



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE ET DE L'ÉLEVAGE

SERVICE DU DÉVELOPPEMENT RURAL
DÉPARTEMENT IAA

P O L Y N E S I E F R A N Ç A I S E

N° 268 / IAA /SDR

PAPARA, le 26 décembre 2002

« Limes mexicaines »

(Citrus aurantifolia)

Entreposage réfrigéré

Rapport de synthèse 1999/2002

Par Corinne LAUGROST

SOMMAIRE

I- QUALITE ET APTITUDE A LA CONSERVATION DE LA LIME MEXICAINE	4
1- Qualité et commercialisation.....	4
1.1- Critères de qualité.....	4
1.2- Entreposage et pertes postrécoltes.....	4
1.2.1- Désordres physiologiques	4
1.2.2- Pathologies postrécoltes.....	5
2- Aptitude du fruit à la conservation.....	5
2.1- Maturité au point de coupe	5
2.2- Etat sanitaire des fruits avant entreposage.....	6
2.3- Ressuyage des fruits	6
II- ENTREPOSAGE DE LA LIME MEXICAINE	7
1- Température optimale	7
2- Contrôle des pathologies fongiques	8
3- Traitements d'enduction.....	10
3- Traitement postrécolte à l'acide gibbérellique	11
III- AUTRES LIMES.....	12
1- Lime Tanepau ou lime Parker	12
2- Lime SRA 58 ou lime Tahiti.....	12
CONCLUSION.....	14
BIBLIOGRAPHIE.....	15
ANNEXE I : Protocole d'essai.....	17
ANNEXE II : Liste des essais réalisés entre janvier 99 et avril 2002.....	19
ANNEXE III : Résidus de bénomyl après un traitement fongicide postrécolte en solution à 500 ppm	19
ANNEXE IV : Conservation de la lime mexicaine. Recommandations pour l'entreposage réfrigéré.....	21

<p style="text-align: center;">Lime mexicaine (<i>Citrus aurantifolia</i>) Entreposage réfrigéré Rapport de synthèse 1999/2002</p>

Avec 1240 tonnes de limes produites en 2000, 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 en limes 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 .

Les essais de conservation de limes mexicaines (*Citrus aurantifolia*) menés au DIAA entre janvier 1999 et avril 2002 visent la régulation des flux de citrons commercialisés sur le marché local. En effet, dans le contexte d'un volume de production suffisant, la conservation à l'état frais de la lime permettrait, d'une part, l'écoulement des surproductions saisonnières pour les producteurs et, d'autre part, une plus large disponibilité de ces fruits pour le consommateur. Ce cadre bien défini est la base essentielle des expérimentations menées car il sous-entend l'optimisation des conditions de stockage dans le but d'obtenir une durée de conservation la plus longue possible (au moins 3 mois). Le document présenté ici est une synthèse des résultats obtenus lors des essais réalisés sur limes mexicaine (taporo Tahiti). Sa finalité est l'établissement d'une fiche technique relative à l'entreposage réfrigéré longue durée de la lime mexicaine .

Parallèlement à l'optimisation des modalités d'entreposage de la lime mexicaine, une stratégie de substitution a été envisagée par la mise en valeur et la longue conservation d'autres variétés de limes produites sur le Territoire. L'extension de nos travaux aux autres limetiers plantés à Tahiti a permis dans un premier temps de caractériser le potentiel postrécolte de chaque production en terme de durée de vie et de le comparer à celui de la lime mexicaine. La mise en évidence d'une bonne aptitude à la longue conservation pour une ou plusieurs des variétés de limes testées pourrait permettre dans un second temps d'assurer par substitution la couverture du marché local en limes d'octobre à janvier. La mise en place d'une telle stratégie permettrait d'autre part une valorisation par commercialisation hors saison de ces fruits. Un chapitre du document présenté ici sera consacré aux résultats obtenus sur limes SRA 58 ou limes Tahiti (*Citrus latifolia*) et sur limes Tanepau ou limes Parker.

Les modalités pratiques des essais de conservation menés sont présentées en annexe I. La liste détaillée des essais réalisés est donnée en annexe II.

I- QUALITE ET APTITUDE A LA CONSERVATION DE LA LIME MEXICAINE

1- Qualité et commercialisation

La lime est un fruit non climactérique ce qui signifie que sa maturation est très fortement ralentie après la récolte ; elle doit être cueillie à un stade de maturation permettant sa consommation immédiate. L'entreposage réfrigéré du fruit aura pour seule finalité le maintien de sa qualité initiale en vue de sa commercialisation différée. La viabilité économique de l'entreposage intégrera les pertes post-récoltes en plus du maintien de la qualité commerciale du fruit à son plus haut niveau.

1.1- Critères de qualité

La qualité commerciale des citrons verts est définie par la norme CEE-ONU FFV-14. Bien qu'elle ne concerne actuellement que les variétés issues des espèces *Citrus latifolia*, un projet de modification de cette norme intègre *Citrus aurantifolia* sur la base des mêmes critères (à l'exception du calibre), à savoir:

- les fruits doivent être exempts de blessures ou de meurtrissures cicatrisées étendues,
- ils doivent être sains, exempts de pourritures, de parasites et de matières étrangères visibles,
- ils doivent présenter une teneur minimale en jus de 42 % et une coloration typique sur au moins 2/3 de leur surface totale.

La coloration verte des limes est le critère commercial important car déterminant l'acte d'achat des consommateurs bien qu'en Polynésie le citron jaune soit parfois recherché pour usage immédiat. Les autres caractéristiques du fruit telles que l'abondance du jus ou l'arôme ne sont accessibles qu'au moment de sa consommation proprement dite.

1.2- Entreposage et pertes post-récoltes

1.2.1- Désordres physiologiques

Ces désordres affectent sévèrement l'épiderme des fruits avec 3 conséquences: une augmentation des pertes de poids par dessiccation, une dégradation de l'aspect externe des fruits et un développement microbien opportuniste sur les zones épidermiques endommagées.

◆ Chilling injury

C'est la brûlure du fruit par le froid. Elle occasionne de petites nécroses épidermiques brunes et confère au fruit un aspect grêlé. Les nécroses peuvent se rejoindre et endommager la totalité du fruit (photo ci-contre). Le développement post-récolte de symptômes sévères de "chilling injury" sur le fruit est directement relié à une température d'entreposage trop basse ; la maturité du fruit à la récolte est cependant un facteur important de sensibilisation au désordre.



Symptômes sévères de chilling injury sur lime

◆ Stylar end breakdown

Ce désordre physiologique affecte l'apex du fruit qui devient grisâtre et se ramollit. Il est associé à une turgescence excessive du fruit à la récolte et à des conditions ambiantes post-récoltes caractérisées par une température élevée (Davies et Albrigo, 1994; Simone 1998).



Stylar-end breakdown

Ce désordre serait du à l'éclatement des vésicules de jus sous l'effet de la pression: l'invasion de l'écorce par ces jus au niveau du style provoquerait une série de transformations biochimiques suivie d'un pourrissement de la zone altérée (Castro-Lopez, 1992).

◆ Oléocellosis

L'oléocellosis est du à la rupture des glandes à huile de l'écorce sous l'effet d'une trop forte turgescence du fruit et des chocs auxquels il peut être soumis lors des manutentions post-récoltes. Les zones altérées au contact des huiles essentielles ne jaunissent pas lorsque le fruit mûrit ce qui confère à ce dernier un aspect tacheté.

◆ Aging



Symptômes sévères d'aging

Le développement post-récolte de ce désordre est la principale cause de pertes en fruits lors de nos essais sur limes mexicaines. Il se traduit par un flétrissement important, d'abord de la zone pédonculaire, puis de l'ensemble du fruit (photo ci-contre). La sévérité des symptômes développés est directement corrélée à l'intensité des processus de déshydratation affectant le fruit au cours de son entreposage.

1.2.2- Pathologies post-récoltes

Il s'agit essentiellement de pathologies fongiques opportunistes. Les développements fongiques sont favorisés au cours de l'entreposage de la lime par l'altération de son intégrité épidermique et la baisse de son acidité (élément protecteur).

2- Aptitude du fruit à la conservation

La composition et la qualité de la lime à la récolte mais aussi son aptitude à la conservation réfrigérée dépendent étroitement d'un certain nombre de facteurs intervenant avant l'entreposage du fruit.

2.1- Maturité au point de coupe

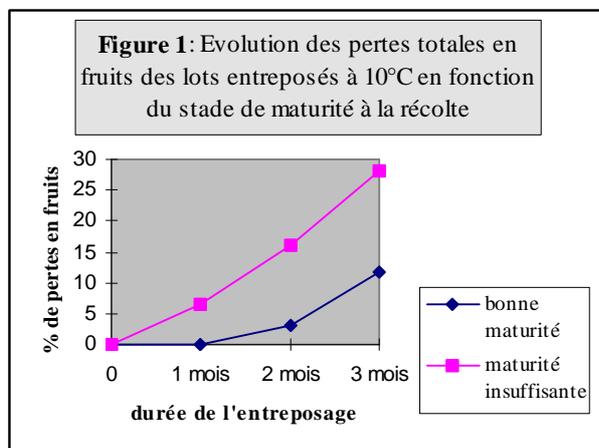
La lime, de part son caractère non climactérique, doit être récoltée mûre. L'indice de maturité retenu pour ce fruit est son rendement d'extraction en jus qui doit au moins être égal à 30% (Arpaia et Kader, 1999). Le degré de maturité du fruit à la récolte détermine sa qualité gustative et influence fortement sa durée de vie post-récolte. Des essais effectués en février 2000 (rapports 163 et 164/IAA.DR du 28.06.00) ont mis en évidence pour les fruits immatures une qualité gustative insuffisante (Tableau 1) et une augmentation sensible des pertes post-récoltes à l'entreposage (Figure 1).

Maturité	Rendement en jus % P/P	Parfum ¹	Texture ¹
Bonne	42.5	3.9	3.8
Insuffisante	27.4	1.9	1.9

¹ échelle de notation : 1 mauvais, 2 médiocre, 3 acceptable, 4, bon, 5 excellent

Tableau 1: Rendement en jus et qualités gustatives de la lime mexicaine en fonction de sa maturité à la récolte

Les fruits récoltés précocement sont en particulier plus sensibles aux processus de déshydratation post-récoltes et se flétrissent rapidement. Ils sont également plus sensibles au « chilling injury ».



Une récolte trop tardive raccourcit également la durée de vie post-récolte des fruits : initiation précoce des processus de sénescence (jaunissement, baisse d'acidité, pathologies fongiques) et plus grande sensibilité des fruits à certains désordres physiologiques tels que le « stylar-end breakdown »

2.2- Etat sanitaire des fruits avant entreposage

Les essais réalisés entre janvier 1999 et février 2000 ont mis en évidence l'importance de la mise en place au champs d'une stratégie de contrôle des pertes post-récoltes. Dans le cas de la lime mexicaine, où les processus "d'aging" constituent la principale cause de dégradation de la qualité au cours du stockage, cette stratégie doit être axée sur la réduction des pertes de poids par dessiccation. Le maintien de l'intégrité de l'état physiologique du fruit entre la récolte et l'entreposage est apparu comme pouvant être la clé principale de cette stratégie, les traitements post-récoltes envisageables (phytosanitaires ou induction) ne venant que la renforcer.

La stratégie mise en place comprend 2 volets:

- la sélection pour entreposage d'un matériel végétal sain, ne présentant ni blessures, ni traces d'acariens. Ce dernier point, en l'absence de traitement antiacarien au champs, est essentiel. En effet, les essais réalisés ont montré que le développement continu des acariens au niveau de l'épiderme des fruits aggravait significativement l'intensité des processus "d'aging" et pouvait entraîner jusqu'à 30% de pertes en fruits après 2 mois de stockage à 10°C (rapport 162/IAA.DR du 28.07.99).

- le soin apporté aux opérations de récolte et de transport des fruits. La récolte au sécateur est préconisée car elle permet de maintenir un court pédoncule sur le fruit ce qui freine le développement des pourritures à ce niveau lors de l'entreposage. La récolte en sacs est à proscrire car elle favorise les blessures des fruits; les limes seront transportées en bacs plastiques de faible volume afin de minimiser les problèmes d'abrasion, de chocs et de blessures et de maintenir le matériel végétal dans un état physiologique optimum avant entreposage.

La mise en place d'une telle stratégie dans le contexte polynésien a donné des résultats rapides. Son application a permis après 2 mois d'entreposage réfrigéré à 10°C de réduire les pertes de poids des fruits de presque 40% et les pertes post-récoltes de 70% (Tableau 2). Le maintien de l'état physiologique retarde également l'initiation des processus de sénescence et permet, après 2 mois d'entreposage à 10°C, un meilleur maintien de la couleur verte des fruits.

Durée du stockage	Application des recommandations aux opérations de récolte et de transport des fruits	Pertes de poids %	Pertes totales en fruits %	Rétention de la couleur verte %
récolte		-	0	100
1 mois	NON	11.5	5.0	35
	OUI	8.8	0	59
2 mois	NON	20.9	10.7	5
	OUI	13.0	3.5	37

Tableau 2: Impact de la stratégie de contrôle des pertes post-récoltes avant entreposage sur le maintien de la qualité des limes durant leur stockage à 10°C.

2.3- Ressuyage des fruits

La turgescence des fruits à la récolte a une incidence directe sur sa durée de vie post-récolte en favorisant le développement de certains désordres physiologiques (stylar-end breakdown, oléocellosis). La récolte par temps pluvieux, provoquant une augmentation de cette turgescence, devrait être évitée, de même qu'il serait préférable de récolter les fruits en fin d'après-midi plutôt que le matin. Dans la pratique, compte tenu du climat polynésien et des pratiques agricoles courantes, ces recommandations restent difficiles à suivre.

Un ressuyage des fruits avant entreposage réfrigéré permet de réduire en partie la turgescence des fruits par évapotranspiration.

Le ressuyage n'a pas d'action directe sur les pertes de poids des fruits réfrigérés mais réduit le choc physiologique causé par la mise au froid en limitant la pression interne de vapeur d'eau des limes. D'autre part, le ressuyage des fruits permet de limiter les risques d'infections microbiennes postrécoltes en desséchant partiellement les zones épidermiques endommagées à la récolte (Eckert et Kolbezen, 1963).

Nos essais ont montré qu'un ressuyage des limes durant une nuit à température ambiante permettait de réduire les pertes postrécoltes de 30 et 40% après respectivement 2 et 3 mois d'entreposage à 10°C et de limiter significativement la dégradation de l'aspect externe des fruits (rapports 263/IAA.DR du 31.10.00 et 240/IAA.DR du 17.10.2001). Une compilation des résultats obtenus est présentée dans le tableau 3.

Durée du stockage	Ressuyage	Pertes de poids %	Indice de flétrissement ¹	Altérations fongiques %	Pertes totales en fruits %	Rétention de la couleur verte %	Score d'apparence ²
Récolte		-	1.0	0	0	100	4.5
2 mois	non	14.60 ^a	1.97 ^a	5.3	10.1	48.0	3.1 ^a
	oui	11.84 ^b	1.22 ^b	0	7.0	36.3	3.7 ^b
3 mois	non	23.6 ^a	2.41 ^a	16.0	33.7	38.8	2.4 ^a
	oui	16.66 ^b	1.60 ^b	4.0	21.2	11.9	3.3 ^b

Tableau 3: Impact du ressuyage sur les altérations affectant la lime mexicaine au cours de son entreposage à 10°C (HR 95%)

^{a,b}: 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(absence) à 4(sévère) et ramené au nombre total de fruits

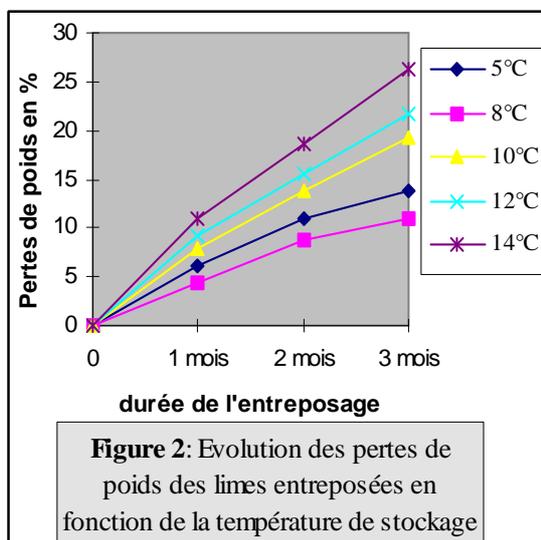
²évalué sur une échelle de 1(mauvais) à 5(excellent), 3 étant la limite d'acceptabilité

II- ENTREPOSAGE DE LA LIME MEXICAINE

1- Température optimale

La réfrigération de la lime mexicaine doit permettre de ralentir sa dégradation postrécolte en vue de sa commercialisation différée. L'abaissement de la température de stockage permet, en limitant significativement la transpiration du fruit et, de façon moins importante, son intensité respiratoire, de ralentir efficacement sa maturation ainsi que la plupart des mécanismes responsables de sa détérioration postrécolte. Cependant, le fruit étant sensible au « chilling injury », une température de stockage trop basse provoque des lésions irréversibles du fruit, un déséquilibre physiologique de son métabolisme et, au final, une durée de vie postrécolte raccourcie.

Les essais réalisés entre 1999 et 2001 ont permis de tester 5 températures d'entreposage :5, 8, 10, 12 et 14°C. L'humidité relative des cellules d'essais n'a pas pu être régulée, elle se situait après équilibre entre 90 et 95%. Les résultats obtenus ont été les suivants :



- les pertes de poids des fruits entreposés sont significativement réduites par l'abaissement de la température de stockage en relation avec une réduction des processus d'évapotranspiration et ce, jusqu'à 8°C. Ces pertes sont proportionnelles à la température d'entreposage entre 8 et 14°C(Figure 2). Au dessous de 8°C, on note une intensification des pertes de poids qui traduit un déséquilibre physiologique important du fruit. Le contrôle des pertes de poids au stockage a comme conséquence directe la réduction des processus "d'aging" responsable du flétrissement des fruits et facteur principal de leur détérioration.

Ces derniers ne se développent que pour une température de stockage au moins égale à 10°C et affectent après 2 mois d'entreposage 20, 45 et 100% des fruits à respectivement 10, 12 et 14°C (rapport 162/IAA.DR du 28.07.99).

- l'abaissement de la température de stockage permet de ralentir efficacement les modifications biochimiques affectant le fruit après récolte et en particulier la dégradation de ses chlorophylles épidermiques (Figure 3).

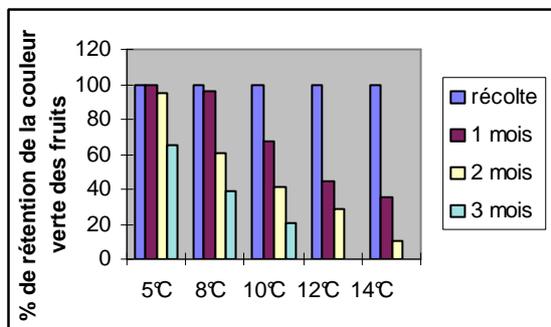


Figure 3: Evolution du pourcentage de rétention de la couleur verte des fruits entreposés en fonction de la durée et de la température de stockage

- Les pertes post-récoltes sont minimales lorsque les fruits sont entreposés entre 9 et 10°C : réduction des processus "d'aging" et des altérations fongiques d'une part et diminution du nombre de fruits surmûrs d'autre part. L'incidence des pourritures augmente significativement avec la température et la durée du stockage entre 10 et 14°C. La pourriture verte (*Penicillium digitatum*) dont le développement est typique lors du stockage des limes mexicaines n'a été observée que sur les fruits entreposés à 14°C (rapport 162/IAA.DR du 28.07.99). En dessous de 10°C, on note une intensification des développements fongiques en fin de stockage en relation avec la contamination opportuniste des zones épidermiques nécrosées par le froid (rapport 164/IAA.DR du 28.06.00). Les pertes en fruits sont de 20, 10, 25 et 45 % après 2 mois de stockage à respectivement 8, 10, 12 et 14°C.

- Bien que bénéfique en terme de rétention de la couleur verte des fruits, une température d'entreposage inférieure à 9°C est à proscrire car entraînant le développement de symptômes de « chilling injury » dont l'incidence et la sévérité dépendent de la température d'entreposage mais aussi de la durée d'exposition du fruit au froid. L'entreposage des limes à 8°C permet leur conservation sur une période de 3 mois en conditions de réfrigération continue : le score d'acceptabilité des fruits reste satisfaisant malgré une intensification des développements fongiques en fin de stockage et une déviation du profil aromatique des fruits. Cependant, la remise à température ambiante de ces fruits intensifie les altérations occasionnées par la basse température de stockage et ne permet pas leur commercialisation au delà de 1 ou 2 jours ce qui est incompatible avec les circuits de distribution traditionnels (rapports 164/IAA.DR du 28.06.00, 250 et 251/IAA.DR du 06.12.02). A 5°C, les lésions épidermiques observées sur les fruits provoquent 62 % de pertes en fruits après 2 mois d'entreposage (indice de « chilling injury » voisin de 4.0 contre 1.5 à 10°C) (rapport 164/IAA.DR du 28.06.00) ; Entreposées entre 1 et 2°C, les limes ne sont plus commercialisables après 15 jours de stockage (rapport 57/IAA.SDR du 12.03.02).

En conclusion, l'entreposage des fruits doit être réalisé entre 9 et 10°C. Ces conditions de température permettent, en dehors de tout traitement post-récolte, une conservation correcte de la lime mexicaine soigneusement sélectionnée sur une période de 2 mois suivi d'une semaine de commercialisation à température ambiante. Les pertes de poids se situent autour de 15 % et les pertes totales en fruits autour de 10%. Le principal problème reste la rapide dégradation des chlorophylles épidermiques des fruits qui constitue un réel préjudice à leur qualité commerciale avec un taux de rétention de leur couleur verte au mieux égal à 40% .

2- Contrôle des pathologies fongiques

Les essais menés à 10°C sur la lime mexicaine ont permis de tester l'efficacité de différents traitements antifongiques dans le contrôle des altérations biologiques post-récoltes. Les fruits ont été systématiquement traités par immersion de 3 mn dans des bains de fongicides en solution aqueuse.

Les 3 fongicides testés sont les suivants : bénomyl (Benlate 50%), Imazalil (Fungaflor 75 WSP) et Thiabendazole ou TBZ (Tecto 450 g/L). La figure 4 présente une synthèse des résultats obtenus sur le contrôle des développements fongiques durant l'entreposage des fruits à 10°C (rapports 164/IAA.DR du 28.06.00 et 262/IAA.DR du 20.11.01).

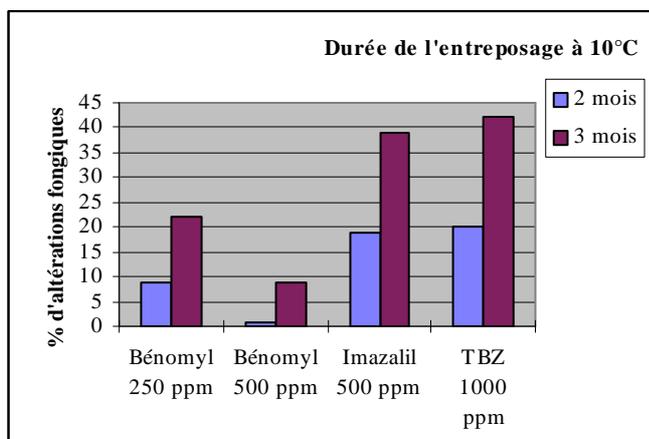


Figure 4: Incidence des altérations fongiques après 2 et 3 mois d'entreposage à 10°C en fonction du traitement antifongique post-récolte réalisé sur la lime mexicaine

Ces résultats montrent que le bénomyl, même à faible concentration, est significativement plus efficace que l'imazalil ou le TBZ et ce, dès l'apparition des premières contaminations microbiennes. Après 3 mois d'entreposage à 10°C, l'utilisation en traitement post-récolte d'une solution de bénomyl à 250 ppm permet une réduction sensible de l'incidence des contaminations microbiennes avec en moyenne 20% de fruits affectés contre respectivement 39 et 42% lorsque l'imazalil et le TBZ sont utilisés. L'augmentation de la concentration de la solution de bénomyl à 500 ppm permet encore d'optimiser ces résultats avec une quasi-absence de contaminations fongiques après 2 mois de stockage à 10°C et seulement 10% de fruits altérés en fin d'entreposage (3 mois). La concentration en

bénomyl a par contre peu d'impact sur la sévérité des altérations fongiques observées en fin d'essai avec des taux de pertes en fruits équivalents (environ 2%). La prévalence des infections par *Diplodia* lorsque le fruit entre en phase de sénescence explique l'efficacité du bénomyl dans le cadre d'un stockage prolongé des fruits : le fongicide, à des doses comprises entre 600 et 1200 ppm, est en effet particulièrement adapté au contrôle post-récolte de ce type de pourrissement de la zone pédonculaire des fruits alors que l'imazalil est recommandé pour limiter la sporulation des *Penicillium*, problème non rencontré à 10°C (Simone, 1998). La nature des contaminations fongiques se modifiant en partie lorsque les fruits sont replacés en conditions ambiantes, le traitement post-récolte à l'imazalil (500 ppm) assure en revanche un contrôle efficace des pourritures pédonculaires dont le développement est lié au vieillissement du fruit à température ambiante (rapport 262/IAA.DR du 20.11.01).

Les traitements antifongiques réalisés lors de nos essais diffèrent également par leurs effets secondaires sur le comportement post-récolte du fruit. Le traitement antifongique des limes par immersion semble entraîner un stress physiologique supplémentaire des fruits avant entreposage qui se traduit par une intensification des processus de flétrissement post-récolte plus ou moins importante. L'incidence des dommages observés dépend de la nature de la molécule utilisée et de sa concentration: elle est minimale pour l'imazalil et maximale pour le TBZ. On note de plus une augmentation significative des lésions épidermiques lorsque le TBZ est utilisé en traitement antifongique: effet phytotoxique de la molécule sur l'épiderme des fruits (rapport 164/IAA.DR du 28.06.00). Le contrôle des contaminations microbiennes post-récoltes durant l'entreposage des limes permet, d'autre part, en maintenant une intensité respiratoire basse du fruit, de limiter le dégagement d'éthylène responsable de la dégradation des chlorophylles épidermiques. Le bénomyl a en particulier un effet dépressif très net sur le déverdissement des limes.

En conclusion, le traitement antifongique de la lime mexicaine par immersion dans une solution de bénomyl à 500 ppm sera préconisé dans le cadre de son entreposage prolongé à 10°C. Cependant la nature des contaminations microbiennes devra être régulièrement surveillée de manière à pouvoir rapidement intervenir en cas de modification ou d'apparition de mécanismes de résistance des microorganismes. L'imazalil pourrait constituer une solution palliative au bénomyl dans le cadre du contrôle de possibles processus de résistance des microorganismes. Dans ce cas de nouveaux tests doivent être réalisés à concentration plus élevée (1000 ppm), la solution à 500 ppm apparaissant comme insuffisante pour le contrôle des altérations biologiques (rapport 262/IAA.DR du 20.11.01).

Dans le respect de la santé humaine, les doses résiduelles de bénomyl après traitement ont été contrôlées (Annexe III). Après traitement, cette dose était de 0.449 mg/kg ce qui est tout à fait conforme aux recommandations en vigueur (5 mg/kg pour les agrumes, Directive 93/58/CEE du Conseil du 29.06.93).

3- Traitements d'enduction

Les enrobages alimentaires ont pour avantage de réduire les pertes en eau et les blessures dues au froid, de retarder les changements de couleur et les pourrissements post-récoltes, et d'améliorer l'apparence des fruits en leur donnant un éclat ou un brillant. La formulation de ces enrobages à partir de divers éléments tels les lipides, les résines, les glucides ou les polymères synthétiques déterminera leur perméabilité à la vapeur d'eau et aux gaz ainsi que leur pouvoir lustrant.

Dans le cas de la lime mexicaine où les processus "d'aging" constituent la principale source de détérioration de la qualité commerciale du fruit, les enrobages post-récoltes testés ont été choisis sur la base de leur faible perméabilité à la vapeur d'eau donc sur leur capacité à réduire les pertes en eau des fruits durant leur entreposage: cires, lipides et dérivés qui sont d'excellentes barrières au transfert d'eau.

Les essais réalisés entre 1999 et 2002 au DIAA ont permis de tester 7 formulations différentes d'enrobages post-récoltes sur la lime mexicaine. Les spécifications de ces enrobages sont présentées dans le tableau 4:

<u>Désignation commerciale</u>	<u>Nature</u>	<u>Formulations testées¹</u>
Britex 325 citrus wax	résines naturelles	(1:2.5) (1 :3.5) (1:4.5) (1:5)
Britex 315 citrus wax	résines naturelles majoritaires + carnauba	(1:5)
Britex 701citrus wax	cire de carnauba majoritaire + résines	(1:3.5) (1:5)
Britex 505 storage wax	polyéthylène oxydé	(1:4)
Britex 551citrus wax	polyéthylène oxydé	(1:5)
Natural Shine 9000	cire de carnauba	(1:3.5)
Folicote	paraffine	250 ml/100L

¹ (1: X) : 1 part de cire pour (X-1) part d'eau

Tableau 4: Spécifications des enrobages testés

Les enrobages à base de polyéthylène oxydé sont apparus totalement inadaptés à l'entreposage de la lime mexicaine et ce, malgré leur excellente capacité à maintenir la couleur verte caractéristique des fruits: 65 à 70% de taux de rétention des chlorophylles épidermiques des fruits après 3 mois de stockage à 10°C (rapports 164/IAA.DR du 28.06.00 et 240/IAA.DR du 17.10.01). Ces enrobages favorisent en effet les processus de déperdition d'eau au cours de l'entreposage réfrigéré de la lime en relation avec un possible effet phytotoxique du PE sur l'épiderme des fruits: les pertes de poids observées sont, dès le premier mois d'entreposage à 10°C, supérieures à celles des fruits non cirés et s'accompagnent d'un flétrissement accéléré des fruits qui ne sont plus commercialisables après 2 mois d'essai. La détérioration rapide des fruits entreposés est typiquement celle observée en réponse à un stress physiologique sévère entraînant une accélération des processus de sénescence. La remarquable stabilité des chlorophylles épidermiques des fruits traités au PE pourrait être le résultat de l'absorption de l'éthylène libéré par l'enrobage lui-même.

La paraffine étant une des cires la moins perméable à la vapeur d'eau du fait de l'absence de groupements polaires (Warth, 1956), le pelliculage des fruits au folicote permet un excellent contrôle de leurs pertes de poids durant l'entreposage à 10°C et permet de prolonger ce dernier au delà de 2 mois (rapports 162/IAA.DR du 28.07.99 et 163/IAA.DR du 28.06.00). Cependant, le taux de pertes en fruits liées à la surmaturité est voisin de 30% après 3 mois de stockage à 10°C ce qui est considérable bien que les fruits, toujours sains, semblent encore présenter un intérêt commercial. Le pelliculage au folicote présente d'autre part l'inconvénient de nécessiter un lustrage des fruits après séchage de l'enrobage, celui-ci formant sur l'épiderme des limes une pellicule blanchâtre peu attrayante dans le cadre de leur commercialisation.

Les traitements d'enduction post-récolte à la cire Britex 325 (1:3.5) permet une réduction sensible des pertes de poids et un maintien au plus haut niveau des caractéristiques physico-chimiques et sensorielles des fruits mais pour une durée d'entreposage à 10°C n'excédant pas 2 mois (rapport 263/IAA.DR du 31.10.00).

La faible perméabilité aux gaz des enrobages à base de résine, associée à la respiration normale du fruit, provoque une asphyxie progressive de l'atmosphère interne des fruits qui se traduit par l'apparition rapide de nécroses épidermiques à la surface du fruit et, lorsque l'entreposage se prolonge au delà de 2 mois, par la dégradation inacceptable de son profil aromatique (Petracek et Dou, 1997; Taverner, 2000). L'asphyxie progressive des fruits et les processus de "pitting" en découlant peuvent être réduits par dilution de l'enrobage. Cependant, le bénéfice potentiel du traitement d'induction se trouve alors significativement réduit par la nécessité d'utiliser une formulation fortement diluée (1:5) (rapport 240/IAA.DR du 17.10.01). L'introduction de carnauba en petites quantités dans ce type de formulation (cire Britex 315) non seulement ne permet pas de réduire les processus de "pitting" observés mais augmente la perméabilité de l'enrobage à la vapeur d'eau et donc les processus de déshydratation des fruits durant leur entreposage à 10°C (rapport 240/IAA.DR du 17.10.01).

Introduit en larges proportions dans les formulations à base de résines naturelles, le carnauba permet de réduire leur effet inducteur sur les processus de nécroses épidermiques tout en maintenant leur bénéfice sur l'aspect visuel du fruit (absence de flétrissement et maintien de la brillance) (rapport 240/IAA.DR du 17.10.01). La cire Britex 701 diluée à 30% (1:3.5) permet d'obtenir un compromis satisfaisant entre le maintien de la fraîcheur et de la brillance des limes mexicaines et la préservation de leur profil aromatique sur une période de 3 mois à 10°C (rapport 262/IAA.DR du 20.11.01). Des résultats similaires ont été obtenus par pelliculage des fruits à la cire Natural Shine 9000, composée exclusivement de cires de carnauba de dernière génération (rapport 250/IAA.DR du 6.12.02). Cependant, l'enrobage doit être utilisé sous sa formulation commerciale ce qui empêche, de par sa forte viscosité, son application par trempage (nécessité d'appareils spécifiques); Une formulation diluée de l'enrobage entraîne en effet une diminution de sa résistance à l'humidité et, à terme, un contrôle moins efficace des processus de sénescence des fruits. Dans la pratique, l'application postrécolte par trempage de cire Britex 701 (1;3.5) sera préférée car ne nécessitant pas de matériel postrécolte spécifique. Le principal problème, toujours non résolu, posé par l'utilisation d'un enrobage à base de carnauba, est son inefficacité à influencer sur la vitesse de dégradation des chlorophylles épidermiques de la lime. L'enrobage cireux ne permet pas de contrôler le déverdissement des fruits qui dépend essentiellement de la durée du stockage pour une température donnée. Ce dernier point reste préjudiciable à la bonne commercialisation des limes lorsque l'entreposage à 10°C se prolonge au delà de 2 mois: le taux de rétention de la couleur verte des fruits est d'environ 40% après 3 mois de stockage à 10°C et chute à 25% après une semaine de commercialisation à température ambiante.

3- Traitement postrécolte à l'acide gibbérellique

En 1999, sur demande du California Citrus Quality Council (CCQC), l'état de Californie autorise l'utilisation de l'acide gibbérellique (GA3), régulateur de croissance naturel des plantes, dans les traitements postrécoltes des agrumes (Coggins, 1999). Préconisé au départ pour différer les processus de sénescence des citrons au stockage, le traitement au GA3 s'est révélé efficace sur la quasi-totalité des dégradations épidermiques postrécoltes affectant les agrumes et, en particulier, sur la dépigmentation de l'écorce des fruits (Wills et al, 1998). Pour la lime mexicaine, il est généralement recommandé d'incorporer l'acide gibbérellique à la cire d'enrobage à raison de 100 mg/L (Medlicott, 1999).

Les résultats obtenus lors de nos essais ont effectivement montré que l'incorporation d'acide gibbérellique à la cire Britex 701 (1:3.5) permettait de différer efficacement la dégradation des chlorophylles épidermiques des limes en retardant les processus de maturation du fruit et surtout les dégagements d'éthylène responsables du jaunissement avec, au final, 60 à 65% de fruits verts résiduels après 3 mois d'entreposage à 10°C (rapport 251/IAA.DR du 06.12.02). Cependant le bénéfice obtenu en terme de qualité commerciale n'est significatif que lors de la phase de commercialisation hors réfrigération des fruits : 30 à 45% de rétention de la couleur verte des fruits contre 20% seulement pour les fruits non traités après 3 mois d'entreposage à 10°C et une semaine à température ambiante (25°C) . La bonne rétention de la couleur verte des fruits traités se traduit par leur très haut niveau d'acceptabilité . Les meilleurs résultats ont été obtenus pour une concentration de GA3 dans la cire d'enrobage de 50mg/L .

III- AUTRES LIMES

1- Lime Tanepau ou lime Parker

A la vue de nos premiers résultats, la production de limes Tanepau ou limes Parker ne paraît pas constituer une alternative intéressante à celle de la lime mexicaine, et ce quelle que soit la période de l'année considérée. Son caractère peu juteux et son épiderme épais ne répondent pas aux critères commerciaux retenus habituellement pour les limes même si ces caractéristiques ne sont accessibles qu'au moment de la consommation proprement dite du fruit. Le fruit en lui-même ne correspond pas, de par sa taille (en moyenne 130g) aux standards de consommation polynésiens en matière de "citrons" : peu de fruits au kg, non conservables une fois coupés, et à un prix sensiblement voisin de celui du taporo. Enfin, et pour ce qui nous intéresse, son aptitude à la conservation réfrigérée apparaît inférieure à celle de la lime mexicaine et ne peut donc permettre la couverture du marché local par substitution de production d'octobre à janvier (rapport 09/IAA.SDR du 15.01.02).

Contrairement aux données bibliographiques recueillies (Aubert, 1995), la dégradation des chlorophylles épidermiques des Tanepau entreposés à 10°C semble plus rapide que celle des limes mexicaines. Les limes Tanepau non cirées sont en effet totalement déverdies après 2 mois de stockage à 10°C alors que le taux de rétention de la couleur verte des fruits avoisine encore les 40% pour la lime mexicaine (rapport 263/IAA.DR du 31.10.00). De la même façon, le taux de fruits en sénescence apparente (indice de coloration égal à 5) est de 39% environ pour le Tanepau en fin de stockage (3 mois à 10°C) contre 16% seulement pour le taporo Tahiti. Les processus de sénescence du Tanepau s'accompagnent de plus, lorsqu'il est exposé au froid, du développement d'une coloration orange atypique pour ce type d'agrume gênant considérablement sa commercialisation.

La forte sensibilité du cultivar aux processus d'oléocellosis, liée à la turgescence de son épiderme très épais qui favorise l'éclatement des glandes à huiles lors des opérations post-récoltes, est un autre frein à sa conservation réfrigérée. Le désordre se traduit sur l'épiderme des fruits par des zones nécrosées plus ou moins importantes qui ne se décolorent pas lorsque le fruit jaunit et qui déprécient sévèrement sa valeur commerciale.

Concernant les traitements d'enduction à la cire Britex 701, les résultats obtenus ici confirment en grande partie ceux obtenus dans les mêmes conditions d'essai sur la lime mexicaine (rapport 262/IAA.DR du 20.11.2001). L'enrobage des fruits avant réfrigération permet de les maintenir dans un état de fraîcheur satisfaisant sur une durée de 3 mois entre 9 et 10°C sans incidence notable sur les processus de "pitting", ni sur leur qualité gustative. Cependant le traitement d'enduction ne permet pas de réduire la dégradation des chlorophylles épidermiques. Ce paramètre apparaît essentiel car la perte de la coloration verte des limes tanepau dès le 2nd mois d'entreposage à 10°C nuit à leur commercialisation malgré le maintien d'un état de fraîcheur satisfaisant. L'effet dépresseur du traitement d'enduction à la cire 701 sur le développement des symptômes apparents de sénescence des fruits (flétrissement mais surtout coloration orange) permet toutefois, lorsqu'une phase de simulation commerciale à 25°C est envisagée, de prolonger l'entreposage des Tanepau jusqu'à 3 mois à 10°C. Dans ces conditions, les scores d'apparence des fruits cirés sont encore acceptables bien que limites en fin d'essai (voisin de 3).

2- Lime SRA 58 ou lime Tahiti

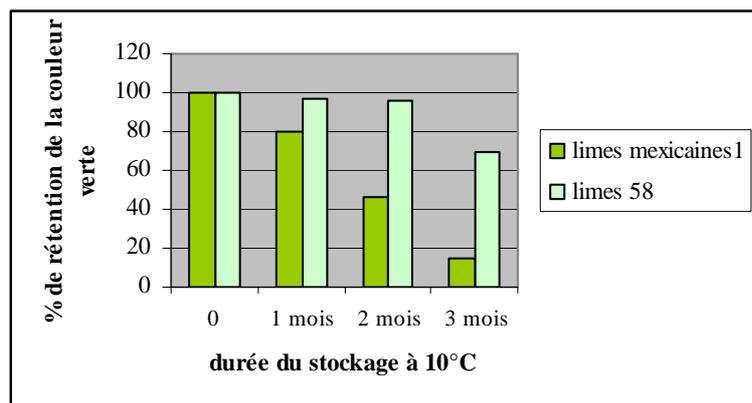
Les résultats obtenus sur la lime 58 apportent quelques éléments de comparaison quant à sa qualité et à son aptitude à la conservation réfrigérée par rapport à la lime mexicaine.

Hormis sa taille (150g en moyenne) qui pourrait ne pas répondre aux exigences du marché local (peu de fruits au kg), la lime 58 présente des caractéristiques physico-chimiques et organoleptiques très proches de celles de la lime mexicaine avec en particulier une jutosité importante (voisine de 42%). La quasi-absence de pépins dans le fruit est également un atout non négligeable pour sa commercialisation.

Son profil aromatique, moins intense que celui du "taporo", ne semble pas constituer un frein au développement de sa mise en marché compte tenu des résultats obtenus lors des tests d'évaluation sensorielle.

La lime 58 semble se caractériser d'autre part par une très bonne aptitude à la conservation réfrigérée. L'entreposage du fruit à 10°C, après simple traitement antifongique (bénomyl, 500 ppm), permet de prolonger sa durée de vie postrécolte à au moins 3 mois et ce, même en considérant une phase de commercialisation d'une semaine hors réfrigération. L'aptitude du fruit au stockage réfrigéré résulte, d'une part de la remarquable stabilité de ses caractéristiques au cours de l'entreposage et, d'autre part, de la quasi-absence de dommages épidermiques observés (rapport 44/IAA.SDR du 21.02.01).

Contrairement aux autres limes étudiées (taporo et tanepau), où la dégradation rapide des chlorophylles épidermiques est un facteur limitant important, la lime 58 présente un taux de rétention de sa coloration verte de presque 100% après 2 mois de stockage à 10°C (Figure 5). Après 3 mois, ce taux atteint encore 60 à 70% et constitue donc un atout déterminant à la mise en marché du fruit. Rappelons que ce taux, dans les mêmes conditions d'entreposage, était seulement de 20% pour la lime mexicaine (rapport n°240/IAA.DR du 17.10.2001). Cette remarquable stabilité des chlorophylles épidermiques de la lime 58 au cours de son entreposage à 10°C peut sans doute être reliée au moindre stress physiologique provoqué par la mise au froid : les pertes de poids au stockage ne sont que de 7% après 3 mois d'essai à 10°C alors qu'elles atteignaient 14% dans les mêmes conditions pour le "taporo" et le "tanepau" (rapports n°240/IAA du 17.10.01 et n°09/IAA.DR du 15.01.02). Outre l'intérêt économique de ce résultat, la moindre dessiccation des fruits durant l'entreposage à 10°C permet de réduire significativement d'une part, les processus de flétrissement dont les symptômes après 3 mois restent très modérés et, d'autre part, la sévérité des nécroses épidermiques par réduction de leur extension. L'intégrité de la paroi épidermique des limes 58 étant maintenue durant le stockage, les contaminations microbiennes opportunistes observées sont également moins sévères que dans le cas de la lime mexicaine.



Le maintien de l'aspect externe du fruit à un haut niveau d'acceptabilité au cours des 3 mois d'entreposage à 10°C s'accompagne d'une bonne stabilité de ses caractéristiques internes. Les seules modifications perceptibles après 3 mois d'entreposage à 10°C sont une diminution modérée de l'acidité titrable des jus analysés et une baisse de l'intensité du parfum des fruits, non préjudiciable à leur qualité gustative. Contrairement à celui de la lime mexicaine, le profil aromatique de la lime 58 n'est pas dégradé au cours du stockage mais semble perdre simplement de son intensité.

Figure 5 : Comparaison limes mexicaines/ limes 58; Evolution du taux de rétention de la couleur verte des fruits au cours de leur entreposage à 10°C.

Concernant les traitements postrécoltes réalisés sur la lime 58, les résultats dans leur ensemble confirment ceux obtenus sur la lime mexicaine. L'enduction à base de carnauba permet de réduire de façon sensible les pertes de poids postrécoltes et donc les processus de flétrissement au cours du stockage tout en conférant aux fruits une brillance partiellement réduite par les différentes opérations postrécoltes (lavage, brossage). Cependant, l'impact du traitement est plus modéré compte tenu de l'excellente tenue au froid de la lime 58 : ces effets ne sont perceptibles qu'en fin d'essai (3 mois) et n'ont aucun impact sur la qualité du fruit tant que la réfrigération se poursuit. Le traitement d'enduction prend par contre tout son intérêt lorsqu'une phase de commercialisation à température ambiante est envisagée en fin d'entreposage : maintien à un haut niveau d'acceptabilité de l'aspect externe des fruits sur une durée d'une semaine et réduction des pertes.

Ces résultats peuvent encore être optimisés par l'abaissement de la température de stockage à 8°C (rapport 177/IAA.SDR du 09.09.02). Celui-ci ne provoque aucun symptôme visible de "chilling injury" sur la lime 58 cirée et ressuyée, et ce même après 3 mois d'entreposage. La diminution de l'intensité respiratoire du fruit et la restriction de sa transpiration par l'abaissement de la température de stockage ont par contre un impact significatif sur sa qualité finale. Les pertes de poids des limes placées à 8°C sont réduites de presque 60% par rapport à celles entreposées à 10°C après 3 mois d'essai. Outre l'importance économique de ce résultat, la limitation des pertes en eau des cellules épidermiques permet une meilleure rétention de la couleur verte des fruits (diminution du stress physiologique). L'amélioration obtenue sur ce paramètre est peu visible en fin d'essai puisque le taux de rétention de la couleur verte des fruits est équivalent à 8 et 10°C (60% environ). Cependant ce bon résultat s'associe pour les fruits placés à 8°C à l'absence de fruits blets en fin d'essai (contre 12% à 10°C) et surtout au maintien d'un taux de rétention de 60% après la phase de simulation commerciale (7 jours à 25°C) alors que ce taux s'effondre à 20% seulement pour les limes entreposées à 10°C. Il en résulte un meilleur maintien du score d'apparence des fruits entreposés à 8°C et donc une augmentation de leur valeur marchande. Bien qu'il soit modéré, l'abaissement de la température de stockage a un impact favorable sur l'évolution du profil aromatique des fruits en permettant, à 8°C, le maintien de son intensité initiale après 3 mois d'entreposage.

Le principal facteur limitant à la conservation de la lime 58 s'est révélé au cours de nos essais être la sensibilité du cultivar au "stilar-end breakdown" dont le développement entraîne jusqu'à 10% de pertes en fruits après 3 mois d'entreposage à 10°C. Il semble que des mesures simples soient envisageables pour diminuer la fréquence de ce désordre lorsque le stockage à basse température des fruits se prolonge au delà de 2 mois: le calibrage postrécolte des fruits et l'élimination de ceux présentant un calibre trop important (> 200g) a ainsi permis de réduire l'incidence du "stilar-end-breakdown" à zéro (rapport 177/IAA.SDR du 09.09.02).

La mise en marché de la lime 58 de conservation apparaît comme une alternative économique viable à celle de la lime mexicaine en période de sous production (octobre-janvier). La commercialisation des fruits devra sans doute être associée à une campagne promotionnelle bien ciblée, le consommateur polynésien étant traditionnellement attaché à la consommation du taporo Tahiti.

CONCLUSION

Les essais de conservation menés depuis 1999 sur la lime mexicaine produite à Tahiti (*Citrus aurantifolia*) ont permis d'établir des recommandations relatives à la conduite de son entreposage réfrigéré. Ces recommandations, à destination des producteurs, sont proposées en annexe IV sous la forme d'un projet de fiche technique pouvant servir de support à la vulgarisation de ces techniques postrécoltes dans le cadre des missions du SDR.

La mise en place d'une stratégie de contrôle des pertes postrécoltes au champs est nécessaire à la réussite de l'entreposage réfrigéré de la lime mexicaine. Le maintien de l'intégrité de l'état physiologique du fruit entre la récolte et l'entreposage apparaît comme la clé principale de cette stratégie. Il passe essentiellement par le soin apporté aux opérations de récolte et de transport des limes. Les fruits récoltés ne doivent présenter aucun dommage (blessures, acariens) et un stade de maturité adapté (mûrs mais de couleur verte uniforme). Le transport des fruits jusqu'à l'unité de stockage doit être réalisé en bacs plastiques de faible volume (20 kg environ) afin de minimiser les problèmes d'abrasion et d'écrasement. Après récolte, et en particulier lorsque celle-ci s'est faite par temps pluvieux, une opération de ressuyage des fruits d'une douzaine d'heures à température ambiante permet, en réduisant leur turgescence épidermique, de limiter le choc physiologique induit par la réfrigération. Associée à un traitement antifongique léger (bénomyl à 500 ppm), l'application de ces seules recommandations permet une conservation satisfaisante de la lime mexicaine de 2 mois entre 9 et 10°C.

Au delà de 2 mois, la qualité des limes entreposées reste satisfaisante mais les pertes liées au surmûrissement atteignent 20% ce qui représente un préjudice économique potentiellement lourd.

L'enrobage postrécolte des fruits dans une émulsion de cires de carnauba permet de prolonger leur durée de vie postrécolte jusqu'à 3 mois et ce, même en considérant une commercialisation différée d'une semaine en conditions ambiantes. L'incorporation d'acide gibbérellique dans cet enrobage (50 mg/L) permet encore d'optimiser l'entreposage des limes en ralentissant significativement le déverdissement des fruits replacés à température ambiante avec, au final, un très haut niveau d'acceptabilité de leur qualité commerciale. L'utilisation de la cire Britex 701 à 30% (1 :3.5) peut être recommandée pour le traitement d'enduction postrécolte des limes. Ces traitements postrécoltes doivent être envisagés en fonction des impératifs économiques liés à la production et des objectifs de l'entreposage en terme de durée de conservation souhaitée. Les opérations postrécoltes envisagées ne semblent pas économiquement viables pour un entreposage des limes inférieur à 2 mois et devrait pouvoir se justifier en terme d'augmentation des revenus des agrumiculteurs. Les bénéfices de tels traitements d'enduction sur le maintien de la qualité des limes semblent ne pouvoir se concevoir que dans le cadre de la régulation du marché local par la vente de fruits en contre-saison et à prix élevés.

La mise en marché de la lime 58 ou lime Tahiti apparaît comme une alternative intéressante à celle de la lime mexicaine en période de sous production. Sa très bonne aptitude à la conservation réfrigérée, caractérisée par une grande stabilité de la couleur verte des fruits et une moindre sensibilité aux basses températures, permettrait sans doute une régulation correcte du marché local en "citrons" d'octobre à janvier. L'entreposage du fruit peut être conduit comme celui de la lime mexicaine mais à une température de 8°C. La commercialisation de cette lime se heurte au problème de son calibre moyen important (150g) qui ne correspond pas aux standards de consommation polynésiens en matière de "citron" : peu de fruits au kg par rapport au "taporo" . Cela pourrait sans doute être compensé dans un premier temps par un prix moins élevé au kilo et éventuellement une campagne promotionnelle bien ciblée.

BIBLIOGRAPHIE

Arpaia M.L., Kader A.A., 1999. Lime, recommandations for maintaining postharvest quality. In: Produce Facts. Department of Pomology, University of California, Davis, CA 95616.

Aubert B., 1995. Etat de l'agrumiculture en Polynésie française. Accord cadre n°69-94. Rapport de mission 21 juillet-7 août 1995. Service du Développement Rural.

Castro-Lopez T., 1992. Main postharvest physiological disorders of "Persian" lime in Cuba . Proc. Int.Soc. Citriculture : 1108-1110.

Coggins C.W., 1999. Postharvest use of gibberellic acid. CRB Annual Report /www.citrusresearch.com/annual99.

Cottin R., 1985. Etude de la coloration des limes: I- La couleur verte de la lime Tahiti, réalisation d'une échelle colorimétrique. Fruits 40 (9) : 565- 569.

Davies F.S., Albrigo L.G., 1994. Fruit quality, harvesting and postharvest technology. In: Citrus. Cab International, Washington, USA. p 215.

DIAA, 2001. Projet de programme de développement de la filière agrume en Polynésie française. Rapport 43/IAA.DR du 19.01.2001, 17 p.

Directive 93/58/CEE du Conseil du 29.06.93 modifiant l'annexe II de la directive 76/895/CEE concernant la fixation de teneurs maximales pour les résidus de pesticides sur et dans les fruits et légumes ainsi que l'annexe de la directive 90/642/CEE concernant la fixation de teneurs maximales pour les résidus de pesticides sur ou dans certains produits d'origine végétale, y compris les fruits et légumes et prévoyant l'établissement d'une première liste de teneurs maximales. JO L 211 du 23.08.1993, p 6.

Eckert J.W., Kolbezen M.J., 1963. Control of *Penicillium* decay of oranges with certain volatile aliphatic amines. *Phytopathology*, 53: 1053.

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.

Norme CEE-ONU FFV-14 pour les agrumes concernant la commercialisation et le contrôle de la qualité commerciale des agrumes livrés au trafic international entre les pays membres de la CEE-ONU et à destination de ces pays. Publiée en 1963, révisée en 1992 et 2000.

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.

Simone G.W., 1998. Postharvest disease control in citrus. In: *Plant Disease Management Guide (3)*. Department of Plant Pathology, University of Florida.

Taverner P., 2000. Postharvest pitting. *Citrus Packer Newsletter* 61 : 2- 3.

Warth A.H., 1956. The chemistry and technology of waxes. In: *L'emballage des denrées alimentaires de grande consommation*. Technique et Documentation, Lavoisier, 1989 : p343.

Wills R., McGlasson B., Graham D., Joyce D., 1998. *Postharvest* 4th edition: 262 p.

ANNEXE I : Protocole d'essai

I- MATERIEL D'ESSAI

La majorité des essais ont été réalisés sur des lots de limes mexicaines récoltées à Hitia'a (Propriété Coppenrath). Le verger, situé en altitude, est traité par épandage de lisiers et contre certaines pathologies. Dès le début de l'année 2000, les fruits retenus pour essai présentaient une maturité correcte, une couleur verte uniforme et aucune altération (absence totale d'acariens). Ils ont été transportés dans des bacs plastiques afin d'éviter les problèmes d'abrasion fréquents lors du transport en sac. Arrivés au DIAA, les fruits ont été lavés à l'eau chlorée, brossés puis répartis en lots d'essai homogènes constitués chacun d'une centaine d'unités. Ces lots ont été plongés 3mn dans une solution aqueuse d'antifongique puis laissés 16h à température ambiante pour ressuyage. Les fruits restants ont été immédiatement analysés afin de déterminer la qualité initiale du lot d'essai.

II- SUIVI EXPERIMENTAL

La qualité des lots d'essai a été évaluée après 1, 2 et 3 mois de stockage. Cette qualité étant globalement déterminée par l'aspect externe des fruits (apparence) et leur qualité gustative, l'évaluation a porté principalement sur ces deux paramètres.

1- Aspect externe

Son évaluation prend en compte l'ensemble des fruits de chaque lot et s'appuie sur la détermination des paramètres physiques externes caractérisant les fruits ainsi que sur la quantification des dommages visibles développés au cours du stockage :

- ◆ Rétention de la couleur verte : la couleur 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.

- ◆ Perte de poids : pourcentage de poids perdu établi par pesée.

- ◆ Maturité : évaluée empiriquement et ramenée sur une échelle de 1 à 5 :
1 immature 2 vert 3 mûr 4 trop 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) :

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

Trois types d'altérations ont ainsi été quantifiés :

- indice de flétrissement : évalue les dommages liés à la dessiccation et au vieillissement des fruits ("aging")
- indice d'altération biologique : évalue les contaminations microbiennes
- indice de nécroses épidermiques : évalue les dommages physiologiques liés à l'apparition de nécroses épidermiques brunes (rupture et coalescence des glandes à huile).

◆ Apparence : évaluée sur une échelle de 1 à 5 ou 5 représente le fruit fraîchement cueilli sans défaut et 3 la limite de commercialisation.

2- Qualité interne

2.1- Caractéristiques physico-chimiques

Le rendement en jus (jutosité) a été calculé comme étant le ratio du poids du jus extrait manuellement sur le poids total du fruit. 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.

2.2- 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, constitué de 3 personnes, était le même pour chaque test.

3- Simulation des conditions de commercialisation

A chaque prélèvement et pour chaque lot d'essai considéré, une vingtaine de fruits sains a été placée à 25°C en sortie de stockage. L'apparence des fruits a été déterminée après 4 et 6 jours afin d'évaluer le potentiel de durée de vie des fruits en l'état après stockage.

4- Suivi des conditions d'essai

Les températures et les humidités relatives des cellules d'essai ont été suivies et enregistrées en continu tout au long du stockage.

III- TRAITEMENT STATISTIQUE

Une analyse de variance à 2 facteurs a été réalisée pour tous les paramètres physiques externes mesurés lors des contrôles mensuels (seuil de signification à $p=0.05^*$ et $p=0.01^{**}$). La comparaison des moyennes a été faite par utilisation du test de la PPDS à $p = 0.05$.

Les fréquences et pourcentages calculés ont été analysés par test G suivi pour la discrimination d'un test de contraste à $p= 0.05$.

**ANNEXE II : Liste des essais réalisés
entre janvier 99 et avril 2002.**

I- LIMES MEXICAINES

<u>N°/IAA.DR</u>	<u>Date du rapport d'essai</u>	<u>Date de l'essai</u>	<u>Titre</u>
162	28.07.99	19.01 au 24.05.99	Recherche des conditions optimales de conservation
		29.03 au 14.06.99	Evaluation des effets de différents traitements post-récolte sur la conservation en chambre froide à 10°C
163	28.06.00	09.02 au 03.05.00	Recherche des conditions optimales de conservation Enduction de surface
164	28.06.00	24.02 au 18.05.00	Recherche des conditions optimales de conservation Enduction de surface et traitements fongicides
263	31.10.00	12.04 au 03.07.00	Recherche des conditions optimales de conservation Optimisation des traitements d'enduction
240	17.10.01	19.04 au 17.07.01	Impact de différents enrobages cireux sur la durée de vie post-récolte du fruit
262	20.11.01	17.07 au 22.10.01	Optimisation des traitements post-récoltes de <i>Citrus aurantifolia</i> : - Impact de la concentration de la cire carnauba sur la durée de vie post-récolte du fruit - Impact de différents traitements antifongiques sur la maîtrise des contaminations microbiennes en fin de stockage réfrigéré.
57	12.03.02	05.02 au 20.02.02	Effets d'un traitement de désinfestation par le froid sur la qualité des fruits entreposés.
250	06.12.02	05.02 au 10.05.02	Optimisation du traitement d'enduction post-récolte à base de carnauba.
251	06.12.02	17.04 au 12.07.02	Optimisation du traitement d'enduction post-récolte à base de carnauba par incorporation d'acide gibbéréllique et abaissement de la température d'entreposage.

II- AUTRES LIMES

<u>N°/IAA.DR</u>	<u>Date du rapport d'essai</u>	<u>Date de l'essai</u>	<u>Titre</u>
09	15.01.02	17.07 au 22.10.01	Limes tanepau : Entreposage réfrigéré à 10°C; Impact d'un traitement d'enduction à base de carnauba sur la durée de vie post-récolte du fruit.
44	21.02.02	27.08 au 23.11.01	Limes 58 : Entreposage réfrigéré à 10°C; Impact d'un traitement d'enduction à base de carnauba sur la durée de vie post-récolte du fruit.
177	09.09.02	22.01 au 17.04.02	Limes 58 : Ressuyage et température de stockage: impact sur la durée de vie post-récolte du fruit.

**ANNEXE III : Résidus de bénomyl
après un traitement fongicide postrécolte
en solution à 500 ppm**



Arue, le 23 septembre 2002

Client

S. D. R.
Département LAA -
PAPARA
BP 100 - PAPEETE

312

24/09/02

A l'attention de Madame Corinne LAUGROST

Objet :

✓ Dosage de Benomyl sur limes mexicaines
(sous-traité en France par le laboratoire SGS Crépin rapport N° PA200208/0710)

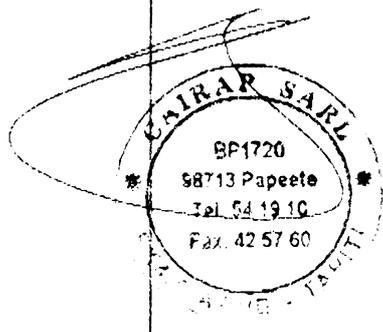
Echantillons prélevés le : 18/08/02

Echantillons analysés le : 13/09/02

Identification de l'échantillon : limes mexicaines traitées le 12/08/02

Paramètres analysés	Résultats
Teneur en Benomyl (exprimé en carbendazime) selon ME0090-HPLC/LV	0,449 mg/ kg

Bernard Costa
Directeur du Laboratoire

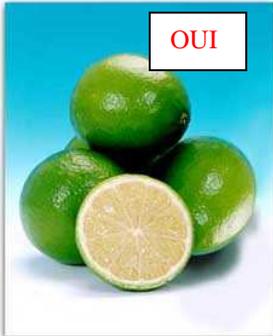


ANNEXE IV : Conservation de la lime mexicaine. Recommandations pour l'entreposage réfrigéré

Récolte : consignes à respecter

Sélection des fruits

Les fruits récoltés doivent présenter une couleur verte uniforme ou légèrement virante. Ils doivent être cueillis à bonne maturité car le mûrissement du fruit s'arrête à la récolte : peau lisse, taille correcte, brillant.



***Le pourcentage de jus doit au moins être égal à 30 % à la récolte (poids de jus*100/poids du fruit)**

Ils ne doivent présenter aucune altération de leur peau. Une attention toute particulière doit être apportée à la vérification de l'absence d'acariens : le développement de ces parasites à la surface du fruit entraîne de graves altérations de leur peau et réduit considérablement leur durée de vie et leur présentation.

*****Il n'existe aucun traitement antiacariens applicable après récolte. Si une lutte doit être engagée, c'est au champs et au tout début de la formation des fruits.**



Parasites(1) et blessures du fruit

Récolte

La récolte au sécateur est préférable. Un court pédoncule doit en effet être maintenu sur le fruit pour éviter le développement de pourritures à ce niveau lors de l'entreposage. La récolte en sac est à proscrire car elle favorise les blessures des fruits: abrasion, écrasement et coupure. Les caisses plastiques, ajourées, de faibles volumes (20 à 30 kg) sont à préférer.

*****Ne jamais récolter pour le stockage les fruits tombés**

Transport

Les fruits doivent être entreposés dans les plus brefs délais. Cependant en cas de récolte par temps pluvieux, il est conseillé de les laisser une nuit à température ambiante afin de réduire leur turgescence (une turgescence trop forte peut entraîner d'importantes altérations de la peau lors du stockage).

Conditions d'entreposage

Prétraitement

Lavage des fruits à l'eau légèrement chlorée et traitement fongicide : tremper dans un bain de benomyl à 500 ppm (**Benlate 100g/100L d'eau**)

***** Ne pas brosser les fruits pour ne pas endommager la couche protectrice de l'épiderme**

Entreposage

Température : entre 9 et 10°C

*****Une température de stockage plus basse entraîne de graves brûlures de l'écorce par le froid**

Humidité relative : entre 90 et 95%

Bonne ventilation de la chambre froide

*****Un confinement de la chambre froide entraîne un jaunissement rapide des fruits**

Les limes ne doivent pas être stockées avec la plupart des autres fruits tropicaux sous peine de subir un jaunissement accéléré. Il faut aussi éviter certains légumes tels que le céleri ou l'oignon car la lime absorbe leur odeur.

****Ne jamais stocker avec des :**

tomates, litchis, ananas, avocats, oranges, papayes, goyaves, ramboutans, mangues, fruits de la passion, melons, bananes

Problèmes pouvant être rencontrés

Ce sont essentiellement des désordres physiologiques qui affectent sévèrement la peau du fruit.

Chilling injury



C'est la brûlure du fruit par le froid. Elle se traduit par des petites nécroses marrons sur la peau du fruit qui prend une apparence grêlée. Ces tâches peuvent se rejoindre et endommager la totalité du fruit.

Contrôle:

- respecter les consignes de température à l'entreposage (jamais inférieure à 8°C)
- récolter les limes à bonne maturité (pas de fruits immatures)

Stylar-end breakdown

L'apex du fruit (côté opposé au pédoncule) devient grisâtre et se ramollit considérablement. La zone altérée se propage rapidement à la moitié du fruit (ou à sa totalité dans les cas les plus graves) et se dessèche.

Contrôle: 3 règles permettent d'éviter cette dégradation:

- ne pas récolter les fruits trop mûrs
- éviter de blesser les fruits à la récolte
- éviter de récolter les limes par temps pluvieux. Si le report n'est pas possible, réduire la turgescence des fruits par une nuit de ressuyage à température ambiante et récolter de préférence en fin d'après midi plutôt que le matin.



Oléocellosis



Apparition de zones vertes sur la peau du fruit quand celle-ci jaunit : ce problème est causé par la rupture des glandes à huiles du fruit.

Contrôle: Comme pour le stylar end breakdown, l'abaissement de la turgescence du fruit avant entreposage et le soin apporté à la récolte permettent de réduire les risques d'éclatement des glandes à huiles.

Aging

C'est le flétrissement des fruits au cours de l'entreposage sous l'effet d'une forte déshydratation.

Contrôle :

- Limiter les altérations de l'écorce du fruit
- Maintenir une humidité relative élevée
- En cas de dessèchement important, il convient de réduire le système de ventilation.



Pourritures

Les pourritures se développent de préférence sur la zone pédonculaire si elle n'est plus protégée et sur les zones nécrosées.

Contrôle: outre le suivi des consignes techniques qui assure l'intégrité de la couche protectrice du fruit, il convient de:

- procéder au traitement fongicide avant entreposage
- désinfecter le matériel de stockage de temps en temps (bacs et chambre froide)
- vérifier une fois par mois la présence visible de contaminations et retirer les fruits affectés pour éviter la propagation des champignons.

Résultats attendus et optimisation

* Un suivi rigoureux des recommandations relatives à la conduite de l'entreposage de la lime mexicaine permet de conserver les fruits à l'état frais 2 mois entre 9 et 10°C.

* La présentation du fruit et sa durée de vie post-récolte peuvent être améliorées par des traitements spécifiques avant réfrigération : enduction de surface et traitement à l'acide gibbérellique.

Un traitement d'enduction post-récolte des fruits par immersion à la cire BRITEX 701 (Cie Brogdex) permet de prolonger la conservation du fruit entreposé à 10°C de 3 à 4 semaines et ce, même en considérant une commercialisation différée d'une semaine à température ambiante. La formulation commerciale doit être diluée avant traitement à raison d'une part de cire pour 2.5 part d'eau.

La cire Natural Shine 9000 (Pace International LLC) donne des résultats équivalents mais nécessite la mise en place d'une chaîne de lustrage spécifique.

L'incorporation d'acide gibbérellique à la cire d'enduction permet de mieux retenir la couleur verte des fruits après 3 mois d'entreposage. Le produit utilisé est le GROCEL (Valent Biosciences) à raison de 250 mg/L de cire.

Informations :

Service du Développement Rural
Département des Industries Alimentaires
BP 100 Papeete
Tel/fax : 57 33 77