

Analyse du profil de texture (tpa) et caractérisation physicochimiques des pâtes de tamarin enrichies en feuilles de *moringa oleifera*

Nirina HARIMALALA ANDRIAMBELO^{1*}, Céline LAFARGE², Rémi SAUREL²
et Louissette Julia RAZANAMPARANY¹

¹ Biochimie Alimentation et Nutrition, Département de Biochimie Fondamentale et Appliquée,
Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar

² Procédés Alimentaires et Physico-Chimie Département, UMR PAM, AgroSup Dijon/Université de Bourgogne,
1 Esplanade Erasme, 21000 Dijon, France

* Correspondance, courriel : 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 différents 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^{ème} 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 ^A	-0,011 ± 0,011	0,655 ± 0,052	0,660 ± 0,017 ^A	0,468 ± 0,031 ^A	67 ± 9
10	169 ± 14 ^{AB}	-0,005 ± 0,004	0,587 ± 0,027	0,633 ± 0,023 ^A	0,491 ± 0,032 ^A	63 ± 5
15	213 ± 10 ^{AB}	-0,047 ± 0,042	0,628 ± 0,104	0,626 ± 0,010 ^A	0,441 ± 0,038 ^A	84 ± 17
30	210 ± 44 ^{AB}	-0,038 ± 0,036	0,603 ± 0,059	0,602 ± 0,034 ^A	0,415 ± 0,050 ^A	75 ± 14
36	254 ± 46 ^B	-0,065 ± 0,057	0,595 ± 0,051	0,419 ± 0,058 ^B	0,419 ± 0,058 ^A	64 ± 19
42	251 ± 35 ^B	-0,023 ± 0,020	0,599 ± 0,027	0,579 ± 0,030 ^B	0,579 ± 0,030 ^B	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 ^A	0,493 ± 0,001 ^A	0,304 ± 0,002 ^A	24,4 ± 0,7 ^A	0,49 ± 0,01
10	4,0 ± 0,5 ^A	0,486 ± 0,004 ^C	0,313 ± 0,001 ^C	23,1 ± 1,7 ^A	0,52 ± 0,02
15	3,8 ± 0,2 ^A	0,486 ± 0,006 ^C	0,312 ± 0,002 ^C	24,6 ± 2,3 ^{AB}	0,53 ± 0,03
30	3,7 ± 0,0 ^A	0,485 ± 0,001 ^C	0,315 ± 0,002 ^C	25,6 ± 2,9 ^{AB}	0,55 ± 0,04
36	10,6 ± 0,7 ^B	0,444 ± 0,001 ^B	0,300 ± 0,001 ^B	23,4 ± 1,4 ^{AB}	0,53 ± 0,04
42	10,8 ± 0,0 ^B	0,439 ± 0,000 ^B	0,299 ± 0,001 ^B	20,7 ± 0,0 ^B	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**).

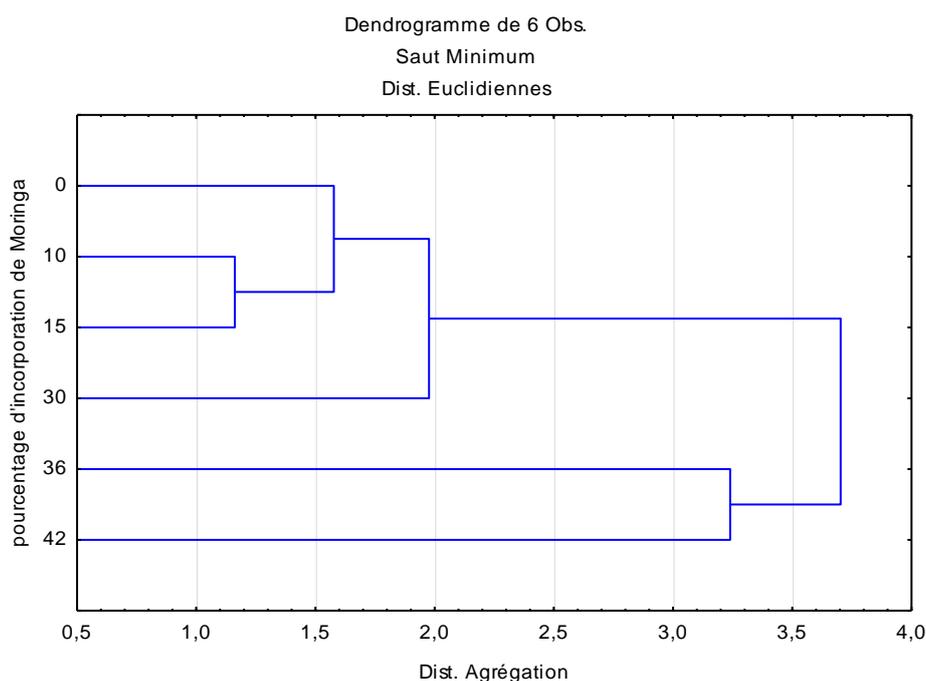


Figure 1 : Classification hiérarchique ascendante réalisée des pâtes de fruits aux tamarins supplémentées avec différentes teneur en *Moringa oléifera* âgés de 15 jours

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 ^A	-0.049 ± 0.048 ^A	0.75 ± 0.06 ^{BC}	0.62 ± 0.04 ^A	0.42 ± 0.05 ^{ABC}	71 ± 9 ^{AB}
	10	184 ± 28 ^{ABC}	-0.130 ± 0.183 ^{AB}	0.68 ± 0.09 ^{ABC}	0.62 ± 0.04 ^A	0.45 ± 0.05 ^{AB}	79 ± 19 ^{ABC}
	15	174 ± 24 ^{ABC}	-0.069 ± 0.060 ^A	0.69 ± 0.08 ^{ABC}	0.61 ± 0.02 ^A	0.46 ± 0.05 ^{AB}	73 ± 11 ^{AB}
	30	161 ± 17 ^{AB}	-0.042 ± 0.062 ^A	0.53 ± 0.05 ^D	0.55 ± 0.03 ^C	0.35 ± 0.05 ^C	47 ± 9 ^D
15	0	156 ± 26 ^A	-0.011 ± 0.011 ^A	0.65 ± 0.05 ^{ABCD}	0.66 ± 0.02 ^{AB}	0.47 ± 0.03 ^{AB}	67 ± 9 ^{AD}
	10	169 ± 14 ^{ABC}	-0.004 ± 0.005 ^A	0.59 ± 0.03 ^{AD}	0.63 ± 0.02 ^A	0.49 ± 0.03 ^A	63 ± 5 ^{AD}
	15	213 ± 10 ^{BC}	-0.047 ± 0.042 ^A	0.63 ± 0.10 ^{ABD}	0.63 ± 0.01 ^A	0.44 ± 0.04 ^{AB}	84 ± 17 ^{ABC}
	30	210 ± 44 ^{BC}	-0.038 ± 0.036 ^A	0.60 ± 0.06 ^{AD}	0.60 ± 0.03 ^A	0.42 ± 0.05 ^{ABC}	76 ± 15 ^{AB}
30	0	187 ± 22 ^{ABC}	-0.250 ± 0.083 ^A	0.79 ± 0.03 ^C	0.69 ± 0.02 ^B	0.49 ± 0.04 ^A	103 ± 16 ^C
	10	200 ± 24 ^{ABC}	-0.040 ± 0.020 ^A	0.66 ± 0.06 ^{ABCD}	0.62 ± 0.03 ^A	0.40 ± 0.05 ^{ABC}	82 ± 15 ^{ABC}
	15	215 ± 15 ^C	-0.0163 ± 0.078 ^{AB}	0.72 ± 0.08 ^{ABC}	0.62 ± 0.02 ^A	0.38 ± 0.03 ^{BC}	97 ± 14 ^{BC}
	30	180 ± 18 ^{ABC}	-0.066 ± 0.042 ^B	0.075 ± 0.04 ^{BC}	0.65 ± 0.02 ^{AB}	0.49 ± 0.04 ^A	88 ± 10 ^{ABC}

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 ^{AB}	26 ± 2 ^A	8 ± 1 ^A	0.34 ± 0.00 ^A	0.33 ± 0.00 ^{BC}
	10	0.56 ± 0.02 ^{AB}	23 ± 1 ^{BC}	8 ± 1 ^A	0.34 ± 0.01 ^A	0.34 ± 0.00 ^{CE}
	15	0.56 ± 0.02 ^{AB}	21 ± 3 ^B	9 ± 1 ^A	0.33 ± 0.00 ^C	0.33 ± 0.00 ^B
	30	0.58 ± 0.03 ^B	29 ± 2 ^{ABC}	8 ± 1 ^A	0.35 ± 0.00 ^A	0.35 ± 0.00 ^D
15	0	0.53 ± 0.04 ^{AB}	23 ± 1 ^{ABC}	4 ± 0 ^B	0.49 ± 0.00 ^B	0.30 ± 0.00 ^F
	10	0.52 ± 0.02 ^{AB}	23 ± 2 ^{ABC}	4 ± 0 ^B	0.49 ± 0.00 ^B	0.31 ± 0.00 ^A
	15	0.53 ± 0.03 ^{AB}	25 ± 2 ^{ABC}	4 ± 0 ^B	0.49 ± 0.01 ^B	0.31 ± 0.00 ^A
	30	0.55 ± 0.04 ^{AB}	26 ± 3 ^{ABC}	4 ± 0 ^B	0.49 ± 0.00 ^B	0.31 ± 0.00 ^A
30	0	0.50 ± 0.02 ^A	24 ± 4 ^{ABC}	9 ± 3 ^A	0.34 ± 0.00 ^A	0.34 ± 0.01 ^{BC}
	10	0.54 ± 0.02 ^{AB}	27 ± 1 ^{ABC}	9 ± 1 ^A	0.36 ± 0.00 ^D	0.36 ± 0.00 ^G
	15	0.52 ± 0.02 ^{AB}	27 ± 1 ^{AC}	10 ± 1 ^A	0.35 ± 0.01 ^A	0.35 ± 0.00 ^D
	30	0.56 ± 0.03 ^{AB}	29 ± 2 ^{ABC}	8 ± 1 ^A	0.34 ± 0.01 ^A	0.034 ± 0.01 ^{DE}

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**).

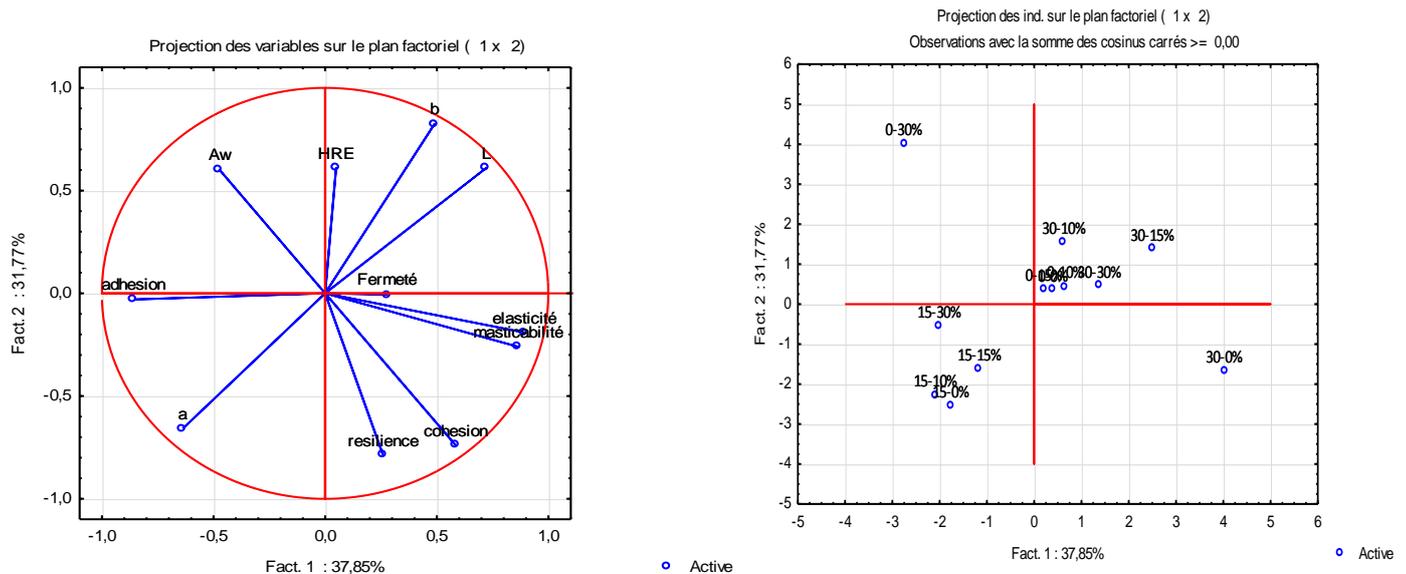


Figure 2A : Analyses à composantes principales (ACP) des pâtes de tamarin selon leur teneur en *Moringa oléifera* et leur âge. (Exemple : 15-30% : produit âgé de 15 jours contenant 30% de *Moringa*). À gauche cercle de corrélation, à droite projection des individus

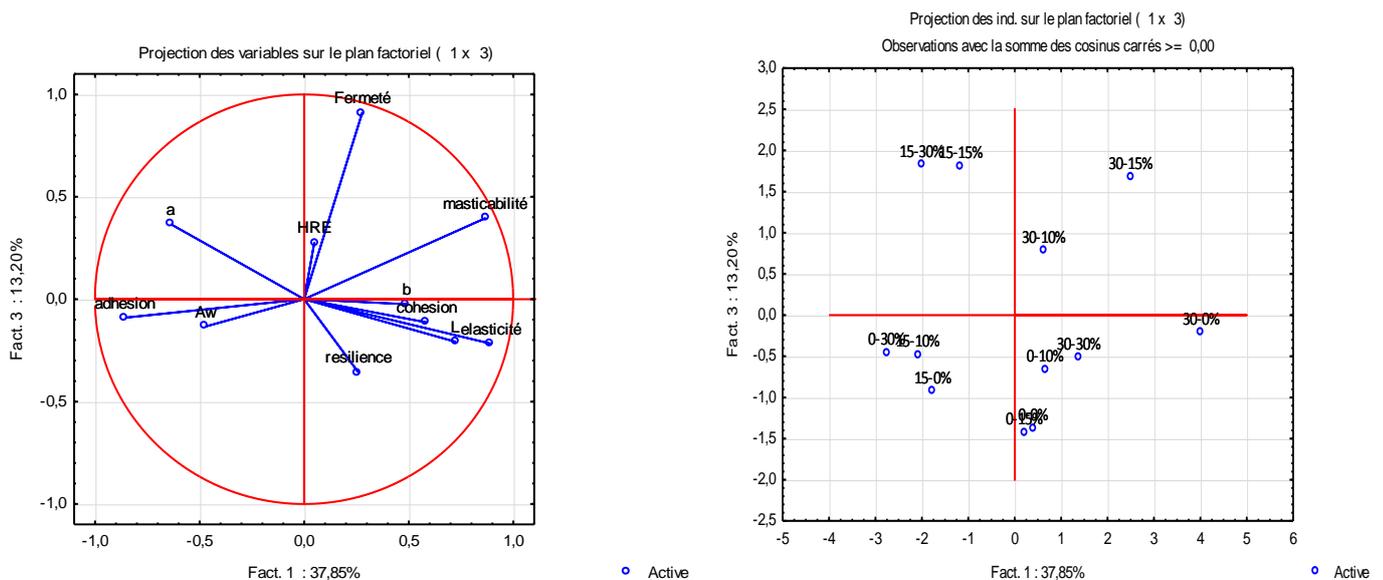


Figure 2B : Analyses à composantes principales (ACP) des pâtes de tamarin selon leur teneur en *Moringa oléifera* et leur âge. (Exemple : 15-30% : produit âgé de 15 jours contenant 30% de *Moringa*). À gauche cercle de corrélation, à droite projections des individus

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 oléiféra*) et tous les produits âgés de 15 jours caractérisés par une forte adhésion, aux produits 30-15% (30 jours – 15% *Moringa oléiféra*) et 30-0% (30 jours – 0% *Moringa oléiféra*) 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 oléiféra*) aux propriétés peu cohésif et à faible résilience au groupe formé par 30 – 0% (30 jours 0% *Moringa oléiféra*) 15-10% (15 jours 10% *Moringa oléiféra*) et 15-0% (15 jours 0% *Moringa oléiféra*). 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**)

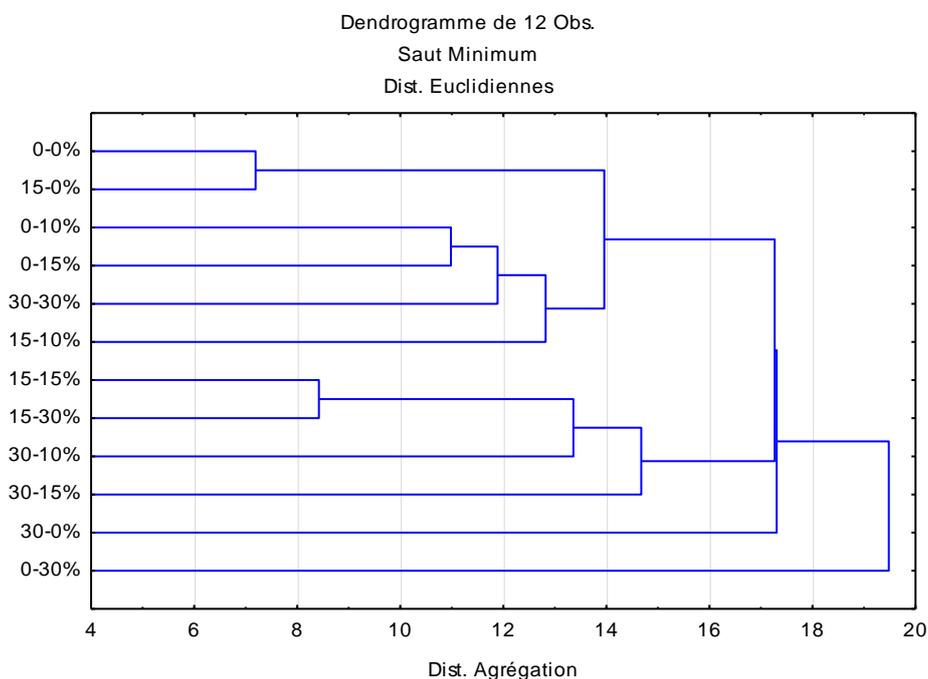


Figure 3 : Classification hiérarchique ascendantes des pâtes de tamarin selon leur teneur en *Moringa oléifera* et leur âge. (Exemple : 15-30% : produit âgé de 15 jours contenant 30% de *Moringa oléifera*)

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-EVII, 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.