

Etude de la qualité organoleptique de trois variétés de mangues *Amélie*, *Lippens*, *Brooks* séchées au cours du stockage par technique de brunissement enzymatique des peroxydases (POD) et des polyphénoloxydases (PPO)

Study of the organoleptic quality of three varieties of dried mangos : *Amélie*, *Lippens* and *Brooks* during storage by enzymatic tanning technique of peroxidases (POD) and the polyphenoloxydases (PPO)

Aminata Belem ¹, François Tapsoba ¹, Laurencia Touloumdé Songre-Ouattara ², Cheikna Zongo ¹, Aly Savadogo ^{1*}

¹*LABIA/CRSBAN/Département de Biochimie-microbiologie, UFR-SVT, Université Ouaga 1 Pr Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso, 03 BP 7021 Ouagadougou, Burkina Faso Tel/Fax (00226)25307064*

²*Institut de Recherches en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), Département Technologie Alimentaire (DTA), 03 BP 7047 Ouagadougou 03 Burkina Faso.*

Soumis le 21/11/2016

Révisé le 07/02/2017

Accepté le 21/02/2017

Résumé

Trente échantillons de mangues séchées de variétés *Amélie*, *Brooks*, *Lippens* ont été collectés pour des analyses physicochimiques visant à comprendre les conditions d'apparition du brunissement enzymatique. Ces analyses ont montré que les fortes teneurs en matière sèche, en acidité titrable, en vitamine C et en substrats phénoliques étaient respectivement $95,86 \pm 0,01$ mg/g ; $1,56 \pm 3,60$ équivalent d'acide citrique/g ; $205,77 \pm 56,71$ mg/g et $54,78 \times 10^{-3} \pm 5,06$ mg/g pour la variété *Amélie*. La concentration la plus élevée en sucres totaux était de $51,08 \pm 2,59$ mg/g pour la variété *Lippens*. Les activités les plus élevées en polyphénoloxydase et en peroxydase étaient respectivement de $19,75 \times 10^{-3} \pm 0,01$ et $52,62 \times 10^{-3} \pm 2,64$ pour la variété *Amélie*. Les peroxydases et polyphénoloxydases ainsi que leurs substrats phénoliques sont les principaux agents responsables du processus de brunissement enzymatique. Le niveau des dégâts causés au cours du stockage sur la qualité du produit fini est fonction de la concentration en substrat phénolique oxydé.

Mots clés : *Mangues séchées- Brunissement enzymatique-Peroxydases-Polyphenoloxydases*

Abstract

Thirty dried mango samples of *Amélie*, *Brooks* and *Lippens* varieties were collected for physico-chemical analyses to understanding the conditions of appearance of the enzymatic browning. These analyses showed that the higher contents of dry matter, assayable acidity, vitamin C and phenolic substrates were respectively $95,86 \pm 0,01$ mg/g; $1,56 \pm 3,60$ equivalent of acid citrique/g; $205,77 \pm 56,71$ mg/g and $54,78 \times 10^{-3} \pm 5,06$ mg/g for the *Amélie* variety. The higher total sugar concentration was of $51,08 \pm 2,59$ mg/g for the *Lippens* variety. The highest activities in polyphenoloxydase and peroxidase were respectively of $19,75 \times 10^{-3} \pm 0,01$ and $52,62 \times 10^{-3} \pm 2,64$ for the *Amélie* variety. Peroxidases and polyphenoloxydases as their phenolic substrates are the principal agents responsible for the process of tanning enzymatic. The level of the damage caused during storage on the quality of the finished product is a function of the oxidized phenolic substrate concentration.

Key words: *Dried mango- Enzymatic tanning-Peroxidase -Polyphenoloxydase*

* Auteur correspondant : alysavadogo@gmail.com

1. INTRODUCTION

L'alimentation constitue un enjeu majeur dans la recherche de l'équilibre de l'organisme. Plusieurs sources alimentaires sont utilisées à cet effet pour la satisfaction des besoins du corps [1]. Parmi les aliments, les fruits et les légumes occupent une place importante de par leur composition nutritionnelle [2]. Pourtant, la spécificité nutritive d'un fruit est liée à sa composition qui elle-même dépend de l'espèce, de la variété, du degré de maturité, des conditions de culture et d'entreposage et de conservation [3]. En effet, fruit remarquable, la mangue est connue pour sa richesse en antioxydants essentiellement en provitamine A et en vitamine C avec environ 27 mg /100 g matière fraîche [4]. Une demi-mangue suffit pour couvrir la totalité des besoins quotidiens en provitamine A et plus de 66 % du total recommandé pour la vitamine C. De plus, avec un apport énergétique de 56 kilocalories pour 100 g de fruit, la mangue fait partie des fruits moyennement calorifiques [5].

Malgré l'importance nutritionnelle et économique de la mangue et l'intérêt alimentaire que lui accordent les populations, son utilisation est limitée par d'énormes pertes post-récoltes [6]. Ces pertes post-récoltes importantes varient entre 50 et 85 % selon la localité, la saison et les variétés [7].

Avec l'évolution de la technologie alimentaire, les matières premières en majeure partie subissent des transformations pour des raisons de conservation et de valorisation.

Le séchage, constitue l'une des technologies pratiquées dans les pays en développement. Toutefois, il est important que sous forme sèche la mangue conserve toute sa qualité organoleptique. La couleur devient ainsi le principal facteur attractif et l'attribut majeur de sa qualité marchande selon les consommateurs [5]. Cependant, cette couleur peut être affectée par des modifications chimiques ou biochimiques se produisant dans les produits séchés durant leur stockage. C'est le cas du brunissement enzymatique qui est la principale réaction responsable de l'altération de la couleur des fruits et légumes. En conséquence, ce procédé souvent mal contrôlé peut engendrer de plus de la moitié des pertes économiques dans ce secteur [8]. Afin de limiter voire réduire considérablement ces lourdes pertes, un intérêt particulier est accordé à travers la présente étude à la compréhension et au contrôle de ce phénomène dans les mangues séchées. Ainsi, l'objectif général poursuivi par cette étude est de contribuer à l'amélioration de la qualité des mangues séchées par la prévention du brunissement enzymatique lors du stockage. Le dosage de certains marqueurs biochimiques en l'occurrence celui des activités des peroxydases (POD) et des polyphénoloxydases (PPO) au niveau de trois variétés de mangue séchées (*Amélie*, *Lippens*, *Brooks*) permettra d'évaluer le brunissement enzymatique. Avec une production saisonnière de 40 tonnes, les mangues séchées jouent un rôle socio-économique important car elles sont prisées au Burkina Faso et une partie est exportée. Ce qui justifie l'intérêt de la présente étude

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Cadre et période d'étude

L'étude a été réalisée d'une part au Laboratoire de Biotechnologie des Sciences Alimentaires et Nutritionnelles (LABSAN) du Centre de Recherche en Sciences Biologiques Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN) de l'Université Ouaga 1 Pr. Joseph KI-ZERBO et d'autre part au Laboratoire National de Santé Publique (LNSP) du Burkina Faso. Cette étude a couvert la période de Novembre 2013 à Juillet 2014.

2.2. Echantillonnage des mangues séchées

Les échantillons au nombre de trente (30), étaient constitués de trois variétés (*Amélie*, *Brooks*, *Lippens*) et provenaient de l'entreprise GEBANA Afrique sis à Ouagadougou. Chaque variété était composée de dix (10) échantillons. Après séchage pendant 22 heures à l'aide d'un séchoir type *Céas Atesta*, les mangues ont été emballées sous atmosphère modifiée avec l'utilisation du CO₂. Les prélèvements au nombre de 2 ont été effectués à chaque nouvelle production de lots.

Les unités de production de mangues séchées utilisent principalement trois (3) types de séchoirs : les séchoirs solaires, de type coquillage, de petite capacité ; les séchoirs à combustion de gaz, à convection naturelle de type *Céas Atesta* et les autres types de séchoirs, tels que le séchoir Cartier ou le séchoir Onudi mixte gasoil/solaire.

2.3. Analyse physico-chimique des différents échantillons

L'acidité totale titrable a été déterminée selon la norme AFNOR [9] et les résultats ont été exprimés en pourcentage (%) d'acide citrique par rapport à la matière sèche (MS). L'acidité totale contribue à la

qualité sanitaire des aliments en limitant le développement des microorganismes d'altérations et/ou pathogènes.

La teneur en eau (TE) a été obtenue, après dessiccation de 5 g d'échantillon de pulpe à 103°C à l'étuve jusqu'à l'obtention du poids constant [10]. Les résultats sont exprimés en % (g/g). La teneur en matière (MS) a été déterminée à l'aide de la formule suivante :

$$MS = 100 \% - TE$$

La détermination du taux de sucres réducteurs a été effectuée par la méthode colorimétrique au DNS (Acide 3,5 dinitro salicylique) de Miller [11]. La teneur en sucre totaux a été réalisée par dosage spectrophotométrique selon AOAC [12]. Les résultats des taux en sucres ont été exprimés en % (g/g). La teneur en vitamine C (acide ascorbique) a été déterminée par titrimétrie selon AOAC [12] et les résultats ont été exprimés en mg/100 g de matière sèche.

L'extraction et le dosage des peroxydases ont été réalisés selon la méthode de Bacon *et al.* [13]. Une quantité de 100 mg d'échantillons de mangue séchée broyée a été dissout dans 1,5 ml du tampon, pH 5,5 (le succinate de sodium 50 mM, le chlorure de calcium 10 mM et le dithiothreitol 1mM). Après centrifugation à 5000 g pendant 5 min, le surnageant S1 a été récupéré. Cette fraction correspond aux peroxydases solubles. Le culot a été rincé deux fois avec le même volume de succinate de sodium 50 mM. Enfin le culot a été suspendu dans le même volume du tampon final d'extraction (le succinate de sodium 50 mM et le chlorure de sodium 1 M); qui a permis la dissociation des peroxydases liées à la paroi végétale.

La méthode de Tahi *et al.* [14] a été utilisée pour l'extraction et le dosage des polyphénoloxydases. Une quantité de 100 mg de mangues séchées broyées a été homogénéisé dans un mortier dans 9 ml d'une solution tampon phosphate de sodium (0,1 M ; pH7, 0) en présence de 1mM d'acide diéthylène tétra-acétique (EDTA) et 1 % de polyvinylpyrrolidone (w/v) (PVP). Après centrifugation à 12000 g pendant 15 min, le surnageant récupéré forme l'extrait brut sur lequel a été effectué les dosages des activités enzymatiques PPO.

L'activité enzymatique des extraits bruts a été exprimée en UA/ml (Unité Arbitraire/ml). Les méthodes d'extraction et de dosage des composés phénoliques sont celles décrites par Berardini *et al.* [15] mais avec les extraits bruts étant donné qu'il n'y a pas eu l'étape de purification.

Le brunissement enzymatique est la principale réaction responsable de l'altération de la couleur des fruits et légumes. Il résulte de l'oxydation des composés phénoliques présents dans la cellule végétale sous l'action de deux enzymes: les polyphénoloxydases (PPO) et les peroxydases (POD) en présence de l'oxygène. La PPO est particulièrement considérée comme l'enzyme la plus impliquée dans le brunissement enzymatique. La réaction de brunissement enzymatique est un processus naturel qui entraîne une modification de l'apparence, de la flaveur et de la qualité nutritionnelle. Seules les premières étapes de cette transformation sont enzymatiques. Dans une première réaction, les enzymes hydrolysent les monophénols (L-tyrosine et phénol) en o-diphénols et dans la deuxième réaction elles oxydent ces o-diphénols en des o-quinones en présence de l'oxygène moléculaire. Les o-quinones produites peuvent subir des réactions non-enzymatiques de cyclisation ou de polymérisation pour former des complexes bruns appelés des mélanines. La cinétique enzymatique permet d'étudier la vitesse des réactions biochimiques ou réactions enzymatiques catalysées par des enzymes.

2.4. ANALYSE DES DONNEES

Les données ont été saisies sur le tableur Excel 2013. Des courbes d'étalonnage ont été tracées pour la détermination des teneurs en glucides ainsi que les courbes des oxydations des substrats phénoliques (galaïcol et pyrocatechol) par les enzymes (POD et PPO) en fonction du temps des trois variétés dans les échantillons reçus. L'unité de l'activité (unité arbitraire) a été considérée comme la quantité d'enzyme responsable de l'augmentation de l'absorbance de 0,1 par minute.

L'analyse statistique globale pour la comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques en fonction de la variété de mangue a été réalisée à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics Version 20. Les tests de Kruskal-Wallis ont été utilisés au seuil de probabilité $p = 5 \%$ (significatif si $p < 0,05$ et non significatif si $p > 0,05$).

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Caractéristiques physicochimiques des mangues séchées

La détermination de quelques paramètres physico-chimiques tels que, l'acidité totale, la matière sèche, la vitamine C, les sucres réducteurs, les sucres totaux a permis d'évaluer la qualité physico-chimique des mangues séchées.

Les valeurs moyennes des paramètres physicochimiques des trois variétés étudiées sont présentées dans le tableau 1. Il s'agit de la moyenne des dix échantillons pour chaque variété étudiée.

variétés	Moyennes des paramètres physicochimiques					
	Matière sèche (%)	Teneur en eau (%)	Acidité titrable (%)	Vitamine C mg/100 g	Sucres réducteurs (%)	Sucres Totaux (%)
<i>Amélie</i>	95.81 ± 0.02	4.19 ± 0.02	1.56 ± 0.60	205.77 ± 0.71	30.44 ± 0.93	39.30 ± 0.26
<i>Brooks</i>	95.83 ± 0.02	4.17 ± 0.02	1.03 ± 0.99	158.37 ± 0.98	25.28 ± 0.64	48.95 ± 0.49
<i>Lippens</i>	95.86 ± 0.01	4.14 ± 0.01	0.71 ± 0.33	149.15 ± 0.31	21.43 ± 0.91	51,08 ± 0.59
P-value	0.004	0.004	0.015	0.070	0.001	0.001

Tableau 1 : Paramètres physicochimiques des dix échantillons de chaque variété étudiée

3.2. Teneur en matière sèche et en eau

La teneur en matière sèche de l'ensemble des échantillons variait entre 95,81 ± 0,02 et 95,86 ± 0,01 % et celle en eau comprise entre 4.14 ± 0.01 et 4.19 ± 0.01 %. Ces teneurs en eau sont nettement inférieures à celles trouvées par Sawadogo [16] qui étaient de 14 à 20 % pour la variété *Amélie* séchée. Ces taux d'humidité sont également inférieurs à ceux de Zongo [17] qui étaient de 20.30 ± 0.20 % pour la variété *Amélie*, de 17.23 ± 0,20 % pour la variété *Lippens* et de 10.90 ± 0.14% pour la variété *Brooks*.

Ces différences de résultats pourraient s'expliquer principalement par la variabilité des conditions de séchage (type de séchoir et temps de séchage). En effet, les échantillons de cette étude ont été séchés pendant 22 heures au séchoir type *Céas Atesta* contrairement à ceux de Zongo [17] qui ont subi un séchage d'une durée 15 à 18 heures au séchoir type *Tunel*. Ces résultats diffèrent également à ceux obtenus par Sawadogo [16] qui a utilisé un séchoir type tente et pyramide sur une durée de 48 à 72 heures. Les différences (P-value =0,004) de résultats observés entre les échantillons de différentes variétés pourraient s'expliquer par le niveau de maturité des produits frais. Selon Kameni *et al.* [18], les produits issus des fruits à maturité avancée retiennent plus d'eau que les fruits à maturité commercial ou physiologique.

3.3. Acidité totale titrable

L'acidité totale titrable le est de 0.71 ± 0.33 pour la variété *Lippens*, 1.03 ± 0.99 pour la variété *Brooks* contre 1.56 ± 0,60 équivalent d'acide citrique/g pour la variété *Amélie*. Ces teneurs nous renseignent sur le caractère acidulé de la variété *Amélie*. L'acidité totale contribue à la qualité sanitaire

des aliments en limitant le développement des microorganismes d'altérations et/ou pathogènes. Ces teneurs en acidité sont proches de celles de Zongo [17] qui sont de $2.06 \pm 0,01$ pour *Amélie*; 2.16 ± 0.05 % pour *Brooks* et 0.98 ± 0.05 % pour *Lippens*. Toutefois ces teneurs sont inférieures à celles de Sawadogo [16] qui sont de 4.71 % pour la variété *Amélie*. La teneur de $1.56 \pm 3,60$ % obtenue pour la variété *Amélie* est inférieure à celle obtenue par Kameni *et al.* [18] qui était de 17,9 pour la même variété au stade de maturité avancée. L'acidité titrable varie en fonction de la variété, du stade de maturité du fruit [18], puis avec l'élimination des acides volatils (Principalement l'acide citrique et l'acide malique contenus dans les vacuoles) au cours de séchage et la dégradation anaérobie de certains acides (acide ascorbique) au cours du stockage [17].

Les différences significatives (P-value = 0,015) obtenues entre les trois variétés pourraient être influencée par la spécificité variétale. La teneur des acides contenus dans les vacuoles, principalement l'acide citrique et l'acide malique, augmentent pendant la première phase de croissance des fruits puis diminuent ensuite durant la période de maturation principalement du fait de leur utilisation par la respiration ou de leur conversion en sucres [19]. Par ailleurs, Kagy [20] a montré que les mangues qui se développent à l'ombre d'un manguier ont un taux d'acidité légèrement plus élevé que les mangues qui se développent au soleil.

3.4. Teneur en vitamine C

La teneur maximale en vitamine C était de 205.77 ± 0.71 mg/g pour la variété *Amélie* contre 158.37 ± 0.98 mg/g pour la variété *Brooks* et 149.15 ± 0.31 mg/g pour la variété *Lippens*. Ces teneurs sont inférieures à 287.6 ± 51.1 % pour la variété *Amélie* arrivée à maturité physiologique et ayant subi un séchage solaire mais supérieures à 116.2 ± 6.8 % pour la même variété *Amélie* arrivée à maturité commerciale [18].

La variation de la teneur en vitamine C observée au cours de cette étude pourrait être due à la nature très instable de ce composé et aux conditions d'entreposage (Généralement, les mangues sont entreposées à même le sol) des produits. Aussi, cette différence pourrait être associée à la méthode de séchage appliquée. En effet, avec le séchage solaire, le produit met beaucoup plus de temps à sécher à basse température. Donc il reste longtemps en contact de l'air, ce qui augmente les risques d'oxydation. Il est connu que l'oxydation est l'une des voies de dégradation de la vitamine C. En plus de l'oxydation, une température ambiante élevée, une dégradation anaérobie et thermique constituent autant de facteurs favorables à la dégradation de la Vitamine C. Ceci conduit à la synthèse de l'un des produits finaux qu'est, le furfural qui intervient dans le phénomène de brunissement non enzymatique. Selon Kagy [20], les quantités d'acide ascorbique (Vitamine C) sont en général, quatre à cinq fois plus importantes dans un fruit immature vert que dans un fruit mature et coloré. Les résultats observés entre les variétés sont significatives pour le paramètre de la vitamine C ($P > 0.05$). Ceci pourrait expliquer les variations observées au sein d'une même variété.

3.5. Teneur en glucides

Le taux de sucres réducteur est de 21.43 ± 0.91 % pour la variété *Lippens* contre 25.28 ± 0.64 % pour la variété *Brooks* et 30.44 ± 0.93 % pour la variété *Amélie*. Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par [6] qui étaient de 32.18 ± 1.56 % pour les mangues séchées et de 33.08 ± 1.67 % pour les mangues séchées transformées en granules.

La teneur en sucres totaux était de 39.30 ± 0.26 % pour *Amélie* contre 48.95 ± 0.49 pour la variété *Brooks* et 51.08 ± 0.59 % pour *Lippens*. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues par [6] dans les poudres de mangues séchées de la variété *Kent* qui était de 75.06 ± 2.65 %. Les différences observées au niveau de ces études pourraient être due à la composition variétale, au stade de maturité des mangues ou encore à l'influence des facteurs du milieu.

La teneur en glucides des mangues séchées est nettement supérieure à la teneur en glucide des mangues fraîches qui est de 16.39 ± 0.16 % pour les sucres totaux et de 11.56 ± 1.16 % pour les réducteurs obtenus par Baudelaire et Njantou [6]. En effet, le séchage en tant que technologie de transformation et de conservation constitue également un procédé de concentration de certaines substances telles que les sucres; ce qui pourrait expliquer les teneurs élevées en glucides qui caractérisent le goût sucré accentué des tranches de mangue séchée.

Dans cette étude, la différence constatée entre les échantillons d'une même variété pourrait être due à une perte relative des sucres observée au cours de l'opération de séchage sous l'action de la chaleur par condensation de la fonction aldéhydique ou cétonique des sucres et la fonction amine libre des acides aminés lors du phénomène de brunissement non enzymatique.

La teneur en glucides totaux fait de la mangue séchée, un aliment à apport énergétique non négligeable [18]. Pour une même variété, les teneurs en sucres réducteurs augmentent dans le fruit avec le niveau de maturité. La variation du taux de glucides observée entre les différentes variétés pourrait être liée à la différence variétale. Cette différence liée à la composition variétale a été confirmée par Silva et al. [21] qui mentionnent que les quantités de sucres solubles varient selon les cultivars à la fin de la maturation.

3.6. Enzymes du brunissement et leurs substrats phénoliques

3.6.1. Analyse des courbes des activités enzymatiques

Les valeurs des densités optiques en fonction du temps ont donné les profils représentés par les figures 1 et 2. Les activités enzymatiques ont été déterminées en suivant l'évolution de la densité optique au spectrophotomètre à 470 nm pour la POD et 410 nm pour la PPO en fonction du temps (6 min). La variation d'absorbance indique l'existence d'une activité enzymatique. L'augmentation des valeurs de la densité optique traduit l'accumulation du produit formé.

En général, une observation des différents profils de l'activité de POD et des PPO montrent une augmentation graduelle à partir de temps $t = 1$ min jusqu'à l'instant $t = 5$ min. Ainsi, le maximum d'activité correspond au temps $t = 5$ min. Au-delà de ce temps soit l'activité enzymatique reste constante ou elle diminue. La vitesse initiale d'une réaction catalysée par une enzyme avec des o-diphénols est linéaire pour une courte période seulement. Cela pourrait être due non seulement à la liaison irréversible des produits oxydés au site actif de la PPO [22], mais aussi par l'inactivation rapide de réaction [8].

Les courbes sur les figures 1 et 2 représentent le suivi de l'oxydation des substrats respectivement par la POD et la PPO selon les trois variétés étudiées.

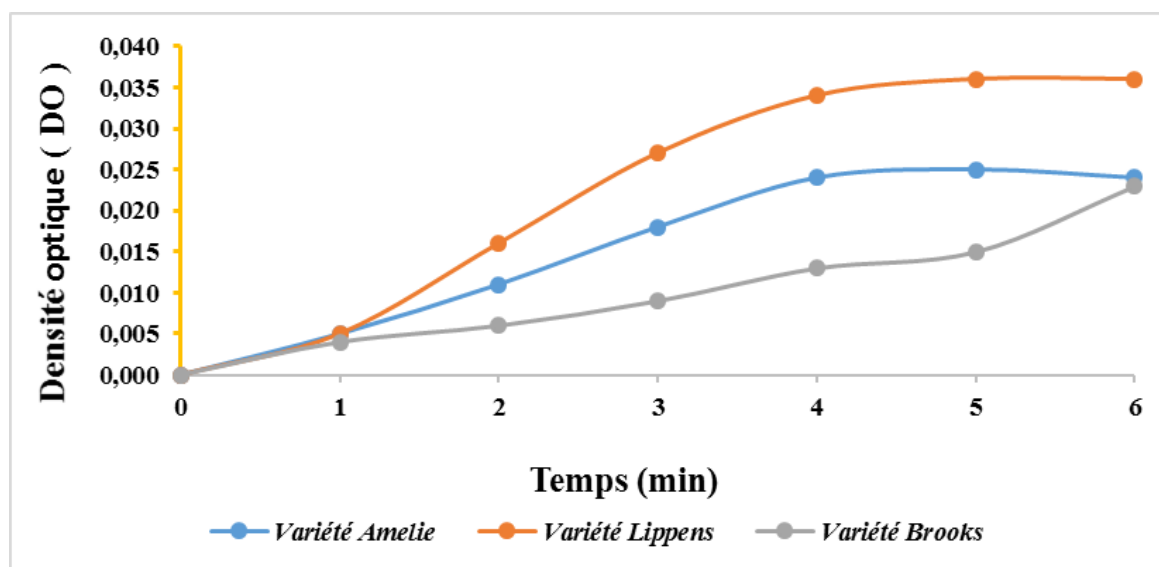


Figure 1: Suivi de l'oxydation des substrats par la POD en fonction du temps des trois variétés

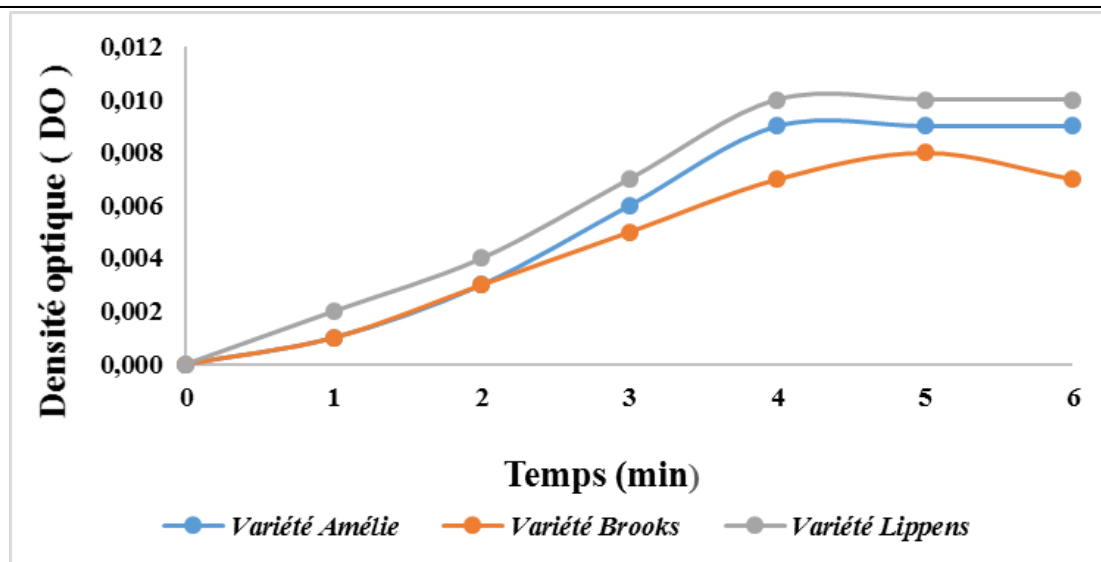


Figure 2: Suivi de l'oxydation des substrats par la PPO en fonction du temps des trois variétés

L'évaluation des activités enzymatiques par le dosage des polyphénoloxydases (PPO) et des peroxydases (POD) par la méthode spectrophotométrique a permis d'obtenir des résultats consignés dans le tableau 2. Ces résultats représentent la moyenne de dix échantillons de chaque variété étudiée.

Tableau 2: Moyennes des concentrations en substrats phénoliques et des activités enzymatiques variété étudiée.

Variétés	Concentration en substrats phénoliques $\times 10^{-3}$ (mg/g)	Activités enzymatiques $\times 10^{-3}$ (UA /min/g)	
		POD	PPO
<i>Amélie</i>	54.78 ± 0.06	52.62 ± 0.03	19.75 ± 0.01
<i>Brooks</i>	20.78 ± 0.45	41.58 ± 0.27	19.05 ± 0.68
<i>Lippens</i>	13.27 ± 0.03	31.93 ± 0.64	10.34 ± 0.13

UA : Activité Arbitraire

3.6.2. Concentration en substrats phénoliques

La concentration en substrats phénoliques obtenue sont de $13.27 \times 10^{-3} \pm 0.03$ mg/g pour *Lippens*, $20.78 \pm 0.45 \times 10^{-3}$ mg/g pour la variété *Brooks* et $54.78 \pm 0.06 \times 10^{-3}$ mg/g pour *Amélie*. Cette différence pourrait s'expliquer par la différence des techniques culturales, les conditions climatiques et le solvant d'extraction. En général, la teneur en substrats phénoliques diminue durant la maturation des fruits climatériques tels que la mangue [23], ce qui pourrait expliquer la faible concentration observée au niveau des échantillons de cette étude. Cette hypothèse est partagée par Selvaraj et Kumar [24] qui ont montré que les quantités de polyphénols accroissent pendant le grossissement du fruit et diminuent pendant le mûrissement. Kim et al. [25] ont également montré une décroissance de 26 % des polyphénols totaux pendant le mûrissement du cultivar *Tommy Atkins*.

Selon les résultats obtenus dans cette étude, une comparaison entre les trois variétés analysées a montré que la variété *Amélie* renferme plus de composés phénoliques que les deux autres variétés.

3.6.3. Activités enzymatique de la PPO et la POD

Les activités enzymatiques des PPO et POD dans cette étude ont été étudiées en relation avec le brunissement survenant au cours du stockage des tranches de mangue séchée. Et les valeurs obtenues pour l'activité en PPO ont varié respectivement de $19,05 \times 10^{-3} \pm 0,68$ UA/min/g pour *Brooks* à $10,75 \times 10^{-3} \pm 0,01$ UA/min/g pour *Amélie* et celle en POD de $41,58 \times 10^{-3} \pm 0,27$ UA/min/g pour *Brooks* à $52,62 \times 10^{-3} \pm 2,64$ UA /min/g pour *Amélie*. Les valeurs de cette étude ont été obtenues à partir des extraits enzymatiques bruts sans aucune étape de purification ce qui pourrait influencer les activités enzymatiques observées. En effet, plus l'extrait enzymatique est purifié plus grande sera son activité

spécifique. Cette hypothèse corrobore celle de Mizobutsi *et al.* [26] qui ont montré que la purification partielle de l'extrait brut par saturation séquentielle avec du sulfate d'ammonium, a entraîné une augmentation des activités de la polyphénoloxydase et de la peroxydase dans le litchi. Selon Yoruk et Marshall [27], le temps et la température d'exposition exigés pour l'inactivation de PPO sont variables en fonction des espèces et des cultivars, cela pourrait expliquer la différence de valeur observée au niveau des échantillons de cette étude.

Un constat préalable sur les capacités de brunissement des différents échantillons par une observation à l'œil nu a permis de montrer que la variété *Amélie* a été la plus affectée par le brunissement. Cela pourrait être dû à sa concentration élevée en substrats phénoliques, en acide ascorbique et en activité enzymatique. En effet, lors de la déshydratation ou du chauffage des aliments riches en sucres comme les fruits, en présence d'acide, il se forme des composés furanniques: les hexoses donnent le 5-hydroxyméthylfurfural à des températures très élevées et en milieu acide comme principale dérivé furannique et les pentoses, le furfural [28]. La dégradation de l'acide ascorbique conduit également à la formation du furfural dans les conditions anaérobiques. Et en présence d'acide, le furfural tend à se condenser avec les aldéhydes, les cétones et les acides aminés pour former des composés furanniques qui sont les précurseurs des mélanines, pigments du brunissement non enzymatique.

Il est important de noter que l'activité enzymatique dépend non seulement du pH mais également de la nature chimique des substances du tampon [29]. Ainsi, les résultats ont permis d'émettre l'hypothèse selon laquelle, le phénomène de brunissement serait lié principalement à deux facteurs : le degré d'oxydation des enzymes et la quantité de substrats oxydables. Selon Arnok *et al.* [30], la PPO serait largement impliquée dans la biosynthèse des mélanines chez les animaux et dans le brunissement des végétaux. Les travaux de Mizobutsi *et al.* [26] ont également montré que l'action de la PPO et la POD est habituellement liée au brunissement des fruits de diverses espèces. En effet les PPO catalysent l'oxydation des composés phénoliques en présence d'oxygène moléculaire en quinones correspondants (polymères incolores). Ces derniers fortement réactifs, réagissent avec les acides aminés, les peptides ou les protéines par polymérisation et/ou par condensation pour former les mélanines (polymères colorés) responsable de la coloration brune.

L'activité enzymatique de la POD est nettement supérieure à celle de la PPO. En effet, l'oxydation des substrats phénoliques par la peroxydase est une réaction secondaire. Cela est dû à la disponibilité limitée ou à l'insuffisance du peroxyde d'hydrogène [31]. L'évidence suggère que la POD augmente la dégradation des phénols en employant le peroxyde d'hydrogène produit par la PPO et les quinones [32].

Ces observations confortent l'hypothèse selon laquelle une meilleure connaissance de la composition du contenu phénolique et du rôle de chacun des phénols pourrait apporter des éléments explicatifs à ces variations [15]. L'activité de la PPO dosée dans l'exocarpe et la sève de la mangue dépendrait du cultivar et la période de moisson selon De León-Sánchez *et al.* [33] et du stade de maturité dans les bananes plantains mûrs et non mûrs selon Olubunmi [34]; ces résultats pourraient expliquer la différence observée entre les trois espèces et au sein d'une même variété.

4. CONCLUSION

Cette étude portée sur 30 échantillons de mangues séchées de trois variétés (*Amélie*, *Brooks*, *Lippens*) a permis de mettre en évidence un des facteurs responsables du brunissement dans les mangues séchées au cours du stockage. En effet, dans le cas de la mangue séchée, il est possible que le brunissement provienne également des réactions non enzymatiques (réaction de Maillard) et de la dégradation anaérobique de l'acide ascorbique. Tous les brunissements, quelle que soit leur localisation, résultent des transformations oxydatives, par voie chimique ou enzymatique, des composés phénoliques, essentiellement. D'autres composés entrent également en jeu comme les sucres, l'acide ascorbique, les acides aminés mais aussi les orthophénols des arômes naturels ou les produits d'oxydation des lipides. La mangue, qui renferme certains de ces substrats constitue un milieu favorable au brunissement non enzymatique.

Concernant le brunissement enzymatique, les enzymes peroxydases et polyphénoloxydases et leurs substrats phénoliques en sont les principaux responsables.

La technologie de séchage en tant que traitement thermique représente un facteur de destruction de certains éléments nutritifs tels que les vitamines et aussi un catalyseur de certaines réactions de dégradation comme le brunissement non enzymatique, mais elle constitue aussi un procédé de concentration de certains nutriments tels que les glucides, ce qui confère à la mangue séchée une forte teneur en sucre faisant d'elle un aliment hautement énergétique.

REFERENCES

- [1]. Varoquaux P., 2002. Fruits frais prêts à l'emploi dits de 4 ème gamme. Technologies de Transformation des Fruits, Tec et Doc Editions. 119-156.
- [2]. Serville Y., 1984. Valeur alimentaire des aliments du 5è et 6è groupe. Tremolieres J, Serville Y, Jacquot R, Dupin H, Manuel d'alimentation humaine, vol. 2, 291-310.
- [3]. Kiendrebéogo T., Mopate Logtene Y., Ido G. & Kaboré-Zoungrana C.-Y., 2013. Procédés de production d'aliments non conventionnels pour porcs à base de déchets de mangues et détermination de leurs valeurs alimentaires au Burkina Faso. Journal of Applied Biosciences, vol. 67, 5261-5270.
- [4]. USDA, 2005. Ministère de l'agriculture des Etats Unis (USDA). National Nutrient Database for Standard Reference.
- [5]. Djoua T., 2010. Amélioration de la conservation des mangues 4ème gamme par application de traitements thermiques et utilisation d'une conservation sous atmosphère modifiée. Thèse de l'Université d'Avignon. 169 p.
- [6]. Baudelaire E. & Njantou D., 2006. Optimisation du broyage des mangues séchées (*Mangifera indica* var Kent): influence sur les propriétés physicochimiques et fonctionnelles des poudres obtenues. Vandoeuvre-les-Nancy, INPL.
- [7]. Vayssières J.-F., Sanogo F. & Noussourou M., 2004. Inventaire des espèces de mouches des fruits (Diptera: Tephritidae) inféodées au manguier au Mali et essais de lutte raisonnée. Fruits, vol. 59(1), 3-16.
- [8]. Whitaker J. R. & Lee C. Y., 1995. Recent advances in chemistry of enzymatic browning. Enzymatic browning and its prevention, vol. 600, 2-7.
- [9]. AFNOR, 1982. Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes jus de fruits. AFNOR, vol. 325.
- [10]. Williams S., 1984. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.
- [11]. Miller G. L., 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. Analytical chemistry, vol. 31(3), 426-428.
- [12]. Helrich K., 1990. Official methods of Analysis of the AOAC. Volume 2: Association of Official Analytical Chemists Inc.
- [13]. Bacon M. A., Thompson D. S. & Davies W. J., 1997. Can cell wall peroxidase activity explain the leaf growth response of *Lolium temulentum* L. during drought? Journal of Experimental Botany, vol. 48(12), 2075-2085.
- [14]. Tahi H., Wahbi S., Wakrim R., Aganchich B., Serraj R. & Centritto M., 2007. Water relations, photosynthesis, growth and water-use efficiency in tomato plants subjected to partial rootzone drying and regulated deficit irrigation. Plant Biosystems, vol. 141(2), 265-274.
- [15]. Berardini N., Fezer R., Conrad J., Beifuss U., Carle R. & Schieber A., 2005. Screening of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars for their contents of flavonol O-and xanthone C-glycosides, anthocyanins, and pectin. Journal of agricultural and food chemistry, vol. 53(5), 1563-1570.
- [16]. Sawadogo H., 1993. Valorisation technologique de la variété Amélie de mangue du Burkina Faso : Maîtrise des paramètres physico-chimiques pour une meilleure stabilisation des produits de transformation. . *Thèse de Doctorat*. Université de Ouagadougou. 286 p
- [17]. Zongo F., 1995. Contribution à l'amélioration de la qualité au séchage de quatre variétés de mangue : Amélie, Lippens, Kent, Broot. Mémoire de DESS de l'Université de Ouagadougou. 71 p
- [18]. Kaméni A., Mbofung C. M., Ngnamtam Z., Doassem J. & Hamadou L., 2003. Aptitude au séchage de quelques variétés de mangue cultivée au Cameroun: Amélie, Zill, Irwin et Horé Wandou. In: *Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis Actes du colloque, Garoua, Cameroun: 2003*. Cirad-Prasac. 9 p.

- [19]. Kader A. A., 2002. Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products. Fresh-cut fruits and vegetables, vol. 11-20.
- [20]. Kagy V., 2010. Effet de l'ensoleillement en pré récolte sur l'acquisition d'une thermotolérance des mangues (*Mangifera indica* L.): impact sur leur réponse physiologique aux traitements à la chaleur en après récolte. Thèse de Doctorat de l'Université de la Nouvelle-Calédonie. 386 p.
- [21]. Silva A. P. F. B., Nascimento J. R. O., Lajolo F. & Cordenunsi B. R., 2008. Starch mobilization and sucrose accumulation in the pulp of Keitt mangoes during postharvest ripening. *Journal of food biochemistry*, vol. 32(3), 384-395.
- [22]. Wood B. & Ingraham L., 1965. Labelled tyrosinase from labelled substrate. *Nature*, vol. 205, 291-292.
- [23]. Haard N. & Chism G. W. F., 1996. Characteristics of edible plant tissues. In: fennema OR, editor *Food chemistry*, vol. 7, 943-1011.
- [24]. Selvaraj Y. & Kumar R., 1989. Studies on fruit softening enzymes and polyphenol oxidase activity in ripening mango (*Mangifera indica* L.) fruit. *Journal of food science and technology*, vol. 26(4), 218-222.
- [25]. Kim Y., Brecht J. K. & Talcott S. T., 2007. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. *Food Chemistry*, vol. 105(4), 1327-1334.
- [26]. Mizobutsi G. P., Finger F. L., Ribeiro R. A., Puschmann R., Neves L. L. d. M. & Mota W. F. d., 2010. Effect of pH and temperature on peroxidase and polyphenoloxidase activities of litchi pericarp. *Scientia Agricola*, vol. 67(2), 213-217.
- [27]. Yoruk R. & Marshall M. R., 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review I. *Journal of Food Biochemistry*, vol. 27(5), 361-422.
- [28]. Gardelle J. & Richard J. P., 1970. Le 5-hydroxyméthyl-furfural dans le jus de fruit et concentré. *Industrial Alimentation and Agricultura*, vol. 87(543).
- [29]. Diao M., Ayékoué B. N. c., Dibala C. I., Dabonné S. & Dicko M. H., 2014. Purification and characterization of sweet potato (*Ipomoea Batatas*) peroxidase. *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 22(2).
- [30]. Arnnok P., Ruangviriyachai C., Mahachai R., Techawongstien S. & Chanthai S., 2010. Optimization and determination of polyphenol oxidase and peroxidase activities in hot pepper (*Capsicum annum* L.) pericarp. *International Food Research Journal*, vol. 17, 385-392.
- [31]. Nicolas J. J., Richard-Forget F. C., Goupy P. M., Amiot M. J. & Aubert S. Y., 1994. Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, vol. 34(2), 109-157.
- [32]. Richard-Forget F. C. & Gaillard F. A., 1997. Oxidation of chlorogenic acid, catechins, and 4-methylcatechol in model solutions by combinations of pear (*Pyrus communis* cv. Williams) polyphenol oxidase and peroxidase: a possible involvement of peroxidase in enzymatic browning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 45(7), 2472-2476.
- [33]. De León-Sánchez F. D., Rivera-Cabrera F., Bosquez-Molina E., Domínguez-Soberanes J., Álvarez-Hoppe Y. & Pérez-Flores L., 2005. Activity of the enzyme polyphenol oxidase and susceptibility to damage from latex in 'haden' and 'tommy Atkins' mangoes. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 11(1), 37-40.
- [34]. Olubunmi A., 2013. Preliminary studies on polyphenol oxidase activity in plantain (*Musa paradisiaca*) cultivars. *African Journal of Agricultural Research*, vol. 8(4), 366-369.