



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE,
DE L'ÉLEVAGE ET DE LA FORÊT,
*en charge de la promotion et de la formation
aux métiers de la terre, de la souveraineté alimentaire
et des biotechnologies*

SERVICE DU DÉVELOPPEMENT RURAL

DÉPARTEMENT DES INDUSTRIES
AGROALIMENTAIRES

P O L Y N E S I E F R A N Ç A I S E

N° 020/IAA/SDR/MAE

PAPARA, le 25 janvier 2012

RAPPORT D'ESSAI

« Limes mexicaines »

Conservation réfrigérée à 9°C : impact de différents
traitements post-récoltes sur la durée de vie du fruit
(Essai du 10.03 au 14.06.2011)

Par Corinne LAUGROST

* B.P. 2551, 98713 Papeete - TAHITI, Polynésie française
Face à l'école normale, route de l'hippodrome, Pirae, Tél. : (689) 54 49 00

* Service du développement rural - BP 100, 98713 Papeete - TAHITI, Polynésie française - rue Tuterai Tane, route de l'Hippodrome, Pirae
Tél. : (689) 42 81 44 - Fax. : (689) 42 08 31 - Email secrétariat direction : sdr.dir@rural.gov.pf

Département des industries agroalimentaires-Papara-p.k. 39,3 route de la carrière-Tél : (689) 57 33 77 - Fax : (689) 57 00 84 -Email : iaa.labo@rural.gov.pf

SOMMAIRE

PREAMBULE ET OBJECTIF DE L'ESSAI.....	3
I- MATERIEL ET METHODES	4
1- MATERIEL D'ESSAI	4
2- TRAITEMENTS POSTRECOLTE ET CONDITIONS D'ENTREPOSAGE	4
3- SUIVI EXPERIMENTAL	4
3.1- <i>Evaluation en sortie de chambre froide.....</i>	<i>4</i>
3.2- <i>Simulation des conditions de commercialisation</i>	<i>5</i>
4- TRAITEMENT STATISTIQUE	5
II- RESULTATS.....	5
1- ASPECT EXTERNE DES LOTS D'ESSAI	5
1.1- <i>Déverdisage des fruits et indice de maturité apparente.....</i>	<i>5</i>
1.2- <i>Pertes de poids</i>	<i>6</i>
1.3- <i>Altérations épidermiques et pertes totales en fruits</i>	<i>6</i>
1.5- <i>Apparence des lots d'essai</i>	<i>8</i>
2- QUALITES INTERNES DES LOTS D'ESSAI	8
2.1- <i>Caractéristiques physico-chimiques.....</i>	<i>8</i>
2.2- <i>Caractéristiques organoleptiques.....</i>	<i>9</i>
3- SIMULATION DES CONDITIONS DE COMMERCIALISATION.....	9
III- DISCUSSIONS.....	11
IV- CONCLUSION	12
BIBLIOGRAPHIE	12

LIMES MEXICAINES
Conservation réfrigérée à 9°C : impact de différents
traitements postrécolte sur la durée de vie du fruit.
(Essai du 10.03 au 14.06.2011)

PREAMBULE ET OBJECTIF DE L'ESSAI

Avec plus de 400 tonnes de limes commercialisées dans les circuits de distribution formels, la Polynésie française assure en quantité la couverture des besoins en citrons de sa population. Cependant, le caractère saisonnier de cette production, qui s'étale de février à septembre, pose le problème de l'approvisionnement des marchés locaux entre octobre et janvier. Le citron des Marquises, à production plus étalée, compense en partie durant la saison creuse la pénurie en limes des Iles du Vent mais présente très souvent des signes de sénescence avancée en relation avec des itinéraires techniques postrécoltes déficients (rapport 43/IAA.DR du 19.01.01). Dans tous les cas, la pénurie en limes s'accompagne d'une hausse des prix à la vente de plus de 50% sur le marché local.

C'est dans ce contexte que le département IAA réalise depuis 1999 des essais de conservation de la lime mexicaine (*Citrus aurantifolia*) avec pour objectif une conservation postrécolte du fruit d'au moins 3 mois destinée à réguler les flux de citrons commercialisés sur l'année. Les expérimentations menées entre 2007 et 2009 ont ainsi confirmé l'adéquation du traitement d'enduction postrécolte à base de carnauba à l'entreposage prolongé du fruit à 9°C (rapport 160/IAA.SDR du 26.11.2007). Diverses cires permettent d'atteindre un compromis satisfaisant entre le maintien de la fraîcheur des fruits et la préservation de leur profil aromatique sur une période de 3 mois à 9°C. Cependant, l'enrobage seul ne permet pas de réduire efficacement en fin de stockage le déverdissement des limes ce qui pose problème. En effet, la coloration verte des limes est un critère commercial important car déterminant le choix du consommateur. Les autres critères tels que l'abondance du jus ou le parfum ne sont accessibles qu'au moment de la consommation proprement dite du fruit.

Dans ce contexte, les travaux menés en 2011 se sont orientés vers la recherche de nouveaux traitements postrécolte susceptibles de ralentir efficacement la dégradation des chlorophylles épidermiques du fruit durant son entreposage. Deux pistes ont été retenues : traitement postrécolte à l'acide gibbérellique et utilisation de nouveaux enrobages à base de polyéthylène.

L'acide gibbérellique (GA₃), régulateur de croissance naturel des plantes, est utilisé avec succès pour différer sur arbre la maturation et la coloration des agrumes (Coggins, 2000). En 1999, sur demande du California Citrus Quality Council (CCQC), l'état de Californie autorise l'utilisation du GA₃ dans les traitements postrécoltes des agrumes (Coggins, 1999). Pour la lime mexicaine, il est généralement recommandé d'incorporer l'acide gibbérellique à la cire d'enrobage à des concentrations comprises entre 50 et de 100 mg/L (Medlicott, 1999 ; Coggins et Anthony, 1992). Les essais menés au DIAA en 2002 ont confirmé que l'incorporation de GA₃ dans la cire d'enrobage à raison de 50mg/L permettait de réduire significativement la dégradation des chlorophylles épidermiques des limes en conditions ambiantes et que cet effet était par contre réduit sous réfrigération (rapport 251/IAA.SDR du 06.12.02).

Pour ce qui concerne les cires d'enrobage, la cire Decco Lustr 202 (polyéthylène et paraffine) a été sélectionnée pour essai après quelques tests préliminaires.

L'essai présenté ici a pour objectif de confirmer d'une part l'impact du traitement au GA₃ avec ou sans enrobage du fruit sur sa durée de vie postrécolte et d'autre part d'évaluer les performances de la cire decco Lustr 202 par rapport aux cires carnauba déjà testées.

I- MATERIEL ET METHODES

1- Matériel d'essai

L'essai a été réalisé sur un lot de 16 kg de limes mexicaines récoltées le 10.03.2011 à Papara (Atimaono). Les fruits récoltés selon les modalités préalablement définies (rapport 268/IAA/SDR du 26.12.02) sont lavés dans une solution désinfectante (eau de javel) puis trempés 3 mn dans une solution de TBZ à 1000 ppm.

2- Traitements postrécolte et conditions d'entreposage

Les 5 lots d'essais ont été traités selon le tableau ci-dessous :

N° lot	Traitement avant entreposage	Simulation commerciale
1	aucun	
2	aucun	Cire Decco Lustr 202 6.7%
3	cire Decco Lustr 202 6.7%	
4	GA ₃ 50 ppm	
5	GA ₃ 50 ppm + cire Decco Lustr 202 6.7%	

Les 5 lots ont été placés en cellule réfrigérée réglée entre 9 et 10°C et 93-96% d'humidité relative (HR). La durée du stockage a été fixée à 3 mois.

3- Suivi expérimental

3.1- Evaluation en sortie de chambre froide

3.1.1- Aspect externe :

Elle prend en compte les paramètres physiques externes caractérisant les fruits (aspect général et quantification des dommages visibles) et leur qualité gustative.

- Indice de couleur : la couleur des limes est évaluée visuellement sur une échelle de 1 à 5 :

1, vert 2, vert dominant 3, jaune dominant 4 ; jaune 5, jaune foncé (passé)

Le pourcentage de rétention de la couleur verte est donné pour chaque prélèvement par le nombre de fruits verts (couleur 1 et 2) sur le nombre initial de fruits verts.

- Pertes de poids : pourcentage de poids perdu établi par pesée.

- Indice de maturité : évalué empiriquement et ramené sur une échelle de 1 à 5 :

1, immature 2, vert 3, mûr 4 ; très mûr 5, blet

- Altérations : la sévérité des altérations rencontrées a été notée sur une échelle de 1 à 4 (1, absence; 2, légère; 3, moyenne; 4, sévère). Le score total évaluant chaque altération a été calculé sous la forme d'un indice en tenant compte à la fois de la sévérité des symptômes développés (S) et du nombre de fruits affectés (n) :

$$\text{Indice} = \sum n * S / N \quad N : \text{nombre total de fruits}$$

Trois types d'altérations ont ainsi été quantifiés :

- indice de flétrissement : évalue les dommages liés à la dessiccation et au vieillissement des fruits,
- indice d'altérations biologiques : évalue les contaminations microbiennes,

- indice de nécroses épidermiques : évalue les dommages physiologiques liés sur la lime à l'apparition de nécroses épidermiques brunes.
- Apparence : évaluée sur une échelle de 1 à 5 où 5 représente le fruit frais sans défaut et 3 la limite de commercialisation.

3.1.2- Qualités internes :

- Caractéristiques physico-chimiques : Le rendement en jus a été calculé comme étant le ratio du poids du jus extrait manuellement sur le poids total du fruit (jutosité). La teneur en solides solubles totaux a été déterminée sur le jus filtré par mesure réfractométrique directe corrigée en fonction de l'acidité. L'acidité, exprimée en g/l d'acide citrique, est déterminée sur 1 ml de jus filtré par titrage potentiométrique jusqu'à pH 8.2.
- Qualité gustative : La qualité gustative des fruits a été déterminée par analyse sensorielle du fruit coupé en 2 en tenant compte de son parfum et de sa texture. Chacun de ces 2 paramètres a été noté sur une échelle de 1 à 5 où 5 représente le plus haut degré d'acceptabilité, 3 la limite d'acceptabilité et 1 le fruit non consommable. Le panel de dégustation comprenait un même groupe de personnes pour chacun des tests.

3.2- Simulation des conditions de commercialisation

A chaque évaluation (1, 2 et 3 mois), une dizaine de fruits sains est placée à 25°C pour simuler les conditions de commercialisation en sortie d'entreposage réfrigéré. L'apparence commerciale des fruits est suivie durant une semaine et les pertes en fruits quantifiées.

4- Traitement statistique

L'interprétation statistique des données biométriques est réalisée par une analyse ANOVA à 2 facteurs (durée de l'entreposage*traitement postrécolte) suivi en cas de différence significative d'un test de Newman et Keuls à 5%. Les fréquences et pourcentages calculés ont été analysés par un test du χ^2 .

II- RESULTATS

1- Aspect externe des lots d'essai

Tous les résultats sont reportés dans les tableaux I et II.

1.1- Déverdissement des fruits et indice de maturité apparente

Les résultats présentés dans le tableau I mettent en évidence un impact très net des 3 traitements testés sur la dégradation des chlorophylles épidermiques des fruits après 2 mois d'entreposage à 9°C : taux de rétention de la couleur verte supérieur à 90% pour les lots 3, 4 et 5 contre 75% pour le lot témoin. Passé ce délai, le traitement au GA₃ est significativement plus efficace avec en fin d'essai un taux de fruits verts voisin de 80% pour les lots 4 et 5 contre 76% pour le lot traité à la cire Decco Lustr 202 et seulement 57 % pour le lot témoin.

Les différences observées sur les taux de rétention de la couleur verte des fruits entre les 4 lots d'essai ont peu de répercussion sur l'évolution de leur indice de couleur avec au final un aspect globalement vert de l'ensemble des lots (indice de couleur voisin de 2.0). Cette absence de différence s'explique en partie par le haut niveau de rétention des chlorophylles épidermiques du lot témoin (>50%). La maturité apparente des fruits est cependant sensiblement plus avancée

pour les lots 1 (témoin) et 4 (GA₃ seul). On note une absence totale de fruits surmûrs après 3 mois d'entreposage à 9°C dans l'ensemble des 4 lots d'essai.

Stockage	N° de lots	Traitement	Pertes de poids en %	Rétention de la couleur verte %	Indice de couleur ¹	Indice de maturité	Apparence
Récolte			-	100	1.2	1.9	4.5
1 mois	1	témoin	4.78 ^a	92.5 ^a	1.49 ^a	2.4	4.4 ^a
	3	cire 202 6.7%	3.64 ^b	98.6 ^b	1.36 ^b	2.3	4.5 ^a
	4	GA ₃ 50 mg/l	4.05 ^c	100 ^b	1.35 ^b	2.4	4.5 ^a
	5	GA ₃ 50 mg/l + cire	2.54 ^d	100 ^b	1.25 ^c	2.3	4.4
	Signification du test	Durée	***	*	***	*	
	Traitement	***	*	*	ns		
	Intéactions	ns	*	ns	ns		
2 mois	1	témoin	8.11 ^a	75.1 ^a	1.89 ^a	2.6 ^a	4.2 ^a
	3	cire 202 6.7%	6.65 ^b	91.7 ^b	1.54 ^b	2.5 ^b	4.3 ^a
	4	GA ₃ 50 mg/l	8.72 ^a	98.0 ^c	1.51 ^b	2.5 ^b	4.3 ^a
	5	GA ₃ 50 mg/l + cire	4.56 ^c	93.4 ^b	1.48 ^b	2.5 ^b	4.2
	Signification du test	Durée	***	*	***	*	
	Traitement	***	*	*	*		
	Intéactions	*	*	*	ns		
3 mois	1	témoin	11.75 ^a	56.5 ^a	2.12 ^a	2.9 ^a	3.9 ^a
	3	cire 202 6.7%	8.86 ^b	76.4 ^b	1.97 ^b	2.6 ^b	4.0 ^a
	4	GA ₃ 50 mg/l	13.31 ^c	78.1 ^{bc}	1.93 ^b	2.8 ^{ab}	3.4 ^b
	5	GA ₃ 50 mg/l + cire	7.86 ^d	80.1 ^c	1.87 ^b	2.7 ^b	3.9
	Signification du test	Durée	***	***	***	***	
	Traitement	***	***	*	*		
	Intéactions	*	*	ns	*		

Tableau I : Effets des différents traitements postrécoltes sur l'évolution des caractéristiques physiques externes de la lime mexicaine au cours de son entreposage à 9 -10°C (HR 95%)

^{a, b, c, d}: dans la même colonne et pour une période de stockage identique, groupes significativement différents selon le test PPDS à p =0.05.

¹échelle de coloration : 1 vert; 2 vert tournant; 3 jaune vert; 4 jaune; 5 jaune-orangé (passé)

1.2- Pertes de poids

L'hygrométrie élevée de l'atmosphère de stockage permet de limiter efficacement la transpiration des fruits du lot témoin avec en fin d'essai des pertes de poids voisines de 12% contre 14 à 20% en conditions d'humidité non contrôlées (rapport de synthèse 268/IAA.SDR du 26.12.2002).

L'impact du traitement d'enduction à base de PE et de paraffine permet un excellent contrôle des processus d'évapotranspiration des fruits entreposés avec des pertes de poids du lot 3 réduites d'environ 20 % par rapport à celles du lot témoin tout au long de l'essai (tableau I). L'effet de l'enduction est renforcé par l'incorporation de GA₃ dans la cire avec pour le lot 5 des pertes de poids inférieures à 8% en fin d'essai. En revanche, le traitement postrécolte au GA₃ sans enduction cireuse intensifie les pertes de poids des fruits entreposés à 9°C de façon très sensible en fonction de la durée du stockage avec au final des pertes en eau supérieures à celles relevées pour le lot témoin (13.31%).

1.3- Altérations épidermiques et pertes totales en fruits

Les résultats présentés dans le tableau II mettent en évidence un impact significatif de la durée de l'entreposage et des traitements postrécolte sur l'évolution des indices d'altérations des 4 lots de fruits entreposés à 9°C.

Stockage	N° de lots	Traitement	Indice de flétrissement ¹	Indice de nécroses épidermiques ¹	Indice d'altérations biologiques ¹	Pertes totales en fruits %
Récolte			1.0	1.0	1.0	0
1 mois	1	témoin	1.02 ^a	1.02 ^a	1.00	0
	3	cire 202 6.7%	1.03 ^a	1.13 ^b	1.00	1.39
	4	GA ₃ 50 mg/l	1.13 ^a	1.11 ^b	1.00	1.25
	5	GA ₃ 50 mg/l + cire	1.00 ^b	1.15 ^b	1.00	1.25
	Signification du test	Durée	*	***	ns	ns
	Traitement	*	*	ns	ns	
	Intéractions	*	ns	ns	ns	
2 mois	1	témoin	1.61 ^a	1.12 ^a	1.00 ^a	3.34 ^a
	3	cire 202 6.7%	1.41 ^b	1.17 ^a	1.00 ^a	1.98 ^b
	4	GA ₃ 50 mg/l	1.48 ^b	1.61 ^b	1.10 ^b	6.56 ^c
	5	GA ₃ 50 mg/l + cire	1.29 ^c	1.37 ^c	1.00 ^a	2.54 ^{ab}
	Signification du test	Durée	***	***	*	*
	Traitement	***	***	*	*	
	Intéractions	*	*	*	ns	
3 mois	1	témoin	1.92 ^a	1.36 ^a	1.07 ^a	16.18 ^a
	3	cire 202 6.7%	1.62 ^b	1.25 ^a	1.09 ^a	8.34 ^b
	4	GA ₃ 50 mg/l	1.95 ^a	1.94 ^b	1.46 ^b	23.45 ^c
	5	GA ₃ 50 mg/l + cire	1.34 ^c	1.56 ^c	1.29 ^c	11.40 ^{ab}
	Signification du test	Durée	***	***	***	***
	Traitement	***	***	*	*	
	Intéractions	*	ns	*	ns	

Tableau II : Effets des différents traitements postrécoltes sur l'évolution des altérations physiques de la lime mexicaine au cours de son entreposage à 9 -10°C(HR 95%)

^{a, b, c}: dans la même colonne et pour une période de stockage identique, groupes significativement différents selon le test PPDS à p=0.05.

¹évalué sur une échelle de 1 à 4 et ramené au nombre total de fruits

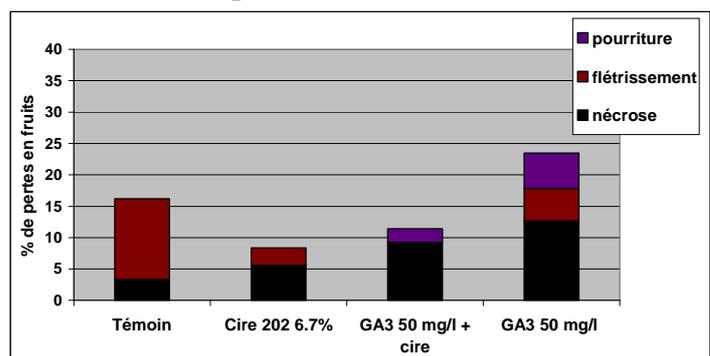
² les pertes totales calculées ici ne prennent pas en compte la surmaturité

La cire Decco Lustr 202 permet une réduction significative des processus de flétrissement des fruits en relation avec des pertes de poids minimales (tableau I). Cet effet se trouve renforcé par l'incorporation d'acide gibbérellique dans l'enrobage. Ce bénéfice s'accompagne d'une diminution sensible de l'incidence et de la sévérité des nécroses épidermiques des fruits du lot 3. L'importance en revanche de ce type d'altérations pour les fruits du lot 4 explique en partie les pertes en eau importantes relevées en fin d'essai pour les fruits traités au GA₃. L'importance des processus nécrotiques dans ce lot dès le second mois de stockage semble indiquée une action phytotoxique de l'acide sur l'épiderme des fruits associée ensuite à une dessiccation importante des zones nécrosées, dessiccation limitée dans le lot 5 par l'enrobage cireux.

L'ensemble des altérations épidermiques répertoriées reste cependant modéré pour l'ensemble des 4 lots (indices < 2.0) ce qui explique en partie les faibles développements microbiens en fin d'essai. On note cependant des indices d'altérations biologiques significativement plus élevés en fin d'essai pour les 2 lots traités au GA₃.

La figure 1 met en évidence la prédominance des processus de flétrissement dans les pertes totales en fruits du lot témoin qui s'élèvent au final à 16%. Dans les 2 lots traités au GA₃ ce sont en revanche les processus nécrotiques qui dominent avec au final des développements

Figure 1 : Ventilation des pertes totales en fruits pour chacun des 4 lots d'essai après 3 mois d'entreposage réfrigéré à 9°C et 95% HR.



microbiens et une pourriture des fruits. Le lot 4 (GA₃ seul) est particulièrement affecté avec plus de 23% de pertes en fin d'essai. Avec un taux de pertes en fruits inférieur à 10% pour le lot 3, l'enduction cireuse apparaît comme le meilleur compromis : limite efficacement les processus de flétrissement sans développer de processus nécrotiques sévères.

1.5- Apparence des lots d'essai

Les traitements post-récoltes réalisés n'affectent pas le score d'apparence des fruits entreposés à 9°C durant les 2 premiers mois d'essai. Ce dernier diminue progressivement en fonction de la durée de l'entreposage (tableau I). En fin d'essai, le lot témoin et les 2 lots ayant subi l'enduction cireuse présentent un très bon degré d'acceptabilité de leur aspect externe en relation avec un bon niveau de rétention de la couleur verte des limes et la quasi-absence de dégradations épidermiques observées. Les fruits traités uniquement à l'acide gibbéréllique, bien qu'acceptables, sont en retrait en relation avec la sévérité des processus nécrotiques qui les affectent.

2- Qualités internes des lots d'essai

Tous les résultats sont reportés dans le tableau III.

Stockage	Lot d'essai	Traitement d'enduction	Rendement d'extraction %	Acidité totale g/l a.citrique	Solides solubles °brix	Acceptance ¹	
						Parfum	Texture
Récolte			37.6	81.14	9.2	4.4	3.6
1 mois	Lot 1	témoin	40.1	75.25	9.1	4.2	3.9
	Lot 3	cire 202 6.7%	38.9	75.01	9.0	4.2	4.0
	Lot 4	GA ₃ 50 mg/l	39.6	75.54	9.0	4.1	4.2
	Lot 5	GA ₃ 50 mg/l + cire	39.1	75.32	8.9	4.1	3.9
				ns	ns	ns	ns
2 mois	Lot 1	témoin	42.2	74.78	8.7 ^a	4.0 ^a	4.2
	Lot 3	cire 202 6.7%	39.2	73.45	8.7 ^a	4.1 ^a	4.2
	Lot 4	GA ₃ 50 mg/l	41.6	73.75	8.8 ^a	3.7 ^b	4.4
	Lot 5	GA ₃ 50 mg/l + cire	39.7	72.06	8.5 ^b	3.9 ^a	4.2
				ns	ns		
3 mois	Lot 1	témoin	46.6	73.95 ^a	8.7 ^a	3.9 ^a	4.4
	Lot 3	cire 202 6.7%	44.0	71.28 ^{ab}	8.6 ^a	3.8 ^a	4.5
	Lot 4	GA ₃ 50 mg/l	43.6	71.72 ^{ab}	8.7 ^a	2.8 ^b	4.4
	Lot 5	GA ₃ 50 mg/l + cire	45.1	66.18 ^b	8.2 ^b	3.6 ^c	4.5
				ns			

Tableau III : Effets des différents traitements post-récoltes sur l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques de la lime mexicaine au cours de son entreposage à 9-10°C (HR 95%).

^{a, b, c}: dans la même colonne et pour une période de stockage identique, groupes significativement différents selon le test de Student à p = 0.05.

¹ analyse sensorielle : échelle de notation de 1 à 5 où 3 représente la limite d'acceptabilité

2.1- Caractéristiques physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques internes mesurés sur les fruits à la récolte indiquent un niveau de maturité satisfaisant avec un rendement d'extraction voisin de 40 % (légèrement inférieur à la moyenne) et un ratio brix/acidité voisin de 11 (optimum).

Les rendements d'extraction augmentent progressivement au cours de l'entreposage en relation avec la poursuite post-récolte des processus de maturation des fruits (migration d'eau de l'écorce vers la pulpe). On note malgré l'absence de différences significatives entre les différents

traitements que l'enrobage cireux semble ralentir ce processus durant les 2 premiers mois de l'entreposage réfrigéré (tableau III). L'acidité totale et la teneur en solides solubles totaux (TSS) des fruits diminuent au cours du stockage pour l'ensemble des 4 lots d'essai mais cette baisse est significativement plus importante pour le lot 5 (cire + GA₃). Cette baisse sensible des teneurs en acidité et en sucres des fruits du lot 5 est cependant à mettre en relation avec un meilleur maintien du poids en eau des fruits et donc une moindre concentration des solutés du jus.

Les ratios brix/acidité des fruits des 4 lots restent satisfaisants (≈ 12) en fin d'essai.

2.2- Caractéristiques organoleptiques

Les traitements postrécoltes réalisés n'ont aucun effet sur les scores de texture des fruits des 4 lots d'essai (jutosité apparente) en relation avec le maintien à un niveau très satisfaisant de leur rendement d'extraction en jus (tableau III). Ces scores augmentent cependant au cours du temps en relation avec l'augmentation des rendements d'extraction.

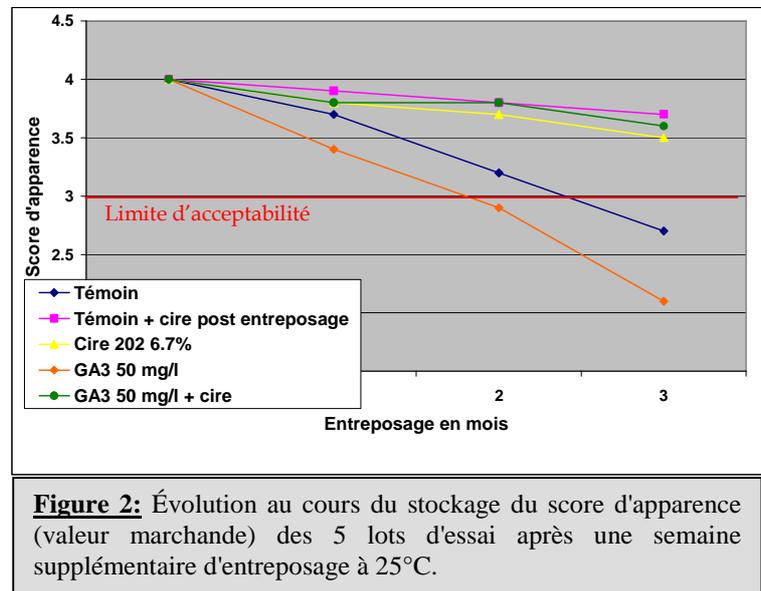
Le parfum des fruits entreposés évolue de façon plus sensible avec une perte d'arôme significative pour les lots traités au GA₃. L'incorporation de l'acide dans un enrobage cireux limite la déviation du profil aromatique des fruits traités dans le lot 5. En fin d'essai, les fruits des lots 1 (témoin) et 3 (enrobage sans GA₃) présentent encore un score de parfum voisin de 4.0 donc très satisfaisant. En revanche, les fruits traités au GA₃ et non cirés présentent une dégradation de leurs composés aromatiques incompatible avec leur commercialisation (score < 3.0).

3- Simulation des conditions de commercialisation

On note une dégradation importante du score d'apparence des fruits des lots 1 (témoin) et 4 (GA₃ seul) lors de la phase de simulation commerciale à 25°C lorsque l'entreposage réfrigéré des fruits se poursuit au-delà de 1 mois (Figure 2).

Cette dégradation est plus importante pour les fruits traités au GA₃ et qui ne sont plus commercialisables après 2 mois d'essai seulement (score < 3.0). On note dans les 2 cas de très forts processus de dessiccation des fruits entraînant en fin d'essai (3 mois à 9°C + 7 jours à 25°C) 20% de pertes totales en fruits (figure 3). Ces altérations sont liées à des pertes en eau importantes (> 9% en 7 jours) avec dessiccation sévère des fruits (sillons marqués (photo A et D) et dessèchement des pédoncules (photo A). La dessiccation des fruits s'accompagne pour les fruits du lot 4 de processus nécrotiques sévères (photo D) qui entraînent en fin d'essai 20% de pertes supplémentaires (figure 3).

L'enduction à base de cire Decco Lustr 202, avant ou après entreposage, a un impact très significatif sur le maintien du score d'apparence des fruits lors de la phase de simulation commerciale à 25°C lorsque l'entreposage réfrigéré des fruits se poursuit au-delà de 1 mois (Figure 2). L'incorporation d'acide gibbéréllique à la cire n'améliore que très modérément ce résultat (score final d'apparence de 3.6 pour le lot 5 contre 3.5 pour le lot 3). Le traitement



d'enduction en sortie de chambre froide semble plus efficace avec un score d'apparence des fruits en fin d'essai (3 mois à 9°C + 7 jours à 25°C) de 3.7. Il intervient essentiellement sur le contrôle des pertes de poids par évapotranspiration avec pour conséquence une maîtrise totale des processus de flétrissement des fruits qui leur confère un aspect frais très recherché (figure 3, photo B). Ce critère apparaît dominant dans l'évaluation de l'aspect commercial des fruits : le lot 2 obtient le meilleur score d'apparence en fin d'essai malgré un déverdissement plus important des limes (36 % de fruits verts en fin d'essai contre 60 et 62% pour les lots 3 et 5, figure 4). On observe cependant que ce déverdissement reste acceptable avec un indice de couleur final voisin de 3.0 (fruits globalement vert-jaune). A noter que la cire limite efficacement les processus de dégradation des chlorophylles épidermiques (indice de couleur final voisin de 2.0 pour les lots 3 et 5, figure 4) et que l'acide gibbérellique permet en partie le maintien de la fraîcheur des pédoncules des fruits (photo D et E).

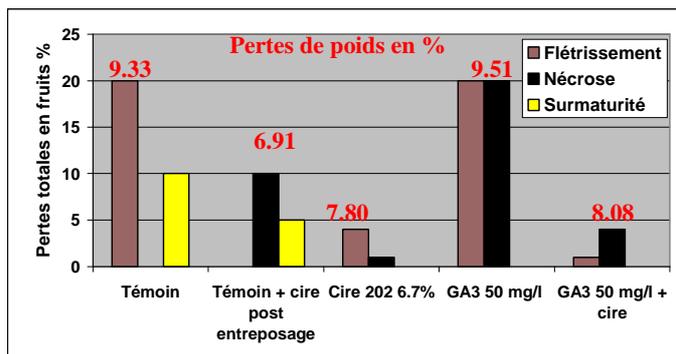


Figure 3 : Ventilation des pertes totales en fruits pour les 5 lots d'essai après 3 mois d'entreposage réfrigéré à 9°C et 7 jours à 25°C. Pertes de poids durant la phase de simulation commerciale.

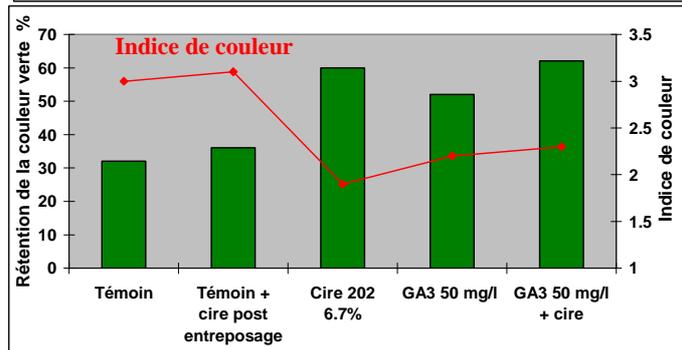
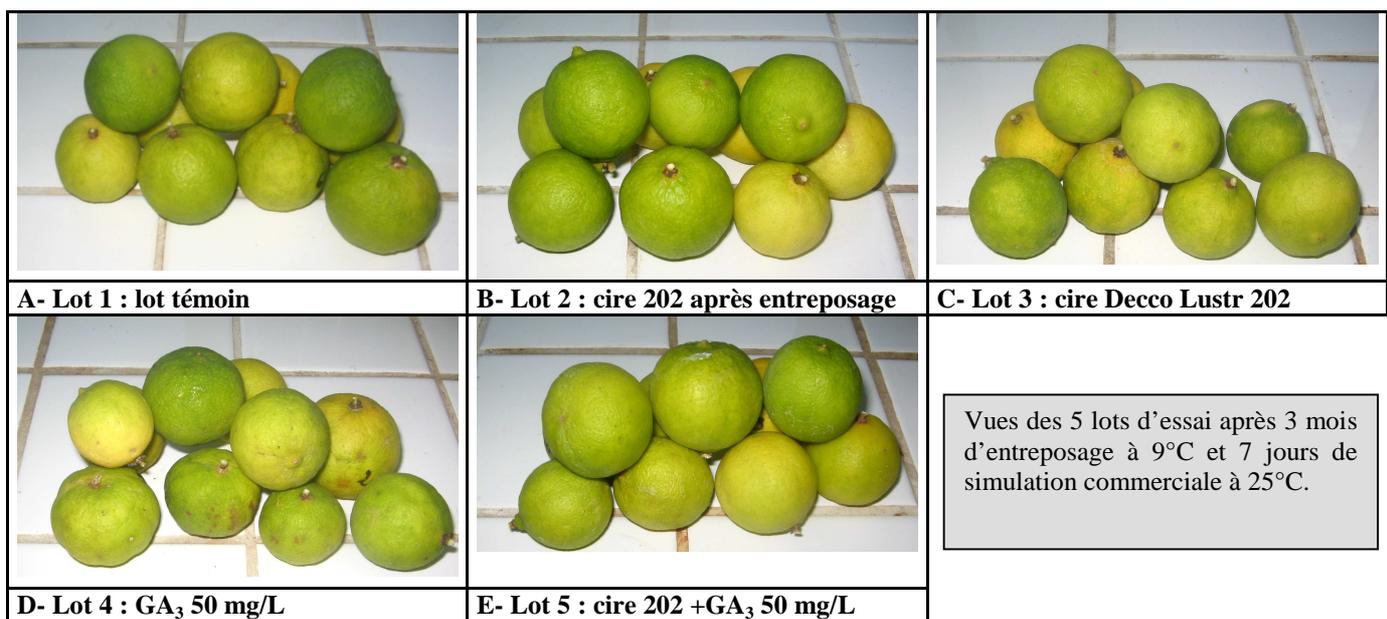


Figure 4 : Pourcentage de fruits verts et indice de couleur (—) des 5 lots d'essai après 3 mois d'entreposage réfrigéré à 9°C et 7 jours à 25°C.



Vues des 5 lots d'essai après 3 mois d'entreposage à 9°C et 7 jours de simulation commerciale à 25°C.

III- DISCUSSIONS.

Les résultats obtenus confirment l'intérêt de maintenir une hygrométrie élevée dans l'atmosphère de stockage (rapport 169/IAA.SDR du 03.12.07). Dans ces conditions (95% HR), la lime mexicaine se conserve 3 mois à 9°C avec seulement 12% de pertes de poids en fin d'essai. Les fruits en sortie de chambre froide sont encore globalement verts avec un indice de couleur en fin d'essai de 2.1. On note cependant 16% de pertes totales en fruits après 3 mois d'entreposage à 9°C liées à l'apparition de sévères symptômes de dessiccation épidermique, normaux dès lors que les pertes en eau dépassent 8%. Ces processus s'accroissent en sortie de chambre froide et ne sont plus compatibles avec une bonne commercialisation des fruits lorsque l'entreposage réfrigéré se poursuit au-delà de 2 mois.

L'enrobage des fruits par une émulsion à 6.7% de cire Decco Lustr 202 permet, en palliant ces processus de dessiccation, un entreposage du fruit de 3 mois à 9°C et ce, même en considérant en sortie de chambre froide une semaine de commercialisation à température ambiante. L'enrobage contrôle efficacement les pertes de poids par évapotranspiration : en cours d'entreposage lorsque la cire est appliquée en postrécolte (réduction de 20% de ces pertes) mais aussi durant la phase de commercialisation lorsque l'enduction est réalisée en sortie de chambre froide (réduction de 30% des pertes de poids). La restriction des transferts d'eau du fruit vers le milieu ambiant est assurée par la basse polarité de la paraffine contenue dans l'émulsion cireuse (Bourtoom, 2008) avec pour conséquences une inhibition de tous les processus de flétrissement épidermique et un contrôle partiel de ceux liés à l'abscission des pédoncules. Au final, l'enrobage confère aux limes un état de fraîcheur en adéquation totale avec les exigences du marché local.

Cette cire à base de polyéthylène permet également de pallier les problèmes relevés lors de l'utilisation des cires à base de carnauba (rapport 169/IAA.SDR du 03.12.07). La haute perméabilité des polyéthylènes aux gaz évite l'hypoxie progressive de l'atmosphère interne des fruits (Baldwin et al, 1997) et donc les processus de « pitting » qui altèrent l'intégrité épidermique des fruits (Petracek et Dou, 1997). D'autre part, la cire Decco Lustr 202 limite efficacement la dégradation des chlorophylles épidermiques au cours de l'entreposage ce qui restait le point faible des enductions à base de carnauba : 76% de fruits encore verts après 3 mois d'entreposage à 9°C et 62% après la phase de simulation commerciale. La cire 202 favorise autour du fruit une atmosphère suffisamment réduite en O₂ pour limiter la dégradation des chlorophylles (Chen et Grant, 1995) sans pour autant créer des conditions d'hypoxie propices aux processus de « pitting ».

Les résultats obtenus confirment pour finir l'impact positif du GA₃ sur la rétention postrécolte des chlorophylles épidermiques de la lime mexicaine (rapports 251/IAA.SDR du 06.12.02 et 183/IAA.SDR du 26.12.06). L'application postrécolte de GA₃ permet de différer dans le temps le déverdissement des limes entreposées à 9°C avec au final 80% de fruits verts résiduels contre 56% seulement pour le lot témoin non traité. Conformément aux bibliographies consultées, l'application de GA₃ en postrécolte permet également de ralentir sensiblement les processus de maturation et de sénescence des fruits avec en particulier une excellente rétention de leur pédoncule (Coggins, 1999 - 2003 ; Sen et al, 2001 ; el-Otmani, 1992). Cependant, compte tenu de la performance du traitement l'enduction testé, ces résultats ne permettent pas de justifier l'incorporation de GA₃ dans l'enrobage postrécolte des fruits.

L'application directe d'acide gibbérellique sans enrobage postrécolte semble induire de sévères processus de nécroses épidermiques qui conduisent à d'importantes pertes en eau (supérieures à celles du lot témoin dès le second mois de stockage) et à une dessiccation importante des fruits. Les fruits ne sont plus commercialisables après le second mois d'entreposage.

IV- CONCLUSION

Les résultats obtenus confirment l'importance de maintenir une hygrométrie élevée dans l'atmosphère de stockage lorsque l'entreposage longue durée de la lime mexicaine (3 mois) est envisagé. Le contrôle des processus d'évapotranspiration des fruits durant l'entreposage permet de conserver le fruit dans de bonnes conditions 3 mois entre 8 et 10°C et ce, même en considérant ensuite une commercialisation d'une semaine en conditions ambiantes.

Dans ce contexte, le traitement d'enduction postrécolte des fruits par une émulsion cireuse semble indispensable. Il permet dans le cadre d'une longue conservation (> 3 mois) suivie d'une commercialisation en conditions ambiantes de maintenir l'aspect général des fruits et de les maintenir dans un état de fraîcheur proche de celui du fruit frais. Dans ce cadre, la cire Decco Lustr 202, à base de paraffine et de polyéthylène, peut être recommandée pour sa capacité à réduire efficacement les pertes de poids postrécoltes et donc tous les processus de flétrissement pouvant altérer les fruits. Elle permet également de ralentir les processus de dégradation des chlorophylles épidermiques du fruit et de retarder l'initiation de leur phase de sénescence.

L'utilisation d'acide gibbérélique en postrécolte n'est plus pertinente dans ce contexte, son bénéfice n'étant plus indiscutable lorsque la cire Decco Lustr 202 est utilisée.

Dans tous les cas, les résultats obtenus devront être confirmés et approfondis par de nouveaux essais courant 2012.

BIBLIOGRAPHIE

- Baldwin E.A, Nisperos-carriedo M.O, Hagemmaier R.D, Baker R.A, 1997. Use of lipids in edible coatings for food production. *Food Technology*, 51 (6) : 56-52.
- Bourtoom, T, 2008. Edible films and coatings : characteristics and properties. *International Food research journal*, 15(3), 12p.
- Chen X, Grant L.A, 1995. Nature seal delays yellowing of lemons. *Proc. Of Florida state Horticultural Society*, 108 : 285-288.
- Coggins C.W., 1999. Postharvest use of gibberellic acid. *CRB Annual Report/www.citrusresearch.com/annual99*.
- Coggins C.W., 2000. Citrus delaying senescence with gibberellic acid. *UC Pest Management Guidelines: citrus. UC Riverside*, 2p.
- Coggins C.W., 2003. Citrus delaying senescence with gibberellic acid. *UC Pest Management Guidelines: citrus. UC Riverside*, 2p.
- Coggins C.W., Anthony M.F., 1992. The postharvest use of gibberellic acid on lemons. *Proc. Int. Soc. Citriculture; march 8-13,1992 Acireale*: 475-478.
- Département IAA, 2001. Projet de programme de développement de la filière agrumes en Polynésie française : Rapport 43/IAA.DR du 19.01.2001.
- Département IAA, 2002. Entreposage réfrigéré de la lime mexicaine : rapport de synthèse 99/2002. Rapport 268/IAA.SDR du 26.12.2002.
- Département IAA, 2002. Limes mexicaines : Optimisation du traitement d'enduction postrécolte à base de carnauba par incorporation d'acide gibbérélique et abaissement de la température d'entreposage. Rapport 251/IAA.SDR du 06.12.06.
- Département IAA, 2006. Impact de l'origine des fruits récoltés sur la durée de vie postrécolte de la lime mexicaine (*Citrus aurantifolia*). Révision des modalités du traitement postrécolte des fruits. Rapport 183/IAA.SDR du 26.12.2006.
- Département IAA, 2007. Lime mexicaine : Impact de différents traitements d'enduction sur la durée de vie postrécolte du fruit réfrigéré. Rapport 160/IAA.SDR du 26.11.2007.
- Département IAA, 2007. Lime mexicaine : utilisation postrécolte d'acide gibbérélique et de cire carnauba Impact de différents traitements d'enduction sur la durée de vie postrécolte du fruit réfrigéré. Rapport 169/IAA.SDR du 03.12.2007.

- El-Otmani, M. (1992), *Usos principais de reguladores de crescimento na produção de citros*. Paper presented at Seminário Internacional de Citros, Bebedouro, Brazil.
- Medlicott A., 1999. Postharvest handling of limes. In: Product specifications and postharvest handling for fruits, vegetables and roots crops exported from the Caribbean. FINTRAC: 3 p.
- Petracek P.D, Dou H., 1997. A postharvest pitting of temple oranges stimulated by high temperature storage and wax application. Proc. Fla. State Hort. Soc. 110 : 211-214.
- Sen F., Karakali I., Yildiz M., Kinay P, Yildiz F., Iqbal N., 2001. Storage ability of Satsuma mandarin as affected by preharvest treatments. ISHS Acta Horticulturae 553: IV International Conference on Postharvest Science: 77-78.