON V., MOONS E. Évaluation par l'analyse sensorielle des qualités organoleptiques d'anciennes variétés de pommes. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2001 5 (3), 180–188.
- NDONG M., WADE S., DOSSOU N., GUIRO A.T., DIAGNE GNING R. 2007. Valeur nutritionnelle du *Moringa Oleifera*, Etude de la biodisponibilité du fer, effet de l'enrichissement de divers plats traditionnels sénégalais avec la poudre de feuilles. African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development, Vol. 7, No. 3, 2007 Vol. 7, Num. 3, 2007
- Programme Alimentaire Mondial, Programme d'Appui à la Résilience aux Crises Alimentaires de Madagascar. 2010. Comprehensive food and nutrition Security and vulnerability analysis (CFSNVA) dans les zones d'intervention de PARACEM/FIDA Madagascar. Rapport final. 34 pages.
- RAMBOATIANA F., (1997-2010). Contribution à l'étude de fruits séchés comme support de remède homéopatique : cas de la purée de papaye séchée. Mémoire de fin d'étude.
- YANG R. Y., CHANG L.C., HSU J. C., WENG B.B.C., PALADA M.C., CHADHA M.L., LEVASSEUR V., 2006. Nutritional and Functional Properties of Moringa Leaves from Germplasm, to Plant, to food, to health. 9 pages.
- RAZAFINDRAKOTO S. 2010. Barres de céréales au Moringa à la banane séchée et à l'ananas séché. Diplôme d'Ingénieur Agronome spécialisé en Industrie agroalimentaire.
- République de Madagascar, 2012. Plan National d'Action pour la Nutrition. 92 pages.
- SANAA M., 2002. Microbiologie prévisionnelle : les principaux modèles de croissances utilisés en appréciation quantitative des risques. Epidémiologie et santé animale, 41, 169-177.

SAINT SAUVEUR A., BROIN M. 2010. *Moringa* et autres végétaux à fort potentiel nutritionnel : L'utilisation des feuilles de *Moringa oleifera* contre les carences alimentaires : un potentiel encore peu valorisé. Accra, Ghana, 16-18 novembre 2006.

TRILLARD M., 1999. Madagascar. Edition Marcus. Page 23. 80pages.

UNICEF, 2011 Rapport national Madagascar : Analyse de la pauvreté des enfants à Madagascar.

VANISHIA S. NAMBIAR 2006. Potentiel nutritionnel des feuilles de *Moringa* : une perspective indienne. Department of Foods and Nutrition. A WHO- Collaborating Center for Nutrition Research.

WATTS BB, YLIMAKI GL., JEFFERY LE, ELIAS LG., 1991. Méthodes de bases pour l'évaluation sensorielle des aliments. International Development Research Center

### **Web Bibliographies**

Lutte contre la malnutrition – suite « Enfants du monde [www.edm.org/lutte-contre...Madagascar/lutte-contre-la-malnutrition-suite](http://www.edm.org/lutte-contre...Madagascar/lutte-contre-la-malnutrition-suite) Consulter le 24Février 2014.

Prolivim : une solution aux carences du monde. - Carinna [www.carinna.fr/eng/.../Prolivim-une-solution-aux-carences-du-monde](http://www.carinna.fr/eng/.../Prolivim-une-solution-aux-carences-du-monde). Consulter le 24Février 2014.

<http://www.madaorchidee.free.fr>

<http://www.wikiherb.info/2012/08/moringa-moringa-oleifera-lamk.html>

<http://www.ilovemoringa.com/MoringaOleifera.html>

[http://www.123fruits.com/article.php3?id\\_article=51](http://www.123fruits.com/article.php3?id_article=51)

## Analyse du profil de texture (tpa) et caractérisation physicochimiques des pâtes de tamarin enrichies en feuilles de *moringa oleifera*

Nirina HARIMALALA ANDRIAMBELO<sup>1\*</sup>, Céline LAFARGE<sup>2</sup>, Rémi SAUREL<sup>2</sup>  
et Louissette Julia RAZANAMPARANY<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Biochimie Alimentation et Nutrition, Département de Biochimie Fondamentale et Appliquée,  
Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar

<sup>2</sup> Procédés Alimentaires et Physico-Chimie Département, UMR PAM, AgroSup Dijon/Université de Bourgogne,  
1 Esplanade Erasme, 21000 Dijon, France

\* Correspondance, courriel : [ihary06@yahoo.fr](mailto:ihary06@yahoo.fr)

### Résumé

Le but de cette étude était de caractériser les propriétés physicochimiques (Aw, couleur, teneur en eau) et rhéologiques (analyse du profil de texture) des pâtes de tamarin enrichies avec différentes teneurs en *Moringa oleifera*. Cette supplémentation permet d'accroître la teneur protéique des produits et ainsi de participer activement au programme national de Madagascar pour la nutrition. Cette étude a permis de définir la limite haute d'acceptabilité d'ajout en *Moringa oleifera*. Au-delà d'un ajout de 30% en *Moringa oleifera* dans les pâtes de tamarin, les propriétés texturales et physicochimiques sont significativement différentes. En parallèle, une étude de vieillissement des différents produits sur 30 jours a été réalisée. Cette étude démontre le potentiel d'exploitation industriel des pâtes de tamarin enrichies avec 30% de *Moringa oleifera*. Ainsi ce produit alimentaire contribuera activement au plan d'action national pour la nutrition tout en valoriser les ressources naturelles de Madagascar.

**Mots-clés :** *pâtes de fruits, moringa oleifera, tamarin, profil de texture, propriétés physicochimiques.*

### Abstract

**Texture profile analysis (tpa) and physicochemical properties study of tamarins jelly enriched with *moringa oleifera* leaves**

The purpose of this study was to characterize the physicochemical properties (Aw, color, relative humidity) and rheological properties (texture profile analysis) of tamarind pastes enriched with different quantities of *Moringa oleifera*. This supplement helps to increase the protein content of the products and thus actively participate in the national program for nutrition in Madagascar. This study has identified the upper acceptability limit of adding in *Moringa oleifera*. Beyond the addition of 30% of *Moringa oleifera* in fruit pastes, textural and physicochemical properties are significantly different. In parallel, a study of aging for all the above products over 30 days was carried out. This study highlights the potential for industrial exploitation of Tamarind pastes enriched with 30% *Moringa oleifera*. In this way this food would contribute actively in the nation action plan of nutrition of Madagascar while encouraging the natural resources of Madagascar.

**Keywords :** *fruits pastes, Moringa oleifera, tamarin, texture profile analysis, chemico-physical properties.*

## 1. Introduction

Cette étude a pour objectif de valoriser les ressources naturelles de Madagascar tout en contribuant activement au plan d'action national pour la nutrition. En effet, à Madagascar, la malnutrition protéino-énergétique est un problème de santé public qui touche une grande partie de la population malgache essentiellement rurale : 77% des ménages vivent en dessous du seuil de pauvreté (Food and Agriculture Organisation of the United Nation 2009). La malnutrition chronique touche un enfant sur deux, 13% des enfants sont atteints de malnutrition aigüe, tandis que 42% des enfants et 21% des femmes en âge de procréer souffrent d'insuffisance pondérale. Les pratiques alimentaires inadéquates, la rigidité des habitudes alimentaires, ainsi que les ressources mal utilisées sont parmi les causes majeures de malnutrition [1]. En effet, l'alimentation de la majorité de la population est basée sur le riz et les compléments nutritionnels sont absents du régime alimentaire [2]. Ainsi la prévalence de la malnutrition protéino-énergétique associée à une carence en micronutriments est très élevée. Or, Madagascar regorge d'aliments potentiellement énergétiques susceptibles d'être utilisés dans cette lutte contre la malnutrition tels que les fruits et les légumes-feuilles. Parmi ces légumes-feuilles, le *Moringa oléifera* est en plein essor.

*Moringa oléifera* (famille des Moringaceae) est un arbre ou un arbuste originaire des Indes, introduit en Afrique au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Il pousse sous les climats tropicaux et subtropicaux. Il est passé en une décennie du statut de plante marginale et inconnue à celle de nouvelle ressource alimentaire pour les pays du sud [3]. Toutes les parties de l'arbre présentent un intérêt nutritionnel. Les feuilles fraîches sont riches en protéines (15,3 % de matières fraîches), en glucides (7,6 % de matières fraîches), en lipides (1,3 % de matières fraîches), en vitamines B et C, en provitamine A, en éléments minéraux (en particulier le fer) [4]. A titre indicatif, les feuilles fraîches, par gramme, contiennent 7 fois plus de vitamine C que les oranges, 4 fois plus de calcium que le lait de vache, 4 fois plus de vitamine A que la carotte, 3 fois plus de potassium que la banane, 3 fois plus de fer que les épinards et autant de protéines que les œufs [5]. Les feuilles fraîches de *Moringa oléifera* sont consommées cuites, bouillies, sautées ou en salade. Elles peuvent être conservées après séchage et broyage. Elles peuvent s'ajouter à toutes sortes de plats en tant que complément nutritionnel. Les feuilles sèches sont riches en éléments nutritionnels : 57,8 % de protéines où l'on peut retrouver les acides aminés essentiels à l'adulte et à l'enfant, 7,3% de lipides, 34% de glucides, 10% de minéraux [6].

Diverses études ont déjà été conduites et ont montré les bienfaits de l'utilisation de la poudre de feuilles de *Moringa oléifera* comme complément nutritionnel dans des biscuits [7], dans des plats traditionnels ou pour l'alimentation infantile [8]. D'autre part, les fruits tropicaux sont abondants et à la portée du pouvoir d'achat des Malgaches. Toutefois, ils ne sont pas suffisamment exploités malgré leur disponibilité annuelle. Face à ce constat, notre étude se propose de réaliser un enrichissement protéique des pâtes de fruits tropicaux en utilisant des feuilles de *Moringa oléifera* afin de contribuer au plan d'action national pour la nutrition. Pour notre étude, le fruit tropical retenu est le tamarin. Le tamarinier *Tamarindus indica* (famille des Fabaceae) est un arbre des régions tropicales, adapté à des conditions semi-arides et pouvant atteindre 30 m de haut. Il produit des fruits en forme de gousse bosselée, brunâtre contenant plusieurs graines entourées d'une pulpe fibreuse, moelleuse d'un brun rougeâtre. Le fruit contient environ 30% de pulpe, 40% de graines et 30% de cosse. La pulpe est utilisée en alimentation humaine. Elle est riche en pectine soit 1,7% du poids frais [9] dont 81% d'acides galacturoniques, en sucres réducteurs et en acides organiques dont 98% d'acide tartrique [10]. C'est un fruit source de vitamine B (thiamine, niacine et riboflavine) avec des quantités non négligeables de vitamine C. Elle est riche en calcium (169mg pour 100g de jus), en phosphore (900mg pour 100g de jus), en potassium et en fer (4mg pour 100g de jus). La pulpe est utilisée en sauce ou comme boisson acidulée, en confiture ou aussi en pâtes de fruits.



Ces fruits ont une teneur faible en protéines de 0,7% environ, alors que les feuilles de *Moringa oléifera* en contiennent 26%. Ainsi, des pâtes de fruits au tamarin à différentes teneurs en poudre de *Moringa oléifera* ont été confectionnées. Des analyses sensorielles ont montré que pour le consommateur, la limite d'acceptabilité de la teneur d'incorporation des poudres de feuilles de *Moringa oléifera* dans les pâtes de tamarin est de 30% (m/m) [11]. Les pâtes de fruits sont présentées en morceaux de 1,5×1,5×0,3 cm et en paquet de 10 apportant ainsi 50 à 60% des besoins protéiques journalier d'un enfant de moins de 5 ans. Lors du développement de nouveaux produits alimentaires, il est également important de caractériser ses propriétés physicochimiques telles que l'activité de l'eau (Aw), la couleur et la texture des produits. En effet, Aw est un outil important pour prédire l'eau disponible dans les aliments. Il permet ainsi de déterminer les propriétés physiques et mécaniques des aliments, ainsi que leur conservation. En règle générale pour éviter le risque de détérioration chimique des aliments (oxydation des lipides, brunissement enzymatique et non enzymatique), la valeur de l'activité de l'eau doit être comprise idéalement entre 0,2-0,3. Pour pallier le risque de développement des micro-organismes lors de la conservation des aliments à température ambiante, la valeur de l'activité de l'eau doit être inférieure à 0,9.

La texture et la couleur sont des facteurs importants pour déterminer la qualité sensorielle et l'acceptabilité des consommateurs de produits alimentaires. Il est également important de minimiser les pertes de couleur et le changement de texture lors du processus de fabrication et du stockage. Le test « Texture d'analyse de profil (TPA) », utilisé pour cette étude, permet de caractériser les attributs texturaux des pâtes de fruits enrichies. Aucune information sur les propriétés physicochimiques des pâtes de fruits aux tamarins enrichies en *Moringa oléifera* sont disponibles dans la littérature. Par conséquent, l'objectif de cette étude est de définir également les paramètres physicochimiques de ces pâtes de fruits. Ces paramètres seront nécessaires pour la suite du projet lors de la phase de mise en production. Ils permettront aux industriels de développer ce nouveau produit alimentaire tout en contrôlant la qualité des pâtes de fruits pendant le processus de fabrication. Cette caractérisation physicochimique permettra également de valider les résultats des tests consommateurs réalisés par Harimalala Andriambelo N *et al.* en 2014. En parallèle, une étude de l'impact du vieillissement sur les propriétés physicochimiques des pâtes de tamarin enrichies en *Moringa oléifera* a également été réalisée.

## 2. Matériel et méthodes

Le tamarin, en provenance de la région de Mahajanga, est acheté en coque sur le marché local d'Anosy Be (grand marché de la capitale), puis écosé, égrainé, et conservé à 4°C. Les feuilles de *Moringa oléifera* sont récoltées dans la région de Mahajanga. Elles sont lavées, effeuillées, égouttées, triées et séchées à 27°C pendant 4 jours sur des sacs de jute. Les feuilles sont brassées deux fois par jour pour éviter le développement des moisissures. Puis, elles sont réduites en fine poudre avec un mortier et conservées dans des sachets ou des boîtes plastiques non transparentes, à l'abri de la lumière et à température ambiante. Du saccharose cristallisé (Erstein, France) et de l'eau d'Evian en bouteille de verre ont été utilisés pour l'ensemble des préparations de pâtes de fruits.

### 2-1. Fabrication des pâtes de tamarin enrichies en *Moringa oléifera*

100g de pulpe de tamarin sont chauffées avec 225ml d'eau d'Evian pendant sept minutes afin de ramollir le fruit et de libérer la pectine. Le mélange est ensuite broyé dans un thermomix (Vorwerk) pendant 2 minutes. A cette étape, le degré Brix de la préparation doit être de 35°Brix mesurée au réfractomètre (Atago). Puis 100g de saccharose sont additionnés au mélange. La préparation est à nouveau chauffée pendant 15 min pour obtenir une valeur de 55°Brix. Puis le mélange refroidit à température ambiante.

La poudre de feuilles de *Moringa* oléifera est ensuite ajoutée à la préparation lorsque sa température est inférieure à 50°C à raison de 10%, 15%, 30%, 36% et 42% (pourcentage masse/masse). Après homogénéisation, la préparation est étalée sur des plaques en aluminium de dimensions 20×20×0,3 cm recouvertes au préalable d'un film alimentaire. Les plaques de préparation sont ensuite stockées à l'étuve à 45°C pendant 4 jours. Puis les pâtes de tamarin sont ensuite débitées en morceaux de 1,5×1,5×0,3 cm, enrobées de sucre cristallisé et conservées à température ambiante dans des boîtes en plastique. Une analyse instrumentale du profil de texture (TPA) a été réalisée avec l'analyseur de texture RHEO TA-HD+ (Stable Microsystems Ltd., Surrey, England) équipé d'un capteur pouvant supporter jusqu'à 5 kN. Au cours du test, l'échantillon est soumis à deux déformations successives. Toutes les mesures ont été effectuées à température ambiante. Un carré de pâte de tamarin est placé soigneusement au centre de la surface métallique inférieure de l'analyseur de texture et est immédiatement soumis au test.

L'applicateur d'effort fixé au capteur du rhéomètre est un plateau de 10 cm de diamètre (largement supérieur à l'échantillon ce qui permet une répartition uniforme de la force identique pour tous les échantillons sur toute leurs surfaces). La vitesse de compression est fixée à 1mm/s et la force de déclenchement automatique à 0,049N. La force de compression a été appliquée jusqu'à ce que la déformation des échantillons atteigne 40% de leur hauteur initiale. Un temps de 5 secondes a été appliqué entre les deux compressions. A partir des courbes forces-déformation obtenues, les paramètres suivants ont été déterminés : la fermeté (valeur de la force maximale de la première compression), le collant (aire négative suite à la première compression), l'élasticité (pente à l'origine de la première compression), la cohésion (rapport aire positive de la seconde compression divisée par aire positive de la première compression), la résilience (ratio de l'aire positive située entre le début de la courbe jusqu'à la valeur de la force maximale et l'autre aire positive de la courbe située entre la valeur de la force maximale jusqu'à 0), et la masticabilité (produit de la fermeté par l'élasticité et la cohésion). Les mesures ont été répétées 3 fois pour chaque produit.

## 2-2. La couleur

La couleur des pâtes de tamarin est évaluée à l'aide d'un chromamètre « Minolta CR-200B Handheld » en utilisant l'espace de couleur L\*a\*b\*. L'instrument est étalonné avec le blanc de la plaque réflecteur standard de l'appareil. Trois répétitions par échantillons sont réalisées.

## 2-3. L'activité de l'eau

L'activité de l'eau des pâtes de tamarins a été mesurée avec le Rotronic Hygropalm (Rotronic France) à température ambiante. La mesure dure 6 minutes. Trois répétitions par échantillons ont été réalisées.

## 2-4. La teneur en eau

La teneur en eau des échantillons a été mesurée par dessiccation pendant 24 heures à 105°C d'environ exactement 10 g échantillon. Le résultat est exprimé en pourcentage massique (g d'eau pour 100g de produit). Trois répétitions par échantillons ont été réalisées.

## 2-5. Les analyses statistiques

Selon les études, divers traitements statistiques ont été réalisés. Dans la caractérisation des propriétés physicochimiques et rhéologiques des pâtes de tamarin agés de 15 jours, une analyse de variance (Anova) à un facteur (teneur en Moringa) a été réalisée pour caractériser les divers produits obtenus. Lorsqu'un effet significatif a été observé, une comparaison de moyennes utilisant le test de Newman-Keuls (SNK) a été réalisé avec un risque de 5%. A partir des valeurs significatives, une classification hiérarchique ascendante a été effectuée pour catégoriser les produits.

Dans l'étude du vieillissement des produits, une Anova à deux facteurs (la teneur en Moringa et le nombre de jours) a été effectuée. Quand un effet significatif a été observé, une comparaison de moyennes utilisant le test de Newman-Keuls (SNK) a été réalisé avec un risque de 5%. Une analyse à composantes principales et une classification hiérarchique ascendante a été effectuée pour mettre les différences entre les produits. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica 6.0 (StatSoft, Maisons Alforts, France).

### 3. Résultats et discussion

#### 3-1. La caractérisation physicochimique et rhéologique des pâtes de tamarin enrichies en *Moringa oléifera* âgés de 15 jours (J+15)

Les propriétés physicochimiques et rhéologiques des pâtes de tamarin enrichies en *Moringa oléifera* ont été étudiées 15 jours après leur fabrication. Les paramètres du profil de texture des différentes pâtes de tamarin sont présentés au **Tableau 1**.

**Tableau 1 : Propriétés rhéologiques des pâtes de tamarin supplémentées avec différentes teneurs en *Moringa Oleifera* âgés de 15 jours**

Teneur Moringa (%)	Fermeté (N)	Collant (Ns)	Elasticité (Nmm)	Cohesion	Resilience	Masticabilité
0	156 ± 26 <sup>A</sup>	-0,011 ± 0,011	0,655 ± 0,052	0,660 ± 0,017 <sup>A</sup>	0,468 ± 0,031 <sup>A</sup>	67 ± 9
10	169 ± 14 <sup>AB</sup>	-0,005 ± 0,004	0,587 ± 0,027	0,633 ± 0,023 <sup>A</sup>	0,491 ± 0,032 <sup>A</sup>	63 ± 5
15	213 ± 10 <sup>AB</sup>	-0,047 ± 0,042	0,628 ± 0,104	0,626 ± 0,010 <sup>A</sup>	0,441 ± 0,038 <sup>A</sup>	84 ± 17
30	210 ± 44 <sup>AB</sup>	-0,038 ± 0,036	0,603 ± 0,059	0,602 ± 0,034 <sup>A</sup>	0,415 ± 0,050 <sup>A</sup>	75 ± 14
36	254 ± 46 <sup>B</sup>	-0,065 ± 0,057	0,595 ± 0,051	0,419 ± 0,058 <sup>B</sup>	0,419 ± 0,058 <sup>A</sup>	64 ± 19
42	251 ± 35 <sup>B</sup>	-0,023 ± 0,020	0,599 ± 0,027	0,579 ± 0,030 <sup>B</sup>	0,579 ± 0,030 <sup>B</sup>	86 ± 9

*Par colonne, les lettres indiquent le résultat du test de comparaison de moyenne*

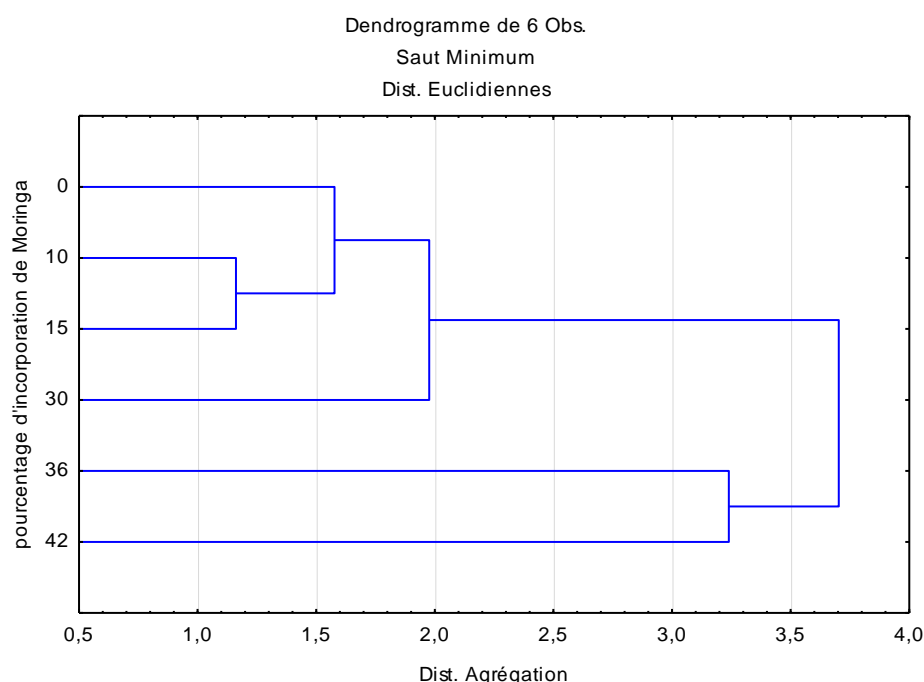
Les résultats de l'Anova ont montré un effet significatif au seuil de  $\alpha = 0,05$  de la variation de la teneur en *Moringa oléifera* sur les pâtes de tamarin pour les paramètres rhéologiques suivants : fermeté ( $p=0,004$ ), cohésion ( $p=0,000$ ) et résilience ( $p=0,001$ ). Les autres descripteurs (collant, élasticité, masticabilité) ne permettent pas de discriminer les six teneurs en *Moringa oléifera*. Ils ne seront pas conservés pour la suite des analyses. Des teneurs croissantes en *Moringa oléifera* augmentent les valeurs de fermeté et diminuent les valeurs de cohésion et résilience. Les tests de comparaison de moyennes effectués sur les paramètres discriminants indiquent que jusqu'à 30% de *Moringa oléifera*, les pâtes de tamarin présentent les mêmes propriétés de fermeté et de cohésion. Pour le paramètre résilience (qui se traduit par la façon dont le produit « se bat » pour retrouver son état initial), la différence apparaît au-delà de 36% de *Moringa oléifera*. Les paramètres physicochimiques des différentes pâtes de tamarin sont présentés en **Tableau 2**. Les résultats de l'Anova ont montré un effet significatif au seuil de  $\alpha = 0,05$  de la variation de la teneur en Moringa sur les pâtes de tamarin pour l'Aw ( $p=0,009$ ), L ( $p=0,000$ ), a ( $p=0,000$ ), b ( $p=0,000$ ).

**Tableau 2 : Propriétés physicochimiques des pâtes de tamarin supplémentées avec différentes teneurs en *Moringa Oleifera* âgés de 15 jours**

Teneur Moringa (%)	L	a	b	Teneur en eau (%)	Aw
0	4,1 ± 0,1 <sup>A</sup>	0,493 ± 0,001 <sup>A</sup>	0,304 ± 0,002 <sup>A</sup>	24,4 ± 0,7 <sup>A</sup>	0,49 ± 0,01
10	4,0 ± 0,5 <sup>A</sup>	0,486 ± 0,004 <sup>C</sup>	0,313 ± 0,001 <sup>C</sup>	23,1 ± 1,7 <sup>A</sup>	0,52 ± 0,02
15	3,8 ± 0,2 <sup>A</sup>	0,486 ± 0,006 <sup>C</sup>	0,312 ± 0,002 <sup>C</sup>	24,6 ± 2,3 <sup>AB</sup>	0,53 ± 0,03
30	3,7 ± 0,0 <sup>A</sup>	0,485 ± 0,001 <sup>C</sup>	0,315 ± 0,002 <sup>C</sup>	25,6 ± 2,9 <sup>AB</sup>	0,55 ± 0,04
36	10,6 ± 0,7 <sup>B</sup>	0,444 ± 0,001 <sup>B</sup>	0,300 ± 0,001 <sup>B</sup>	23,4 ± 1,4 <sup>AB</sup>	0,53 ± 0,04
42	10,8 ± 0,0 <sup>B</sup>	0,439 ± 0,000 <sup>B</sup>	0,299 ± 0,001 <sup>B</sup>	20,7 ± 0,0 <sup>B</sup>	0,59 ± 0,00

Par colonne, les lettres indiquent le résultat du test de comparaison de moyenne

Par contre, aucun effet significatif sur le paramètre teneur en eau n'a été montré. Ce paramètre ne sera pas conservé pour la suite des analyses. L'Aw est d'environ 0,550 ce qui est une valeur totalement cohérente pour ce type de produit riche en glucides et donc fortement hygroscopique, dit à humidité intermédiaire. Cette faible valeur est un avantage pour l'aliment puisque les réactions d'oxydation et enzymatique sont très limitées dans des valeurs Aw de cet ordre. A partir de toutes ces données physicochimiques et rhéologiques, une classification hiérarchique ascendante a été réalisée (**Figure 1**).



**Figure 1 : Classification hiérarchique ascendante réalisée des pâtes de fruits aux tamarins supplémentées avec différentes teneur en *Moringa* âgés de 15 jours**

La distance d'agrégation est de deux. Nous obtenons donc trois groupes : le premier groupe avec des teneurs en *Moringa oléifera* de 0%, 10%, 15% et 30%. Ces quatre produits peuvent donc être considérés comme significativement identiques. Le deuxième groupe correspond aux produits contenant 36% de *Moringa oléifera*. Le dernier groupe correspond au produit contenant 42% de *Moringa oléifera*. La quantité maximale de *Moringa oléifera* ajoutée pour ne pas modifier les paramètres physicochimiques et rhéologiques est 30% (m/m). Ce résultat est en accord avec les analyses sensorielles et les tests consommateurs réalisés par [11], en 2012.

### 3-2. Vieillessement des pâtes de tamarin enrichies en *Moringa oléifera*

**Tableau 3 :** Impact du vieillissement sur les propriétés rhéologiques des pâtes de tamarin supplémentées avec différentes teneurs de *Moringa Oleifera*

Age des produits (jours)	Teneur Moringa (%)	Fermeté (N)	Adhésion (Ns)	Elasticité (Nmm)	Cohésion	Résilience	Masticabilité
0	0	152 ± 25 <sup>A</sup>	-0.049 ± 0.048 <sup>A</sup>	0.75 ± 0.06 <sup>BC</sup>	0.62 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.42 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	71 ± 9 <sup>AB</sup>
	10	184 ± 28 <sup>ABC</sup>	-0.130 ± 0.183 <sup>AB</sup>	0.68 ± 0.09 <sup>ABC</sup>	0.62 ± 0.04 <sup>A</sup>	0.45 ± 0.05 <sup>AB</sup>	79 ± 19 <sup>ABC</sup>
	15	174 ± 24 <sup>ABC</sup>	-0.069 ± 0.060 <sup>A</sup>	0.69 ± 0.08 <sup>ABC</sup>	0.61 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.46 ± 0.05 <sup>AB</sup>	73 ± 11 <sup>AB</sup>
	30	161 ± 17 <sup>AB</sup>	-0.042 ± 0.062 <sup>A</sup>	0.53 ± 0.05 <sup>D</sup>	0.55 ± 0.03 <sup>C</sup>	0.35 ± 0.05 <sup>C</sup>	47 ± 9 <sup>D</sup>
15	0	156 ± 26 <sup>A</sup>	-0.011 ± 0.011 <sup>A</sup>	0.65 ± 0.05 <sup>ABCD</sup>	0.66 ± 0.02 <sup>AB</sup>	0.47 ± 0.03 <sup>AB</sup>	67 ± 9 <sup>AD</sup>
	10	169 ± 14 <sup>ABC</sup>	-0.004 ± 0.005 <sup>A</sup>	0.59 ± 0.03 <sup>AD</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.49 ± 0.03 <sup>A</sup>	63 ± 5 <sup>AD</sup>
	15	213 ± 10 <sup>BC</sup>	-0.047 ± 0.042 <sup>A</sup>	0.63 ± 0.10 <sup>ABD</sup>	0.63 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.44 ± 0.04 <sup>AB</sup>	84 ± 17 <sup>ABC</sup>
	30	210 ± 44 <sup>BC</sup>	-0.038 ± 0.036 <sup>A</sup>	0.60 ± 0.06 <sup>AD</sup>	0.60 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.42 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	76 ± 15 <sup>AB</sup>
30	0	187 ± 22 <sup>ABC</sup>	-0.250 ± 0.083 <sup>A</sup>	0.79 ± 0.03 <sup>C</sup>	0.69 ± 0.02 <sup>B</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>A</sup>	103 ± 16 <sup>C</sup>
	10	200 ± 24 <sup>ABC</sup>	-0.040 ± 0.020 <sup>A</sup>	0.66 ± 0.06 <sup>ABCD</sup>	0.62 ± 0.03 <sup>A</sup>	0.40 ± 0.05 <sup>ABC</sup>	82 ± 15 <sup>ABC</sup>
	15	215 ± 15 <sup>C</sup>	-0.0163 ± 0.078 <sup>AB</sup>	0.72 ± 0.08 <sup>ABC</sup>	0.62 ± 0.02 <sup>A</sup>	0.38 ± 0.03 <sup>BC</sup>	97 ± 14 <sup>BC</sup>
	30	180 ± 18 <sup>ABC</sup>	-0.066 ± 0.042 <sup>B</sup>	0.075 ± 0.04 <sup>BC</sup>	0.65 ± 0.02 <sup>AB</sup>	0.49 ± 0.04 <sup>A</sup>	88 ± 10 <sup>ABC</sup>

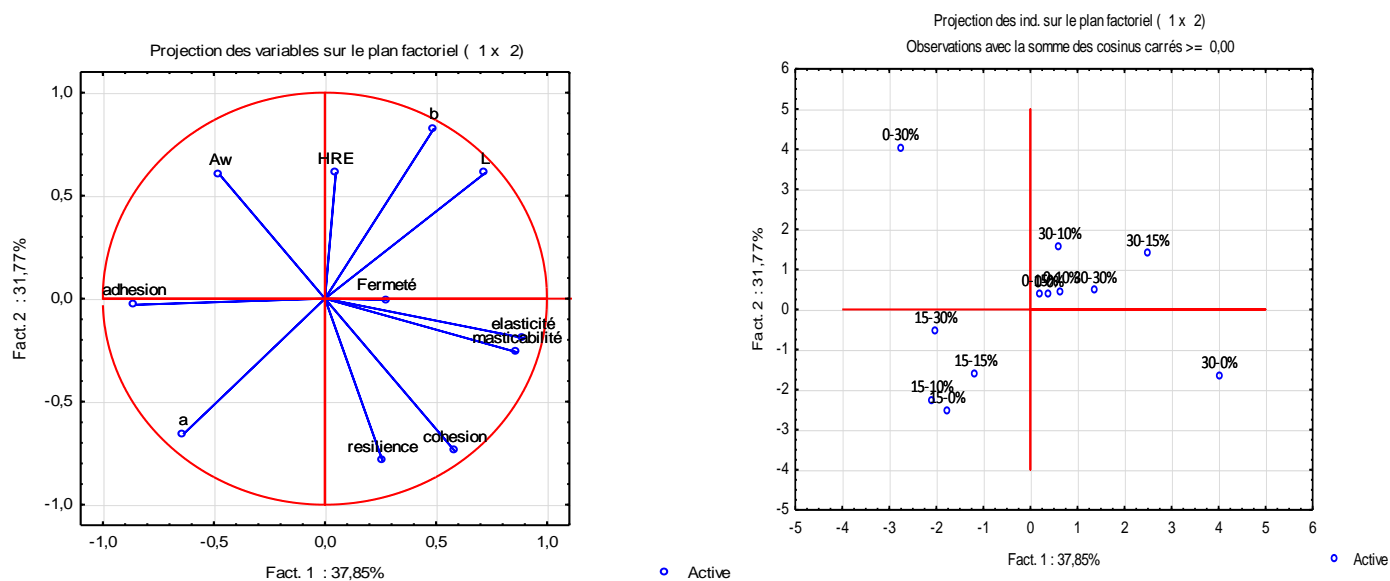
Par colonne, les lettres indiquent le résultat du test de comparaison de moyenne

**Tableau 4 :** Impact du vieillissement sur les propriétés physicochimiques des pâtes de tamarin supplémentées avec différentes teneurs de *Moringa Oleifera*

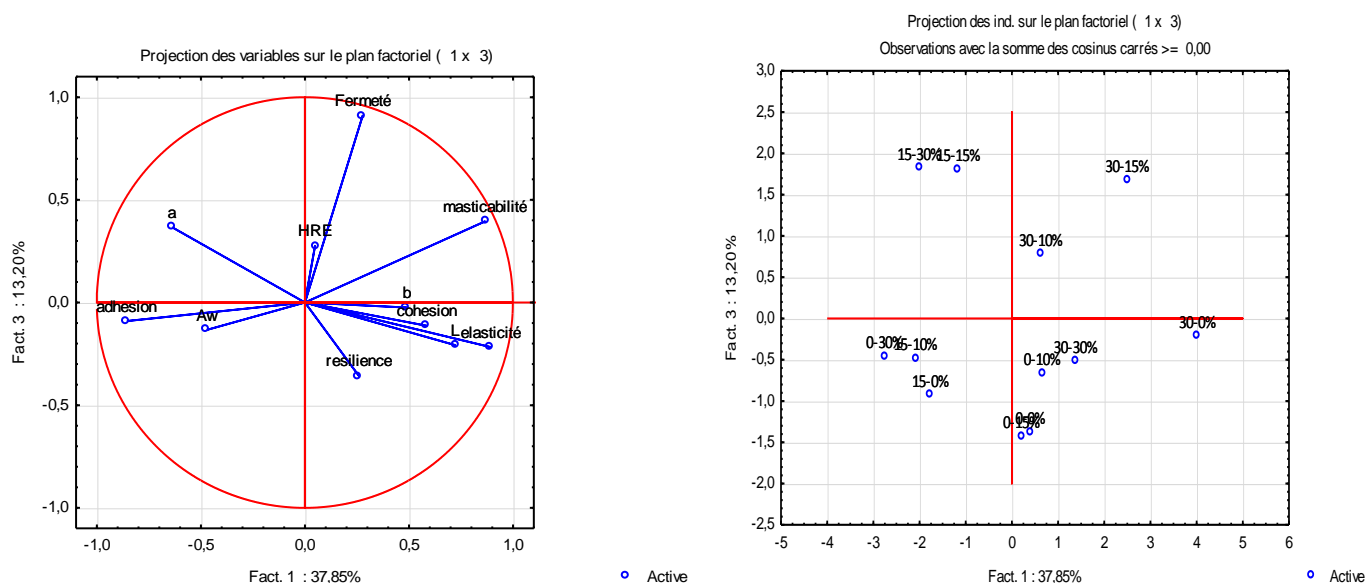
Age des produits (jours)	Moringa	Aw	Teneur en eau (%)	L	a	b
0	0	0.52 ± 0.03 <sup>AB</sup>	26 ± 2 <sup>A</sup>	8 ± 1 <sup>A</sup>	0.34 ± 0.00 <sup>A</sup>	0.33 ± 0.00 <sup>BC</sup>
	10	0.56 ± 0.02 <sup>AB</sup>	23 ± 1 <sup>BC</sup>	8 ± 1 <sup>A</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.34 ± 0.00 <sup>CE</sup>
	15	0.56 ± 0.02 <sup>AB</sup>	21 ± 3 <sup>B</sup>	9 ± 1 <sup>A</sup>	0.33 ± 0.00 <sup>C</sup>	0.33 ± 0.00 <sup>B</sup>
	30	0.58 ± 0.03 <sup>B</sup>	29 ± 2 <sup>ABC</sup>	8 ± 1 <sup>A</sup>	0.35 ± 0.00 <sup>A</sup>	0.35 ± 0.00 <sup>D</sup>
15	0	0.53 ± 0.04 <sup>AB</sup>	23 ± 1 <sup>ABC</sup>	4 ± 0 <sup>B</sup>	0.49 ± 0.00 <sup>B</sup>	0.30 ± 0.00 <sup>F</sup>
	10	0.52 ± 0.02 <sup>AB</sup>	23 ± 2 <sup>ABC</sup>	4 ± 0 <sup>B</sup>	0.49 ± 0.00 <sup>B</sup>	0.31 ± 0.00 <sup>A</sup>
	15	0.53 ± 0.03 <sup>AB</sup>	25 ± 2 <sup>ABC</sup>	4 ± 0 <sup>B</sup>	0.49 ± 0.01 <sup>B</sup>	0.31 ± 0.00 <sup>A</sup>
	30	0.55 ± 0.04 <sup>AB</sup>	26 ± 3 <sup>ABC</sup>	4 ± 0 <sup>B</sup>	0.49 ± 0.00 <sup>B</sup>	0.31 ± 0.00 <sup>A</sup>
30	0	0.50 ± 0.02 <sup>A</sup>	24 ± 4 <sup>ABC</sup>	9 ± 3 <sup>A</sup>	0.34 ± 0.00 <sup>A</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>BC</sup>
	10	0.54 ± 0.02 <sup>AB</sup>	27 ± 1 <sup>ABC</sup>	9 ± 1 <sup>A</sup>	0.36 ± 0.00 <sup>D</sup>	0.36 ± 0.00 <sup>G</sup>
	15	0.52 ± 0.02 <sup>AB</sup>	27 ± 1 <sup>AC</sup>	10 ± 1 <sup>A</sup>	0.35 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.35 ± 0.00 <sup>D</sup>
	30	0.56 ± 0.03 <sup>AB</sup>	29 ± 2 <sup>ABC</sup>	8 ± 1 <sup>A</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>A</sup>	0.034 ± 0.01 <sup>DE</sup>

Par colonne, les lettres indiquent le résultat du test de comparaison de moyenne

Afin d'étudier l'évolution des pâtes de tamarin enrichies en *Moringa oléifera* dans le temps, des mesures rhéologiques et physicochimiques ont été réalisées à J0 (jours du retrait des produits de l'étuve), à J15 (soit 15 jours après le retrait des produits de l'étuve) et à J30 (soit 30 jours après le retrait des produits de l'étuve). Les résultats sont présentés dans les **Tableaux 3 et 4**. Un effet significatif au seuil de  $\alpha = 0,05$  de la teneur en *Moringa oléifera* ( $p=0.0001$ ) et du temps ( $p=0.0000$ ) sur tous les paramètres de texture du produit est observé ainsi qu'un effet significatif de la teneur en *Moringa oléifera* ( $p=0.0015$ ) et du temps ( $p=0.0061$ ) sur tous les paramètres physicochimiques des pâtes de tamarin. Afin de faciliter l'interprétation des différences entre produits, toutes les variables ont été projetées dans un plan factoriel en analyse à composantes principales (ACP) (**Figure 2A, 2B**).

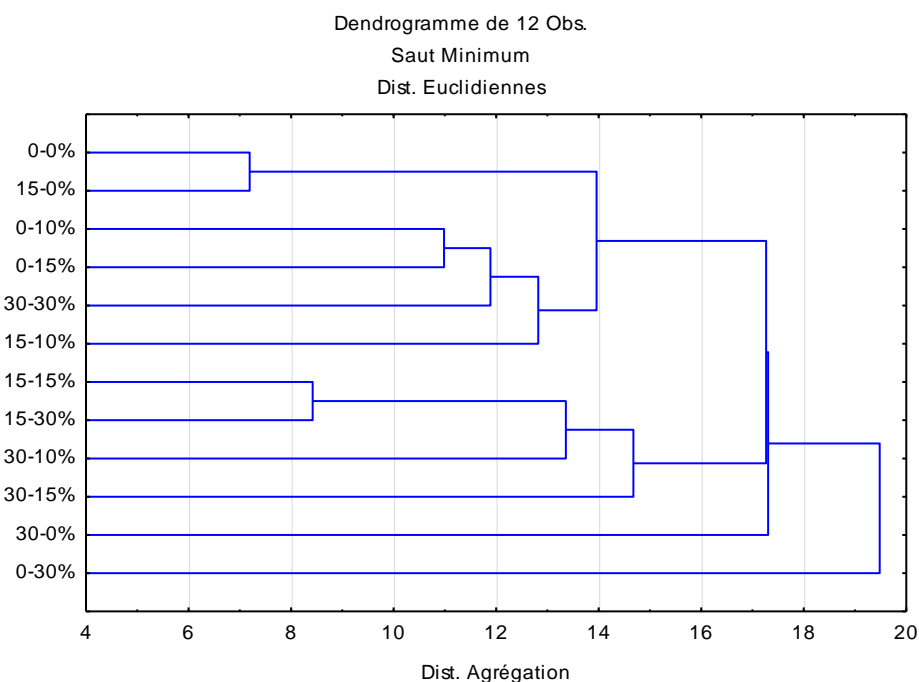


**Figure 2A :** Analyses à composantes principales (ACP) des pâtes de tamarin selon leur teneur en *Moringa oléifera* et leur âge. (Exemple : 15-30% : produit âgé de 15 jours contenant 30% de *Moringa*). A gauche cercle de corrélation, à droite projection des individus



**Figure 2B :** Analyses à composantes principales (ACP) des pâtes de tamarin selon leur teneur en *Moringa oléifera* et leur âge. (Exemple : 15-30% : produit âgé de 15 jours contenant 30% de *Moringa*). A gauche cercle de corrélation, à droite projections des individus

Trois composantes expliquent 82,8% de la variance totale. La première composante principale explique 37.8% de la variance totale (figure 2A). Elle oppose les produits 0-30% (0 jours-30% *Moringa oléifera*) et tous les produits âgés de 15 jours caractérisés par une forte adhésion, aux produits 30-15% (30 jours – 15% *Moringa oléifera*) et 30-0% (30 jours – 0% *Moringa oléifera*) caractérisés comme étant très élastique et à forte masticabilité (il faut donc mâcher beaucoup plus). Avec le temps, les produits deviennent de plus en plus durs et élastique. La composante principale 2 explique 31.8% de la variance totale (**Figure 2A**) et est inversement corrélé avec les paramètres résilience et cohésion. Elle permet de distinguer le produit 0-30% (0 jours – 30% *Moringa oléifera*) aux propriétés peu cohésif et à faible résilience au groupe formé par 30 – 0% (30 jours 0% *Moringa oléifera*) 15-10% (15 jours 10% *Moringa oléifera*) et 15-0% (15 jours 0% *Moringa oléifera*). La composante principale 3 explique 13.2% de la variance totale (**Figure 2B**). Elle permet de caractériser les produits 15-30 %, 15-15% et 30-15% comme étant ferme à l'opposé des produits 0-15% et 0-0%. Pour conclure, une classification hiérarchique ascendante a été réalisée (**Figure 3**)



**Figure 3 :** Classification hiérarchique ascendantes des pâtes de tamarin selon leur teneur en *Moringa oléifera* et leur âge. (Exemple : 15-30% : produit âgé de 15 jours contenant 30% de *Moringa oléifera*)

La distance d'agrégation est à 15. Nous obtenons alors 4 groupes distincts de pâtes de tamarin enrichies en *Moringa oléifera* (**Figure 3**).

- J0 - 30% (0 jour 30% *Moringa oléifera*) définit comme étant collant, forte teneur en eau
- J30 - 0% (30 jour 30% *Moringa oléifera*) caractérisé par une forte élasticité, masticabilité, une bonne résilience et cohésion
- J15-30%, J15-15%, J30-10%, J30-15% caractérisé par leur fermeté
- Le dernier groupe regroupant les produits restants

J0-30% et J30-0% sont les deux produits les plus significativement différents. Cet exemple traduit parfaitement l'effet du temps et de la quantité de *Moringa* ajouté sur les propriétés physicochimiques des pâtes de tamarin.



En faisant un focus sur la pâte de tamarin à 30% en *Moringa*, puisque c'est notre produit cible, nous pouvons constater que sur 30 jours les propriétés texturales du produit évoluent et passent de collant avec une forte Aw à collant avec une plus faible Aw pour finir par être ferme, cohésif et fortement masticable. En adaptant de bonnes conditions de stockage (emballage, température, humidité), le produit semblerait relativement stable et pourrait être conservé au-delà de 30 jours sous réserve de résultats conforme microbiologiquement.

#### 4. Conclusion

Cette étude a permis d'apporter une base scientifique pour la valorisation du *Moringa oléifera* et du *Tamarindus indica* cultivés à Madagascar. Les résultats obtenus ont permis de caractériser les propriétés physicochimiques et rhéologiques des pâtes de tamarin enrichies au *Moringa oléifera*. Jusqu'à 30% d'ajout en *Moringa oléifera* dans les pâtes de tamarin, les propriétés physicochimiques et rhéologiques des produits étudiés sont significativement identiques. Ce produit sucré fortement apprécié par les enfants peut être consommé comme complément alimentaire enrichi en protéine.

#### Références

- [1] - S. SURESH, C. CHANDRA and A. S. C. BABU. Rural nutrition interventions with indigenous plant foods a case study of vitamin A deficiency in Malawi. *Biotechnologie Agronomie Social Environnement* 4 (2000) 169-179
- [2] - FOOD and AGRICULTURE ORGANISATION of the United Nation, 2009. Programme Alimentaire Mondial : Mission d'évaluation de la sécurité alimentaire à Madagascar. 50.
- [3] - N. FOIDL, H.P.S. MAKKAR and K.BECKER, 2001. Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. In: Book Potentiel de *Moringa oleifera* en agriculture et dans l'industrie. Dar es Salaam, tanzanie.
- [4] - N. MOUSSA, W. SALIMATAN, D. NICOLE, T. AMADOU, O. GUIR and DIAGNE G ROKHAYA. Valeur nutritionnelle du *Moringa oleifera*, Etude de la biodisponibilité du fer, effet de l'enrichissement de divers plats traditionnels sénégalais avec la poudre des feuilles. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development Rural Outreach Program*. Vol 10, n°3. 2007.
- [5] - J.W. FAHEY *Moringa oleifera*: A review of the medicinal evidence for its nutritional, therapeutic, prophylactic properties. *Trees for life journal*. Vol 1(2005) 1-5.
- [6] - M. BUSINA, J. PATRICK, A. H. MASIKA and M. VOSTER Nutritional characterization of *Moringa* (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology* 10 (2011) 12925-12933.
- [7] - D. OWUSU, I. ODURO and W.O. ELLIS, Development of crackers from cassava and sweetpotato flours using *Moringa oleifera* and *Ipomea batatas* leaves as fortificant. *American Journal of Food and Nutrition*. Vol 1(2011) 114-122.
- [8] - A. TETE—BENISSAN, M.L. QUASHIE, K. LAWSON-EVIL, K. KOKOU and M. GBEASSOR, Récupération nutritionnelle chez les sujets malnutris VIH positifs et VIH négatifs après utilisation de feuilles de *Moringa oleifera* Lam. *Journal of Animal and Plant Sciences* 15(2012) 2184-2199.
- [9] - A. S. HODGSON and L. H. KERR, Tropical fruit products. . In: E. Walter R. H. ed, *The Chemistry and Technology of Pectin*. New York. Academic Press, 1991, p. 67.
- [10] - C. GROLLIER, C. DEBIES., M DORNIER and M. REYNES, Principales caractéristiques et voies de valorisation du tamarin. *Fruits* 53(1998) 271-280.
- [11] - N. HARIMALALA ANDRIAMBELO, F. RASOARAHONA and J.L. RAZANAMPARANY Nutritional Quality of Fruit Pastes Enriched With *Moringa Oleifera* leaves. In: *International Journal of Applied Science and Technology* Vol 4 (2014) 5.



2èmes journées scientifiques sur la qualité des produits agroalimentaires dans la région  
Sud-ouest de l'Océan Indien QualiREG Food Symposium 14 et 15 novembre 2012  
Centhor, Saint Gilles les Hauts, Ile de la Réunion

## RESUMES DES PRESENTATIONS ORALES ET POSTERS

Titre : Obtention de pâtes de fruits enrichies en protéines apportées par les feuilles  
de Moringa oleifera : cas de la banane (*Musa sapientium*) et du tamarin  
(*Tamarindus indica*)

**HARIMALALA ANDRIAMBELO** Nirina<sup>1</sup>, **RASOARAHONA** Felamboahangy<sup>2</sup>,  
**RAZANAMPARANY** Louissette<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Biochimie Fondamentale et Appliquée, Laboratoire de Biochimie Appliquée aux Sciences de l'Alimentation et à la Nutrition (LABASAN), Madagascar;

<sup>2</sup> Université d'Antananarivo, Etablissement d'Enseignement Supérieur des Sciences Agronomiques (ESSA), Département Agro-alimentaire (IAA), Madagascar

A Madagascar, la malnutrition chronique touche un enfant sur deux. 13% des enfants sont atteints de malnutrition aigue, tandis que 42% des enfants et 21% des femmes en âge de procréer souffrent d'insuffisance pondérale. Ainsi la prévalence de la malnutrition protéino-énergétique (MPE) associée à une carence en micronutriments, est très élevée. Madagascar regorge d'aliments potentiellement énergétiques susceptibles d'être utilisés dans cette lutte contre la MPE, tels les fruits et les légumes-feuilles. Parmi ces légumes-feuilles, l'ananambo (*Moringa oleifera*) est en plein essor. D'autre part, les fruits tropicaux sont abondants et à la portée du pouvoir d'achat des Malgaches. Toutefois, ils ne sont pas exploités suffisamment malgré leur disponibilité annuelle. Face à ce constat, notre étude se propose de réaliser un enrichissement protéique des fruits tropicaux en utilisant des feuilles de *Moringa oleifera* et d'assurer la qualité alimentaire des produits obtenus afin de contribuer au plan national d'action pour la nutrition. Un certain nombre de fruits a alors fait l'objet de notre étude, mais

suite à des tests d'acceptabilité, deux fruits ont été retenus : la banane et le tamarin. Ces fruits ont une teneur faible en protéines de 0,7% environ, alors que les feuilles de Moringa contiennent 26%. Des pâtes de fruits auxquelles on a ajouté la poudre de feuilles de Moringa oléifera à un taux de 33% ont été alors confectionnées. Ainsi, un enrichissement de 10 à 15 % a été obtenu. Les pâtes de fruits sont présentées en morceaux de 1,5×1,5×0,3 cm et en paquet de 10 apportant 50 à 60% des besoins protéiques journalier d'un enfant de moins de 5 ans. Ces produits sont analysés microbiologiquement avec une détermination de la date limite de consommation (DLC). Ils seront mis à l'essai incessamment dans les cantines scolaires des écoles publiques malgaches en vue de la lutte contre la malnutrition.

Mots clés : Moringa oléifera/ pâtes de fruits/ / fruits tropicaux/ /malnutrition/ enrichissement protéique /acceptabilité.

### **Informations**

Soutien infrastructurel : financement de la société HOMEOPHARMA, Antananarivo

Bourse de doctorat : bourse BGF (bourse du gouvernement français)

Partenariat : AgroSup de Dijon , France

Les ressources amylacées aux Comores et à La Réunion : situation, enjeux e

**NAME** : HARIMALALA ANDRIAMBELO

**SURNAME**: Nirina

**TITLE** : ENRICHING FRUIT PASTES WITH POWDER MORINGA OLEIFERA LEAVES

---

### SUMMARY

The main objective of this study is to get fruit pastes enriched with the leaves of *Moringa oleifera* by using chemical procedures. Some biotechnological procedures have equally been initiated with a view to a comparative study.

Thus, the leaves of *Moringa oleifera* from different regions of Madagascar were analyzed. The outstanding importance of proteins led to keep leaves coming from Tamatave in view of their high protein content by 34,79% de MS.

By means of chemical procedures, the leaves crushed into powder form, were incorporated into tamarind and banana pastes. Nutritional and sensorial analyses jointly with rheological and physicochemical studies made it possible to determine a maximal incorporation rate of *Moringa oleifera* by 30 %. It resulted in a protein enrichment of fruits ranging from 10 to 15 more.

The microbiological analysis and the determination of the deadline of consumption have made, it possible to define the hygienic quality of the products as being acceptable: they are not toxic and preservation can cover a period more than 6 months. The study of profile texture defining the firmness and the cohesion parameters, together with water activity ( $A_w < 0,4$ ) which makes it possible to improve the preservation products at one time.

By means of fermentation procedures with the lactic bacterizes: *Lactobacillus plantarum* (DMS2601) and *Weissella* (27A), the protein content of the leaves varies according to their maturity; thence the increase respectively by 8, 12%MS, 10, 98 % MS and 7, 42 % MS in the young, mature and miscellany leaves during the fermentation by DMS 2601 and by 11, 07% MS, 8, 37% MS, 8, 62 % MS in the above mentioned leaves fermented by 27A.

During the fermentation, in addition to the increase of protein content, an improvement of the quantity of reducing sugars is equally observed, and so is the decrease of the content in phenolic components.

Biotechnological results were improved, giving promising results which will be able to contribute in the struggle against malnutrition.

**Key words**: *Moringa oleifera*, tropical fruits, fruit pastes, enrichment, profile of texture, physicochemical properties, deadline of consumption.

**Supervisor**: Professor RAZANAMPARANY Louisette