

Effet combiné du Triton X-100 et du chlorure de calcium sur le processus de murissement de la banane et quelques composants physiologiques impliqués

Eugène Phounzong-Tafre¹, Gabriel Kanmegne^{1,*}, Roger Doumdi-Braogwe¹, Jarvin Ovaric Kouete¹, Alain Ngotio Tchinda¹ Et Jean Nguemezi-Aghofack^{1,†}

¹. Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences, Université de Dschang, BP: 67, Dschang, Cameroun. † *In memoriam*.

Mots clés

Banane ;
Triton X-100 ;
Chlorure de calcium ;
Conservation ;
Durée de vie verte.

Keywords :

Banana;
Triton X-100;
Calcium chloride;
Preservation;
Green shelf life.

Résumé

Les fruits sont des produits à forte valeur économique avec un apport nutritionnel très important en raison de leur richesse en vitamines, en minéraux, en fibres et en composés bioactifs. Pourtant, leur consommation reste insuffisante à cause des pertes élevées après la récolte. C'est fort de cela que la présente étude a été menée dans l'objectif de réduire les pertes après récolte des bananes. Les fruits ont été trempés dans du Triton X-100 pendant 10 min, puis dans des solutions de chlorure de calcium à différentes concentrations pendant 30 min. Les effets des traitements sur la durée de conservation et les paramètres de mûrissement (taux et index de mûrissement, fermeté, pH, acidité titrable, teneurs en pigments et en acide ascorbique, et activité de la chlorophyllase et de la pectine-méthylestérase) ont été déterminés. Il ressort des résultats que les plus longs temps de conservation (25 à 27 jours) ont été enregistrés chez les bananes traitées au Triton X-100 à 2 ou 4% de CaCl₂. Les traitements à 6% et 8% de CaCl₂ ainsi que les bananes témoins ont présenté le plus faible temps de conservation. Le faible index et la lente cinétique de mûrissement ont été retrouvés chez les bananes traitées à 2 et 4% de chlorure de calcium. La teneur en chlorophylle a progressivement diminué au cours de la conservation et ce de façon similaire pour tous les traitements. Aucune variation significative des teneurs en caroténoïdes n'a été observée au cours du temps. La fermeté et le pH ont significativement diminué, alors que l'acidité titrable et la teneur en acide ascorbique ont augmenté au cours du temps. L'activité de la chlorophyllase et celle de la pectine-méthylestérase ont augmenté au cours du temps. De tout ce qui précède, il ressort que les traitements combinés à base du Triton X-100 et 2 ou 4% de chlorure de calcium ont permis de prolonger significativement la durée de vie verte des bananes et ont retardé les processus physiologiques liés au mûrissement.

Abstract

Fruits are products of high economic value with a very important nutritional contribution due to their richness in vitamins, minerals, fibers and bioactive compounds. However, their consumption remains insufficient because of high post-harvest losses. This is why this study was conducted with the aim of reducing post-harvest losses of bananas. Fruit treatment consisted of soaking in Triton X-100 for 10 min, then in calcium chloride solutions at different concentrations for 30 min. The effects of treatments on shelf life and ripening parameters (ripening rate and index, firmness, pH, titratable acidity, pigment and ascorbic acid contents, and activity of chlorophyllase and pectin-methylesterase) were determined. The results show that the longest storage times (25 to 27 days) were recorded in bananas treated with Triton X-100 at 2 or 4% CaCl₂. The 6% and 8% CaCl₂ treatments as well as the control bananas showed the lowest storage time. The low index and slow ripening kinetics were found in bananas treated with 2 and 4% calcium chloride. The chlorophyll content gradually decreased during the storage and this in a similar way for all the treatments. No significant variation in carotenoid content was observed over time. Firmness and pH decreased significantly, while titratable acidity and ascorbic acid content increased over time. The activity of chlorophyllase and that of pectin-methylesterase increased over time. From all the above, it appears that the combined treatments with Triton X-100 and 2 or 4% calcium chloride solution significantly extended the green life duration of the bananas and slowed the physiological processes associated to ripening.

Historic

Received : 28 February 2022
Received in revised form : 29 August 2022
Accepted : 17 September 2022

1. Introduction

L'alimentation est aujourd'hui perçue comme un des facteurs de santé publique. Les fruits et légumes sont particulièrement recommandés pour cette alimentation.

*Corresponding author : Département de Biologie Végétale, Faculté des Sciences, Université de Dschang BP: 67, Dschang, Cameroun. Email: gkanmegne@yahoo.fr, Tel.: +237 677 49 00 69.

En trois décennies, la production mondiale de ces derniers est passée du simple au double [1]. Les fruits de certains végétaux sont comestibles, ont généralement une saveur sucrée, sont riches en eau, en glucides, en fibre végétale, en vitamine B1, B2, B6 et en sels minéraux. La richesse des fruits en minéraux essentiels leur confère un rôle crucial dans une alimentation

potentiellement promotrice de la santé. Plusieurs études épidémiologiques ont démontré que la consommation régulière et en quantité suffisante de fruits et légumes peut contribuer à diminuer le risque de maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies chroniques [2]. Pour maximiser la disponibilité de ces fruits, un accent doit être mis sur la production et la conservation. En ce qui concerne la banane dessert, la production mondiale est estimée à près de 79 millions de tonnes par an [3]. La banane-dessert représente le fruit le plus produit et le plus commercialisé dans le monde devant les pommes et les agrumes, mais avec seulement 17 millions de tonnes exportées [4,5]. Cependant, sa conservation comme celle de tous les fruits est sujette à de nombreux problèmes dont les causes sont multiples, surtout dans les pays en voie de développement [6]. Les estimations de pertes de ce fruit indiquent que 30 à 50% de la production mondiale seraient perdus entre le champ et l'assiette du consommateur [7]. La réduction de cette perte est un enjeu majeur par rapport à la distribution suffisante dans le monde en raison de l'augmentation de la population [6].

De nombreuses méthodes de conservation ont été mises sur pied. Il s'agit entre autres des méthodes archaïques (séchage, trempage dans de la cendre, de l'eau...), des méthodes modernes telles que la cryo-conservation, les atmosphères modifiées ou contrôlées, les emballages ou enrobages comestibles et le stockage à froid [8]. Malgré l'existence de toutes ces méthodes, les problèmes de pertes post récolte persistent [7]. La recherche des nouvelles méthodes de conservation des fruits après récolte reste donc un défi d'une pertinence certaine.

Depuis longtemps, il est connu que le chlorure de calcium ralentit le développement des désordres physiologiques et améliore la qualité des fruits [9]. Il rend les parois et les tissus plus résistants aux enzymes produites par les champignons et les bactéries, limitant ainsi les infections lors du mûrissement [10]. Cependant, l'absorption excessive de calcium, entraîne des lésions qui constituent un autre problème pour les fruits. Pourtant, la cuticule est la principale barrière à la pénétration de différents solutés [11] et les cires épicuticulaires sont connues pour réduire la pénétration cuticulaire de nombreux solutés [12]. En outre, de nombreuses études ont montré que les fissures pourraient constituer une voie de pénétration du calcium dans les fruits [13,14]. Par ailleurs, les agents tensioactifs à l'instar du Triton X-100 sont connus pour leurs propriétés de modifications des relations énergétiques aux interfaces, réduisant ainsi la tension superficielle [15] et améliorant l'absorption foliaire de composés biologiquement actifs [16]. L'objectif de la présente étude est de prolonger la durée de vie des bananes vertes à partir du chlorure de calcium combiné au Triton X-100. La présente étude vise spécifiquement à évaluer les effets des traitements au chlorure de calcium et au Triton X-100 sur la durée de vie des bananes vertes et sur les paramètres de mûrissement.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Zone de collecte des fruits

Les fruits ont été collectés dans la localité de Mélong (5° 7' 22" de latitude Nord et 9° 57' 83" de longitude Est). Mélong est une commune appartenant à la zone de forêt humide à pluviométrie monomodale du Cameroun. Son climat est équatorial du type

guinéen, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 2350 mm. Le pic de précipitation est enregistré entre Août et Septembre [17].

2.2. Matériel végétal et traitements

Trois cents doigts de bananes dessert de la variété "poyo" à l'état de maturité physiologique verte pleine ont été récoltés dans un verger. Soixante bananes ont servi de lot témoin et 240 bananes ont été traitées par trempage dans le Triton X-100 à 5% pendant 10 minutes. Après le trempage dans le Triton X-100, les bananes ont été réparties en quatre lots de 60 bananes chacun. Ces quatre lots ont été ensuite trempés dans différentes concentrations (2%, 4%, 6% et 8% m/v) de chlorure de calcium pendant 30 min et disposés sur la paillasse de laboratoire.

2.3. Evaluation de la durée de vie de bananes vertes et de la cinétique du mûrissement

Le nombre de fruits mûrs dans chaque lot a été noté chaque jour. La durée de vie de bananes vertes associée à chaque traitement a été définie comme le temps au bout duquel le pourcentage de mûrissement a atteint 100% [18]. La cinétique du mûrissement a été représentée par la courbe de variation du nombre de fruits mûrs en fonction du temps.

2.4. Détermination de l'index de mûrissement

L'index de mûrissement (IM) a été déterminé d'après la formule établie par Wang et Morris [19].

$$IM (\%) = \frac{\sum(NF \cdot SM \times (VSM - 1))}{NFT} \times 100$$

IM : Index de mûrissement ;

NFSM : Nombre de fruit par stade de mûrissement ;

VSM : Valeur stade de mûrissement ;

NFT : Nombre de fruit total.

Le nombre de fruit par stade de mûrissement a été noté et multiplié par la valeur du stade. Les stades de mûrissement considérés dans cette partie sont : stade 1: vert foncé ; stade 2: vert claire ; stade 3: tournant vert (plus vert que jaune) ; stade 4: tournant jaune (plus jaune que vert) ; stade 5: jaune avec des extrémités vertes; stade 6: entièrement jaune et stade 7: Jaune avec des points noirs.

2.5. Evaluation de la fermeté, du pH et de l'Acidité titrable

La mesure de la fermeté a été réalisée au moyen d'un pénétromètre. Elle a consisté à évaluer la résistance à la pénétration de l'embout cylindrique du pénétromètre à l'intérieur du fruit de banane. Trois perforations ont été réalisées sur des points différents du fruit. La valeur moyenne enregistrée représentant ainsi la fermeté du fruit et exprimée en newtons (N). La valeur du pH a été prise après filtration d'un mélange de 30 g de pulpe de banane à 50 mL d'eau distillée. En effet, le pH a été déterminé en plongeant directement la sonde d'un pH mètre de marque ATC dans du jus de banane contenu dans un bécher.

L'acidité titrable a été évaluée à partir du jus utilisé pour la mesure du pH : Sur un agitateur magnétique, 40 mL du filtrat ont été déposés et une solution de soude 0,1 N y a été ajoutée jusqu'à un pH de 8,1. Le volume de soude a été utilisé pour calculer la valeur de

l'acidité titrable, exprimée en mg d'acide citrique. Suivant la relation 1 ml de NaOH 0,1 N = 6,4 mL d'acide citrique [20].

2.6. Détermination de la teneur en pigments dans la peau des fruits

La teneur en pigments photosynthétiques dans la peau de la banane a été déterminée par la méthode de Lichtenthaler [21]. 5 g de peau et 1 g de sable ont été broyés dans un mortier à sec et introduits dans un tube à essai où 15 mL d'acétone pur ont été ajoutés. Les tubes ont été préalablement emballés du papier aluminium. Par la suite, les tubes ont été agités et déposés dans des gels de glace pendant 4 h. La détermination de la teneur en chlorophylles et en caroténoïdes totaux a été faite après lecture des absorbances au spectrophotomètre de marque Biochrom Libra S22 à 470 nm, 645 nm et 662 nm suivant les équations ci-dessous :
Chlorophylle a : $Chl\ a = 11,24 A_{662} - 2,04 A_{645}$
Chlorophylle b : $Chl\ b = 20,13 A_{645} - 4,19 A_{662}$
Caroténoïdes totaux : $C = (1000 A_{470} - 1,90 Chl\ a - 63,14 Chl\ b) / 214$.

2.7. Détermination de la teneur en acide ascorbique

La concentration en acide ascorbique a été déterminée en suivant la méthode de Malik et Singh [22]. 5 g de peau ou de pulpe de la banane ont été écrasés dans un mortier en présence d'1 g de sable. A ce broyat, il a été ajouté 20 mL d'acide métaphosphorique 6% contenant 0,18 g d'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA). Le mélange a été laissé au repos pendant 45 minutes et centrifugé à 4000 tr/min pendant 15 min. 400 µL de surnageant ont été prélevés et mélangés à 200 µL d'acide métaphosphorique 3%. 1,4 mL d'eau distillée dans laquelle 200 µL de réactif de Folin ont été également ajoutés. 10 min après, l'absorbance de l'échantillon a été mesurée à 760 nm en utilisant un spectrophotomètre de marque Biochrom Libra, model: S22. La concentration en acide ascorbique a été quantifiée à l'aide d'une courbe standard d'acide L-ascorbique et exprimée en mg/g de matière fraîche.

2.8. Mesure des activités enzymatiques

2.8.1. Détermination de l'activité de la chlorophyllase

Cinq grammes de peau de banane ont été écrasés dans un mortier en présence d'1 g de sable et introduit dans un tube à essai. 15 mL d'acétone y ont été ajoutés. Après extraction totale des chlorophylles, les résidus ont été rincés à deux reprises dans 5 mL d'acétone. Ces résidus ont ensuite été plongés dans 5 mL de tampon phosphate à pH 7 contenant du KCl à 50 mM et 0,24% de Triton X-100 pendant une heure dans du gel de glace. Le mélange réactionnel a été filtré sur papier Whatman N° 1. La solution filtrée a été utilisée comme un extrait enzymatique brut. L'activité de la chlorophyllase a été déterminée dans le mélange réactionnel selon la méthode de Hui-Cong *et al.* [23]. 200 µL d'extrait enzymatique ont été ajoutés à 1 mL de tampon phosphate à pH 7 contenant 0,46% de Triton X-100 et 1 mL de solution de chlorophylle acétonique de densité optique connue. Le mélange réactionnel a été incubé au bain d'eau à 30°C pendant 45 min. La réaction enzymatique a été arrêtée par addition de 5 mL d'acétone. Le reste de chlorophylle non dégradée a été extrait avec 5 mL d'hexane et

l'absorbance a été mesurée à 663 nm. La diminution de l'absorbance a été prise comme unité d'activité enzymatique.

2.8.2. Détermination de l'activité de la pectine-méthylestérase (PME)

L'activité de la pectine-méthylestérase a été déterminée dans la peau et dans la pulpe des bananes par la méthode de Hagerman et Austin [24] telle que modifiée par Omar et Aaran [25]. Pour cela, 5 g de peau ou de pulpe et 1 g de sable ont été écrasés dans un mortier et introduits dans 15 mL de NaCl de concentration 1 M et contenant 10 g.l-lde polyvinyl-polypyrrolidone (PVPP). Le mélange a été homogénéisé à répétition pendant 4 heures et filtré sur papier Whatman N° 1. Le pH du filtrat a été ajusté à 7 avec du NaOH 1 N à l'aide d'un pH-mètre. L'extrait a été utilisé pour déterminer l'activité de la PME. Toutes les étapes dans la préparation de l'extrait ont été effectuées dans les glaçons. L'activité enzymatique a été déterminée dans le mélange réactionnel composé de 600 µL de pectine de concentration 0,5%, et 150 µL de bleu de Bromothymole à 0,01% dans un tampon phosphate à pH 7,5, de 100 µL d'eau distillée et 100 µL de l'extrait enzymatique. La baisse de la densité optique a été déterminée par transmittance à 620 nm. Le résultat a été exprimé à l'aide du changement de la densité optique (ΔDO) en fonction du temps par gramme de peau.

2.9. Analyse des données

Les données quantitatives collectées sur les différents paramètres ont été soumises à l'analyse des variances (ANOVA) pour relever les différences significatives entre les moyennes. Le test de comparaison multiple de Student-Newmann-Keuls au seuil de probabilité $\alpha = 5\%$ a été utilisé pour séparer les moyennes dans les cas de différences significatives avérées. Le logiciel statistique IBM SPSS 20 a été utilisé à cet effet.

3. Résultats

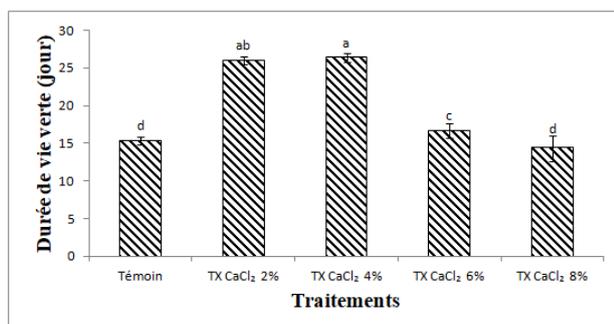
3.1. Effets des traitements sur la durée de vie de bananes vertes et la cinétique du mûrissement

3.1.1. Effets des traitements sur la durée de vie de bananes vertes

La durée de vie des fruits de bananes vertes a été comprise entre 15 et 27 jours. Les bananes traitées à 2% et 4% de chlorure de calcium ont présenté les durées de vie verte significativement plus longues comparées aux bananes témoins et celles traitées à 6 et 8% (Figure 1).

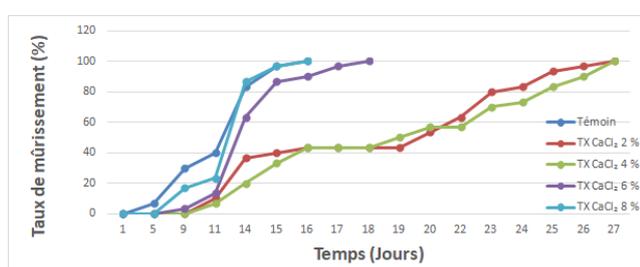
3.2. Effets des traitements sur la cinétique du mûrissement

La Figure 2 présente la cinétique du mûrissement des fruits après différents traitements. Il en ressort que suivant la cinétique du mûrissement, les bananes sont différenciées en deux groupes : Le premier groupe a été constitué des bananes témoins et des bananes traitées à 6 et 8% de chlorure de calcium qui ont atteint 100% de mûrissement entre le 15^{ème} et le 18^{ème} jour. Le deuxième groupe a été constitué des bananes traitées à 2 et 4% de chlorure de calcium. Ces dernières ont présenté une vitesse moins rapide que le premier groupe (100% de mûrissement au 27^{ème} jour).



Les barres surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5%. TX : Triton X-100 ; CaCl₂ : Chlorure de calcium

Figure 1 : Variation de la durée de vie verte en fonction des traitements

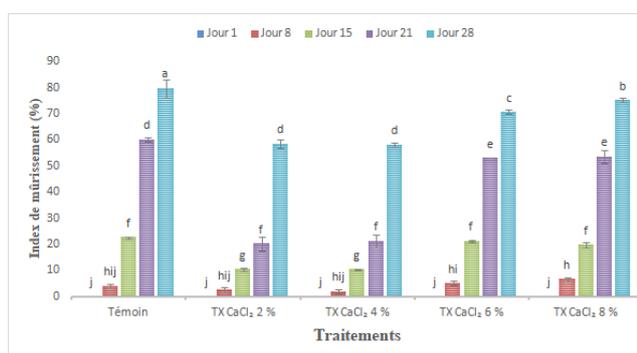


TX : Triton X-100 ; CaCl₂ : Chlorure de calcium

Figure 2 : Cinétique de mûrissement des bananes des différents traitements

3.3. Effets des traitements sur l'index de mûrissement

A partir du 15^{ème} jour après traitement, un effet significatif des traitements sur l'index de mûrissement a été observé. Du 15^{ème} au 28^{ème} jour après traitement, l'index de mûrissement a été significativement plus faible chez les fruits traités à 2 et 4% de chlorure de calcium que chez les fruits ayant subi d'autres traitements.



Les barres surmontées des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5%. TX : Triton X-100 ; CaCl₂ : Chlorure de calcium.

Figure 3 : Variation de l'index de mûrissement en fonction des traitements et du temps

3.4. Effet des traitements sur la fermeté, le pH et l'Acidité titrable

Globalement, aucune variation significative de la fermeté n'a été observée les 7 premiers jours de l'expérimentation (Tableau 1). A partir du 14^{ème} jour, une perte de la fermeté a été observée exclusivement dans le lot témoin et ceux des bananes traitées à 6 ou 8% de CaCl₂, tandis que les traitements au chlorure de calcium à 2% et 4% ont gardé des valeurs maximales de la fermeté (4 N). Au 21^{ème} jour, des pertes de la fermeté ont été observées chez toutes les bananes. Cependant la fermeté des bananes traitées à 4% de CaCl₂ est restée significativement plus élevée que celles des bananes issues des autres traitements. Les fermetés les plus faibles ont été enregistrées chez les bananes témoins et celles traitées à 8% de CaCl₂.

Le pH et l'acidité titrable ont évolué en sens contraire pendant la période de stockage des bananes. Alors que les valeurs du pH ont été progressivement décroissantes, celles de l'acidité ont augmenté au cours du temps. Entre le jour 1 et le jour 22, une diminution significative des valeurs du pH a été enregistrée dans tous les traitements. Cependant, les traitements n'ont pas eu d'effet significatif sur la variation du pH.

L'acidité titrable des bananes a évolué en fonction du temps et en fonction des traitements (Tableau 1). Les bananes traitées à 2 et 4% de chlorure de calcium ont présenté à partir du 7^{ème} jour un plus faible accroissement de l'acidité titrable par rapport aux bananes témoins et celles traitées à 6 et 8% de chlorure de calcium. Cependant, aucune différence significative n'a été observée selon l'analyse des variances au seuil de 5%.

3.5. Effet des traitements sur la teneur en pigments dans la peau des fruits

Les teneurs en chlorophylles A ont progressivement baissé au cours du temps. Au 15^{ème} jour après traitement, les lots témoins, et ceux des bananes traitées à 6 ou 8% de chlorure de calcium ont présenté des teneurs en chlorophylles a significativement plus faibles par rapport aux teneurs des bananes traitées à 2 ou 4% de CaCl₂ (Tableau 2). Toutefois, à la fin de l'expérimentation, aucune différence significative n'a été observée entre les teneurs en chlorophylles a des différents traitements.

Les teneurs en chlorophylles b ont été plus élevées au premier jour pour tous les traitements. Les teneurs en chlorophylle b n'ont présenté aucune différence significative aussi bien en fonction du temps que des traitements.

Au cours de la période d'étude, les teneurs en caroténoïdes n'ont significativement varié ni en fonction du temps, ni en fonction des traitements.

3.6. Effet des traitements sur la teneur en acide ascorbique

Dans la peau, les teneurs en acide ascorbique ont présenté au cours du temps une augmentation significative. Les plus grandes teneurs ont été obtenues le 23^{ème} jour chez des bananes témoins. Cependant à la même date, la plus faible valeur a été obtenue avec les bananes traitées à 8% de chlorure de calcium (Tableau 3).

Tableau 1 : Variation de la fermeté, du pH et de l'acidité titrable des bananes au cours du temps et en fonction des traitements

Fermeté (Newton)				
Traitements	Jour 1	Jour 7	Jour 14	Jour 22
Témoïn	4±0 ^a	4±0 ^a	1,73±0,05 ^{fg}	1,53±0,05 ^a
TX CaCl ₂ 2%	4±0 ^a	4±0 ^a	4±0 ^a	1,86±0,05 ^{ef}
TX CaCl ₂ 4%	4±0 ^a	4±0 ^a	4±0 ^a	2,36±0,15 ^b
TX CaCl ₂ 6%	4±0 ^a	4±0 ^a	3,43±0,40 ^b	2,03±0,15 ^{de}
TX CaCl ₂ 8%	4±0 ^a	4±0 ^a	2,2±0,3 ^{bc}	1,53±0,05 ^a
pH				
Traitements	Jour 1	Jour 7	Jour 14	Jour 22
Témoïn	5,76±0,05 ^a	5,46±0,05 ^{abc}	4,93±0,05 ^{cd}	4,7±0,1 ^d
TX CaCl ₂ 2%	5,76±0,05 ^a	5,66±0,05 ^{ab}	5,26±0,05 ^{abcd}	4,93±0,05 ^{cd}
TX CaCl ₂ 4%	5,76±0,05 ^a	5,7±0,1 ^{ab}	5,26±0,05 ^{abcd}	4,96±0,15 ^{cd}
TX CaCl ₂ 6%	5,76±0,05 ^a	5,23±0,05 ^{abcd}	5,2±0,1 ^{abcd}	4,83±0,25 ^d
TX CaCl ₂ 8%	5,76±0,05 ^a	5,16±0,05 ^{bcd}	5,13±0,11 ^{bcd}	4,83±0,25 ^d
Acidité titrable (meq d'acide citrique)				
Traitements	Jour 1	Jour 7	Jour 14	Jour 22
Témoïn	34,98±0,36 ^d	41,81±2,95 ^{cd}	49,70±1,61 ^{abc}	49,49±2,05 ^{abc}
TX CaCl ₂ 2%	34,98±0,36 ^d	39,89±1,95 ^{cd}	43,73±0,36 ^{cd}	43,30±1,95 ^{cd}
TX CaCl ₂ 4%	34,98±0,36 ^d	39,25±2,24 ^{cd}	44,80±1,28 ^{bcd}	48,64±4,48 ^{abc}
TX CaCl ₂ 6%	34,98±0,36 ^d	47,14±1,47 ^{bc}	50,56±2,30 ^{abc}	54,40±1,69 ^{abc}
TX CaCl ₂ 8%	34,98±0,36 ^d	46,72±2,78 ^{bc}	55,68±3,38 ^{ab}	58,66±3,63 ^a

Les valeurs suivies des mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5 %. TX : Triton X-100 ; CaCl₂ : Chlorure de calcium.

Tableau 2 : Variation des teneurs en pigments au cours du temps et en fonction des traitements

Teneur en chlorophylle <i>a</i> (µg/g)				
Traitements	jour 1	jour 8	jour 15	jour 22
Témoïn	14,65±1,22 ^a	12,60±0,86 ^{ab}	8,54±0,37 ^{cd}	6,92±0,56 ^d
TX CaCl ₂ 2%	14,65±1,22 ^a	12,29±1,42 ^{ab}	10,83±0,51 ^{bc}	7,50±0,85 ^d
TX CaCl ₂ 4%	14,65±1,22 ^a	12,68±1,54 ^{ab}	11,62±0,84 ^b	9,14±0,36 ^{cd}
TX CaCl ₂ 6%	14,65±1,22 ^a	11,58±1,38 ^b	8,78±0,11 ^{cd}	7,96±0,45 ^d
TX CaCl ₂ 8%	14,65±1,22 ^a	10,55±0,07 ^{bc}	9,01±1,03 ^{cd}	7,6±0,60 ^d
Teneur en chlorophylle <i>b</i> (µg/g)				
Traitements	Jour 1	Jour 8	Jour 15	Jour 22
Témoïn	4,39±2,09 ^a	0,96±0,99 ^a	2,07±0,13 ^a	1,42±0,47 ^a
TX CaCl ₂ 2%	4,39±2,09 ^a	3,16±1,18 ^a	1,32±0,71 ^a	3,10±0,46 ^a
TX CaCl ₂ 4%	4,39±2,09 ^a	1,88±0,87 ^a	1,67±0,79 ^a	2,04±0,69 ^a
TX CaCl ₂ 6%	4,39±2,09 ^a	2,09±1,69 ^a	1,31±0,14 ^a	2,78±0,63 ^a
TX CaCl ₂ 8%	4,39±2,09 ^a	3,06±1,31 ^a	3,06±1,57 ^a	2,72±0,15 ^a
Teneur en Caroténoïdes (µg/g)				
Traitements	jour 1	jour 8	jour 15	jour 22
Témoïn	5,13±0,71 ^{ab}	4,78±0,80 ^b	5,20±0,68 ^{ab}	4,98±0,47 ^b
TX CaCl ₂ 2%	5,13±0,71 ^a	4,85±0,92 ^a	4,50±0,62 ^a	5,01±0,28 ^a
TX CaCl ₂ 4%	5,13±0,71 ^a	4,65±0,01 ^a	5,07±0,41 ^a	5,64±1,29 ^a
TX CaCl ₂ 6%	5,13±0,71 ^a	5,45±0,11 ^a	5,15±0,66 ^a	5,32±0,75 ^a
TX CaCl ₂ 8%	5,13±0,71 ^a	5,08±0,27 ^a	5,43±0,53 ^a	5,27±1,49 ^a

Les valeurs suivies des mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5 %. TX : Triton X-100 ; CaCl₂ : Chlorure de calcium.

En ce qui concerne la pulpe des bananes, les teneurs en acide ascorbique ont présenté une augmentation progressive en fonction du temps tout comme dans la peau à la différence que les valeurs dans la pulpe ont été un peu plus faibles. Cependant, en fonction des traitements, aucune différence significative n'a été observée dans les teneurs en acide ascorbique des différents lots de bananes.

Tableau 3 : Variation des teneurs en acide ascorbique dans la peau et dans la pulpe en fonction du temps et des traitements

Teneur en acide ascorbique de la peau (mg/g)				
Traitements	Jour 1	Jour 8	Jour 16	Jour 23
Témoïn	0,59±0,33 ^{efg}	0,29±0,02 ^a	1,91±0,34 ^{bc}	2,52±0,19 ^a
TX CaCl ₂ 2%	0,59±0,33 ^{efg}	0,72±0,48 ^{efg}	1,52±0,10 ^{cd}	1,66±0,08 ^{bcd}
TX CaCl ₂ 4%	0,59±0,33 ^{efg}	1,05±0,23 ^{de}	2,06±0,03 ^{abc}	1,87±0,19 ^{bc}
TX CaCl ₂ 6%	0,59±0,33 ^{efg}	1,37±0,53 ^{cd}	1,55±0,07 ^{cd}	2,29±0,06 ^{ab}
TX CaCl ₂ 8%	0,59±0,33 ^{efg}	0,37±0,21 ^{fg}	0,37±0,21 ^{fg}	1,01±0,29 ^{def}
Teneur en acide ascorbique de la pulpe (mg/g)				
Traitements	Jour 1	Jour 8	Jour 16	Jour 23
Témoïn	0,25±0,28 ^d	0,93±0,10 ^{abcd}	0,88±0,41 ^{abcd}	1,18±0,27 ^{ab}
TX CaCl ₂ 2%	0,25±0,28 ^d	0,31±0,29 ^d	1,21±0,02 ^{ab}	1,44±0,18 ^a
TX CaCl ₂ 4%	0,25±0,28 ^d	0,45±0,56 ^{cd}	1,20±0,01 ^{ab}	1,62±0,02 ^a
TX CaCl ₂ 6%	0,25±0,28 ^d	1,06±0,16 ^{abc}	1,55±0,14 ^a	1,62±0,21 ^a
TX CaCl ₂ 8%	0,25±0,28 ^d	1,01±0,47 ^{abc}	0,63±0,04 ^{bcd}	1,65±0,22 ^a

Les valeurs suivies des mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5 %. TX : Triton X-100 ; CaCl₂ : Chlorure de calcium

3.7. Effet des traitements sur l'activité enzymatique des bananes

L'activité de la chlorophyllase a présenté une augmentation chez tous les traitements y compris chez les bananes témoins. Cette activité a rapidement augmenté entre le 1er et le 8^{ème} jour de l'expérimentation, allant de 0,06% à plus de 0,19% chez toutes les bananes. Après le 8^{ème} jour, l'activité de la chlorophyllase est restée stable entre les jours 16 et 23. Aucun effet significatif des traitements n'a été enregistré sur l'évolution de l'activité de la chlorophyllase.

Dans la peau de la banane de tous les traitements et même chez les témoins, l'activité de la pectine-méthylestérase a été croissante à partir du 8^{ème} jour de l'expérimentation. Au 16^{ème} jour, toutes les bananes quel que soit le traitement ont présenté une augmentation significative de cette activité par rapport au jour 1. Au-delà du jour 16, les traitements au chlorure de calcium à 4 et 6% se sont différenciés par leurs activités pectine-méthylestérase significativement plus élevées. Ces derniers ont eu en tout temps une activité plus grande.

Dans la pulpe des bananes, le sens de progression de l'activité de la pectine-méthylestérase est presque similaire à celui observé dans la peau (Tableau 4). Chez les bananes traitées à 2% et 4% de CaCl₂, une augmentation de l'activité au cours du temps a été observée, alors que chez les bananes traitées à 6% et 8% de CaCl₂, l'activité a augmenté jusqu'au jour 16 avant de baisser entre le jour 16 et le jour 23. Par contre chez les bananes témoins non traitées, l'activité enzymatique dans la pulpe a augmenté entre le jour 1 et le jour 8, puis a baissé entre le jour 8 et le jour 16 avant d'augmenter à nouveau entre le jour 16 et le jour 23.

Tableau 4: Variation des activités enzymatiques au cours du temps et en fonction des traitements des bananes

Activité de la chlorophyllase dans la peau (unité enzymatique)				
Traitements	Jour 1	Jour 8	Jour 16	Jour 23
Témoïn	0,06±0,00 ^d	0,20±0,00 ^{cd}	0,21±0,00 ^{ab}	0,21±0,00 ^{abc}
TX CaCl ₂ 2 %	0,06±0,00 ^d	0,19±0,00 ^c	0,20±0,00 ^{bcd}	0,20±0,00 ^{bcd}
TX CaCl ₂ 4 %	0,06±0,00 ^d	0,19±0,00 ^c	0,20±0,00 ^{bcd}	0,20±0,00 ^{bcd}
TX CaCl ₂ 6 %	0,06±0,00 ^d	0,19±0,00 ^c	0,21±0,00 ^{abc}	0,21±0,00 ^{abc}
TX CaCl ₂ 8 %	0,06±0,00 ^d	0,20±0,00 ^{cd}	0,21±0,00 ^a	0,20±0,00 ^{bc}
Activité de la pectine-méthylestérase dans la peau (unité enzymatique)				
Traitements	Jour 1	Jour 8	Jour 16	Jour 23
Témoïn	0,01±0,01 ^f	0,04±0,03 ^{ef}	0,07±0,01 ^{de}	0,04±0,00 ^{ef}
TX CaCl ₂ 2 %	0,01±0,01 ^f	0,07±0,01 ^{de}	0,16±0,01 ^b	0,01±0,00 ^f
TX CaCl ₂ 4 %	0,01±0,01 ^f	0,07±0,02 ^{de}	0,15±0,02 ^b	0,29±0,01 ^a
TX CaCl ₂ 6 %	0,01±0,01 ^f	0,07±0,00 ^{de}	0,13±0,02 ^{bc}	0,29±0,00 ^a
TX CaCl ₂ 8 %	0,01±0,01 ^f	0,03±0,01 ^{de}	0,11±0,02 ^{cd}	0,03±0,00 ^f
Activité de la pectine-méthylestérase dans la pulpe (unité enzymatique)				
Traitements	Jour 1	Jour 8	Jour 16	Jour 23
Témoïn	0,10±0,03 ^d	0,17±0,00 ^{bc}	0,12±0,03 ^{cd}	0,23±0,00 ^a
TX CaCl ₂ 2 %	0,10±0,03 ^d	0,23±0,00 ^a	0,23±0,00 ^a	0,24±0,02 ^a
TX CaCl ₂ 4 %	0,10±0,03 ^d	0,22±0,01 ^{ab}	0,25±0,00 ^a	0,26±0,02 ^a
TX CaCl ₂ 6 %	0,10±0,03 ^d	0,13±0,01 ^{cd}	0,27±0,02 ^{ab}	0,17±0,02 ^{bc}
TX CaCl ₂ 8 %	0,10±0,03 ^d	0,12±0,03 ^{cd}	0,24±0,00 ^a	0,17±0,01 ^{bc}

Les valeurs suivies des mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité 5 %. TX : Triton X-100 ; CaCl₂ : Chlorure de calcium

4. Discussion

Le mûrissement de la banane est un processus au cours duquel on assiste au virage progressif de l'épicerpe du vert au jaune à travers plusieurs stades [26]. La variabilité de la durée de vie verte des bananes dans les conditions réelles de stockage a été constatée au cours de ces travaux. Des écarts de durée de vie de bananes vertes entre les traitements ont été relevés : 15 jours pour les bananes témoins et 27 jours pour les bananes traitées à 2 et 4% de chlorure de calcium. Cependant, les bananes traitées avec des fortes concentrations de chlorure de calcium ont présenté un effet presque similaire par rapport aux bananes témoins. Il a été démontré que l'augmentation de la teneur en calcium améliore la durée de vie de bananes verte des fruits à travers la stabilisation des processus physiologiques [27]. Le résultat contraire obtenu avec des concentrations élevées de chlorure de calcium serait lié aux dommages causés par la pénétration excessive de CaCl₂ au niveau des parois cellulaires. En effet, Bukovac *et al.* [11] ont rapporté que l'absorption excessive de calcium cause des lésions qui constituent un autre problème pour les fruits.

La baisse progressive de la fermeté des fruits a été observée au cours de cette étude. Ce résultat est semblable à ceux de Kouame *et al.* [28] au cours du mûrissement des fruits de bananes. En effet, l'observation de la perte de la fermeté lors de ce phénomène

est liée à l'action d'enzymes telles que les pectinases et les polygalacturonases [29]. Ces dernières entraînent une baisse des taux d'amidon, de protopectines, de cellulose, d'hémicellulose, et une augmentation des taux de solides et de sucres solubles totaux [30]. A la fin de l'étude, les traitements à 2 et 4% de CaCl₂ ont gardé une plus grande fermeté. Aghofack-Nguemezi et Yambou [31] ont obtenu une perte significative de la fermeté des bananes témoins comparées à celles traitées à 200 mg/L de CaCl₂. Selon White et Broadly [32], les fruits traités au chlorure de calcium gardent une fermeté élevée pendant une plus longue durée. Toutefois, les solutions à forte concentration de CaCl₂ (6 ou 8%) auraient causé des dommages au niveau des parois cellulaires, aboutissant à une accélération du processus de mûrissement des fruits.

La progression de l'acidité titrable au cours du mûrissement des bananes conservées montre l'augmentation de cette dernière jusqu'à un maximum au 15ème jour de l'expérimentation. D'après plusieurs auteurs [26, 28, 33], l'acidité titrable des bananes dessert augmente jusqu'au stade 5 avant de baisser. L'augmentation des teneurs en acides dans la pulpe de la banane au cours du mûrissement, serait liée à la présence des acides organiques, en particulier les acides citriques, maliques et oxaloacétiques [34,35]. Selon John et Marchal [37], la baisse des teneurs en acides observée après que le maximum ait été atteint, serait due à l'utilisation de ces derniers comme substrats par de nombreuses enzymes dont la malate synthase et la phosphoenol pyruvate carboxylase lors des activités métaboliques, notamment dans les voies respiratoires. La faible diminution du pH enregistrée dans la présente étude contraste avec les résultats de Borji *et al.* [37]. En effet, dans la plupart des fruits au cours du mûrissement, on observe une augmentation du pH due à la conversion des acides en sels, ainsi qu'à la perte rapide en acide citrique associée à une légère baisse de la teneur en acide malique [38]. Chez la banane par contre jusqu'à un certain stade, on assisterait toujours à l'utilisation des polysaccharides comme substrat dans le catabolisme cellulaire. L'accumulation des acides malique et citrique qui en résulte serait donc à l'origine de l'augmentation du pH.

La présente étude rapporte une diminution significative de la teneur en chlorophylle a associée à une stabilisation de la teneur en caroténoïdes dans la peau des bananes au cours du mûrissement. Cette baisse de la teneur en chlorophylles a a déjà été rapportée par Youmbi *et al.* [39] au cours du développement et de la maturation des fruits de *Spondias cytherea* et par Kouete *et al.* [40] avec les mangues du Cameroun. La diminution de la teneur en chlorophylle A serait attribuée à la chlorophyllase, une des enzymes clés impliquées dans la dégradation des chlorophylles, qui aurait une action préférentielle pour la chlorophylle A [41]. La coloration de la peau des bananes est passée progressivement de la couleur verte à la couleur jaune. L'évolution des pigments est liée au processus du mûrissement des fruits qui se traduit extérieurement par la perte progressive de la coloration verte de la peau au profit d'une coloration plus vive qui varie en fonction des fruits [42,43]. En effet, les chromoplastes des fruits en mûrissement sont encore le siège des réactions de synthèse [41]. Cependant la nouvelle couleur est liée à la présence des caroténoïdes préexistants ou à celles nouvellement synthétisées

[30]. Dans une étude précédente, la baisse de la teneur en caroténoïdes a été observée chez les bananes jusqu'à un certain seuil avant une nouvelle augmentation [43]. La synthèse des nouveaux caroténoïdes serait donc couplée à sa propre dégradation lors du mûrissement. La teneur en chlorophylle B n'a présenté aucune variation significative au cours du mûrissement. Ceci pourrait être dû au fait qu'au cours du mûrissement, la chlorophyllase dégrade préférentiellement la chlorophylle a au détriment de la chlorophylle B [41].

L'acide ascorbique est essentiellement utilisé au niveau cellulaire comme un donneur d'électrons sous sa forme ionisée (ascorbate) [44]. Ce dernier étant capable de réagir directement avec l'anion super oxyde et l'oxygène singulet, réduisant ainsi la peroxydation lipidique et les dommages aux protéines et à l'ADN [44]. Également, l'acide ascorbique joue un rôle indirect d'antioxydant en recyclant les caroténoïdes et la vitamine E pour permettre une meilleure efficacité de la peroxydase ascorbate [45]. Au cours de la conservation des bananes, une augmentation des teneurs en acide ascorbique a été observée au cours du temps dans la peau comme dans la pulpe. Seulement, au niveau de la pulpe les valeurs ont été plus faibles en comparaison aux valeurs dans la peau. La tendance de progressions en acide ascorbique observée ici rejoint celle observée par Nour et al. [46]. Chez les fruits climactériques, on observe un pic de respiration lors du mûrissement. En fait, l'augmentation des teneurs en acide ascorbique lors de ce processus est liée à l'amélioration du processus de respiration [47]. Cependant, certains résultats ont permis plutôt de conclure que les valeurs de l'acide ascorbique sont constantes durant les premières phases du mûrissement du fruit et une légère augmentation n'est observable qu'à la fin du mûrissement [48]. En outre, d'après, Nour et al. [49] l'accumulation de la vitamine C est effective jusqu'à un certain stade de mûrissement à partir duquel la valeur décroît de façon significative. Ces informations contradictoires tirées de la littérature emmènent à énoncer l'hypothèse suivant laquelle les fonctions physiologiques de la vitamine C seraient dépendantes à la fois des conditions environnementales, variétales et du type de fruits.

La première étape de dégradation enzymatique de la chlorophylle correspond à l'hydrolyse de l'ester phytylique pour donner le chlorophyllide. Elle est assurée par la chlorophyllase [41]. C'est une enzyme qui possède un rôle biosynthétique et hydrolysant [50] et joue un rôle capital dans le processus de régulation du catabolisme de la chlorophylle chez les fruits [51]. Au cours de la présente étude, l'activité de la chlorophyllase a présenté une augmentation de façon globale chez tous les traitements. Mais, entre les jours 16 et 23, aucune différence significative n'a été relevée. Ce résultat corrobore à ceux obtenus par Minamide et Ogata [52] chez la tomate et par Wang et al. [53] avec le litchi. En effet, l'augmentation de l'activité de la chlorophyllase est la cause de la baisse de la teneur en chlorophylle [54, 55].

Le ramollissement du tissu est attribué à la dégradation enzymatique (pectine-méthylestérase) et à la solubilisation de la protopectine [56]. Dans la présente étude, l'activité de la pectine-méthylestérase (PME) dans la peau et dans la pulpe des bananes a été croissante en fonction du mûrissement. Ce résultat est

similaire à celui de Patil et Magar [57]. D'après ces derniers, l'activité de la PME est significativement plus grande chez une banane mûre comparée à celle chez une banane mature verte. Il est en effet établi que le ramollissement des fruits est lié à l'augmentation de ladite activité [58, 59, 60]. Ceci s'explique par une solubilisation suivie par une dépolymérisation et une désestérification des polysaccharides pectiques au cours du mûrissement comme précédemment rapporté avec des fruits comme de l'olive [61] et la banane [62].

Conclusion

Il ressort de la présente étude que les bananes traitées au Triton X-100 avec 2 et 4% de CaCl₂ ont présenté les plus longues durées de vie verte avec un plus faible index de mûrissement et une fermeté plus élevée à la fin de l'expérimentation. Les traitements à 6% et 8% de CaCl₂ et les bananes témoins ont présenté un mûrissement plus rapide. Une diminution des teneurs en chlorophylle a et du pH a été observée au cours du temps. Les teneurs en caroténoïdes en générale sont restées presque stable durant la période de l'étude. L'acidité titrable et le dosage d'acide ascorbique ont indiqué une augmentation des valeurs avec le temps. Aussi, l'activité de deux enzymes à savoir la chlorophyllase et la pectine-méthylestérase a évolué de façon croissante durant le temps de conservation. Les traitements des bananes à partir du Triton X-100 et du chlorure de calcium à 2% ou 4% ont permis de prolonger la durée de conservation d'environ 10 jours de plus que celle des autres traitements. Les traitements à 6% et 8% de chlorure de calcium ont présenté des temps de conservation similaires au temps de conservation des bananes témoins.

Références

1. Fajac F. 1998. La production et le commerce mondial des fruits et légumes. Dossier analyse économique. In : Observatoire des marchés Fruitrop. Montpellier: Cirad : 1-10
2. Willcox J.K., Ash S.L. and Gatigani G.L. 2004. Antioxydants and prevention of chronic disease. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.* 44 (4): 275-295.
3. Lescot T. 2015. « La diversité génétique des bananiers ». *Fruitrop*. 231: 98-102.
4. Heslop-Harrison J.S. and Schwarzacher T. 2007. Domestication, genomics and the future for banana. *An. Bot.* 100: 1073-1084.
5. Loeillet D. 2015. « Marché mondial de la banane: de l'influence des parités monétaires ». *Fruitrop*. 231: 40-67.
6. Jeannequin B., Plénet D., Carlin F.3, Chauvin J.-E. et Dosba F. 2015. Pertes alimentaires dans les filières fruits, légumes et pomme de terre. *Inn. Agr.* 48: 59-77.
7. FAO. 2011. Global food losses and food waste - extent, causes and prevention. Rome.
8. Lammers S.M. 1981. All about Tomatoes. Chevron Chemical Company. San Francisco, CA, USA.
9. Davies J. and Hobson G. 1981. The constituents of tomato fruit - The influence of environment, nutrition and genotype. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.* 15: 205-280.

10. Causse M., Saliba-colombani V., Lesschaeve I. and Buret M. 2001. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 2. Mapping QTLs for sensory attributes. *Theor. App. Gen.* 102: 273-283.
11. Bukovac M.J., Rasmussen H.P. and Shull V.E. 1981. The cuticle: Surface, structure and function. *Scann. Electr. Microsc.* 3: 213-223.
12. Schonherr J. and Riederer M. 1989. Foliar penetration and accumulation of organic chemicals in plant cuticles, p. 1-70. In: F.A. Gunther (ed.). *Reviews of environmental contamination and toxicology*, vol. 108. Springer Verlag, New York.
13. Harker F.R. and Ferguson I.B. 1988. Transport of calcium across cuticles isolated from apple fruit. *Sci. Hort.* 36: 205-217.
14. Roy S., Conway W.S., Watada A.E., Sams C.E. and Wergin W.P. 1996. Low-temperature SEM of the epicuticular wax of apples: Structural changes during storage and calcium uptake. *Food Structure*. Personal communication.
15. Rosen M.J. 1978. *Surfactants and interfacial phenomena*. Wiley, New York.
16. Attwood D. and Florence A.T. 1983. *Surfactant systems: Their chemistry, pharmacy and biology*. Chapman & Hall, London.
17. Centre Technique de la Forêt Communale. 2013. *Reserve forestière de Mélong, étude socio-économique*. www.foretcommunale-cameroun.org.
18. Bugaud C et Lassoudière A. 2005. Variabilité de la durée de vie verte des bananes en conditions réelles de production. *Fruits* 60: 227-236.
19. Wang S. and Morris S.C. 1993. Effect of borax and quazatine on ripening and postharvest diseases of tomato (cv. Flora-Dade). *Acta Hort.* 343: 331-333
20. Shin H., Yuka Y., Hiroshi N., Takayuki M. and kazuyoshi N. 2012. Fruit photosynthesis and phosphoenolpyruvate carboxylase activity as affected by lightproof fruit bagging in satsuma mandarin. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 137 (4): 215-220.
21. Lichtenthaler H.K. 1987. Chlorophylles et caroténoïdes, les pigments de la photosynthèse biomembranes. In: Douce, R. et Packer, L. (éd.), *Methods Enzymol.*, 148: 350-382, Académique Press Inc., New York.
22. Malik A.U. and Singh Z. 2005. Pre-storage application of polyamines improves shelf-life and fruit quality in mango. *J. Hort. Sci. Biotech.* 80: 363-369.
23. Hui-Cong W., Xu-Ming H., Gui-Bing H., Zhuan-yin Y. and Hui-Bai H. 2005. A comparative study of chlorophyll loss and its related mechanism during fruit maturation in the pericarp of fast- and slow-degreening litchi pericarp. *Sci. Hort.* 106: 247-257.
24. Hagerman A.E. and Austin P.J. 1986. Continuous spectrophotometric assay for plant pectin methyl esterase. *J. Agr. Food Chem.* 92: 151-158.
25. Omar F.M. and Aaran A.M.P. 2015. Sprays mixing resveratrol and benzylaminopurine previous harvest helps to reserve postharvest quality in cherimoya. *J. Agric. Life Sci.* 2: 16-21.
26. Marchal J. et Nolin J., 1990. Bananes. *Qualité des fruits, Physiologie avant et après récolte*. *Fruits* 70 :119-122.
27. Conway W.S., Buta J.G. and Watada E.A. 1996. Surfactants affect calcium uptake from postharvest treatment of 'golden delicious' apples. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121(6): 1179-1184.
28. Kouame R., Camara B. et Dick E. 2010. Evaluation des changements physico-chimiques caractérisant le mûrissement au cours de l'entreposage de trois variétés de bananes Musa spp. (AAB, cv. Corne 1 ; AAA, cv. Poyo et AA, cv. Figue Sucrée). *Sci. & Nat.* 7(2): 155-163.
29. Thai-Thi H. 2000. Effet de différents enrobages sur les caractéristiques de la conservation à l'état frais de la mangue. CIRAD-FLHOR, Montpellier. 171p.
30. Hasakote M.Y., Tyakal N.P. and Rudrapatnam N.T. 2006. Mango ripening: Changes in cell wall constituents in relation to textural softening. *J. Sci. Food Agric.* 86:713-721.
31. Aghofack-Nguemezi J. and Yambou T. 2005. Effects of calcium chloride and magnesium sulfate treatments on the shelf-life of climacteric banana and non-climacteric pineapple. *Cameroon J. Exp. Biol.* 1(1): 34-38.
32. White P. J. and Broadley M. R. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany* 92: 487-511.
33. Collin M.N. and Dalnic R. 1991. Évolution de quelques critères physico-chimiques de la banane plantain (cultivar Orishele) au cours de la maturation. *Fruits* 46: 13-17.
34. Satyan SH. and Patwardhan MV. 1984. Purification and regulatory properties of phosphoenolpyruvate carboxylase from banana fruits of Dwarf Cavendish. *J. Food Sci. Tech.* 21: 135-138.
35. Inaba A. and Nakamura R., 1988. Numerical expression for estimating the minimum ethylene exposure time necessary to induce ripening in banana fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 113 (4): 561-564.
36. John P. and Marchal J. 1995. Ripening and biochemistry of fruit. In: Gowen S., ed. *Bananas and Plantains*. Chapman & Hall, London. 434-467.
37. Borji H., Mohammadi G. A. and Jafarpour M. 2012. Comparison between tomato quality of mature-green and red-ripe stages in soilles culture. *Short Communication: African J. Agric. Res.* 7(10): 1601-1603.
38. Kumar R., Kaushik R.A. and Chharia A.S. 1992. Effect of postharvest treatments on the quality of mango during storage. *J. Hort. Sci.* 21 (2): 46-55.
39. Youmbi E., Zemboudem N.M. et Tonfack L.B. 2010. Changements morphologiques et biochimiques au cours du développement et de la maturation des fruits de Spondias cytherea (Anacardiaceae). *Fruits* 65(5): 285-292.
40. Kouete J.O., Phounzong-Tafre E. and Aghofack-Nguemezi J. 2019. Changes in the ripening characteristics and shelf life of mango fruits as related to the application of coating based on cocoa leaf extracts. *J. Adv. Biol. Biotech.* 22(4): 1-13.
41. Matile P. and Hörtensteiner S. 1999. Chlorophyll degradation. *Physiol. Mol. Biol. Plant.* 50: 67-95.
42. Piechulla B., Glick R. E., Bahl H., Melis A. and Gruijssem W. 1987. Changes in photosynthetic Capacity and photosynthetic Protein pattern during tomato fruit ripening. *Plant Physiol.* 84: 911-917.
43. Aghofack-Nguemezi J., Tonfack L.B., Neambo H.K., Schoch S. and Gräfe U. 2006. Effects of coconut oil and palm kernel oil

- treatments on ripening process in banana fruits. *Cameroon J. Exp. Biol.* 2(1): 16 – 21.
44. Foyer C.H. and Noctor G. 2005. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell Env.* 28: 1056-1071.
 45. Nordberg J. and Arnér E.S. 2001. Reactive oxygen species, antioxidants, and the mammalian thioredoxin system. *Free Rad. Biol. Med.* 31(11): 1287-312.
 46. Nour V., Ionica M. E. and Trandafir I., 2015. Bioactive compounds, antioxidant activity and color hydroponic tomato fruits at different stages of ripening. *Notion Bot. Hort. Agric.* 43(2): 404-412.
 47. Garcia-Valverde V., Navarro-González I., García-Alonso J. and Periago M.J. 2013. Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars. *Food Biop. Tech.* 6(2): 391-402.
 48. Cano A., Acosta M. and Arnao M.B. 2003. Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Post. Biol. Tech.* 28: 59-65.
 49. Nour V., Trandafir I. and Ionica M.E. 2014. Evolution of antioxidant activity and bioactive compounds in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits during growth and ripening. *J. App. Bot. Food Qual.* 87: 97-103.
 50. Holden M. 1976. *Chemistry and Biochemistry of Plants Pigments*, Goodwin, T.W., (éd.), Academic Press, London, New York, San Francisco, 2ème édition, volume 2, pp. 28-37.
 51. Harpaz-Saad S., Azoulay T., Arazi T., Ben-Yaakov E., Mett A., Shibolet Y.M., Hörtensteiner S., Gidoni D., Gal-On A., Goldschmidt E.E. and Eyal Y., 2007. Chlorophyllase is a rate-limiting enzyme in chlorophyll catabolism and is posttranslationally regulated. *Plant Cell* 19(3): 1007-1022.
 52. Minamide T. and Ogata K., 1972. Chlorophyll degradation and chlorophyllase activity of tomato fruits during after ripening. *J. Food Sci. Tech.* 19: 453-456.
 53. Wang Y., Tian S.P. and Xu Y. 2005. Effect of high oxygen concentration on anti-oxidant enzymes in peach fruits during post-harvest periods. *J. Food Chem.* 91: 99-104.
 54. Ihl M., Etcheberrigaray C., Bifani V. and Sass P. 1994. Chlorophyllase behaviour in Granny Smith apples. *Acta Hort.* 368: 59-68.
 55. Tanabe M., Xu W.M. and Shimokawa K., 1996. In vivo studies on ethylene-enhanced chlorophyll degradation in Citrus unshiu fruits. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 65: 645-649.
 56. Sakai T., Sakamoto T., Hallaert J. and Vandamme E.J. 1993. Pectin, pectinase and protopectinase: production, properties and application. *Adv. Appl. Microbiol.* 39: 213-294.
 57. Patil D.L. and Magar N.G. 1975. Correlation between banana ripening, its texture and pectin-methylesterase activity. *Proc. Indian Acad. Sci.* 81 (3): 127-130.
 58. Escribano M.I., Del Cura B., Muñoz T. and Merodio C. 1997. The effect of high carbon dioxide at low temperature on ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase and polygalacturonase protein levels in cherimoya fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 122: 258-262.
 59. Sánchez J.A., Zamorano J.P. and Alique R. 1998. Polygalacturonase, cellulose and invertase activities during cherimoya fruit ripening. *J. Hort. Sci. Biotech.* 73: 87-92.
 60. Li P.O., Kim H.J. and Nam H.G., 2009. 1-MCP delayed softening and affected expression of XET and EXP genes in harvested cherimoya fruit. *Post. Biol. Tech.* 52: 254-259.
 61. Jiménez A., Rodríguez R., Fernández-Caro I., Guillén R., Fernández-Bolaños J. and Heredia A. 2001. Olive fruit cell wall: Degradation of pectic polysaccharides during ripening. *J. Agr. Food Chem.*, 49: 409-415.
 62. Happi Emaga T., Herinavalona A.R., Wathelet B., Tchango Tchango J. and Paquot M. 2007. Effects of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chem.* 103(2): 590-600.