

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>3</b>
A. PHYSIOLOGIE DES FRUITS ET LÉGUMES .....	3
I. Respiration .....	3
I.1. Substances de réserves .....	3
I.2. Oxygène .....	3
I.3. Dioxyde de carbone .....	4
I.4. Energie .....	4
I.5. Intensité respiratoire .....	4
II. Ethylène et ses effets .....	6
II.1. Effets de la température .....	6
II.2. Rôle de l'oxygène .....	7
II.3. Effets du gaz carbonique .....	7
III. Fruits climatériques et non-climatériques .....	8
IV. Modification des pigments .....	9
V. Changement de composition .....	9
VI. Changement de texture .....	10
B. CAUSES DE DÉGRADATION DES FRUITS ET LÉGUMES .....	10
I. Altérations physiologiques .....	10
II. Altérations parasitaires .....	11
II.1. Infections pré-récoltes .....	11
II.2. Infections post-récoltes .....	11
III. Altérations mécaniques .....	11
C. PRINCIPALES TECHNIQUES DE CONSERVATION EN FRAIS DES FRUITS ET LÉGUMES .....	12
I. Basses températures .....	12
II. Atmosphères contrôlées et modifiées .....	13
III. Films et enrobages .....	14
III.1. Constituants des films et enrobages comestibles .....	14
III.2. Propriétés barrières des films et enrobages comestibles .....	15
III.3. Application des films et enrobages comestibles .....	20
D. LE MARCHE DE LA MANGUE .....	29
I. Production .....	29
II. Les variétés commerciales .....	30
III. Composition de la mangue .....	31
<b>MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>32</b>

<b>A. MATÉRIEL VÉGÉTAL ET ENROBAGES .....</b>	<b>32</b>
<b>B. METHODES .....</b>	<b>33</b>
I. Mise en place d'un panel de dégustation des fruits frais .....	33
II. Test d'enrobage des mangues.....	33
II.1. Première étape : Présélection des meilleurs enrobages .....	33
II.2. Deuxième étape : Validation des résultats dans des conditions mieux contrôlés .....	34
III. Evaluation de l'effet des enrobages et de la qualité des mangues .....	34
III.1. Intensité respiratoire.....	34
III.2. Perte de poids .....	35
III.3. Fermeté .....	35
III.4. Coloration.....	35
III.5. pH .....	36
III.6. Acidité titrable .....	36
III.7. Extrait sec soluble .....	36
III.8. Taux de sucre/acide.....	36
III.9. Teneur en éthanol.....	36
III.10. Test de dégustation de la mangue variété 'Early Gold' .....	39
IV. Traitement des résultats.....	39
<b>RESULTATS ET DISCUSSIONS .....</b>	<b>40</b>
<b>A. MISE AU POINT D'UN PANEL DE DÉGUSTATION DES FRUITS FRAIS .....</b>	<b>40</b>
I. Test de distinction des saveurs .....	40
II. Test du seuil de perception des dégustateurs.....	40
<b>B. TEST D'ENROBAGE DES MANGUES.....</b>	<b>41</b>
I. Traitement primaire : présélection des meilleurs enrobages.....	41
I.1. Intensité respiratoire .....	43
I.2. Perte de poids .....	44
I.3. Evolution de la couleur .....	47
I.4. Fermeté .....	50
I.5. Changement de la composition chimique.....	52
I.6. Bilan .....	54
II. Traitement secondaire : validation des enrobages choisis.....	55
II.1. Intensité respiratoire .....	55
II.2. Perte de poids.....	57
II.3. Evolution de la couleur .....	58
II.4. Fermeté.....	62
II.5. Changement de la composition chimique.....	64
II.6. Test de dégustation de la mangue .....	66
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>69</b>

## **LISTE DES SYMBOLES ET ABBREVIATIONS**

$\Delta P$ :	Gradient de la pression partielle (Pa)
$\Delta X$ :	Epaisseur du film (mm)
A :	Surface ( $m^2$ )
AC :	Atmosphère contrôlée
ACC :	Acide 1-aminocyclopropane-1-carboxylique
ADH :	Alcool-déshydrogénase
AL-DH :	Aldéhyde-déhydrogénase
AM :	Atmosphère modifiée
AOA :	Acide amino-oxyacétique
AT :	Acidité titrable
AVG :	Aminoéthoxyvinylglycine
$C_2H_4$ :	Ethylène
$CO_2$ :	Gaz carbonique
D :	Diffusivité du gaz ( $m^2.s^{-1}$ )
DATEM :	Diacétyle tartrique ester de monoglycéride
EC :	Ethyl cellulose
$E_p$ :	Energie d'activation
ESS :	Extrait sec soluble
HPMC :	Hydroxypropyl méthylcellulose
HR :	Humidité relative
IR :	Intensité respiratoire
J :	Flux du gaz ( $kg.m^{-2}.s^{-1}$ )
MACC :	Acide malonyl-1-cyclopropane-1-carboxylique
MC :	Méthyl cellulose
NAD :	Nicotiamide-adénine-dinucléotide
$O_2$ :	Oxygène
P :	Perméabilité ( $kg.m.m^{-2}.s^{-1}.Pa^{-1}$ )
PA :	Polyamines
PM :	Poids moléculaire
R :	Constante des gaz parfaits ( $8,3143 \text{ J}.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )
S :	Coefficient de solubilité ( $\text{mol}.\text{m}^{-3}.\text{Pa}^{-1}$ )
SAM :	s-adénosylméthionine
T :	Température
TBZ :	Thiabendazole
V :	Volume (ml)

## **PRESENTATION DU SOFRI**

Le Centre de Recherche sur les Cultures Fruitières de Long Dinh a été créé le 26 mars 1996 par la Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural du Viêt-Nam. Par la suite, le Centre a été réorganisé pour devenir l'Institut de Recherche sur les Cultures Fruitières pour le Sud (SOFRI : Southern Fruit Research Institute).

Sur une superficie de 75 hectares, le SOFRI se trouve sur la commune de Long Dinh – District de Châu Thành – Province de Tiên Giang du Delta du Mékong (70 km à l'ouest de Ho Chi Minh Ville).

Le SOFRI est affilié au Centre de Recherche sur les Cultures Fruitières du Sud-Ouest situé dans la province de Ba Ria-Vung Tau.

Avec 116 personnes dont 51% cadres scientifiques, l'Institut intervient sur des projets et programmes de recherche et développement.

Il se constitue de 6 départements :

- Département de la multiplication et de la sélection fruitière
- Département de la biotechnologie
- Département de la protection des plantes
- Département de l'agronomie fruitière
- Département des technologies post-récoltes
- Département du marketing des fruits

Le département des technologies post-récoltes a été mis en place en 1997. Il est chargé des recherches portant sur la physiologie des fruits majeurs du Sud du pays et sur les techniques qui permettent de prolonger la durée de vie et de réduire les pertes après récolte des fruits tropicaux. Quelques exemples d'expérimentations réalisées au sein du département sont présentés ci-dessous :

- Effet de la température et d'emballages synthétiques sur la durée de stockage et la qualité gustative de la mangue variété 'Cat Hoa Loc' et du ramboutan 'Java'.
- Etude des dommages post-récolte de quelques fruits majeurs : mangue, ramboutan, durian et longan.
- Effet d'un traitement à l'eau chaude sur la conservation en frais des mangues variété 'Cat Hoa Loc'.

## PRESENTATION DU CIRAD

Le CIRAD, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, est un organisme scientifique français en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agro-alimentaires.

La mission du CIRAD est de contribuer au développement rural des régions tropicales et subtropicales par la recherche, la réalisation d'expérimentations, la formation, la diffusion de l'information scientifique et technique.

Le CIRAD est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) placé sous la double tutelle du ministère de la coopération et du secrétariat d'état à la recherche. Il gère un budget de 1 milliard de francs, dont plus de la moitié provient de fonds publics.

Sur un effectif total de 1800 personnes, 900 cadres scientifiques, dont 400 sont basés en régions chaudes, sont susceptibles d'intervenir sur des projets de recherche et développement.

Il existe 7 départements dans lesquels sont répartis 28 programmes de recherche :

- CIRAD-CA (Cultures Annuelles) : cultures vivrières, cotonnières et maraîchères
- CIRAD-CP (Cultures Pérennes) : café, cacao, cocotier, hévéa et palmier à huile
- CIRAD-FLHOR : productions fruitières et horticoles
- CIRAD-TERA (Territoires, Environnement et Acteurs) : agricultures familiales ; espaces et ressources, savanes et systèmes irrigués ; tropiques humides
- CIRAD-EMVT : Elevage et Médecine Vétérinaire
- CIRAD-FORET : amélioration du matériel rural, agro-foresterie, aménagement forestier, technologie du bois
- CIRAD-AMIS (Amélioration des méthodes pour innovation scientifique) : Agro-alimentaire ; agronomie ; biotechnologie et ressources génétiques végétales *Biotrop* ; économie, politique et marchés *Ecopol* ; modélisation des plantes *Amap* ; protection des cultures

Le CIRAD, dont la base centrale se situe à Montpellier, conduit ses activités à partir de ses propres centres de recherche stations expérimentales en France métropolitaine et dans les départements d'outre-mer, mais aussi dans plus de 45 pays répartis sur les 5 continents, en coopération avec des structures nationales de recherche et de développement, les centres internationaux ou en appui à des projets techniques ou privés.

Le CIRAD-FLHOR, lui, se consacre à la branche fruits, légumes et horticulture. Il a pour mission d'étudier et d'améliorer la production et la qualité des fruits et légumes tropicaux, frais ou transformés.

Ce département est aussi de l'ancien IRFA (Institut de Recherche sur les Fruits et Agrumes) qui a été absorbé lors de la création du CIRAD en 1984.

Il est divisé en plusieurs programmes de recherche :

- Bananier et plantains (B. E. P.)
- Arboriculture fruitière (A. R. F.)
- Productions horticoles (cultures vivrières, marécages, ananas et diversification fruitière) (PR. H.)

Et chacun de ces programmes sont eux-mêmes divisés en disciplines :

- Maîtrise et amélioration de la qualité des fruits frais et transformés (aspects physico-chimiques ou biologiques dont les huiles essentielles et molécules aromatiques).
- Amélioration de la conservation des produits frais : maîtrise des technologies adaptées aux nouveaux modes de consommation, aux nouveaux types d'emballage, aux techniques de réfrigération plus performantes.
- Phytopathologie.
- Génétique.
- Amélioration des plantes.
- Agronomie.

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

La mangue (*Mangifera indica L.*) est un des fruits tropicaux le plus anciennement connus dans le monde entier. En effet, le manguier, originaire de la zone Indo-Birmane, est cultivé dans 83 pays (Asie, Amérique, Afrique et Antilles) et représente la 5<sup>ème</sup> production fruitière mondiale après les agrumes, le raisin, les bananes et les pommes (Laville, 1994), pour une production mondiale de 17 millions de tonnes en 1992 et de 23 millions de tonnes en 1998 (FAO, 1998). L'Inde est de loin le plus important producteur, avec près de 60% de la production mondiale, suivie par le Mexique, le Pakistan, l'Indonésie, la Thaïlande et le Brésil. La production de la mangue au Vietnam est encore faible par rapport aux producteurs principaux (173 mille tonnes en 1998, FAO - 1998), mais présente des potentialités intéressantes avec des variétés spécifiques de très bonne qualité organoleptique comme 'Cat Hoa Loc' et 'Cat Chu'.

La mangue est considérée comme un des fruits de premier choix dans le monde grâce à sa couleur attractive, sa délicieuse saveur et ses caractéristiques nutritionnelles excellentes (Mitra et Baldwin, 1997).

Néanmoins, le commerce international de la mangue fraîche est insignifiant par rapport à la production mondiale : 90% des mangues sont soit consommées localement, soit transformées.

Les possibilités d'exportation vers les marchés internationaux, spécialement les marchés des zones tempérées, sont en pleine croissance. La demande internationale augmente d'année en année, que ce soit pour la mangue fraîche, la mangue séchée, le jus concentré ou la purée de mangue.

La perte après récolte des fruits et légumes est comprise entre 15% et 50% dans les pays en voie de développement, avec une estimation minimale de 20% aux différentes étapes de commercialisation (Subramanyam, 1986). Dans le cas de la mangue, Srinivas *et al.* (1997) ont constaté que cette perte est de 17,9% (verger : 3,5%, transport : 4,9%, stockage : 4,1% et vente au détail : 5,4%) pour la variété 'Totapuri' et 14,4% pour celle de variété 'Alphonso' (verger : 1,9%, transport : 3,7%, stockage : 3,5% et vente au détail : 5,3%).

La mangue est un fruit climactérique et mûrit rapidement après récolte (de 3 à 9 jours). Cette courte période limite sérieusement sa commercialisation à longue distance (Gomez-Lim, 1997). La sensibilité aux maladies, aux basses températures et la périssabilité dues à la maturation et au ramollissement du fruit limitent son potentiel de stockage, de conditionnement et de transport de celui-ci (Mitra et Baldwin, 1997).

La technologie de conservation de la mangue après récolte s'est développée pour maintenir la qualité, tout en empêchant les dégradations et en tenant compte des contraintes économiques.

La technique la plus couramment répandue consiste à refroidir rapidement les fruits et à les maintenir à une température basse. Ceci présente plusieurs inconvénients :

- risque de 'maladies du froids' sur les fruits tropicaux (si la température est trop basse)
- coût de l'opération (surtout pour les pays en voie de développement)

- difficulté de mise en place sur la première partie du trajet (de la station de conditionnement au port).

Une autre approche a donc été étudiée sur le principe des atmosphères contrôlées (AC) enrichie en CO<sub>2</sub> et appauvrie en O<sub>2</sub>. Mais la mise au point des chambres à atmosphère contrôlée ou modifiée est difficile et coûteuse. De plus, l'AC confère souvent au fruit des caractéristiques indésirables, comme par exemple une couleur médiocre ou une mauvaise saveur (Chaplin, 1989).

L'utilisation de films plastiques d'emballage est étudiée par les chercheurs. Mais ces films sont des composés non biodégradables dont l'utilisation soulève des problèmes environnementaux.

On s'oriente vers la mise au point d'enrobages comestibles. Ils peuvent conduire à des modifications qualitatives et quantitatives de l'atmosphère interne du fruit, des changements de la perméabilité de la peau aux gaz (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O), la réduction de pertes de poids du fruit. D'autre part, ils remplacent aussi la pruine ou cire naturelle qui a souvent été éliminée au cours du conditionnement et donnent un aspect brillant aux fruits (de Laroussilhe, 1980).

Les technologies de conservation en frais des fruits sont encore peu utilisées au Viêt-Nam. Depuis 1997, le SOFRI (Institut de Recherche sur les Cultures Fruitières pour le Sud - Vietnam) a commencé à les étudier sur quelques espèces de fruits tropicaux comme la mangue, le longan ou le ramboutan. De plus, dans le cadre de la coopération en recherche scientifique entre notre Institut et le CIRAD-FLHOR (Département des Productions Fruitières et Horticoles du Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - France), nous avons eu l'occasion d'approcher des techniques de conservation réalisées au laboratoire du CIRAD-FLHOR à Montpellier en juin 1998. Pour acquérir plus précisément des connaissances dans ce domaine. L'objectif principal de ce stage est de mettre au point des techniques de conservation en frais des fruits tropicaux utilisables au Viêt-Nam. Notre étude est d'observer l'effet de différents enrobages à base de protéines, de cire de Carnauba, de Shellac etc. sur la conservation en frais de la mangue dans des conditions différentes : température ambiante et chambre froide.

# **SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

## SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

### A. Physiologie des fruits et légumes

Après la cueillette, les fruits et légumes sont encore des organes vivants. Les réactions métaboliques et les processus physiologiques continuent longtemps après la récolte. Les fruits et légumes, respirent en consommant de l'oxygène, en libérant du dioxyde de carbone et en générant de la chaleur. De plus, ils transpirent ce qui entraîne une perte d'eau.

Quand les fruits et légumes sont détachés de la plante mère, les apports en eau et en minéraux sont stoppés. La contribution de la photosynthèse provenant du feuillage est interrompue. Après récolte, plusieurs changements de composition et de structure des membranes pecto-cellulosiques entraînent le ramollissement des fruits et légumes. En général, il y a un changement visuel de la couleur car les chlorophylles sont dégradées et la teneur en pigments jaunes à l'intérieur et à l'extérieur du produit augmente (Salunkhe *et al.*, 1991 ; Laville, 1994). Ces fonctions vitales n'étant plus assurées, la durée de vie est limitée et les produits sont proches de la phase de sénescence.

#### I. Respiration

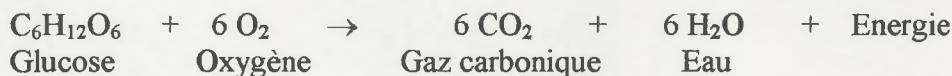
La respiration des fruits et légumes est un indice d'activité physiologique et un indice du potentiel de la durée de stockage. Elle est un des processus de base qui a une influence sur la maturité, le conditionnement, le transport et la durée de vie des fruits et légumes après récolte (Salunkhe *et al.*, 1991), ceci pour plusieurs raisons :

##### I.1. Substances de réserves

La quantité de substances de réserves disponible (principalement sucres) dans les fruits et légumes est un facteur décisif pour la longévité à une température donnée.

L'utilisation de ces réserves pour la respiration peut conduire à une perte de qualité organoleptique (saveur sucrée). Pour certains produits qui sont stockés pendant une longue période comme les oignons, la perte de poids due à la respiration peut ne pas être négligeable.

La respiration comprend l'oxydation des sucres qui est réalisée en plusieurs étapes sous le contrôle d'enzymes spécifiques. Pour simplifier, on peut présenter ce mécanisme par l'équation suivante (Salunkhe *et al.*, 1991 ; Kader, 1987) :



##### I.2. Oxygène

Une concentration en oxygène suffisante doit être disponible pour maintenir le métabolisme aérobie. Cela doit être considéré dans le choix des différentes procédures de

stockage du produit après récolte, comme par exemple l'enrobage ou l'emballage. Néanmoins, la réduction de la concentration en oxygène (<10%) permet de réduire l'intensité respiratoire et de retarder la sénescence (Kader, 1987).

### I.3. Dioxyde de carbone

L'accumulation de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) produit par les végétaux dans leur atmosphère ambiante peut être bénéfique ou nuisible. Cela dépend de la tolérance au niveau de  $\text{CO}_2$  pour chaque espèce. Pour certains végétaux, l'augmentation de la concentration en  $\text{CO}_2$  peut être utilisée pour retarder la sénescence des produits et le développement des moisissures (Kader, 1987 ; Salunkhe *et al.* 1991 ; Tucker, 1993a). Par contre, une concentration trop forte peut causer des phénomènes de fermentation anaérobie.

### I.4. Energie

L'élimination de la chaleur de respiration est un facteur important. En effet, la vie des fruits et légumes est réduite si la température entourant le produit reste élevée. L'augmentation de l'intensité respiratoire cause l'accélération de l'utilisation des substances de réserve (Salunkhe *et al.*, 1991).

La chaleur rejetée par la respiration (chaleur vitale), qui est d'environ 637 kcal par mole de glucose utilisée, peut être un facteur majeur dans l'établissement des besoins de réfrigération pendant le transport et le stockage. La chaleur vitale doit être considérée dans la sélection des méthodes de refroidissement, comme par exemple la capacité de réfrigération, la circulation d'air ou la ventilation (Kader, 1987). Elle doit aussi être intégrée dans le cas de la mise au point des techniques d'emballage.

### I.5. Intensité respiratoire

L'intensité respiratoire (IR) des fruits et légumes est la quantité d'oxygène absorbée par une quantité de produit pendant un temps déterminé ou la quantité de  $\text{CO}_2$  rejetée pendant le même temps. Plus l'IR est importante, plus la durée de vie de stockage des produits est courte. L'IR est fonction de la température et peut être modifiée en fonction de l'atmosphère environnementale (Salunkhe *et al.*, 1991).

L'IR peut être exprimée en quantité d'oxygène consommée ou en quantité de dioxyde de carbone rejetée (tableau 1). La classification de certains fruits en fonction de l'IR est présentée dans le tableau 2.

**Tableau 1 : Intensité respiratoire de quelques fruits et légumes, exprimée comme la vitesse de production de CO<sub>2</sub> (mg.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) aux différentes températures**

<b>Fruits et légumes</b>	<b>Températures</b>					
	<b>0°C</b>	<b>4-5°C</b>	<b>10°C</b>	<b>15-16°C</b>	<b>20-21°C</b>	<b>25-27°C</b>
Abricot	5-6	6-8	11-19	21-34	29-52	-
Avocat	-	20-30	-	62-157	74-347	118-425
Banane (verte)	-	-	-	21-23	33-35	-
Banane (mûre)	-	-	21-39	25-75	33-42	50-245
Brocoli	19-21	32-37	75-87	161-186	278-320	-
Cerise (sucrée)	4-5	10-14	-	25-45	28-32	-
Cerise (acide)	6-13	13	-	27-40	39-50	53-71
Céleri	5-7	9-11	24	30-37	64	-
Chou-fleur	16-19	19-22	32-36	43-49	75-86	84-140
Citron	-	-	11	10-23	19-25	20-28
Litchi	-	-	-	-	-	75-128
Kiwi	3	6	12	-	16-22	-
Mangue	-	10-22	-	45	75-151	120
Orange	2-5	4-7	6-9	13-24	22-34	25-40
Papaye	4-6	-	-	15-22	-	39-88
Pêche	4-6	6-9	16	33-42	59-102	81-122
Pomelo	-	-	7-9	10-18	13-26	19
Pomme (été)	3-6	5-11	14-20	18-31	20-41	-
Pomme (automne)	2-4	5-7	7-10	9-20	15-25	-
Raisin (américain)	3	5	8	16	33	39
Tomate (mûre verte)	-	5-8	12-18	16-28	28-41	35-51
Tomate (mûre)	-	-	13-16	24-29	24-44	30-51

Source : Hardenburg *et al.* (1986).

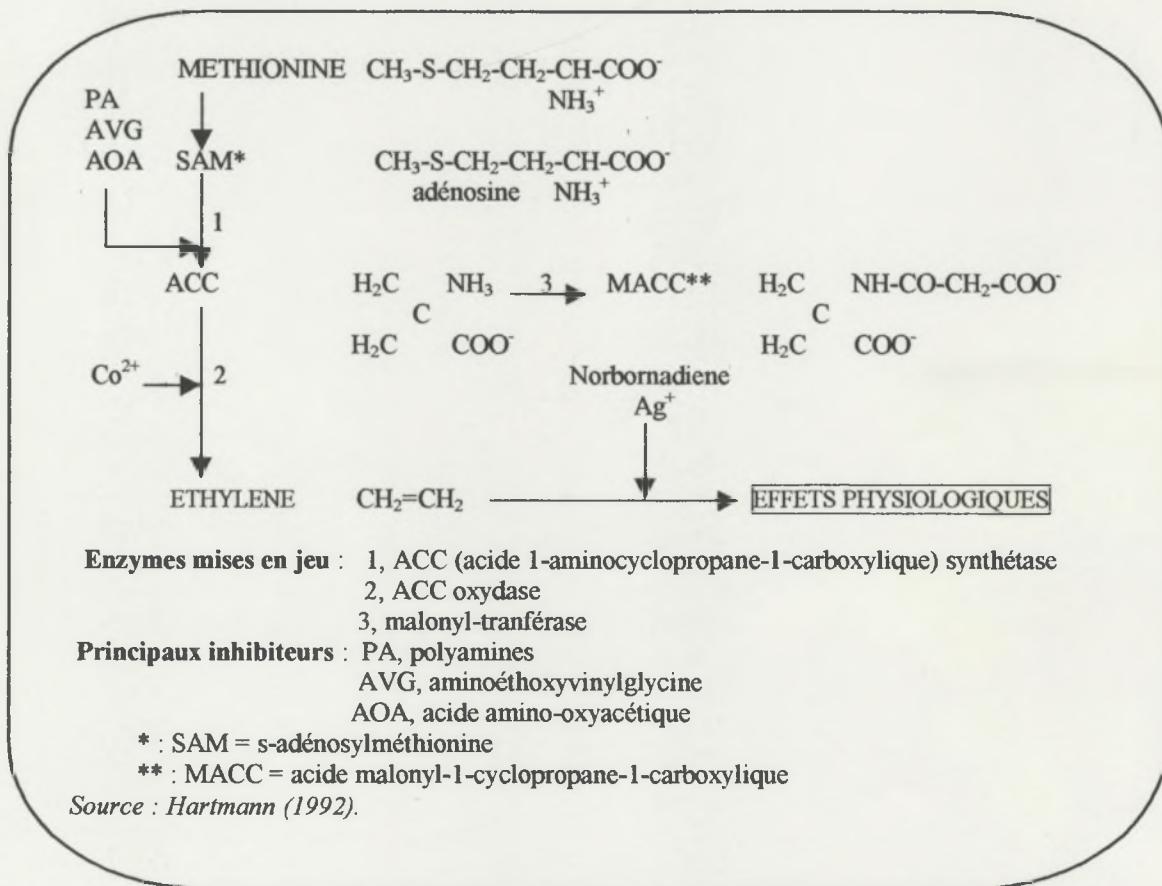
**Tableau 2 : Classification des fruits et légumes selon leur intensité respiratoire (IR)**

<b>Classe</b>	<b>IR à 5°C (mgCO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Fruits et légumes</b>
Très faible	<5	Noix, dattes, fruits et légumes séchés.
Faible	5-10	Pommes, agrumes, raisin, ail, oignon, pomme de terre, patate douce.
Modérée	10-20	Abricot, banane, cerise, pêche, poire, nectarine, figue, carotte, poivre, tomate, laitue, choux.
Elevée	20-40	Fraise, choux-fleurs, avocat, mûre, haricot de Lima, framboise.
Très élevée	40-60	Artichaut, oignon vert, choux de Bruxelles.
Extra élevée	>60	Asperge, brocoli, champignon, épinard, maïs doux, petit pois.

Source : Kader *et al.* (1985).

## II. Ethylène et ses effets

L'éthylène est une hormone végétale qui joue un rôle important dans la maturation des fruits climactériques et des autres ainsi que la physiologie après récolte de nombreux produits horticoles (Pech *et al.*, 1994). C'est un composé volatil synthétisé à certains stades de développement et de maturité. Lorsqu'il atteint une concentration assez élevée, il déclenche le processus de maturation. Plus il y a d'éthylène produit, plus le processus est accéléré. Les processus de biosynthèse sont présentés sur la figure 1.



**Figure 1 : Biosynthèse et action de l'éthylène**

La biosynthèse et l'action de l'éthylène sont influencées par les facteurs environnementaux qui sont appliqués pendant le transport, le stockage ou la maturation après récolte. Parmi eux, on a constaté que les facteurs principaux sont la température, les teneurs en oxygène et en gaz carbonique (Pech *et al.*, 1994).

### II.1. Effets de la température

En général, les basses températures sont appliquées pour prolonger la durée de vie après récolte des fruits et légumes. Dans certains cas, un traitement au froid est absolument nécessaire pour la production auto-catalytique d'éthylène. Par exemple, les poires Passe-Crassane stockées à 15°C sans traitement au froid produisent une quantité faible d'ACC et ne mûrissent pas de façon satisfaisante (Morin *et al.*, 1985). Par contre, les caramboles stockées à

0°C accumulent l'ACC, ce qui entraîne la production d'éthylène. Les fruits mûrissent normalement s'ils sont exposés à des températures plus élevées. Pour d'autres types de fruits, comme la pomme et le kiwi, les basses températures hâtent la synthèse d'éthylène et conduit à une maturation plus homogène (Knee *et al.*, 1983 ; Jobling *et al.*, 1991).

L'effet de l'application des températures élevées pour faire subir au fruit un choc thermique est étudié. Le but de ce traitement est de bloquer, au moins transitoirement, la conversion d'ACC en éthylène (Yu *et al.*, 1980).

## **II.2. Rôle de l'oxygène**

L'oxygène joue un rôle important dans la biosynthèse de l'éthylène car c'est un co-substrat de l'EFE. Lorsque la teneur en oxygène dans l'air diminue, la production d'éthylène réduit. En effet, dans les pommes, il a été montré qu'il est possible de réduire la production d'éthylène de 50% en appliquant une concentration en oxygène de 1% à 1,5% (Marcellin, 1986).

## **II.3. Effets du gaz carbonique**

Les concentrations élevées en CO<sub>2</sub> sont considérées comme des inhibiteurs compétitifs de l'action de l'éthylène. Elles limitent aussi l'induction auto-catalytique de l'ACC synthase (Bufler, 1984 et 1986). Un choc CO<sub>2</sub> appliqué pendant une période de 8 jours avec 15% de CO<sub>2</sub>, réduit le ramollissement des kiwis en limitant l'activité de l'EFE (Rothan *et al.*, 1990).

Un des effets majeurs de l'éthylène est de décolorer les feuilles de légumes comme le céleri, le chou, le brocoli et des fruits comme les concombres ou les tomates. C'est ce qu'on appelle le déverdissage (Lougeed *et al.*, 1987). L'effet de l'éthylène sur les chlorophylles des fruits est lié au processus de maturation. Un des effets principaux de l'atmosphère contrôlée pour les fruits et légumes est de ralentir la disparition de la couleur verte. Ce phénomène s'explique par la réduction de la production d'éthylène liée à la diminution de la teneur en O<sub>2</sub> et à l'augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub>.

Le rôle de l'éthylène dans la maturation et la sénescence des fruits est lié à l'AVG, un inhibiteur de la production d'éthylène (Lieberman, 1979). D'autre part, l'éthylène est un agent actif de déverdissement. Une concentration de 4 ppm appliquée pendant 6 à 8 jours permet de déverdir des citrons. Ce phénomène est utilisé pour le déverdissage des agrumes, bananes, melons et tomates (Salunkhe *et al.*, 1991).

De plus, l'éthylène a aussi des effets sur les autres pigments et conduit à des changements biochimiques spécifiques. En effet, l'application de l'éthylène peut augmenter la teneur en β-carotène et lycopène des tomates (Boe et Salunkhe, 1967). Son effet spécifique sur la formation d'isocoumarine dans les carottes a été rapporté par Chalutz *et al.* (1969). Il est aussi associé aux changements de l'activité de l'isoperoxydase et à la formation des fibres dans les asperges (Hard *et al.*, 1974). Kader (1985) a montré que l'éthylène à une concentration de 10 ppm augmentait l'intensité de la décoloration brun rouille de la laitue.

### III. Fruits climatériques et non-climatériques

On classe les fruits en 2 catégories (tableau. 3). Certains présentent une crise respiratoire associée à une crise éthylénique, comme la pomme, la poire, l'avocat et la banane : ce sont les fruits climatériques. Chez les autres, comme la cerise, l'orange ou le citron, cette crise n'existe pas : ce sont les fruits non-climatériques (Hartmann, 1992 ; Salunkhe *et al.*, 1991 ; Laville, 1994).

**Tableau 3 : Classification de quelques fruits climatériques et non-climatériques**

Fruits climatériques	Fruits non-climatériques
Abricot	Agrumes
Anone	Citron
Avocat	Orange
Banane	Mandarine
Carambole	Ananas
Goyave	Cerise
Kaki	Fraise
Kiwi	Raisin
Mangue	
Papaye	
Pêche	
Pomme	
Prune	

Source: Laville (1994)

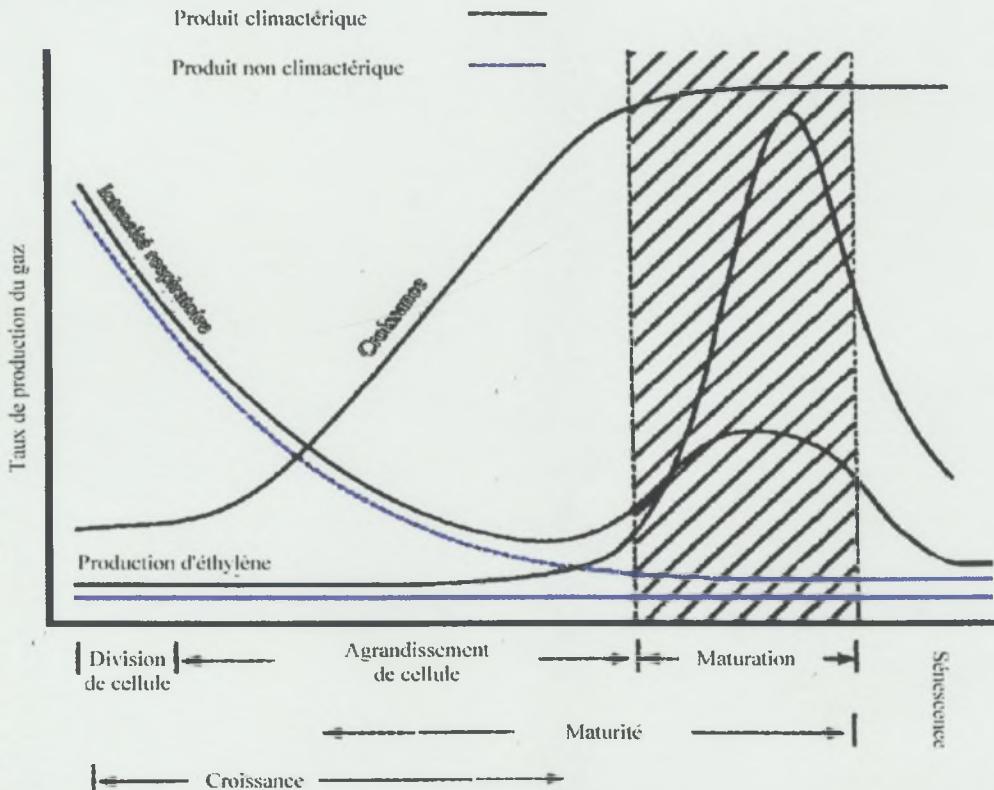
Pour les fruits climatériques, il apparaît clairement au cours de la maturation, des variations de la production d'éthylène et des concentrations en ACC et en MACC. Les activités ACC synthase, malonyl-transférase et ACC oxydase sont parfaitement coordonnées. Lorsque la maturation est déclenchée, la production d'éthylène augmente très nettement. Cette augmentation est précédée par un pic de la teneur en ACC. Pendant la crise éthylénique, l'ACC diminue, puisqu'il est transformé en éthylène, mais l'activité ACC synthase permet de maintenir l'intensité de la production. Dans le fruit en post-maturation, on remarque que l'ACC synthase reste actif. L'ACC et le MACC s'accumulent dans les tissus. La réduction de la production d'éthylène du fruit pré-climatérique apparaît donc comme le résultat non seulement d'une faible activité de l'ACC synthase mais aussi d'une limitation des capacités du système ACC oxydase (Hartmann, 1992).

Les fruits non-climatériques sont également capables de synthèse éthylénique. Mais cette synthèse est beaucoup moins intense et les quantités d'éthylène émises sont très réduites.

La crise climatérique a longtemps été considérée comme l'un des phénomènes physiologiques les plus remarquables de la maturation (Hartmann, 1992).

L'intensité respiratoire diminue ensuite régulièrement jusqu'à cesser complètement en fin de phase de sénescence pour les fruits non-climatériques. Pour les fruits climatériques, elle diminue également, mais le passage de l'état mature à l'état mûr s'accompagne d'une brève, mais intense, reprise de l'activité respiratoire (Laville, 1994 ; Wills, 1998). La figure 2

présente la croissance, la respiration et la production d'éthylène des produits climactériques et non climactériques.



**Figure 2 : Croissance, respiration et production de l'éthylène des produits climactériques et non-climactériques**

Source : Wills *et al.* (1998)

#### IV. Modification des pigments

Le phénomène de changement pigmentaire le plus clair que l'on peut observer visuellement est le changement de la couleur externe et interne chez les fruits mûrs. Ce changement s'explique par deux phénomènes. Le premier est un déverdissement dû à la disparition des chlorophylles. D'une manière générale, la teneur en chlorophylle-*a* diminue plus vite que celle de la chlorophylle-*b*, ce qui se traduit par la diminution du rapport des concentrations chlorophylle-*a*/chlorophylle-*b*. La disparition des chlorophylles a deux effets. Bien entendu, la couleur verte disparaît, mais cette disparition démasque d'autres pigments, en particulier les caroténoïdes, c'est ce qui se passe par exemple avec la banane. Le second phénomène est la synthèse de nouveaux pigments : caroténoïdes (jaunes, orangés ou rouges) accumulés dans les plastes comme pour la tomate, et anthocyanes (rouges, bleus ou violets) dissous dans les vacuoles comme pour la cerise ou pour les variétés de pommes rouges (Hartmann, 1992 ; Salunkhe *et al.*, 1991).

#### V. Changement de composition

Les fruits et légumes féculents subissent une diminution de l'amidon et une augmentation des sucres simples et des acides après récolte. La transformation des glucides est une autre caractéristique importante de la maturation. Les principaux phénomènes sont,

d'une part, l'hydrolyse et la disparition de l'amidon et, d'autre part, l'enrichissement en sucres solubles. Les composés pectiques de la paroi cellulaire sont dégradés ; les formes solubles augmentent, ce qui se traduit par une diminution de la cohésion des cellules entre elles ; la chair devient fondante. Enfin, l'acidité diminue tandis que sont produits des composés volatils qui constituent l'arôme caractéristique des fruits (Hartmann, 1992). Toutefois, quand les fruits sont cueillis très immatures ou au stade 'vert' pour les transports bateaux sur longue distance, ils ne donnent pas d'arômes typiques. Ce type de problème a par exemple été étudiée sur des pêches aux Etats-Unis (Salunkhe *et al.*, 1991).

## **VI. Changement de texture**

La plupart des fruits se ramollissent pendant la maturation. Ce ramollissement des fruits peut résulter d'un des trois mécanismes suivants : la perte de poids, la dégradation de l'amidon ou celle des parois pecto-cellulosiques.

La perte de poids est un processus non-physiologique dû à la déshydratation des fruits. La perte en eau est d'environ 5-10% par rapport au poids frais du fruit. Malgré cela, elle a un faible effet sur la composition biochimique du fruit mais elle peut conduire à une dégradation significative de la qualité commerciale des fruits.

La dégradation de l'amidon peut être impliquée dans le changement de la texture, particulièrement pour les fruits comme les bananes où la quantité d'amidon présente un pourcentage important par rapport au poids frais des fruits. Toutefois, pour la plupart des fruits, le changement de la texture au cours de la maturation est généralement dû au résultat de la dégradation des parois pecto-cellulosiques. Les polyosides constituent en effet de 90% à 95% de la paroi. Ils regroupent la cellulose, l'hémicellulose et les pectines (Turker, 1993b).

## **B. Causes de dégradation des fruits et légumes**

Trois catégories d'altérations majeures peuvent être définies.

### **I. Altérations physiologiques**

Des déséquilibres nutritionnels peuvent être à l'origine de modifications physiologiques de nombreux fruits et légumes. Par exemple, une coloration jaune anormale de la pulpe de banane est causée par l'assimilation défective du potassium et du magnésium dans la plante. Un rapport potassium/azote non adapté chez l'ananas rend la chair translucide, et une déficience en bore ou en cuivre génère l'apparition de petites poches de gomme dans l'albédo de certaines variétés d'oranges et de citrons (Laville, 1994).

Les conditions climatiques au verger influencent aussi cette altération. A titre d'exemple, des pluies abondantes à la veille de la récolte fragilisent les épidermes des agrumes qui peuvent alors présenter des boursouflures aqueuses.

Le stockage des produits à basse température permet de diminuer leur respiration et de prolonger la durée de vie. Cependant, les températures trop basses induisent également des

altérations physiologiques désignées par le terme ‘maladies du froid’ ou ‘chilling injury’ en anglais (Laville, 1994 ; Salunkhe *et al.*, 1991).

Les symptômes de ces maladies du froid sont variés : petites ponctuations brunes ou rougeâtres sur les épidermes, plus ou moins confluantes, superficielles ou déprimées, brunissement interne des pulpes et des vaisseaux fibreux, développement d’arômes indésirables (Laville, 1994).

## **II. Altérations parasitaires**

Les altérations d’origine parasitaire sont les plus nombreuses. Ce sont elles qui provoquent le plus de dommage, et qui sont les plus difficiles à endiguer, car les organismes pathogènes sont de nature très variée (champignons ou moisissures, bactéries, insectes) nécessitant chacun une action particulière.

Les infections peuvent survenir au verger et ne se révéler qu’après récolte, ou contaminer les fruits au cours des opérations de triage, d’emballage, de stockage, et parfois même chez le consommateur quelques jours seulement avant la consommation (Laville, 1994).

### **II.1. Infections pré-récoltes**

Aux champs, les fruits et légumes peuvent être attaqués par un certain nombre d’espèces fongiques qui sont capables de pénétrer à l’intérieur des produits. Leur activité peut se déclencher un peu plus tard : soit accidentellement par une blessure des tissus là où ils sont implantés, soit systématiquement lorsque débute le mûrissement du fruit, ce qui entraîne des modifications importantes de sa composition (Laville, 1994 ; Wills *et al.*, 1998 ; Salunkhe *et al.*, 1991).

### **II.2. Infections post-récoltes**

Les infections après la cueillette sont nombreuses et sont le fait de la presque totalité des espèces pathogènes recensées, inévitablement présentes dans tous les lieux d’activité, chaînes de conditionnement, entrepôts, et sur tous les matériels, caisses de récolte, emballages, containers (Laville, 1994). En effet, les champignons et bactéries sont abondants dans l’atmosphère et à la surface des fruits et légumes. Des champignons comme *Penicillium*, *Rhizopus* et *Geotrichum* ne sont pas capables de pénétrer directement dans l’épiderme de l’hôte, mais ils peuvent entrer à l’intérieur par des blessures à la surface des produits et se développer ensuite (Salunkhe *et al.*, 1991 ; Wills *et al.*, 1998).

## **III. Altérations mécaniques**

La récolte, l’emballage et la manutention des fruits et légumes s’accompagnent inévitablement de blessures et de chocs.

Les plaies de coupe sont d’ampleur et de surface variable, de l’ordre de quelques millimètres pour les pédoncules d’agrumes, d’un centimètre pour l’ananas et de plusieurs centimètres pour les régimes et les mains de bananes. Elles sont facilement colonisées par les micro-organismes. On peut noter à ce niveau que les pédoncules coupés franchement et à

bonne distance du fruit se dégradent moins vite que ceux déchiquetés ou arrachés (Laville, 1994).

### C. Principales techniques de conservation en frais des fruits et légumes

La conservation en frais des fruits et légumes après récolte consiste à limiter les altérations causées par des parasites exogènes et à ralentir les réactions métaboliques impliquées dans les processus de maturation. Il existe plusieurs techniques pour protéger les fruits et légumes. L'entreposage au froid est le plus employé pour les conserver à l'état frais. L'atmosphère contrôlée et les fongicides considérés comme des compléments du froid sont utilisés pour prolonger leur durée de vie commerciale. Les films et enrobages sont aussi recherchés pour leurs caractéristiques barrières. Il est fréquent, pour un fruit donné, de faire appel à plusieurs techniques séparément ou simultanément.

#### I. Basses températures

Les basses températures agissent sur la physiologie des fruits en ralentissant le métabolisme : respiration, transpiration, production d'éthylène, etc. Elles réduisent également le développement des micro-organismes (Laville, 1994 ; Burdon, 1997). Cette action est plus nette autour de 0°C, mais la plupart des fruits tropicaux sont déjà sensibles à des températures positives de l'ordre de +5°C et même de +12°C (Laville, 1994) (tableau 4).

**Tableau 4 : Température (T) et humidité relative (H.R.) moyennes, recommandées pour la conservation de quelques fruits et légumes**

Fruits	T(°C)	H.R. (%)	Durée de conservation
Ananas <sup>(1)</sup>	8	90	2-4 semaines
Avocat <sup>(1)</sup>	7	90	2-4 semaines
Banane <sup>(1)</sup>	12	90	15-20 jours
Mangue <sup>(1)</sup>	8	90	3-4 semaines
Papaye <sup>(1)</sup>	5 – 7	85-90	4 semaines
Pomelo <sup>(2)</sup>	10-15	85-90	6-8 semaines
Citron <sup>(2)</sup>	10-13	85-95	4-24 semaines
Orange <sup>(2)</sup>	1-9	85-90	3-12 semaines
Tangerine <sup>(3)</sup>	3-4	90-95	2-5 semaines
Lime <sup>(3)</sup>	8.5-11	85-90	6-8 semaines

(1) : Laville, 1994

(2) : Burdon, 1997

(3) : Mutara, 1997

Chaque fruit présente une température optimale de conservation. Il existe aussi des différences en fonction des cultivars, des conditions culturales et des zones de production. Les températures trop basses causent le phénomène de maladies du froid surtout pour les fruits tropicaux et subtropicaux avec des dégâts irréversibles (Lyons et Breidenbach, 1987 ; Laville, 1994). La température recommandée de stockage pour chaque produit dépend fortement de l'humidité relative.

## II. Atmosphères contrôlées et modifiées

L'utilisation des atmosphères modifiées ou contrôlées tend à se développer surtout pour les fruits et légumes tropicaux et subtropicaux où les avantages de la réfrigération sont limités par les maladies du froid (Burdon, 1997). Ces deux méthodes doivent être considérées comme complémentaires. Elles peuvent être utilisées pour un stockage de longue durée, un stockage temporaire ou pendant le transport.

Le principe de ces méthodes est de modifier les proportions oxygène/gaz carbonique ( $O_2/CO_2$ ) de l'atmosphère de stockage, avec généralement diminution de l'oxygène et enrichissement en gaz carbonique, afin de ralentir les échanges respiratoires et les autres processus métaboliques (accumulation d'acides, teneur en sucres, modification des pectines, dégradation des chlorophylles, etc.). Il s'en suit un allongement de la durée de vie des fruits cueillis (Laville, 1994 ; Burdon, 1997 ; Salunkhe *et al.*, 1991).

La technique de conservation sous atmosphère contrôlée consiste à modifier la composition gazeuse de l'air entourant le produit à conserver.

Le terme 'd'atmosphère contrôlée' (AC) est généralement employé lorsqu'on peut modifier à volonté la composition de l'atmosphère pendant la conservation. L'AC implique le contrôle de la composition gazeuse et restauration des valeurs de consigne. On réserve le terme 'd'atmosphère modifiée' (AM) lorsqu'il n'est pas possible d'agir directement sur l'atmosphère pour modifier sa composition (exemple : dans un emballage). L'utilisation d'un film plastique convenablement perforé ou de sélectivité appropriée permet de réduire presque de moitié la perte de poids, d'assurer une bonne aération tout en maintenant une humidité suffisante.

Les atmosphères contrôlées ou modifiées peuvent influencer la respiration à 3 niveaux : (1) la respiration aérobie, (2) la respiration anaérobie et (3) la combinaison des deux. La respiration aérobie apparaît lorsque la fourniture d'oxygène est normale. Elle libère du gaz carbonique et de l'eau. La respiration anaérobie a lieu dans une atmosphère fortement appauvrie oxygène. Elle produit du gaz carbonique et de l'éthanol par fermentation et conduit à une saveur indésirable. Quand la teneur en oxygène est faible, ces deux processus ont lieu à un niveau qui dépend de la concentration en oxygène dans l'atmosphère. Plus la teneur en oxygène est élevée plus la respiration aérobie et l'utilisation des sucres sont augmentées (Salunkhe *et al.*, 1991).

**Tableau 5 : Composition optimale de l'atmosphère pour le stockage et le transport de quelques fruits**

<b>Fruits</b>	<b>Application<sup>(*)</sup></b>	<b>Température (°C)</b>	<b>Atmosphère</b>	
			<b>% O<sub>2</sub></b>	<b>% CO<sub>2</sub></b>
Mangue	S	13	5	5
Avocat	S	7	1	9
Papaye	T	13	1-2	0
Ananas	T	7	2-5	0
Banane	T	13	2	5
Fraise	S & T	0	4-10	0-20
Pêche	S	0	1-2	5
Pomelo	S	7	2-5	2-5
Orange (Valencia)	S	1	15	0
Citron	S	15	3-5	0-5
Pomme (McIntosh)	S	3	3	5
Raisin (à table)	S	0	5	2-5

(\*) : S = Stockage, T = Transport

Source : Dilley (1978)

### III. Films et enrobages

Les films et enrobages comestibles ont été définis comme 'des couches minces protectrices d'un aliment qui font partie intégrante de l'aliment et qui peuvent être consommées comme tel' (Guilbert, 1986). Ils sont traditionnellement utilisés pour améliorer l'apparence et la conservation des produits alimentaires. Les exemples plus communs sont les enrobages de cire pour les fruits qui sont utilisés en Chine depuis le douzième siècle (Dalal, 1971).

Les enrobages comestibles sont principalement utilisés pour réduire les échanges gazeux, dont la perte de poids en cours de transport ou entreposage (de Laroussihle, 1980 ; Donhowe et Fennema, 1994). Ils remplacent aussi la pruine ou cire naturelle qui a été souvent éliminée au cours du conditionnement et donnent un aspect brillant aux fruits (de Laroussihle, 1980). En effet, les caractéristiques de barrière aux gaz des films et enrobages comestibles présentent un grand intérêt. Le développement des films comestibles avec une perméabilité sélective aux gaz (oxygène, dioxyde de carbone, éthylène) permet de contrôler la respiration et le développement microbien (Cuq *et al.*, 1995).

#### III.1. Constituants des films et enrobages comestibles

Les principaux matériaux des films et enrobages comestibles peuvent être classés en trois catégories : hydrocolloïdes, lipides et composites. Les hydrocolloïdes comprennent les protéines, les dérivés cellulosaques, les alginates, les pectines, les amidons et les autres polysaccharides. Les lipides utilisés incluent les cires, les acylglycérols et des acides gras. Enfin, les composites contiennent à la fois les deux types de composants précités (Donhowe et Fennema, 1994 ; Guilbert et Biquet, 1989).

### **III.1.1. Hydrocolloïdes**

Les films hydrocolloïdiques peuvent être utilisés dans les applications où le contrôle de la migration de vapeur d'eau n'est pas important (Donhowe et Fennema, 1994 ; Guilbert et Biquet, 1989). En effet, ces films ont une faible résistance à la vapeur d'eau, car ils sont généralement solubles dans l'eau (Donhowe et Fennema, 1994). Ces films possèdent de bonnes propriétés de barrière pour l' $O_2$  et le  $CO_2$  (Cuq *et al.*, 1995). Grâce à leurs caractéristiques, les films à base de protéines sont largement étudiés depuis quelques années. En effet, plusieurs matériaux à base de protéines ont été testés : collagène, zéine, gluten de blé, ovalbumine, soja, etc. (Guilbert et Biquet, 1989 ; Gontard *et al.*, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 ; Gontard et Ring, 1996 ; Gennadios *et al.*, 1993a et 1993b ; Herald *et al.*, 1995 ; Cuq *et al.*, 1996a et 1996b ; McHugh et Krochta, 1994a) ; protéines d'arachide (Jangchud et Chinnan, 1999) ; gélatine (Dewettinck *et al.*, 1999). De plus, l'utilisation des protéines du lait (caséine) dans ce domaine a été aussi rapportée par plusieurs auteurs (Maynes et Krochta, 1994 ; McHugh et Krochta, 1994b ; Avena-Bustillos et Krochta, 1993).

### **III.1.2. Lipides**

Plusieurs composés lipidiques comme les graisses animales et végétales (cires naturelles et dérivés, acétoglycérides, etc.) ont été utilisés pour produire des films comestibles et des enrobages (Guilbert et Biquet, 1989 ; Avena-Bustillos et Krochta, 1993 ; Kester et Fennema, 1989a et 1989b ; Greener et Fennema, 1989a et 1989b). En général, ils sont utilisés pour leurs excellentes propriétés barrière à l'humidité (Donhowe et Fennema, 1994), mais il est possible d'observer des problèmes de stabilité du produit enrobé, en particulier des oxydations, des modifications de texture et de qualité organoleptique : avec un goût de cires (Guilbert et Biquet, 1989).

### **III.1.3. Composites**

Les films composites ont été développés afin de cumuler les avantages de ces différents matériaux constitutifs et afin de surmonter leurs inconvénients respectifs (Cuq *et al.*, 1995). Ils peuvent être utilisés pour empêcher le brunissement enzymatique ou retenir l'arôme de certains fruits climactériques comme la banane, la mangue, la papaye ou la tomate (Nisperos-Cerriero *et al.*, 1991).

## **III.2. Propriétés barrières des films et enrobages comestibles**

En pratique, on utilise plusieurs paramètres (perméabilité, coefficient de perméabilité, perméance, résistance etc.) pour décrire les propriétés barrières des films et enrobages (Donhowe et Fennema, 1994).

### **III.2.1. Perméabilité**

Une combinaison entre la première loi de diffusion de Fick (1) et celle de la solubilité de Henry est utilisée pour exprimer la perméabilité d'un gaz à travers une barrière non poreuse idéale.

$$J = -D \frac{dC}{dX} \quad (1)$$

Avec  $J$  = flux du gaz ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$D$  = diffusivité du gaz ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

$\frac{dC}{dX}$  = gradient de concentration ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{m}^{-1}$ )

Le signe négatif indique que la migration a lieu dans la direction opposé au gradient de concentration.

Si la loi de solubilité de Henry est respectée, la concentration du gaz dans le film sera égale au produit du coefficient de la solubilité et de la pression partielle du gaz dans l'air adjacent (2).

$$C = S \cdot P \quad (2)$$

Avec  $S$  = coefficient de solubilité ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$ )

$P$  = pression partielle du gaz dans l'air adjacent (Pa)

La combinaison des deux équations (1) et (2) donne l'équation (3).

$$J = -D \cdot S \frac{dP}{dX} \quad (3)$$

Par réarrangement, le produit  $DS$  qui est défini comme la perméabilité, peut être exprimé selon l'équation (4).

$$D \cdot S = -\frac{J \cdot dX}{dP} \quad (4)$$

Expérimentalement, la perméabilité peut être déterminée selon l'expression (5).

$$\text{Perméabilité} = \frac{\text{Masse du gaz perméant} \times \text{Epaisseur du film}}{\text{Surface du film} \times \text{Temps} \times \text{Différence de pression partielle}} \quad (5)$$

L'unité de la perméabilité est exprimée en  $\text{g} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ .

Les unités de perméabilité courantes sont listées dans le tableau 6.

**Tableau 6 : Termes communément utilisés pour décrire les propriétés barrières des films et enrobages comestibles**

Termes	Equation <sup>(a)</sup>	Unités communes <sup>(b)</sup>
Perméabilité	$M \cdot \Delta X \cdot (A \cdot t \cdot \Delta P)^{-1}$	$g \cdot cm \cdot (cm^2 \cdot s \cdot mmHg)^{-1}$
Coefficient de perméabilité	$M \cdot \Delta X \cdot (A \cdot t \cdot \Delta C)^{-1}$	$cc \cdot cm \cdot (cm^2 \cdot s \cdot cmHg)^{-1}$
Perméance	$M \cdot (A \cdot t \cdot \Delta P)^{-1}$	$g \cdot (m^2 \cdot jour \cdot mmHg)^{-1}$
Proportion de transmission	$M \cdot (A \cdot t)^{-1}$	$g \cdot (m^2 \cdot jour)^{-1}$ $g \cdot (m^2 \cdot h)^{-1}$
Résistance	$\Delta C \cdot A \cdot t \cdot M^{-1}$	$s \cdot m^{-1}$
Energie d'activation	$P_0 \exp(-R^{-1} \cdot T^{-1})$	$kcal \cdot mol^{-1}$ $kJ \cdot mol^{-1}$

Source : Donhowe et Fennema (1994)

(a) :  $M$  = masse du gaz

$\Delta X$  = épaisseur du film

$A$  = superficie

$t$  = temps

$\Delta P$  = gradient de la pression

$\Delta C$  = gradient de la concentration

$P_0$  = constante de la perméabilité

$E_p$  = énergie d'activation

$R$  = constante du gaz

$T$  = température (K)

(b) : les unités listées sont trouvées à travers la littérature sur les films d'emballage

(c) : cette expression pour la perméance est généralement utilisée dans la description des propriétés barrières des matériaux lipidiques

Les termes de ‘perméabilité’ et de ‘coefficient de perméabilité’ sont généralement utilisés pour décrire des films ayant une composition homogène. Par contre, le gradient de pression partielle et l’épaisseur du film peuvent aussi entrer dans l’équation (Donhowe et Fennema, 1994).

Les fruits et légumes enrobés doivent l’être selon leurs besoins physiologiques. La formulation de l’enrobage doit permettre un échange gazeux à travers le film. L’épaisseur du film enrobé et son uniformité sont très importantes. En effet, un film trop épais peut causer la détérioration du produit par augmentation des conditions anaérobies. Par contre, un film trop fin peut ne pas avoir d’effet suffisant pour obtenir les résultats désirés (Salunkhe *et al.*, 1991). Néanmoins, cela dépend de la perméance du film.

Les perméabilités à la vapeur d'eau et aux gaz de quelques films et enrobages sont présentées dans les deux tableaux 7 et 8.

**Tableau 7: Perméabilité à la vapeur d'eau de quelques films et enrobages**

Types de film	Epaisseur (mm)	Perméabilité à la vapeur (g.mm.kPa <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> )	Conditions	Références
- Caséinate de sodium - Casénate de calcium	0,083	1,53 ± 0,12	25°C et 81,2 ± 2%H.R.	Avena-Bustillos et Krochta (1993)
	0,082	1,17 ± 0,09	25°C et 84,8 ± 0,9%H.R.	
Wax-S <sup>(a)</sup>	0,045	1,27	25°C et 100-0%H.R.	Greener et Fennema (1989a)
Wax-M <sup>(b)</sup>	0,051	0,397	25°C et 100-0%H.R.	
Wax composite-S <sup>(c)</sup>	0,043	0,794	25°C et 100-0%H.R.	
UF-TMP	0,071	2,292	65%H.R.	Maynes et Krochta (1994)
EER	0,069	3,375	61%H.R.	
TMP 1100	0,080	3,371	65%H.R.	
TMP 1230	0,074	3,338	63%H.R.	
TMP 1350	0,080	3,588	63%H.R.	
Amidon	0,036	9,157	25°C et 0,973-2,56 kPa	Gontard <i>et al.</i> (1995)
Caséine-Gélatine	0,25	2,219	30°C et 2,46-3,85 kPa	
Gluten (83,4%) et Glycérol (16,6%)	0,05	0,328	30°C et 1,33-4,29 kPa	
Cire d'abeilles	0,12	0,000781	25°C et 1,33-2,67 kPa	

(a) : cire d'abeille dans de l'éthanol appliquée avec de la méthylcellulose (MC)

(b) : cire d'abeille appliquée fondu dans de la MC

(c) : Cire d'abeille + mélange d'acides gras + éthylcellulose (EC) dans de l'éthanol et appliqués dans de la MC

(d) : UF-TMP = Protéines totales du lait obtenues par ultrafiltration

EER = Protéines totales concentrées obtenues par extraction du lactose avec de l'éthanol

TMP 1100 - 89% de protéines

TMP 1230 - 87% de protéines

TMP 1350 - 85% de protéines

**Tableau 8 : Perméabilité à l'O<sub>2</sub>, au CO<sub>2</sub> et sélectivité de quelques films et enrobages comestibles à 25°C**

Type de film	Perméabilité à l'O <sub>2</sub> (ml.mm.m <sup>-2</sup> .j <sup>-1</sup> .atm <sup>-1</sup> )	Perméabilité au CO <sub>2</sub> (ml.mm.m <sup>-2</sup> .j <sup>-1</sup> .atm <sup>-1</sup> )	Sélectivité du film (pCO <sub>2</sub> /pO <sub>2</sub> )	H.R. (%)
Pectine	57,5	-	-	87
Pectine	258,8	4132	16	96
Chitosane	91,4	1553	17	93
Pullulane	3,3	14	4,25	30
Pullulane/gomme arabique	3,05	10	3,27	36
Gluten de blé	190	4750	25	91
Gluten de blé	250	7100	28,4	94,5
Protéines de poisson	56	-	-	86
Protéines de poisson	169	2156	12,75	92
Caséinate de sodium	77	462	6	77
Gluten-DATEM	153	1705	11,14	94,5
Gluten-Cire d'abeilles	133	1282	9,64	91
Caséinate de sodium/Myvacet	83	154	1,85	48
MC/HPMC/acides gras	46,6	180	3,86	52
MC et cire d'abeilles (bi-couches)	4	27	6,75	42
Gluten-DATEM et cire d'abeilles (bi-couches)	<3	15	>5	56
Méthylcellulose-acide palmitique	78,8	-	-	100

Source : Guilbert *et al.* (1996)

DATEM : diacétyle tartrique ester de monoglycérides

MC : méthylcellulose

HPMC : hydroxypropyl-méthyl cellulose

### III.2.2. Perméance

La perméance permet d'évaluer les performances d'un film mais ne représente pas une propriété intrinsèque du film (ASTM, 1990).

Elle est définie suivant l'équation (6).

$$\text{Perméance} = \frac{\text{Masse du gaz perméant}}{\text{Surface du film} \times \text{Temps} \times \text{Différence de pression partielle}} \quad (6)$$

En pratique, elle est exprimée en  $\text{ml.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}.\text{atm}^{-1}$

Le terme de 'perméance' est souvent utilisé lorsque le film est homogène, sa composition et/ou son épaisseur inconnue.

### III.2.3. Taux de transmission

Le taux de transmission est déterminé selon l'équation (7). Dans ce cas de figure, le temps et la superficie du film sont contrôlés, et le poids du gaz transmis est mesuré.

$$\text{Taux de transmission} = \frac{\text{Masse du gaz perméant}}{\text{Surface du film} \times \text{Temps}} \quad (7)$$

L'unité du taux de transmission peut être exprimée en  $\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

### III.2.4. Résistance

L'expression de 'résistance' peut aussi être utilisée pour quantifier les propriétés barrières d'un matériau (membranes cuticulaires, lipides d'origine animale, autres barrières homogènes).

La résistance de transmission à la vapeur d'eau à travers un film est exprimée selon l'équation (8).

$$\text{Résistance} = \frac{W_i - W_a}{J} \quad (8)$$

Avec :

$W_i$  = concentration à la saturation en vapeur d'eau ( $\text{g.m}^{-3}$ )

$W_a$  = concentration de la vapeur d'eau dans les conditions du test ( $\text{g.m}^{-3}$ )

$J$  = flux de la vapeur d'eau ( $\text{g.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )

### III.2.5. Energie d'activation

Pour les gaz, la perméabilité dépend de la température. La résistance ou la valeur de perméance d'un film obéit souvent à la relation de Arrhenius (9).

$$P = P_0 e(-E_p / RT) \quad (9)$$

Avec :  $P$  = perméabilité

$P_0$  = constante (facteur cinétique)

$R$  = constante du gaz ( $8,3143 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

$E_p$  = énergie d'activation pour la perméation ( $\text{J.mol}^{-1}$ )

$T$  = température (K)

L'énergie d'activation ( $E_p$ ) est la somme de chaleur de la dissolution  $\Delta H_{sol}$  et de l'énergie d'activation de diffusion  $E_d$  (Myers *et al.*, 1961).

Pour la plupart des gaz,  $\Delta H_{sol} = 0$  et  $E_d$  est élevée et positive. La valeur de l' $E_p$  peut devenir négative pour la vapeur d'eau transférée à travers un film hydrophobe.

### III.3. Application des films et enrobages comestibles

Les enrobages sont directement formés sur les produits alimentaires à partir de solutions (ou suspensions) ou de composés malléables (par exemple des lipides). Ils sont appliqués par différentes méthodes : avec un pinceau, par pulvérisation, trempage, fluidisation, etc. (Guilbert et Biquet, 1989 ; Kester et Fennema, 1986 ; de Laroussilhe, 1980 ; El Ghaouth *et al.*, 1992a ; Baldwin *et al.*, 1996). A titre d'exemple, ils peuvent être préparés par séchage d'une solution sur un séchoir à tambour, par refroidissement d'un composé pâteux ou à l'aide de techniques utilisées couramment pour former des emballages synthétiques, comme le thermoformage ou l'extrusion pour les matériaux thermoplastiques (Guilbert et Biquet, 1989 ; Kester et Fennema, 1986).

L'application des enrobages comestibles est courante pour les agrumes, les pommes, les tomates vertes et les concombres. Par contre, ces enrobages sont moins étudiés pour l'abricot, l'ananas, la banane, la cerise, la datte, la goyave, la mangue, le melon, la nectarine ou la pêche (Baldwin, 1994).

Les films et enrobages sont fabriqués industriellement dans le monde entier, quelques exemples d'enrobages disponibles dans le commerce sont donnés dans le tableau 9.

**Tableau 9 : Quelques compagnies, produits d'enrobage et leurs applications**

Compagnie	Dénomination commerciale	Ingrédients principaux	Application
American Machinery Corp. (AMC)	PacRite Apple Wax 61	Emulsion de Carnauba- Shellac dans de l'eau	Pomme
	PacRite Apple Wax 55	Emulsion aqueuse de Shellac avec thiabendazole	Pomme
	PacRite 425	Emulsion de Shellac et résine dans de l'eau	Agrumes (pour transport maritime de longue durée)
	PacRite 585	Emulsion de Shellac et résine dans de l'eau	Agrumes (pour marché local et exportation)
	PacRite Sunshine Wax	Cire de résine compatible avec fongicides dans de l'eau	Agrumes (pour transport maritime de courte durée)
	Sealbrite Lustre Dry	Dispersion de résine-Shellac avec ou sans thiabendazole à 1000ppm dans de l'eau	Agrumes (Limes) (pour transport maritime de courte et longue durée)
	Stor-Rite 101	Emulsion d'homopolymer de polyethylene oxydé	Agrumes (Citrons) et autres fruits & légumes
	PacRite Durafresh	Base d'huile minérale	Tomate, concombre, poivre vert, pêche, prune, nectarine
	PacRite Stone Fruit 3	Emulsion d'acide gras d'huile minérale compatible avec fongicides dans de l'eau	Pêche, prune, nectarine (pour marché local et exportation)
	PacRite Tropical Fruit Coating 213	Emulsion de Carnauba dans de l'eau	Mangue, papaye, carambole, melon, chayotte, ananas
Agri-Tech Inc.	Fresh-Cote 200, 207, 214, 241HL, 362	Base de Shellac	Pomme, pêche
	Fresh-Cote CW1	Base de Carnauba	Pomme
	Fresh-Cote 711	Emulsion d'huile	Pomme, aubergine, tomate, concombre
	Fresh-Cote 110	Emulsion d'huile	Pêche, abricot, nectarine
	Fresh-Cote 707	Base de Carnauba	Pêche
Solutec Corp.	Vector 7	Base de Carnauba avec morpholine	Pomme (pour marchés locaux)
	Apl-Brite 300C	Base de Carnauba	Pomme (pour marché local et exportation)
	Citrus-Brite 300C	Base de Carnauba	Agrumes(pour marché local et exportation)
S. C. Johnson	Primafresh Wax	Emulsion de Carnauba	Pomme, agrumes et autres fruits
Pace Intl. Shield-Brite	Shied-Brite AP-40, AP-46, AP-700	Base de Shellac	Pomme
	Shield-Brite AP-50C	Base de Carnauba et Shellac	Pomme

	Shield-Brite AP-101	Cires naturelles	Pomme (pour exportation)
	Shield-Brite C-50-C	Carnauba et Shellac	Agrumes
	Shield-Brite PR-150	Base de Shellac	Pêche
	Shield-Brite PR-160C	Base de Carnauba et Shellac	Pêche
	Shield-Brite PR-190	Cires naturelles	Pêche
	Shield-Brite ST-200	Cire/huile végétale, gomme de xanthane	Fruits à noyau
	Shield-Brite ST-400	Huile végétale, cire d'abeilles, gomme de xanthane	Fruits à noyau
<b>Food Machinery Corp. (FMC)</b>	Sta-fresh 360	Résine naturelle	Agrumes, pomme, fruits à noyau, pomme de grenat, tomate
	Sta-fresh 223	Résines naturelles et modifiées	Agrumes
	Sta-fresh 320	Résines naturelles et modifiées	Agrumes
	Sta-fresh 705	Résines synthétiques	Agrumes, ananas, melon, patate douce
	Flavorseal 93	Résine synthétique	Agrumes
	Flavorseal 150	Résine naturelle modifiée	Agrumes
Fresh Mark Corp.	Fresh Wax 3330	Shellac et colophane de bois	Agrumes
	Fresh Wax 625	Cire de polyéthylène oxydée	Melon, ananas, pomme, patate douce, agrumes
	Fresh Wax Veg. Wax 51 V	Huile blanche, cire de paraffine	Concombre, tomate et autres légumes
Brogdex Co.	Apple Britex 559	Emulsion de cire de Carnauba	Pomme
	Melon Wax 551	Cire de Carnauba avec 1-2% de Dowicide A comme un fongicide	Melon
	Banana Wax 509	Emulsion de cire	Banane
	Avocado, Chayote, Papaya, and Mango Wax 508	Cire à haute brillance	Avocat, chayotte, papaye et mangue
	Pineapple Wax 510	Emulsion de cire dans de l'eau	Ananas
	Stone Fruit Wax 521	Emulsion de Carnauba	Fruits à noyau
	Stone Fruit Wax 522	Huile végétale avec 2,1% de Botran (fungicide), sans graisse animale ni glucide	Fruits à noyau
	Apple Wax 360	Base de résine à haute brillance	Pomme

	<b>Citrus Wax 325</b>	Base de résine	<b>Agrumes</b>
	<b>Britex 315, 551, 701</b>	Emulsion de Carnauba	<b>Agrumes</b>
	<b>Storage Wax 505-05</b>	Emulsion de polyéthylène concentrée pour stockage à courte durée et déverdissage rapide	<b>Citron</b>
	<b>Storage Wax 505-25</b>	Emulsion de polyéthylène concentrée pour stockage à longue durée et développement lent de coloration	<b>Citron</b>
Surface Systems Int.	Semperfresh F	Saccharates d'acides gras, carboxyméthy cellulose	La plupart de fruits et légumes
	Semperfresh G	Comme Semperfresh F mais forme granulaire différente	La plupart de fruits et légumes
	Nu-Coat Flo	Saccharates d'acides gras, carboxyméthy cellulose, agent antimousse alimentaire, liquide concentré	Mangue, melon, prune, poire, pomme, cerise, goyave, caïmitte, durian, concombre, aubergine, courgette, haricot, poivron
	Nu-Coat Flo C	Comme Nu-Coat Flo	Agrumes et ananas
	Ban-Seel	Comme Nu-Coat Flo, liquide concentré	Banane et plantain
	Brilloshine C	Saccharates et cire (brillant)	Agrumes
	Brilloshine	Comme Brilloshine C, liquide concentré (brillant)	Plupart de fruits et légumes
	Snow-White	Saccharates, 'twin pact', liquide et poudre (limite les brunissements oxydatifs)	Pomme de terre
	White-Wash	Saccharates, liquide (empêcher le verdissement des pommes de terre exposée à la lumière)	Pomme de terre

Source : Baldwin (1994)

Les enrobages sont de plus en plus utilisés dans le domaine de la conservation en frais des fruits et légumes. Ils peuvent être mis en œuvre soit seuls, soit en combinaison avec des fongicides et d'autres composés chimiques : thiabendazole (TBZ), bénomyl, méthoprène,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ . Leur utilisation peut être également couplée avec d'autres traitements comme le trempage en eau chaude ou la réfrigération à basses températures.

L'enrobage 'Semperfresh' (polyester de saccharose) peut prolonger la durée de vie après récolte des abricots de 30% à 50% en retardant la vitesse de maturation des fruits. Ceci entraîne une meilleure préservation de la couleur, de la fermeté, de la teneur en acide ascorbique, de l'acidité titrable et du pH (Sünnü et Bayındırli, 1995).

Hagenmaier et Baker (1993) ont traité des pomelos avec plusieurs types d'enrobage ('PEWAX', 'Shellac', résine, carnauba, 'Johnson', 'Citrus wax' et 'Solvent wax'). Les résultats ont mis en évidence des effets sur l'augmentation de la teneur en  $\text{CO}_2$  interne et la diminution de la perte de poids des fruits au cours du stockage. En effet, on observe une réduction de la transpiration des fruits enrobés. Notons cependant que l'utilisation de

l'enrobage 'Shellac' affecte la saveur du fruit. Dans une autre expérimentation, Lau (1998) a rapporté que le 'Shellac' (Shield Brite AP-40 – Pace International LP, Kirkland, WA) a augmenté le brunissement des pommes 'Braeburn' conservées dans l'air à 0°C.

Le 'Semperfresh' et le 'Johnfresh' ont permis de prolonger la durée de vie de conservation et d'améliorer la qualité des pêches 'Ankara'. En effet, la couleur externe, la fermeté, la teneur en acide ascorbique, l'acidité titrable et l'extrait sec soluble des fruits enrobés ont été mieux préservés que ceux du témoin (Sümnü et Bayindirli, 1994).

L'enrobage avec du 'Semperfresh' retarde le processus de mûrissement et prolonge la période de conservation des bananes (cv. Naine). L'effet est plus prononcé lorsque l'application est faite avant l'initiation du mûrissement artificiel. L'utilisation de l'enrobage 'Semperfresh' peut donc être bénéfique au commerce de la banane (Goburndhun, 1994).

La suspension de 'Pro-long' à 0,75% s'est avérée efficace sur la prolongation de la durée de vie, du retard de la maturation et de la diminution de la perte de poids des mangues 'Julie'. Mais à la concentration la plus élevée (1%), on a observé une augmentation de la production d'éthanol dans la pulpe pour certaines mangues (Dhalla et Hanson, 1988).

Bank (1984a) a constaté que l'enrobage des bananes (cv. Valery) avec du 'TAL Pro-long' (cire à base de saccharates) a modifié leur atmosphère interne par une réduction de la perméabilité aux gaz de la peau des fruits. De plus, la perte des chlorophylles de la peau des fruits enrobés a été moins rapide que celle des témoins (sans traitement) et il y a eu un petit effet sur l'accumulation des oses dans la pulpe de fruit.

Le 'TAL Pro-long' a été testé sur des bananes plantains. Il a retardé la maturation des fruits par inhibition du développement de la couleur jaune dans la pulpe et a ralenti certains changements chimiques en association avec la maturation. En formant une couche mince entourant le fruit, le 'TAL Pro-long' a probablement réduit les échanges gazeux, et a conduit à la création d'une atmosphère modifiée avec une pression en oxygène réduite dans le fruit (Olorunda et Aworh, 1984).

L'application d'un enrobage hydrophobe [maltose-dextrine (Amidex 10, Arancia, Co., Mexico City) + carboxyméthyl cellulose du sel de sodium (Sigma C-5678) + ester d'acide gras et HLB de 6 (Sorbac-60, Polisorbac-80, Arancia)] avec des mangues pré-climactériques a agit comme une barrière physique qui réduit l'échange gazeux entre le fruit et l'environnement. Il ralentissait à la fois la vitesse de catabolisme des substances de réserves et celle de génération de l'énergie requise qui provoquent les réactions associées à la maturation des fruits. Il a permis de prolonger la durée de vie des mangues 'Malina' d'au moins 20 jours à température ambiante. D'autre part, cet enrobage freinait la pénétration et la prolifération des micro-organismes et ne provoquait aucun mauvais effet sur la qualité organoleptique des fruits (Diaz-Sobac *et al.*, 1996).

Un mélange (4% d'émulsion de cire de canne à sucre, de cire de carnauba et de 'Shellac' + 1% d'orthophénol phénate de sodium + carbamate d'isopropyl N-phénol à 300ppm) a été utilisé pour contrôler l'attaque de mandarines 'Coorg' par *Penicillium* (en Inde) dans les conditions ambiantes (24-28°C et 68% H.R.) et au froid (5,5-7,2°C et 85-90% H.R.). D'autre part, on a constaté qu'il n'y avait pas d'effets nuisibles sur la composition

chimique et la qualité organoleptique des fruits après 22 et 33 jours de conservation respectivement à la température ambiante et au froid (Subramanyam *et al.*, 1970).

L'utilisation des formulations à base de saccharates d'acide gras sur des pommes 'Golden Delicious' a été réalisée par Drake *et al.* (1987). Les résultats ont montré que l'enrobage diminue l'évolution de la teneur en éthylène dans les fruits. De plus, il a augmenté l'accumulation de CO<sub>2</sub> interne.

Hagenmaier et Baker (1997) ont étudié les différentes caractéristiques de 19 films d'enrobage micro-émulsionnés à base d'acides gras et de cires de candelilla, d'abeille, de carnauba, de polyéthylène et de pétroléum. Ils ont trouvé que la brillance des oranges 'Valencia' enrobées était significativement plus élevée pour les enrobages contenant du carnauba et du polyéthylène. En général, toutes les formules étudiées étaient efficaces pour limiter la perte de poids des oranges.

L'infiltration des pommes 'Golden Delicious' par une solution de chlorure de calcium sous pression et suivie par un enrobage soit avec une cire à base de cire de candelilla, d'eau, d'acide oléique, de morpholine et d'alcool isopropylique soit avec du 'Apl Lustr 221', une micro-émulsion à base de Shellac, d'eau et d'acides gras s'est avérée efficace. En effet, ces enrobages ont retardé la maturation des fruits enrobés. Cela se traduit par un meilleur maintien de la couleur verte, de la fermeté de la chair et de l'acidité titrable. De plus, ils ont diminué la perte de poids, l'intensité respiratoire et la production de l'éthylène par les fruits (Saftner et Conway, 1998).

Un autre enrobage hydrophobe formé à partir de maltodextrine, de carboxyméthyl cellulose, de propylèneglycol et un mélange d'ester de sorbitane appliqué sur des mangues 'Malina' a augmenté le temps de conservation pendant une durée de 20 jours à 25°C et 80-85% H.R. Les changements de la fermeté de l'épiderme, des activités des pectinesterases, des polygalacturonases (PG) et des cellulases (Cx) ont été observés. En effet, pendant les 8 premiers jours, les fruits traités ont simultanément subi le ramollissement et les diminutions des activités de PG et de Cx ont été plus faibles que ceux du contrôle (non traité). Après cette période, l'activité de PG a progressivement augmenté au cours de la maturation des fruits (Diaz-Sobac *et al.*, 1997).

L'enrobage des fraises avec du chitosane a significativement réduit les pourritures. De plus, il a aussi diminué l'intensité respiratoire des fruits aux concentrations en chitosane élevées : 1,5% p/v (El Ghaouth *et al.*, 1991).

Les effets du chitosane sur la conservation des tomates (respiration, production de l'éthylène et qualité organoleptique) sont été étudiés par El Ghaouth *et al.* (1992b). Les auteurs ont constaté que le chitosane à 2% a fortement réduit l'intensité respiratoire et la production de l'éthylène des fruits. D'autre part, ce traitement a augmenté la teneur en CO<sub>2</sub> et diminué la teneur en O<sub>2</sub> interne des fruits ce qui permet d'améliorer la qualité des fruits (fermeté et acidité titrable) après la conservation.

Le chitosane a également des effets fongicides. Il inhibe la germination des spores et l'elongation des tubes germinatifs sur la fraise. Il n'a pas stimulé l'activité de la chitinase, de la chitosanase ou de la β-1,3-glucanase dans les tissus. Toutefois, il a stimulé l'activité de la chitinase acide (El Ghaouth *et al.*, 1992a).

La couleur rouge attrayante du litchi vire rapidement au brun après la cueillette. L'application d'une solution de chitosane (1% ou 2%) en combinaison avec un traitement de fongicide a eu des effets sur ce phénomène. Cette application a retardé les modifications des anthocyanes, des flavonoïdes, des phénols totaux et l'augmentation des activités des polyphénoloxydases ; diminué la perte de poids et inhibé partiellement l'augmentation de l'activité des peroxydases. Tous ces changements correspondent au brunissement de l'épiderme du fruit. De plus, cet enrobage a limité la pourriture des fruits au cours du stockage. Néanmoins, l'augmentation de la teneur en chitosane n'a pas amélioré significativement les effets bénéfiques du chitosane sur le brunissement et la pourriture des fruits (Zhang et Quantick, 1997).

Aux différentes concentrations (20, 10 et 5% de matière solide), le 'Primafresh C' et le 'Primafresh 31' (S.C. Jonhnson ans Son Inc. Rasine, WI, USA) ont diminué la perte de poids des mangues 'Bocado'. D'autre part, ils ont aussi retardé la dégradation des chlorophylles de l'épiderme et l'augmentation du pH du mésocarpe. Toutefois, ils n'ont pas eu d'effets dans le changement de la teneur en chlorophylles, en sucres et en amidon de la chair du fruit (Castrillo et Bermudez, 1992).

Le traitement avec du 'Vapor Gard' (di-l-p menthène) a permis d'améliorer la durée commerciale et la qualité organoleptique des mangues 'Dashehari' (4-5 jours de plus) à température ambiante (Kalra *et al.*, 1988).

Un traitement combiné entre le 'Nature Seal' (1,5% d'hydroxypropyl de cellulose ou Sta-Fresh 360 HS) et le Diméthoate a été réalisé contre les mouches des fruits (Caribe). Il a réduit le nombre de larves vivantes de 93% à 98,7% (Hallman et Foos, 1996).

Le changement de la couleur, la diminution de la fermeté et de la perte de poids des tomates enrobées avec du 'Regular Grade F4000' (zéine + glycérine + acide citrique) ont été limités. De plus, la production d'éthylène n'a pas été observée au cours de ce traitement (Park *et al.*, 1994b).

Le cycle de vie des mouches des fruits orientales (*Dacus dorsalis* Hendel) dans la papaye est complètement interrompu par l'enrobage avec une cire commerciale contenant un régulateur de croissance des insectes (méthoprène) (Saul *et al.*, 1987).

Une combinaison entre un traitement à l'eau chaude et l'enrobage 'Safepack' a permis d'améliorer la qualité et de réduire le développement des taches noires causées par *Alternaria alternata* sur des mangues (Prusky *et al.*, 1999).

Le 'Flavorseal' a permis d'augmenter la teneur en CO<sub>2</sub> et de diminuer la teneur en O<sub>2</sub> dans la pulpe des pomelos 'Marsh' (Shu *et al.*, 1987).

Les solutions diluées de 'Citruseal' (50% et 80% v/v) ont été utilisées pour réduire le chilling injury et la perte de poids des melons (*Cucumis melo* L. variété Inodorus) au cours de stockage de 4 à 6 semaines (à 3°C et à 6°C). Mais les pourritures causées par les bactéries ou les champignons (en particulier *Alternaria* et *Fusarium* spp.) n'ont pas été réduites à 3°C (Edwards et Blennerhassett, 1994).

Le trempage des mangues 'Wild' soit dans une solution de bénomyl chaude (à 55°C), soit dans celle de DHA-S, soit celle de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et suivi par un enrobage avec du 'Shield Brite AP 40' à base de Shellac a retardé la maturation, contrôlé la pourriture, minimisé la perte de poids et prolongé la durée de vie pendant le stockage (Joseph et Aworh, 1992).

Les trois produits 'WT-12', 'WT-22' et 'WT-23' (Decco Department of Pennwalt Corporation, Monrovia, California, USA) sont des cires contenant de l'orthophénylphénol considérées comme des barrières fongicides. Ils ont été utilisés pour contrôler des pourritures des bananes causées par *Rhizopus oryzae*, *Aspergillus niger* et *Gloeosporium musarum* (Krishnaiah *et al.*, 1985).

Les effets de la cire 'Shield Brite AP 40' appliquée seule ou en combinaison avec des fongicides sont rapportés par Aworh *et al.* (1991). L'enrobage a minimisé la perte de poids des oranges (*Citrus paradisi* cv. Agege 1) et des pomelos (*Citrus paradisi* cv. Ruby red) conservés à température ambiante (21-23°C et 71-96% H.R.). Quand il est combiné avec un lavage des fruits dans la solution à 0,1% de bénomyl ou à 0,5% de déhydroacétate de sodium, il a augmenté la durée de vie commerciale et amélioré l'apparence externe.

Sept différents types d'enrobage ont été testés sur des agrumes (orange et mandarine) : 'PacRite-StorRite 101' contenant de polyéthylène + Shellac, 'PacRite-Sun-Shine' à base de Shellac (American Machinery Corp., Orlando, FL) ; 'Primafresh 30' contenant de cire de Carnauba + Shellac (Johnson Wax Co., Racine, Canada) ; Decco Lustr 202 à base de cires naturelle et synthétique + acides gras (ELF Atochem North America Inc., Munrovia, CA) ; 'Natural Zivdar' : une émulsion de Carnauba et 'Industrial Zivdar' : une émulsion de polyéthylène (Saif-Pac Ltd., Kfar-Saba-Israël). De l'éthanol et des traces d'aldéhyde qui sont responsables d'une saveur indésirable des fruits ont été trouvés dans tous les fruits enrobés. Il y avait une relation entre les quantités de ces composés et les concentrations en oxygène et en dioxyde de carbone dans les fruits. L'enrobage a évidemment diminué le transfert d'oxygène à travers la peau et ainsi créé des conditions anaérobies à l'intérieur du fruit, conduisant à la production d'éthanol et d'aldéhyde. L'enrobage a aussi favorisé l'accumulation du CO<sub>2</sub>, de l'éthanol et des aldéhydes entraînant une saveur désagréable du fruit (Mainnheim et Soffer, 1996).

D'autres applications des enrobages sont résumées dans le tableau 10.

**Tableau 10 : Application des enrobages sur les fruits et légumes**

Nom commercial	Composants essentiels	Application	Référence
Pro-long	Saccharates et sel de sodium carboxymethylcellulose	Banane	Banks (1984b et 1985)
		Pomme	Lau et Meheriuk (1994)
		Mangue	Dhalla et Hanson (1988)
		Litchi	Zhang <i>et al.</i> (1997)
TAL-Prolong	Saccharates d'acides gras et sel de sodium de carboxyméthylcellulose	Banane, pomme et Pêche	Bhardwaj <i>et al.</i> (1984)
		Mangue	Huddar <i>et al.</i> (1987), Krishnamurthy (1989)
Semperfresh	Saccharates d'acides gras + carboxyméthyl cellulose et monodiglycéride d'acides gras libres	Pomme	Bauchot et John (1995), Park <i>et al.</i> (1994a)
		Banane	Al Zaemey <i>et al.</i> (1993)
		Goyave	Mohamed <i>et al.</i> (1992), Combrink <i>et al.</i> (1990)
		Mangue	Ketsa et Prabhasavat (1992), Carrillo Lopez <i>et al.</i> (1995)
		Durian	Sriyook <i>et al.</i> (1994)
		Papaye	Salmah <i>et al.</i> (1992)
		Litchi	Kremer-Kohne et Lonsdale (1990)
Chitosane	2-amino-2-deoxy-β-D-glucane	Fraise et framboise	Zhang et Quantick (1998),
		Carotte	Cheah <i>et al.</i> (1997)
Nutri-Save	N,O-carboxyméthyl de chitosane	Pomme	Lau et Meheriuk (1994), Meheriuk (1990)
Carnauba	20% de cire en micro-émulsion de carnauba diluée dans l'eau	Pomelo	Hangenmaier et Baker (1993)
	Cire de carnauba (9%), cire de Candelilla (8%), acide oléique (3%)	Orange	Hangenmaier et Baker (1995)
	Cire de carnauba (10%)	Orange	Martinez-Javega <i>et al.</i> (1991)
Johnson (Primafresh)	Cire de carnauba + Shellac + Acides gras aminés	Pomelo	Hallman <i>et al.</i> (1994)
		Pomme	Bompeix et Morgat (1977)
Johnfresh	Cire de carnauba + Shellac	Pêche	Sümnü et Bayındırli (1994)
TFC 213	Carnauba + Acides gras	Goyave	McGuire et Hallman (1995), McGuire (1997), Hallman <i>et al.</i> (1995)
Shellac	Cire de Shellac + acides gras	Orange	Hangenmaier et Baker (1995), Baldwin <i>et al.</i> (1995)
		Pomelo	Hangenmaier et Baker

		Tangerine	(1995)
			Petracek et Montalvo (1997)
Citrus wax	Shellac + Colophane de bois + Ethanol +NH <sub>4</sub> OH + KOH + acides gras	Pomelo	Hangenmaier et Baker (1995)
Sta-fresh#360	Shellac et colophane (teneur en solide : 18,1%)	Durian	Sriyook <i>et al.</i> (1994)
		Pomelo	Hallman <i>et al.</i> (1994)
Candelilla	Cire de candelilla (8,3%), acide oléique (1,7%) Cire de candelilla (16,7%), acide oléique (3,3%)	Orange	Hangenmaier et Baker (1995)
Paraffine	Paraffine liquide	Goyave	Mohamed <i>et al.</i> (1992)
		Mangue	Narayana <i>et al.</i> (1996)
TD. 34 Mobil	Paraffine émulsionnée	Pomme	Bopeix et Morgat (1977)
Vapor Gard	di-l-p-menthène	Mangue	Kalra <i>et al.</i> (1988), Khader <i>et al.</i> (1992)
Brochar 551		Papaye	Pesis et Marinansky (1992)
Huile de palmier		Goyave	Mohamed <i>et al.</i> (1992)
Vegetable Lustre	Liquide constitué de composé hydrocarbonés + méthoprène	Papaye	Saul <i>et al.</i> (1987)
Nature Seal	Carboxyméthyl cellulose + acides organiques	Pomelo	McGuire (1994), Hallman <i>et al.</i> (1994)
		Pomme et Pomme de terre (en tranche)	Baldwin <i>et al.</i> (1996)
		Carotte (épluchée)	Sargent <i>et al.</i> (1994)
		Goyave	Hallman <i>et al.</i> (1995)
	Cire de canne à sucre + Carnauba + Shellac + Orthophénol phénate de sodium + isopropyl N-phénol	Mandarine	Subramanyam <i>et al.</i> (1970)
Fresh Wax 3202		Tangelo	Chun <i>et al.</i> (1990)
Fresh Mart 1103		Pomelo	McMillan <i>et al.</i> (1987)
	Amidon de riz + gomme de 'babool'	Goyave	Singh <i>et al.</i> (1997)
Avocado et Passionfruit Wax		Avocat	Joyce <i>et al.</i> (1995)

## D. Le marché de la mangue

### I. Production

Le manguiers est cultivé dans de nombreux pays d'Asie, d'Afrique, d'Amérique et d'Océanie. L'Inde est le plus important producteur de mangues avec une superficie plantée de 1,17 millions ha (Mitra et Baldwin, 1997). La production de la mangue a augmenté d'environ 40% dans les 10 dernières années (tableau 11).

***Tableau 11 : Production mondiale de mangues (1000MT)***

PAYS	1989-1991	1996	1997	1998
<b>Monde</b>	<b>16836</b>	<b>23180</b>	<b>23518</b>	<b>23455</b>
<b>Afrique :</b>	<b>1687</b>	<b>1897</b>	<b>1933</b>	<b>1944</b>
Afrique du Sud	28	24	30	25
Congo (Rép. Dém.)	209	210	205	200
Egypte	141	203	231	231
Kenya	22	24	24	25
Madagascar	201	202	204	205
Mozambique	33	33	34	35
Nigeria	496	500	500	500
Sénégal	118	184	185	190
Tanzanie	186	188	187	188
Tchad	32	32	32	32
<b>Amérique centrale :</b>	<b>1780</b>	<b>1749</b>	<b>2066</b>	<b>2040</b>
Costa Rica	8	20	29	28
Cuba	92	50	50	50
Dominique (Rép.)	190	190	185	185
Haïti	310	210	210	225
Mexique	1101	1190	1501	1461
St. Lucie	24	27	27	27
<b>Amérique du Sud :</b>	<b>864</b>	<b>906</b>	<b>880</b>	<b>891</b>
Brésil	546	456	456	456
Colombie	53	98	98	98
Paraguay	35	37	37	37
Pérou	66	111	130	138
Vénézuela	131	138	143	147
<b>Asie :</b>	<b>12483</b>	<b>18589</b>	<b>18596</b>	<b>18536</b>
Bangladesh	171	186	187	187
Cambodge	23	30	33	33
Chine	824	2002	2142	2142
Inde	8634	12000	12000	12000
Indonésie	531	531	783	605
Malaisie	31	29	29	29
Pakistan	759	908	908	914
Philippines	338	933	933	950
Sri Lanka	70	98	98	87
Thaïlande	903	1400	1400	1350
Viêt-nam	162	160	160	173
<b>Océanie :</b>	<b>21</b>	<b>38</b>	<b>42</b>	<b>43</b>
Australie	13	32	34	35
Samoa	6	5	5	5

Source : FAO, 1998

## II. Les variétés commerciales

Parmi les variétés les plus courantes de l'espèce *Mangifera indica* L., on peut citer 'Amélie', 'Haden', 'Kent', 'Keitt', 'Tommy Atkins', 'Julie', 'Irwin', 'Zill', 'Ruby', 'Sensation'. Cependant il existe un grand nombre d'autres variétés appartenant à des espèces voisines, dont *Mangefera odorata*, *Irvingia gabonnensis*..., qui produisent des fruits comestibles, mais de moindre qualité. La caractérisation de quelques variétés est présentée dans le tableau 12.

**Tableau 12 : Caractérisation des principales variétés de mangue**

Variété	Caractéristiques	Origines
Amélie	Fruit moyen, peau vert orangé, chair orangé foncée	Mali, Côte d'Ivoire, Burkina-Faso
Haden	Fruit oblong, peau jaune colorée de rouge foncé, chair orangé	Pérou, Brésil, Etats-Unis
Kent	Gros fruit ovoïde, peau jaune vert, colorée de rouge foncé, chair jaune orangé	Afrique du Sud, Côte d'Ivoire
Tommy Atkins	Fruit moyen ou gros, oblong, vert, taché de rouge foncé, chair jaune orangé	Mexique, Pérou, Brésil, Etats-Unis

Source : Laville, 1994

### III. Composition de la mangue

La mangue contient des acides aminés, des glucides, des acides gras, des minéraux, des acides organiques, des protéines et des vitamines. Au cours de la maturation, les fruits sont initialement acides, astringents et riches en acide ascorbique (vitamine C). Les fruits mûrs contiennent de la vitamine C à un niveau moyen, mais ils sont riches en vitamines A (3800-4735 UI.100g<sup>-1</sup> de pulpe), B<sub>1</sub> (0,04-0,08 mg.100g<sup>-1</sup> de pulpe) et B<sub>2</sub> (0,057-0,061 mg.100g<sup>-1</sup> de pulpe) (Nakasone et Paull, 1998). L'acidité de la pulpe est représentée principalement par l'acide citrique. La présence d'autres acides organiques (oxalique, malonique, succinique, pyruvique, adipique, galacturonique, glucuronique, tartrique, glycolique) est aussi notée (Gomez-Lim, 1997). Les sucres libres, y compris le glucose, le fructose et le saccharose augmentent généralement au cours de la maturation. La teneur en saccharose augmente de trois à quatre fois en raison de l'hydrolyse de l'amidon. Le saccharose est le principal sucre dans la mangue mûre et il représente 11-12 g.100g<sup>-1</sup> de la pulpe pour les cultivars indiens (Alphonso, Pairie, Totapuri).

La composition physico-chimique de quelques variétés de mangue est présentée dans le tableau 13.

**Tableau 13 : Composition physico-chimique de quelques variétés de mangue indiennes (pour 100g de la partie comestible)**

Variété	Eau (%)	E.S.S.* (°Brix)	A.A.* (mg)	A.T.* (% acide citrique)	PH	C. T.* (µg)	S.T.* (g)	S. R.* (g)	S.N.R.* (g)	Référence
Bangolora	-	15,76	21,03	0,175	-	-	10,43	3,62	06,82	Kumar
Mulgoa	-	18,53	30,95	0,240	-	-	12,68	3,42	09,27	(1997)
Kesar	-	18,86	38,22	0,330	-	-	16,35	5,45	10,90	
Mankurad	-	20,93	14,17	0,190	-	-	14,10	3,17	10,93	
Fernandin	-	16,92	12,10	0,207	-	-	12,07	2,50	09,57	
Vanraj	-	17,46	13,18	0,213	-	-	13,08	2,80	10,45	
Baneshan	-	16,71	19,95	0,232	-	-	10,92	4,2	06,75	
Dashhehari	80,14	24	18,42	0,26	4,1	5244,00	13,70	4,32	-	Sahni &
Chausa	74,60	22	50,00	0,13	3,4	1562,08	11,50	3,57	-	Khurdiya
Neelum	81,50	20	66,24	0,44	3,9	2410,62	11,50	4,08	-	(1989)
Amrapali	80,10	20	49,95	0,06	5,5	8099,70	14,20	6,77	-	

\* : E.S.S. = Extrait sec soluble

S.T. = Sucres totaux

A.A. = Acide ascorbique

S.R. = Sucres réducteurs

A.T. = Acidité titrable

S.N.R. = Sucres non réducteurs

C.T. = Caroténoïdes totaux

## **MATERIELS ET METHODES**

## MATERIEL ET METHODES

### A. Matériel végétal et enrobages

Trois variétés de mangues différentes (*Mangifera indica L.*) ont été étudiées durant ce travail :

- Variété ‘Kent’ et ‘Tommy Atkins’ : achetées au marché gare de Montpellier (provenance d’Israël par bateau),
- Variété ‘Early Gold’ (à deux stades de maturité différents : point jaune et 15 jours avant le point jaune) : arrivage direct de l’Île de Réunion par avion.

Dès la réception, les fruits sont triés en fonction de leur taille. Ils sont ensuite traités avec les enrobages.

**Remarque :** Nous avons utilisé le terme ‘point jaune’ (mangue ‘Early Gold’) pour signaler que le fruit est au bon stade de cueillette. En effet, la maturité du fruit de cette variété est caractérisée par un jaunissement à l’apex du fruit. Cela correspond au 115<sup>e</sup> jour après la nouaison.

Le tableau 14 précise les différents types d’enrobages utilisés. Ce sont des produits choisis par collaboration entre le CIRAD-FLHOR et l’USDA (Etats-Unis).

**Tableau 14 : Liste des enrobages étudiés**

Code	Dénomination commerciale	Composition
A	Nature Seal 2020	à base d’hydroxypropyl cellulose
B	Tropical Fruit Coating 213	à base de cire de Carnauba
C	Pacrite apple wax 55	à base de Shellac
D	Formulation I	2% de méthyl cellulose + 0,2% de lécithine + 5% de Shellac dans tréhanolamine à 5% + 0,1% d’acide citrique + 0,05% de BHA dans solution de propylène glycol à 2%
E	Formulation II	2% de ‘Nature Seal’ + 0,2% de lécithine + 0,15% de sorbate de potassium + 0,1% d’acide citrique + 0,05% de BHA + 2% de propylène glycol
F	Formulation III	4% de hydroxypropyl méthyl cellulose
G	Formulation IV	15% de zéine + 5% de propylène glycol dans de l’alcool isopropylique à 70%
H	Formulation V	2% de hydroxypropyl méthyl cellulose

## B. Méthodes

### I. Mise en place d'un panel de dégustation des fruits frais

Selon la Norme française NF V 09-002, nous avons organisé les tests suivants :

- Tests d'appréciation de la sensibilité gustative avec quatre saveurs amère, acide, sucrée et salée ;
- Test du seuil de perception des dégustateurs avec seulement trois saveurs amère, acide et sucrée car nous travaillons sur les fruits.

Les produits chimiques de référence, leurs concentrations et les formulaires de ces tests sont présentés dans les annexes 1 et 2.

### II. Test d'enrobage des mangues

Les mangues sont manuellement enrobées une à une. Les fruits sont ensuite séchés à l'aide d'un sèche cheveux et stockés dans des conditions contrôlées. Nous avons choisi cette méthode d'enrobage pour des raisons d'économie (faible quantité d'enrobage nécessaire) et pour sa simplicité de réalisation (pas de matériel spécifique).

Bien entendu, cette technique ne permet pas de maîtriser parfaitement l'épaisseur du film d'enrobage.

Le traitement des mangues ensuite enrobées est réalisé en deux étapes.

#### II.1. Première étape : Présélection des meilleurs enrobages

Durant cette étape, nous avons travaillé avec des mangues variétés 'Kent' et 'Tommy Atkins'. Ces variétés ont été choisies pour leur importante commerciale et pour leur disponibilité au moment de l'étude (juillet 1999).

Pour mieux contrôler tous les paramètres au cours des tests, les huit produits d'enrobage sont répartis en 3 essais, chaque essai comprenant trois enrobages (essais I et II) ou 2 enrobages (essai III) avec un témoin (non enrobé).

Essai	Enrobage
I	A, B,C
II	D, E, F
III	G, H

Chaque lot comprend de 10 à 12 fruits. Les fruits sont conservés à température ambiante (19°C-22°C) et à 56-60% d'humidité relative.

## II.2. Deuxième étape : Validation des résultats dans des conditions mieux contrôlés

Nous avons supposé ensuite que les quatre meilleurs enrobages à température ambiante le seraient également à plus basse température. Dans cette deuxième étape, nous avons travaillé avec des mangues 'Early Gold' possédant deux stades de maturité connus. Deux essais sont ainsi réalisés avec les quatre enrobages présélectionnés.

Essai	Enrobage	Maturité de fruit
IV	B, D, G, H	point jaune
V	B, D, G, H	15 jours avant point jaune

Chaque lot se constitue de 8 à 9 fruits. Les fruits sont conservés en chambre froide à 12°C et à 80% H.R.

## III. Evaluation de l'effet des enrobages et de la qualité des mangues

L'effet des enrobages et la qualité des mangues ont été évalués en utilisant les principaux paramètres suivants : intensité respiratoire, perte de poids, fermeté externe-interne, couleur externe-interne, composition chimique (pH, acidité titrable, extrait sec soluble) et teneur en éthanol dans la pulpe du fruit.

### III.1. Intensité respiratoire

Nous avons utilisé un chromatographe GC 8000 Top (ThermoQuest, Rodano, Italie). Il est équipé d'une colonne à tamis moléculaire 5 Å (2 m de long et 0,32 mm de diamètre) pour séparer l'O<sub>2</sub> et d'une colonne PorapaKQ (2 m de long et 0,32 mm de diamètre) pour séparer le CO<sub>2</sub>. Ces deux gaz sont détectés à l'aide d'un détecteur thermique (catharomètre).

Un étalonnage a été réalisé avec des gaz standardisés en O<sub>2</sub> ou en CO<sub>2</sub> entre 0,1% et 10%. La surface des pics est intégrée en utilisant le logiciel Chrom-Card pour Windows, Version 1.17.

L'intensité respiratoire des mangues est déterminée en plaçant les fruits dans des bocaux hermétiquement fermés (photo 1). L'évolution des concentrations en O<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub> est suivie après une heure de fermeture. Pour cela, 250 µl de gaz sont prélevés de l'atmosphère des bocaux à travers un septum et analysés par chromatographie en phase gazeuse.

L'IR est évaluée à l'aide des équations (10) et (11).

$$IR_{O_2} = \frac{\text{Quantité d'} O_2 \text{ consommée (\%)} \times \text{Volume de fruit (ml)} \times 273 \times 1000}{\text{Temps (h)} \times [273 + T^{\circ} \text{mesurée (}^{\circ}\text{C)}] \times 22,4 \times \text{poids} \times 100} \quad (10)$$

L'IR<sub>O<sub>2</sub></sub> est également exprimée en mmolO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.

$$IR_{CO_2} = \frac{\text{Quantité de } CO_2 \text{ dégazéé (\%)} \times \text{Volume de fruit (ml)} \times 273 \times 1000}{\text{Temps (h)} \times [273 + T^{\circ} \text{ mesurée (}^{\circ}\text{C)}] \times 22,4 \times \text{poids} \times 100} \quad (11)$$

Comme précédemment, l'IR<sub>CO<sub>2</sub></sub> est exprimée en mmolCO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.



***Photo 1 : Moyen de mesure de l'intensité respiratoire des mangues***

### **III.2. Perte de poids**

Elle est déterminée par une pesée quotidienne (à ± 0,1 g) des fruits à l'aide d'une balance (PRECISA 8200D). La perte de poids est exprimée en pourcentage du poids initial.

### **III.3. Fermeté**

Elle est mesurée à l'aide d'un analyseur de texture TA XT2 et du logiciel Texture Expert.

Quatre mesures sont réalisées directement sur le fruit avec l'épiderme pour la fermeté externe et interne.

Les fermetés sont obtenues par détermination de la force nécessaire (en g.mm<sup>-2</sup>) pour percer la peau du fruit (fermeté externe) et pour pénétrer dans la pulpe (fermeté interne). Pour cela, la géométrie de mesure utilisée est un cylindre de diamètre 2 mm (P/2, Batch n°2318).

L'annexe 3 présente la courbe de mesures des fermetés externe et interne de la mangue.

### **III.4. Coloration**

Elle est évaluée par des mesures externes et internes du fruit à l'aide d'un colorimètre Chroma Meter CR 300 (Minolta).

Quatre mesures sont effectuées sur chaque mangue pour la couleur externe (les deux joues, dos et ventre) et deux mesures pour la couleur interne (deux joues).

Les résultats sont déterminés dans l'espace de couleur du système de la CIE :  $L^* a^* b^*$  avec un illuminant D<sub>65</sub>. L'étalonnage est réalisé avec une plaque blanc standard ( $Y = 92,7$  ;  $x = 0,3133$  ;  $y = 0,3193$  ou  $L^* = 97,10$  ;  $a^* = 0,08$  ;  $b^* = 1,75$ ).

La couleur externe est exprimée selon le rapport  $a^*/b^*$  qui est représentatif du changement de couleur de vert à jaune de la mangue. La couleur interne est exprimée en valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  (Mitcham et McDonald, 1992).

### **III.5. pH**

Le pH est directement déterminé à partir de la pulpe de mangue broyée. Nous avons utilisé un pH-mètre (microcomputer pH-vision 6071, JENCO Electronics LTD). La température de mesure est de 20°C.

### **III.6. Acidité titrable**

Dix grammes de la pulpe de mangue broyée sont pesés et dilués avec 50 ml d'eau distillée. L'acidité titrable (A.T.) est ensuite réalisée directement sur la dilution. Le dosage est réalisé par titrage à la soude 0,1 N avec une burette en verre de 25 ml jusqu'à pH 8,1 en utilisant de la phénolphtaléine comme indicateur de virage.

L'acidité est exprimée en méq.100g<sup>-1</sup> de la pulpe ou en gramme d'acide le plus représenté dans 100 g de produit. Dans le cas de la mangue, il s'agit de l'acide citrique (Norme française NF V 05-101).

### **III.7. Extrait sec soluble**

L'extrait sec soluble (E.S.S.) est déterminé à l'aide d'un réfractomètre portable avec une gamme de 0 à 32 g.100g<sup>-1</sup> (ATAGO, ACT-1). Le résultat est donné en degré Brix (g.100g<sup>-1</sup> de produit). Les mesures sont effectuées à 20°C.

### **III.8. Taux de sucre/acide**

Il est calculé selon la formule (12)

$$a = \frac{b}{c} \quad (12)$$

Dont :  $a$  = taux de sucre/acide (g.méq<sup>-1</sup>)

$b$  = valeur de l'ESS (g.100g<sup>-1</sup>)

$c$  = valeur de l'AT (méq.100g<sup>-1</sup>)

### **III.9. Teneur en éthanol**

La teneur en éthanol est déterminée par une méthode enzymatique à l'aide d'un kit proposé par BOEHRINGER MANNHEIM (référence : 176 290).

Ce kit contient :

- Flacon 1 : contenant environ 100 ml de solution composée de tampon diphosphate de potassium, pH 9,0 et stabilisateurs.
- Flacon 2 : renfermant 30 comprimés. Chaque comprimé contient : 4 mg de NAD, 0,8 U d'aldéhyde déshydrogénase et stabilisateurs.
- Flacon 3 : contenant environ 1,6 ml de solution d'alcool déshydrogénase 10 000 U et stabilisateurs.
- Standard : solution aqueuse stabilisée d'éthanol.

Nous avons utilisé un spectrophotomètre à doubles faisceaux – UVIKON 933, Double Beam UV/VIS, KONTRON INSTRUMENTS. La longue d'onde de mesure est de 340 nm en utilisant une cuve en verre de 1 cm d'épaisseur.

### Le principe

En présence d'alcool-déshydrogénase (ADH), l'éthanol est oxydé en acétaldehyde par le nicotiamide-adénine-dinucléotide (NAD).



L'équilibre de la réaction est situé du côté de l'éthanol. On le déplace vers la droite en captant l'acétaldehyde formé, en milieu alcalin.

L'acétaldehyde est oxydé quantitativement en acide acétique en présence d'aldéhyde-déshydrogénase (AL-DH).



Au cours des réactions (I) et (II), le  $\text{NAD}^+$  est réduit en NADH, composé qui absorbe dans l'ultra-violet (340 nm).

### Dosage de l'éthanol dans la pulpe de mangue

Introduire dans une fiole jaugée de 25 ml :

- 5 g de pulpe broyée ;
- 1,25 ml de solution de Carrez I : 3,60 g hexacyanoferrate de potassium II -  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6].3\text{H}_2\text{O}$  - pour 100ml de solution ;
- 1,25 ml de solution de Carrez II : 7,20 g sulfate de zinc –  $\text{ZnSO}_4.7\text{H}_2\text{O}$  – pour 100 ml de solution ;
- 2,50 ml  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$ .

Mélanger, compléter à 25 ml avec de l'eau bi-distillée, filtrer (facteur de dilution F = 2,5).

**Mode opératoire :**

Introduire dans les cuves	Témoin	Solution mesurée
Mélange réactionnel 2 (*)	3,00 ml	3,00 ml
Eau bi-distillée	0,10 ml	-
Solution mesurée	-	0,10 ml
Mélanger, après environ 3 min., lire l'absorbance des solutions $A_1$ . Déclencher la réaction par addition de :		
Solution 3 (**)	0,05 ml	0,05 ml

(\*) : 3 ml de solution du flacon 1 + 1 comprimé du flacon 2

(\*\*) : solution du flacon 3

Mélanger, après réaction complète (environ 5-10 min.) lire les absorbances ( $A_2$ ) des cuves (témoin et solution mesurée).

Déterminer les différences d'absorbance ( $A_2 - A_1$ ) du témoin et de la solution mesurée. Déduire la différence d'absorbance du témoin ( $\Delta A_T$ ) de celle de la solution mesurée ( $\Delta A_s$ ).

$$\Delta A = \Delta A_s - \Delta A_T \quad (13)$$

**Calcul de résultat**

La forme générale pour le calcul des concentrations est la suivante :

$$c = \frac{V \cdot PM}{\varepsilon \cdot d \cdot v \cdot 2 \cdot 1000} \Delta A \quad (\text{g.l}^{-1}) \quad (14)$$

Le facteur 2 intervient au dénominateur, car 2 moles de NADH formées correspondent à 1 mole d'éthanol.

- $V$  = volume du test (ml)
- $v$  = volume de l'essai (ml)
- $PM$  = poids moléculaire de la substance à doser (g)
- $d$  = épaisseur de la cuve (cm)
- $\varepsilon$  = coefficient d'extinction du NADH  
 $\varepsilon = 6,3 \text{ (l.mmol}^{-1}.\text{cm}^{-1}\text{) à } 340 \text{ nm}$

On obtient pour l'éthanol :

$$c = \frac{3,15 \times 46,07}{6,3 \times 1 \times 0,1 \times 2 \times 1000} \times \Delta A = 0,1152 \times \Delta A \quad (\text{g d'éthanol.l}^{-1} \text{ de solution d'essai})$$

### **III.10. Test de dégustation de la mangue variété 'Early Gold'**

Il est réalisé selon un plan d'expérience de type Bloc Incomplet Equilibré (Danzart, 1994). Ce plan est construit de la façon suivante :

<b>Produits par dégustateur</b>	<b>Nombre de produits</b>	<b>Nombre de dégustateurs</b>	<b>Répétitions par produits</b>	<b>Répétitions des couples de produits</b>
4	5	5	4	3

Le formulaire de réponse est présenté dans l'annexe 3.

### **IV. Traitement des résultats**

Les résultats sont traités de manière :

\* moyenne :

- intensité respiratoire : moyenne de 2 mesures
- valeur de  $a^*/b^*$  pour la couleur externe : moyenne de 12 mesures (3 fruits x 4 faces)
- valeur de  $a^*$  et de  $b^*$  pour la couleur interne : moyenne de 6 mesures (3 fruits x 2 faces)
- composition biochimique : moyenne de 2 analyses. Signalons que l'échantillon à analyser correspond à un prélèvement de 3 fruits.

\* analyse de variance (ANOVA) : perte de poids, fermetés externe et interne, notes des tests de dégustation.

## **RESULTATS ET DISCUSSIONS**

## RESULTATS ET DISCUSSIONS

### A. Mise au point d'un panel de dégustation des fruits frais

Les tests de cette démarche ont été effectués dans une sale de dégustation du CIRAD-CP.

#### I. Test de distinction des saveurs

Nous avons réalisé le test de distinction avec les quatre saveurs principales (amère, acide, sucrée et salée). Tout d'abord, il nous a fallu évaluer la perception des dégustateurs de la saveur amère, car elle est plus délicate à cerner pour les faibles concentrations. Pour cela, nous avons réalisé les tests avec une solution de caféine à  $0,11 \text{ g.l}^{-1}$ . Le résultat a montré qu'il y avait seulement 20% des dégustateurs qui ont perçu la saveur amère. Nous avons donc remplacé la caféine par de la quinine. La concentration de la solution de quinine utilisée était de  $0,01 \text{ g.l}^{-1}$  (10 fois moins que la solution de caféine précédente). Cette fois, tous les dégustateurs (100%) ont perçu la saveur amère. La quinine sera donc la solution de référence que nous utiliserons.

Ensuite, nous avons organisé le test de distinction des quatre saveurs avec 10 dégustateurs. Le résultat de ce test est présenté dans le tableau 15.

**Tableau 15 : Test de distinction des saveurs**

Saveur	Substance	Concentration ( $\text{g.l}^{-1}$ )	Pourcentage de perception
Amère	Hydrochlorure de quinine dihydraté	0,01	100
Acide	Acide citrique monohydraté	1,2	100
Sucrée	Saccharose	24	100
Salée	Chlorure de sodium anhydre	4	100

Dans les études des fruits en général, seuls les trois premières saveurs seront utilisées.

#### II. Test du seuil de perception des dégustateurs

Le tableau 16 montre que 9 dégustateurs pourraient détecter la saveur amère à partir d'une concentration de  $0,00525 \text{ g.l}^{-1}$  ( $D_8$  : Solution la plus diluée dans le cas de notre étude) alors qu'un seul dégustateur a perçu la saveur amère à la concentration de  $0,00655 \text{ g.l}^{-1}$  ( $D_7$ ). En ce qui concerne la saveur acide, nous avons constaté que 8 dégustateurs sur 10 ont perçu cette saveur à la concentration la plus faible ( $D_8$  :  $0,13 \text{ g.l}^{-1}$ ) et 2 à la concentration plus élevée ( $D_7$  :  $0,16 \text{ g.l}^{-1}$ ). Quant à la saveur sucrée, le test réalisé a donné des résultats plus variés. De plus, le seuil de perception de cette saveur est plus élevé que les autres quatre dégustateurs ont

perçu cette saveur à la dilution D<sub>6</sub> (0,94 g.l<sup>-1</sup>), 2 à D<sub>5</sub> (1,56 g.l<sup>-1</sup>), 2 à D<sub>4</sub> (2,59 g.l<sup>-1</sup>) et 2 à D<sub>3</sub> (4,32 g.l<sup>-1</sup>).

Notre résultat est préliminaire. Néanmoins, ce travail permet de mieux appréhender la sensibilité gustative des dégustateurs à certaines saveurs, de leur en faire prendre conscience et, éventuellement, de conduire à leur sélection au sein d'un jury d'analyse sensorielle. D'autre part, ces essais peuvent être utilisés pour le contrôle périodique de la sensibilité gustative des dégustateurs déjà intégrés dans des jurys d'analyse sensorielle.

**Tableau 16 : Test du seuil de perception des dégustateurs**

<b>Dégustateur</b>	<b>Seuil perçu pour chaque saveur (g.l<sup>-1</sup>)</b>		
	<b>Amère</b>	<b>acide</b>	<b>sucrée</b>
<b>1</b>	0,00525	0,13	1,56
<b>2</b>	0,00525	0,16	1,56
<b>3</b>	0,00655	0,13	2,59
<b>4</b>	0,00525	0,13	2,59
<b>5</b>	0,00525	0,13	0,94
<b>6</b>	0,00525	0,13	4,32
<b>7</b>	0,00525	0,13	0,34
<b>8</b>	0,00525	0,16	0,94
<b>9</b>	0,00525	0,13	0,94
<b>10</b>	0,00525	0,13	4,32

## B. Test d'enrobage des mangues

Pour les tests d'enrobage des mangues, nous avons réalisé en 2 étapes.

### I. Traitement primaire : présélection des meilleurs enrobages

Nous avons traité les huit enrobages (A, B, C, D, E, F, G et H) avec deux variétés de mangue ('Kent' et 'Tommy Atkins') pour choisir les produits les plus efficaces sur la conservation en frais des mangues.

L'apparence des fruits a été améliorée après traitement avec les produits d'enrobage. Les mangues enrobées ont été classées en fonction de leur brillance. L'ordre obtenu est le suivant : B < D < H < F < E < G < A < C (photos 2a, 2b et 2c). Le temps de séchage des enrobages appliqués sur les fruits est généralement court (quelques minutes si l'on utilise un sèche cheveux).

a ('Kent'-Essai I)



TEMOIN

C

7/09/1999

B

A

b ('Tommy Atkins'-Essai II)



TEMOIN

D

23/09/99

E

TOMMY

F

c ('Kent'-Essai III)



TEMOIN

G

05/10/99

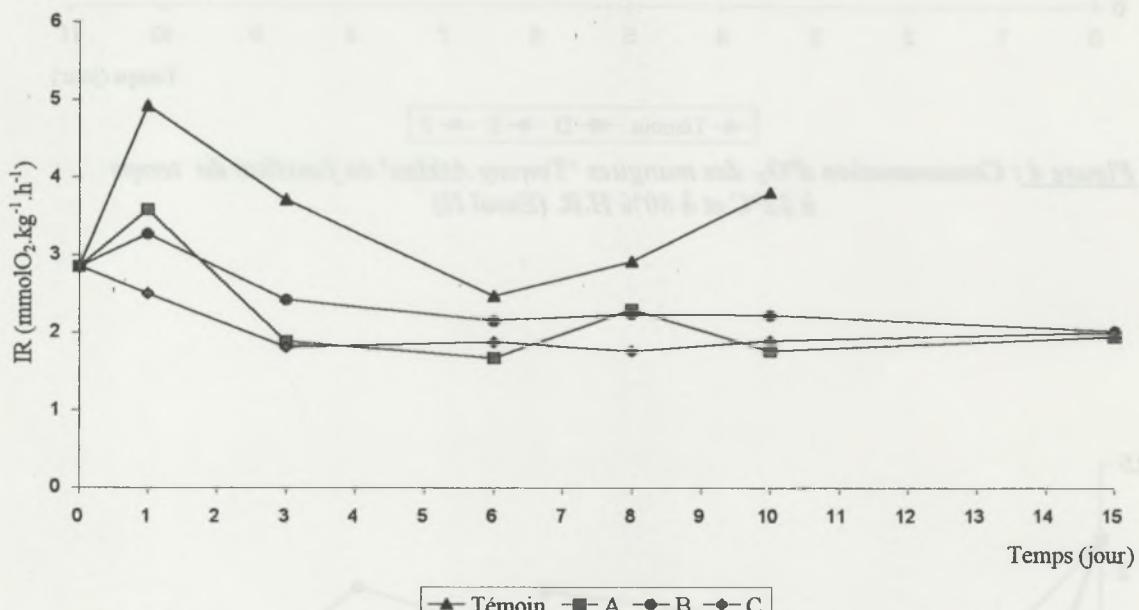
H

*Photo 2 : Application d'enrobage améliorant l'aspect externe de la mangue*

### I.1. Intensité respiratoire

Pour les huit enrobages étudiés, nous avons constaté une diminution de l'intensité respiratoire des fruits au cours de stockage à température ambiante (19-22°C et 56-60% H.R.) (fig. 3, 4 et 5).

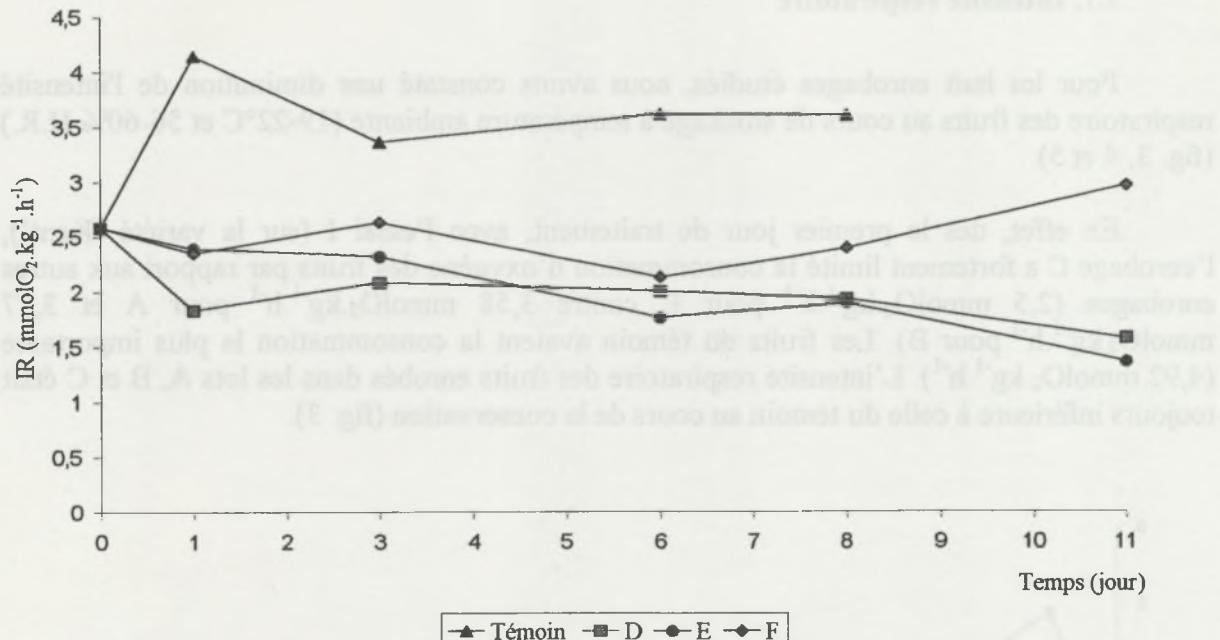
En effet, dès le premier jour de traitement, avec l'essai I (sur la variété 'Kent'), l'enrobage C a fortement limité la consommation d'oxygène des fruits par rapport aux autres enrobages ( $2,5 \text{ mmolO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  pour C contre  $3,58 \text{ mmolO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  pour A et  $3,27 \text{ mmolO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  pour B). Les fruits du témoin avaient la consommation la plus importante ( $4,92 \text{ mmolO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). L'intensité respiratoire des fruits enrobés dans les lots A, B et C était toujours inférieure à celle du témoin au cours de la conservation (fig. 3).



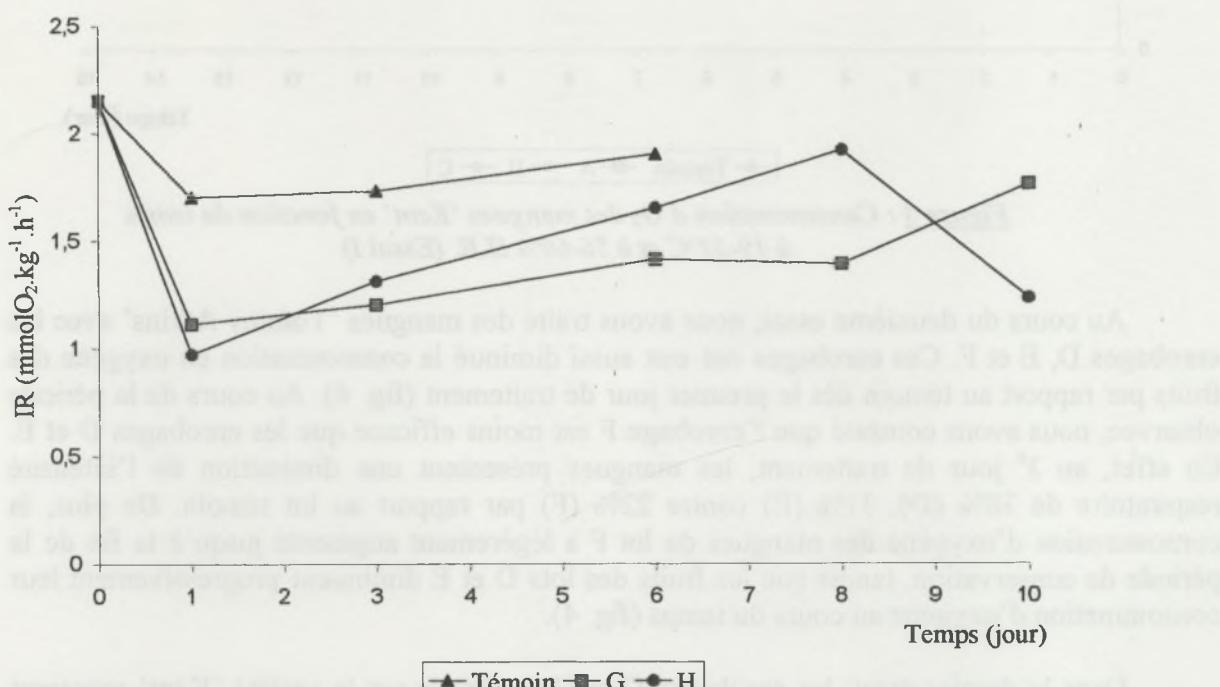
**Figure 3 : Consommation d' $O_2$  des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai I)**

Au cours du deuxième essai, nous avons traité des mangues 'Tommy Atkins' avec les enrobages D, E et F. Ces enrobages ont eux aussi diminué la consommation en oxygène des fruits par rapport au témoin dès le premier jour de traitement (fig. 4). Au cours de la période observée, nous avons constaté que l'enrobage F est moins efficace que les enrobages D et E. En effet, au 3<sup>e</sup> jour de traitement, les mangues présentent une diminution de l'intensité respiratoire de 38% (D), 31% (E) contre 22% (F) par rapport au lot témoin. De plus, la consommation d'oxygène des mangues du lot F a légèrement augmenté jusqu'à la fin de la période de conservation, tandis que les fruits des lots D et E diminuent progressivement leur consommation d'oxygène au cours du temps (fig. 4).

Dans le dernier essai, les enrobages G et H appliqués sur la variété 'Kent' montrent également que l'intensité respiratoire des fruits diminue par rapport au témoin. En fait, au bout de 3 jours de traitement, la consommation d'oxygène des mangues est diminuée de 31% (G) et 24% (H) par rapport au témoin (fig. 5). A partir du premier jour de traitement, l'intensité respiratoire des mangues du lot G augmente graduellement au cours du temps. Quant aux fruits du lot H, la figure 5 montre que leur intensité respiratoire croît plus rapidement que le



**Figure 4 : Consommation d' $O_2$  des mangues 'Tommy Atkins' en fonction du temps à 12°C et à 80% H.R. (Essai II)**



**Figure 5 : Consommation d' $O_2$  des mangues 'Kent' en fonction du temps à 12°C et à 80% H.R. (Essai III)**

lot G du 1<sup>er</sup> au 8<sup>e</sup> jour de conservation ( $1,92 \text{ mmolO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  pour H contre  $1,39 \text{ mmolO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  pour G au 8<sup>e</sup> jour de traitement). Ensuite la consommation d'oxygène des fruits du lot H diminue fortement ( $1,23 \text{ mmolO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  pour H contre  $1,76 \text{ mmolO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  pour G au 10<sup>e</sup> jour). Cela se traduit par le mûrissement plus précoce des fruits du lot H que ceux du lot G.

Les enrobages ont limité l'intensité respiratoire des mangues, ce qui permet de prolonger la durée de vie des fruits après récolte. Notre résultat est similaire à celui des études antérieures d'autres auteurs (Hangenmaier et Barker, 1993 ; Sümnu et Bayindirli, 1994 ; El Ghaouth *et al.*, 1991, 1992a et 1992b ; Joseph et Aworh, 1992 ; Saftner et Conway, 1998).

Les caractéristiques des films qui constituent une barrière aux gaz sont d'une grande importance. En effet, en formant une couche de film mince entourant le fruit, les enrobages modifient l'atmosphère intérieure par une réduction de la perméabilité aux gaz de la peau du fruit (Bank, 1984a ; Olorunda et Aworh, 1984). Ceci entraîne donc l'augmentation de la teneur en gaz carbonique et la diminution de la teneur en oxygène à l'intérieur du fruit (Drake *et al.*, 1987 ; Mainnheim et Soffer, 1996).

Néanmoins, lorsque la teneur en CO<sub>2</sub> interne du fruit est élevée, il peut se produire une fermentation qui risque de conférer au fruit une mauvaise qualité organoleptique, préjudiciable au niveau commercial (Dhalla et Hanson, 1988 ; Mainnheim et Soffer, 1996 ; Ketsa et Prahsavat, 1992). Durant notre étude, nous avons remarqué que les fruits des lots E et F avaient un arrière goût fermenté au 7<sup>e</sup> jour et au 10<sup>e</sup> jour pour ceux des lots A et C. De plus, nous avons également noté l'apparition de tâches brunes foncées probablement causées par un désordre physiologique à la surface des mangues du lot C (enrobage à base de 'Shellac'). Ce phénomène est aussi observé lors de l'application de 'Shellac' sur les pommes 'Braeburn' conservées dans l'air à 0°C (Lau, 1998). Dans d'autres expérimentations, Hagenmaier et Baker (1993) ont traité des pomelos avec plusieurs types d'enrobage dont le 'Shellac'. Ils ont constaté que l'enrobage 'Shellac' a défavorablement affecté la saveur du fruit.

## I.2. Perte de poids

La perte de poids des mangues 'Kent' du premier essai est présentée dans le tableau 17. Nous avons constaté que l'enrobage B est le plus efficace sur la perte de poids des fruits. En effet, après 10 jours de traitement, il conduit à une perte de poids de 3,56%. L'enrobage C conduit à une perte de poids importante (4,99%), plus élevée que celle du témoin (4,78%). Il n'y a pas eu de différence significative entre l'enrobage A et le témoin. Toutefois, en fin de période de conservation (15<sup>e</sup> jour), les enrobages A, B et C présentent des différences significatives ( $P = 0,05$ ) par rapport au témoin. Le flétrissement des fruits a commencé au 5<sup>e</sup> jour pour le témoin, 9<sup>e</sup> jour pour B et 7<sup>e</sup> jour pour A et C.

**Tableau 17 : Perte de poids des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai I)**

Echantillon	Perte de poids (%)*				
	3j	6j	8j	10j	15j
Témoin	1,56 b	2,60 b	3,56 b	4,78 b	9,11 c
A	1,58 b	2,55 b	3,58 b	4,54 b	7,21 b
B	1,37 a	2,07 a	2,81 a	3,56 a	5,49 a
C	1,88 c	2,99 c	3,94 c	4,99 c	7,43 b

\* pour un même temps, les lots ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et ceux qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

Dans le second essai (avec des mangues 'Tommy Atkins'), nous avons remarqué que les enrobages D, E et F étaient efficaces sur la perte de poids après 1 jour de traitement (tableau 18). Entre le troisième jour et le huitième jour, les fruits enrobés avec D présentent une perte de poids inférieure à celle du témoin, mais pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) entre eux. Après 11 jours de traitement, nous avons trouvé une différence significative entre les enrobages D, E, F et le témoin (11,16%, 9,45%, 9,85% et 12,84% respectivement). Les fruits ont commencé à se flétrir à partir du 7<sup>e</sup> jour avec les lots enrobés et à partir du 5<sup>e</sup> jour pour le lot sans enrobage (témoin).

**Tableau 18 : Perte de poids des mangues 'Tommy' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai II)**

Echantillon	Perte de poids (%)*				
	1j	3j	6j	8j	11j
Témoin	1,69 c	4,87 b	7,28 b	9,71 c	12,84 c
D	1,38 a	4,47 b	6,87 b	8,75 bc	11,16 b
E	1,19 a	3,71 a	5,51 a	7,23 a	9,45 a
F	1,20 a	3,82 a	5,76 a	7,63 ab	9,85 a

\* pour un même temps, les lots ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et ceux qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

**Tableau 19 : Perte de poids des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai III)**

Echantillon	Perte de poids (%)*				
	1j	3j	6j	8j	10j
Témoin	1,02 a	2,04 a	3,55 b	4,88 a	-
G	1,02 a	2,04 a	3,49 a	4,61 a	6,30 a
H	1,05 a	2,16 a	3,75 b	5,00 a	6,96 a

\* pour un même temps, les lots ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et ceux qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

Les enrobages G et H, comme nous l'avons déjà signalé, ont été appliqués sur les mangues 'Kent'. Le tableau 19 montre que ces enrobages n'ont pas d'effet significatif sur la perte de poids des fruits. En effet, après 8 jours de traitement, la perte de poids est de 4,88%

pour le témoin, 4,61% pour G et 5,00% pour H. Le flétrissement de la peau apparaît au 5<sup>e</sup> jour pour les fruits enrobés et les fruits témoins.

L'effet des enrobages sur la limitation de la perte de poids des fruits suggère que la vitesse de transpiration est réduite par le blocage des lenticelles (Ketsa et Prabhasavat, 1992) et par l'inhibition de l'intensité respiratoire des fruits. En effet, les enrobages ont réduit les échanges gazeux des fruits ainsi que la perte de poids en cours de stockage (Donhowe et Fennema, 1994 ; Hagenmaier et Baker, 1993 ; Saftner et Conway, 1998).

La perte de poids des mangues était minimale avec les enrobages B, E et F par rapport aux lots témoins pendant toute la période d'observation à température ambiante. L'enrobage B est à base de cire de carnauba. Celle-ci est relativement hydrophobe et assure une bonne protection contre la perte de vapeur d'eau (Baldwin *et al.*, 1999 ; Hagenmaier et Shaw, 1992 ; Hagenmaier et Baker, 1993). Cet enrobage (B) a eu le même effet sur la perte de poids de goyaves à 12°C (McGuire et Hallman, 1995).

Cependant, les autres enrobages (A, C, G et H) conduisent à des pertes de poids plus importantes. L'enrobage A est hydrophile (à base d'hydroxypropyl cellulose) qui présente une haute perméabilité à la vapeur d'eau (Hagenmaier et Shaw, 1992 ; Hagenmaier et Baker, 1993). Baldwin *et al.* (1999) ont rapporté des résultats similaires sur les mangues 'Tommy Atkins' traitées avec 'Nature Seal 2020' (l'enrobage A dans le cas de notre étude) à 15°C et 99% H.R. D'autre part, les enrobages A et C ont fortement diminué l'intensité respiratoire des mangues (fig. 3), ce qui entraîne l'augmentation de la teneur en dioxyde de carbone interne du fruit suivi d'une fermentation anaérobique de la pulpe (fermentation alcoolique). La perte de poids peut s'expliquer principalement par la consommation des sucres, la génération de chaleur et la production d'autres composés à partir de la fermentation anaérobique (Weichmann, 1987).

L'enrobage G est formé à base de zéine. Il possède une relativement bonne propriété de barrière à la vapeur d'eau (Guilbert, 1986). Cependant, la composition de l'enrobage G présente un pourcentage important de propylène glycol (5%). C'est un agent plastifiant qui permet d'augmenter la flexibilité du film (Kester et Fennema, 1986). L'énergie d'activation pour la diffusion ( $E_d$ ) d'un gaz à travers le film est liée à l'énergie requise pour séparer des chaînes de polymères adjacentes. Néanmoins, la diminution des forces attractives interchaînes causée par l'agent plastifiant va entraîner, pour le film, l'abaissement d' $E_d$ , l'augmentation du coefficient de diffusion et de la perméabilité aux gaz et à la vapeur d'eau (Banker, 1966 ; Brubaker et Kammermeyer, 1953 ; Kumins, 1965). D'autre part, les mesures de propriétés barrières d'un film commercial à base de zéine ont montré une perméabilité faible à l'O<sub>2</sub> et au CO<sub>2</sub> mais élevée à la vapeur d'eau (Aydt *et al.*, 1990).

Nous avons également noté que l'enrobage D est moins efficace sur la perte de poids. Cela peut s'expliquer par sa composition. En fait, il contient 2% de méthyl cellulose (composé hydrophile). De plus, la présence de propylène glycol (agent plastifiant), comme nous l'avons déjà signalé dans le cas de l'enrobage G, peut augmenter la perméabilité à la vapeur d'eau.

Quant aux enrobages F et H, ils sont à base d'hydroxypropyl méthyl cellulose (HPMC), qui peut limiter la perte de poids des fruits au cours d'entreposage. De plus, l'HPMC est moins hydrophile que la méthyl cellulose (Kester et Fennema, 1989a). Mais notre

résultat montre que l'enrobage H n'a pas d'effet sur cette évolution (tableau 19). Cela peut être dû aux différentes teneurs en HPMC (2% pour H et 4% pour F).

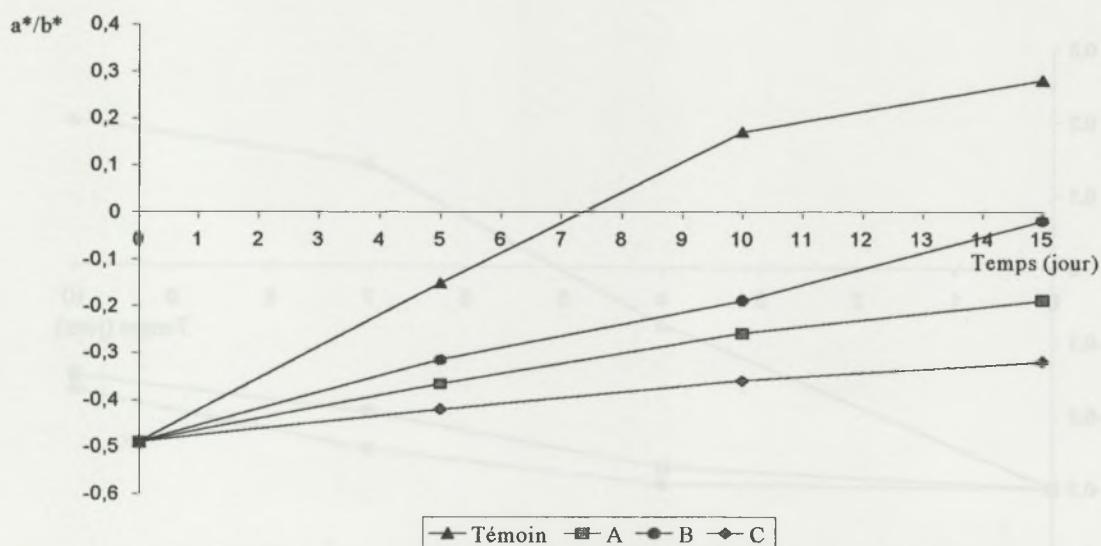
Nous avons également observé que le flétrissement commence près du pédoncule du fruit. Cela peut être dû à la transpiration plus forte via la cicatrice pédonculaire du fruit (Mathur et Srivastava, 1955).

### I.3. Evolution de la couleur

#### I.3.1. Couleur externe

La couleur externe des mangues est exprimée en valeur de  $a^*/b^*$  (Mitcham et McDonald, 1992). Nous avons observé que le rapport  $a^*/b^*$  externe des fruits a augmenté en fonction du temps (fig. 6, 7 et 8). Les enrobages ont limité le développement de cette valeur de  $a^*/b^*$  au cours de la maturation.

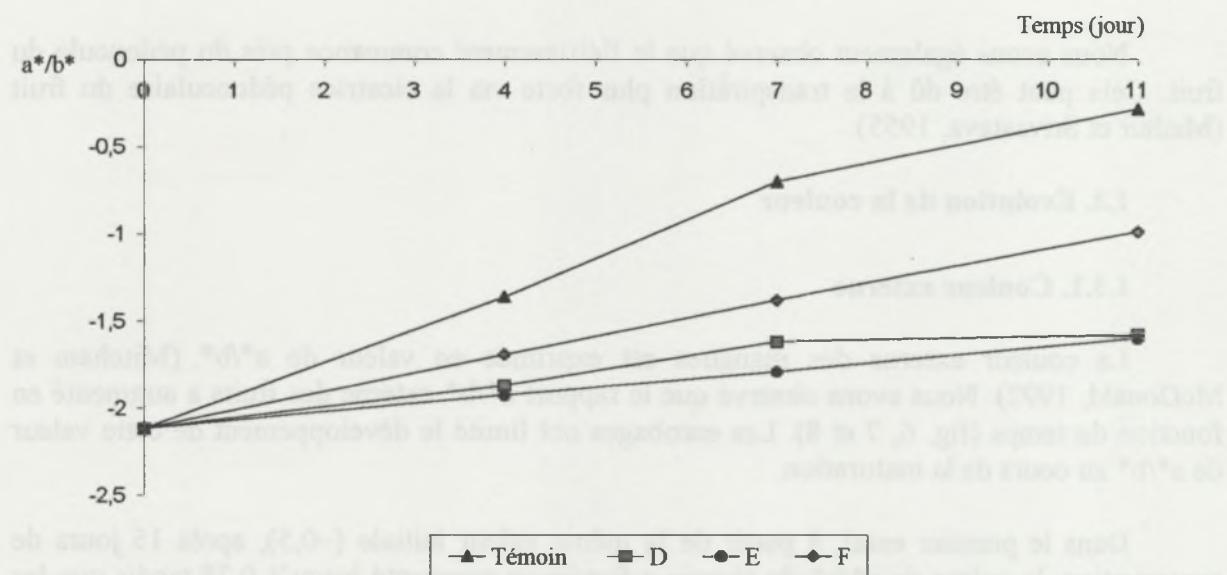
Dans le premier essai, à partir de la même valeur initiale (-0,5), après 15 jours de conservation, la valeur de  $a^*/b^*$  du témoin a fortement augmenté jusqu'à 0,28 tandis que les fruits enrobés présentent une valeur de  $a^*/b^*$  de -0,19 pour A, -0,02 pour B et -0,32 pour C (soit une réduction de 61%, 39% et 78% respectivement par rapport au témoin). Nous avons également remarqué que l'efficacité des enrobages A, B et C sur le développement de la couleur externe est différente. L'enrobage C est le plus efficace suivi par A et B (fig. 6).



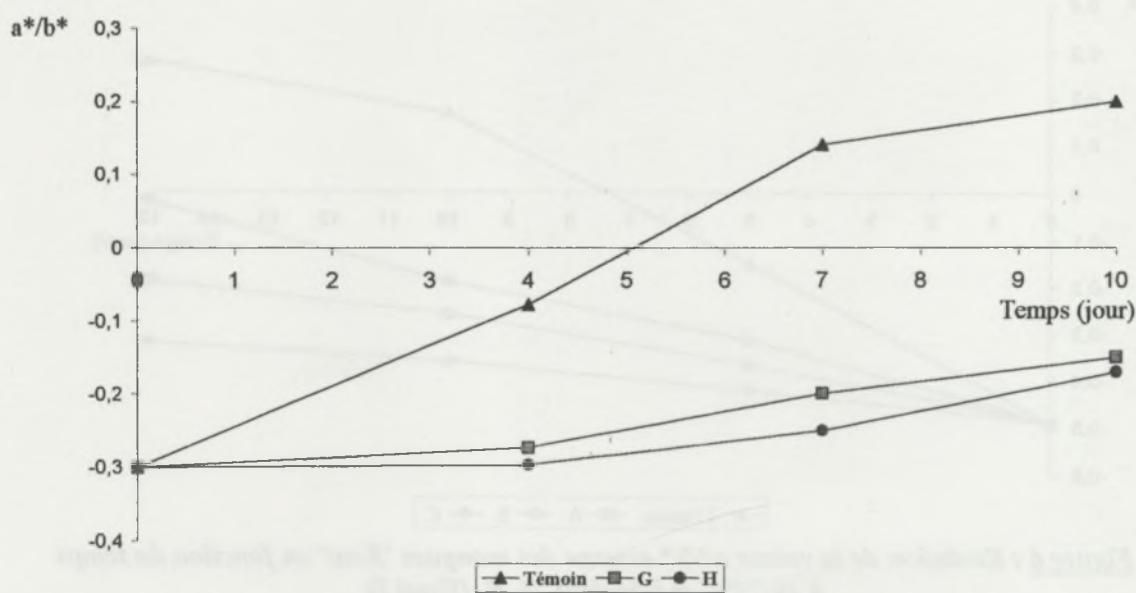
**Figure 6 : Evolution de la valeur  $a^*/b^*$  externe des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai I)**

Les enrobages D, E et F ont également limité le développement de la couleur externe des mangues variété 'Tommy Atkins' (Essai II). La figure 7 montre que les enrobages D et E sont plus efficaces que l'enrobage F. En effet, après 11 jours de traitement, la valeur de  $a^*/b^*$  est de -1,58 (D) et -1,6 (E) soit une diminution de 71% (D) et 72% (E) par rapport au lot témoin. L'enrobage F est moins efficace que les enrobages D et E. Nous avons noté une valeur de  $a^*/b^*$  de -0,99 (soit 38% de réduction par rapport au lot témoin) après 11 jours de traitement (fig. 7).

Figure 7 : Evolution de la valeur  $a^*/b^*$  externe des mangues 'Tommy Atkins' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai II)



**Figure 7 : Evolution de la valeur  $a^*/b^*$  externe des mangues 'Tommy Atkins' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai II)**



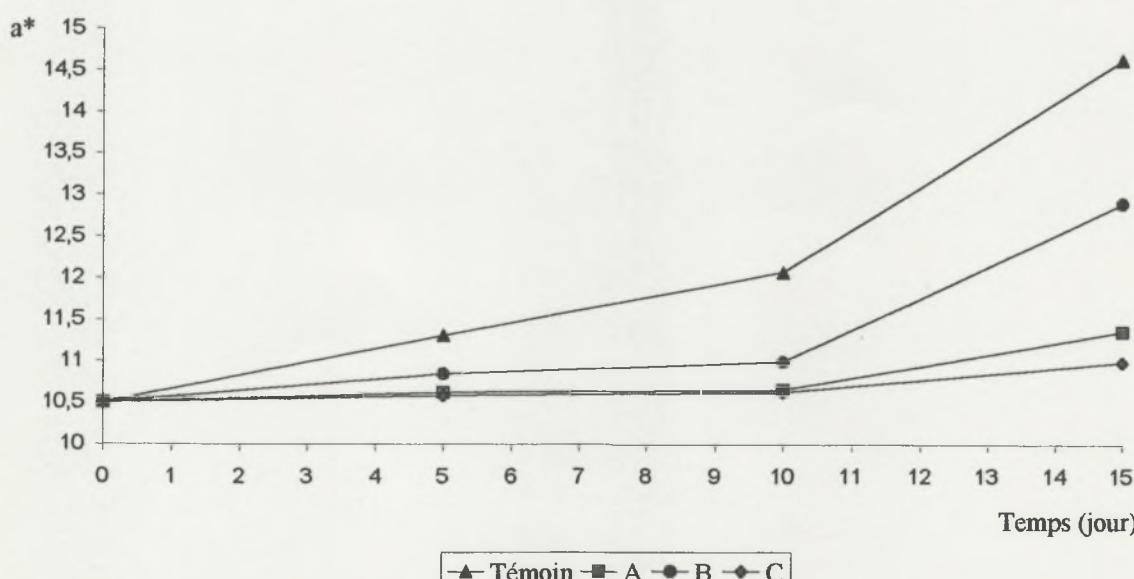
**Figure 8 : Evolution de la valeur  $a^*/b^*$  externe des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai III)**

Dans le troisième essai (sur variété ‘Kent’), au niveau du développement de la valeur  $a^*/b^*$ , nous avons constaté qu’il y avait une grande différence entre les enrobages (G et H) et le témoin. En effet, à partir d’une valeur initiale de  $a^*/b^*$  de -0,3, nous avons remarqué une augmentation légère de cette valeur  $a^*/b^*$  pour les fruits enrobés jusqu’à la fin de période de stockage (10<sup>e</sup> jour) : -0,15 pour G et -0,17 pour H. L’évolution de la valeur  $a^*/b^*$  des fruits du lot témoin est plus importante : 0,2 au 10<sup>e</sup> jour de traitement (fig. 8).

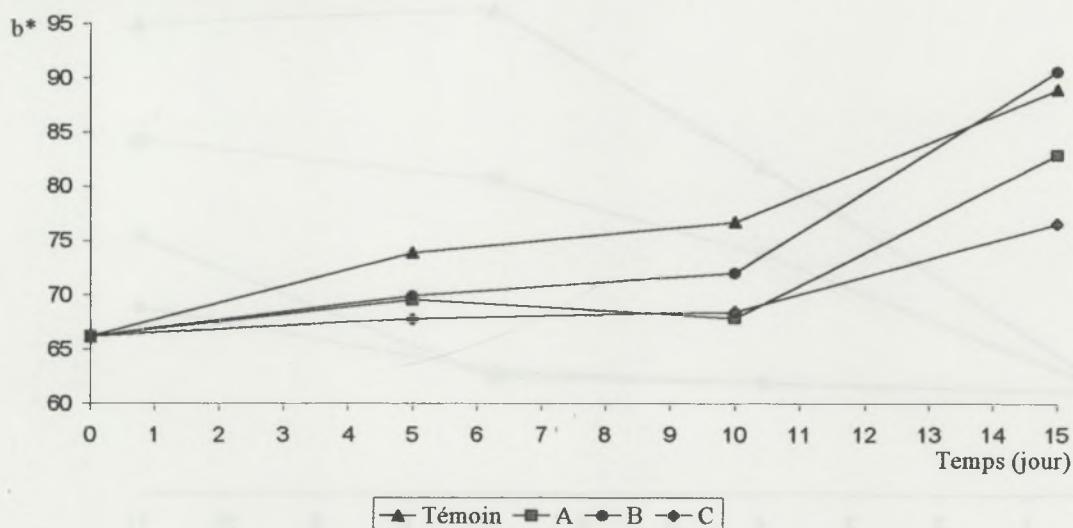
### I.3.2. Couleur interne

La couleur interne des mangues est exprimée en valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  du système de la C.I.E. (Mitcham et McDonald, 1992). D’une manière générale, ces valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  augmentent au cours de la maturation des mangues (fig. 9, 10, 11, 12, 13 et 14).

Nous avons constaté que le développement de la couleur interne des mangues a été inhibé par l’application d’enrobage. Les figures 9 et 10 montrent que les valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  dans tous les lots enrobés ont graduellement augmenté au cours du temps, tandis que celles du lot témoin ont évolué plus rapidement. En fait, après 10 jours de conservation, les mangues enrobées présentent une valeur de 10,65 (A), 10,99 (B), 10,62 (C) pour la valeur de  $a^*$  (soit une diminution de 90%, 69%, 93% respectivement par rapport au témoin). Le développement de la valeur de  $b^*$  des fruits enrobés est également limité : 67,84 pour A, 72,03 pour B et 68,45 pour C contre 76,71 pour le lot témoin. A la fin de la période de conservation (15<sup>e</sup> jour), nous avons observé que les enrobages A et C ont continué à limiter l’évolution la valeur de  $a^*$  (11,35 pour A et 10,98 pour C contre 14,62 pour le lot témoin). Il en va de même pour la valeur de  $b^*$  : 82,91 pour A et 76,57 pour C contre 88,96 pour le lot témoin. Les mangues enrobées avec B ont une couleur plus foncée que celles enrobées avec A ou C. Les fruits du témoin présentent une valeur de  $b^*$  (88,96) inférieure à celle du B (90,64) car ils étaient trop mûrs et la couleur interne était donc plus terne que les autres lots.



**Figure 9 : Evolution de la valeur de  $a^*$  interne des mangues ‘Kent’ en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai I)**

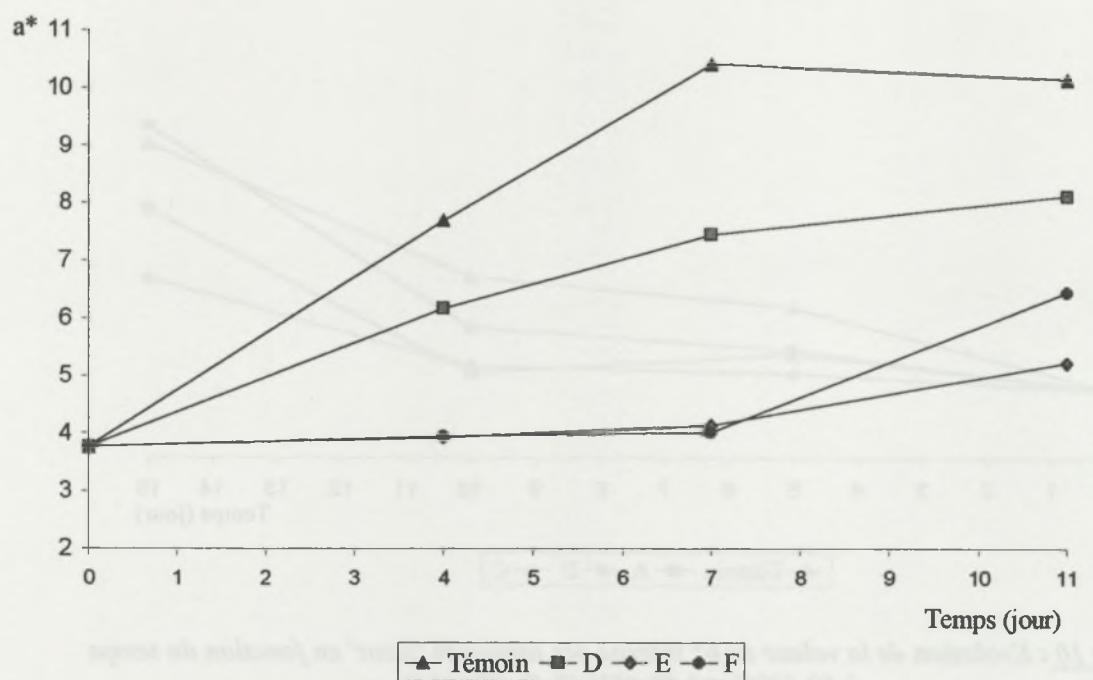


**Figure 10 : Evolution de la valeur de  $b^*$  interne des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai I)**

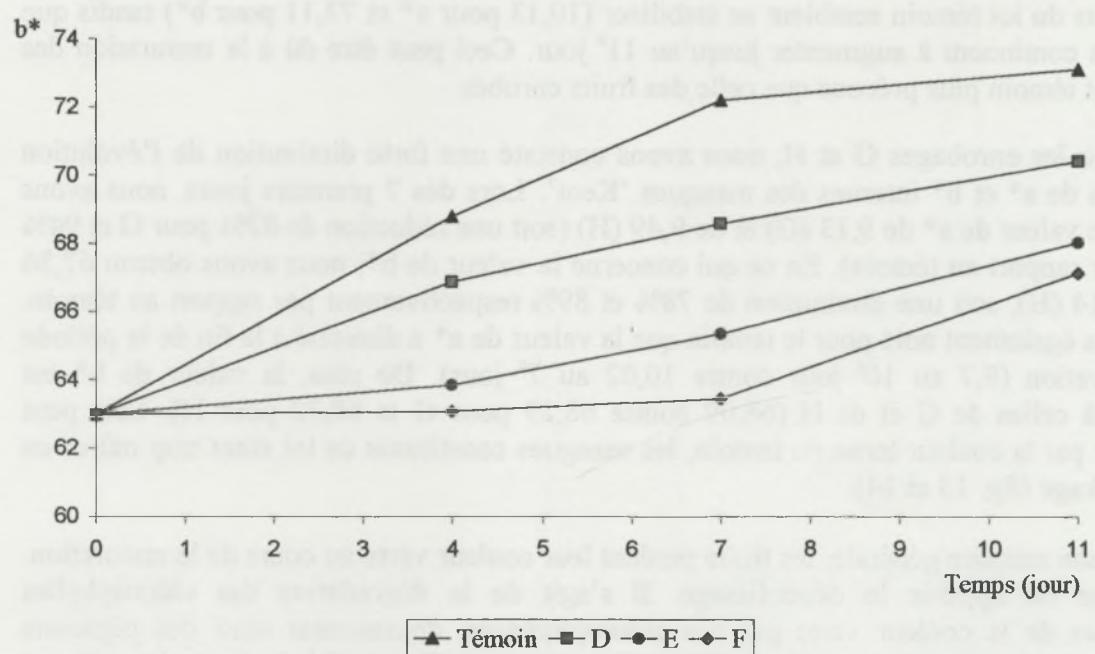
Dans le deuxième essai, les enrobages D, E et F ont également limité le développement de la couleur interne des mangues 'Tommy Atkins' au cours de conservation. En effet, après 7 jours de traitement, nous avons trouvé une valeur de  $a^*$  de 7,45 (D), 4,13 (E) et 4,01 (F) contre 10,41 (témoin) ainsi que la valeur de  $b^*$  de 68,57 pour D, 65,35 pour E et 63,45 pour F contre 72,2 pour le témoin (fig. 11 et 12). A partir de 7<sup>e</sup> jour, les valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  des fruits du lot témoin semblent se stabiliser (10,13 pour  $a^*$  et 73,11 pour  $b^*$ ) tandis que ces valeurs continuent à augmenter jusqu'au 11<sup>e</sup> jour. Ceci peut être dû à la maturation des fruits du lot témoin plus précoce que celle des fruits enrobés.

Pour les enrobages G et H, nous avons constaté une forte diminution de l'évolution des valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  internes des mangues 'Kent'. Lors des 7 premiers jours, nous avons mesuré une valeur de  $a^*$  de 9,13 (G) et de 9,49 (H) (soit une réduction de 82% pour G et 94% pour H par rapport au témoin). En ce qui concerne la valeur de  $b^*$ , nous avons obtenu 67,36 (G) et 67,14 (H), soit une diminution de 78% et 89% respectivement par rapport au témoin. Nous avons également noté pour le témoin que la valeur de  $a^*$  a diminué à la fin de la période de conservation (9,7 au 10<sup>e</sup> jour contre 10,02 au 7<sup>e</sup> jour). De plus, la valeur de  $b^*$  est inférieure à celles de G et de H (68,09 contre 68,29 pour G et 68,32 pour H). Cela peut s'expliquer par la couleur terne du témoin, les mangues constituant ce lot étant trop mûres en fin de stockage (fig. 13 et 14).

D'une manière générale, les fruits perdent leur couleur verte au cours de la maturation. Cette étape est appelée le déverdissage. Il s'agit de la dégradation des chlorophylles responsables de la couleur verte par des chlorophyllases, démasquant ainsi des pigments jaunes (caroténoïdes) et/ou rouges (anthocyanes). De plus, l'intensité de la couleur jaune-orangé de la pulpe est attribuée à la synthèse et à l'accumulation de caroténoïdes en particulier le  $\beta$ -carotène (Vasquez-Salinas et Lakshminarayana, 1985).



**Figure 11 : Evolution de la valeur de  $a^*$  interne des mangues 'Tommy Atkins' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai II)**



**Figure 12 : Evolution de la valeur de  $b^*$  interne des mangues 'Tommy Atkins' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai II)**

Le développement de la couleur des fruits est influencé par la composition des gaz dans leur environnement (Yang et Chinnan, 1987). En effet, pendant la maturation des tomates, une teneur élevée en CO<sub>2</sub> a inhibé la synthèse d'éthylène ce qui limite le changement de la couleur (Buescher, 1979).

La diminution de l'oxygène dans l'atmosphère entourant le fruit réduit son activité métabolique et la production d'éthylène (Medlicott *et al.*, 1987). De plus, la dégradation des chlorophylles décroît et la réduction de la synthèse de carotène (couleur jaune) est directement liée à la diminution des dégradations chlorophylliennes (Diaz-Sorbac *et al.*, 1996 ; Dhalla et Hanson, 1988 ; Srivastava *et al.*, 1969).

Dans notre étude, tous les enrobages ont limité la consommation d'oxygène des fruits au cours de la maturation (fig. 3, 4 et 5). Cela entraîne l'inhibition du développement de la coloration externe et interne des mangues.

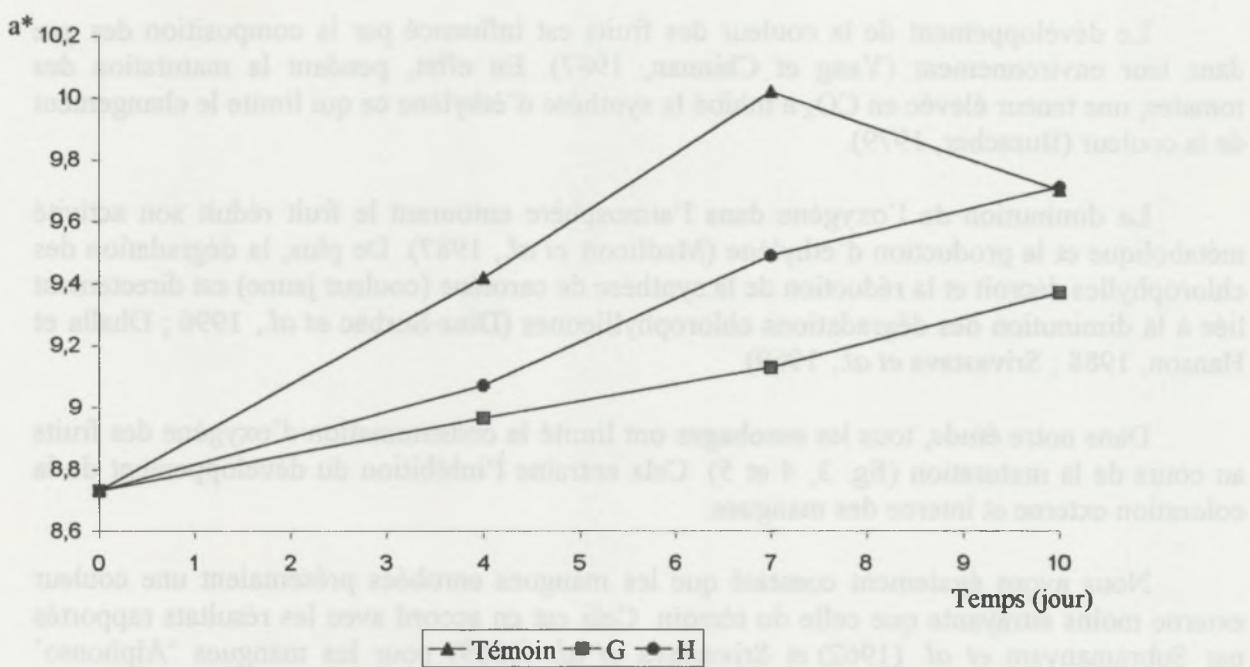
Nous avons également constaté que les mangues enrobées présentaient une couleur externe moins attrayante que celle du témoin. Cela est en accord avec les résultats rapportés par Subramanyam *et al.* (1962) et Srivastava *et al.* (1969) pour les mangues 'Alphonso' traitées avec des émulsions de cire contenant des fongicides et aussi par Ketsa et Prahbasavat (1992) pour les mangues 'Nang Khangwan' enrobées avec des solutions de 'Semperfresh' à 1%, 2% et 3%.

#### I.4. Fermeté

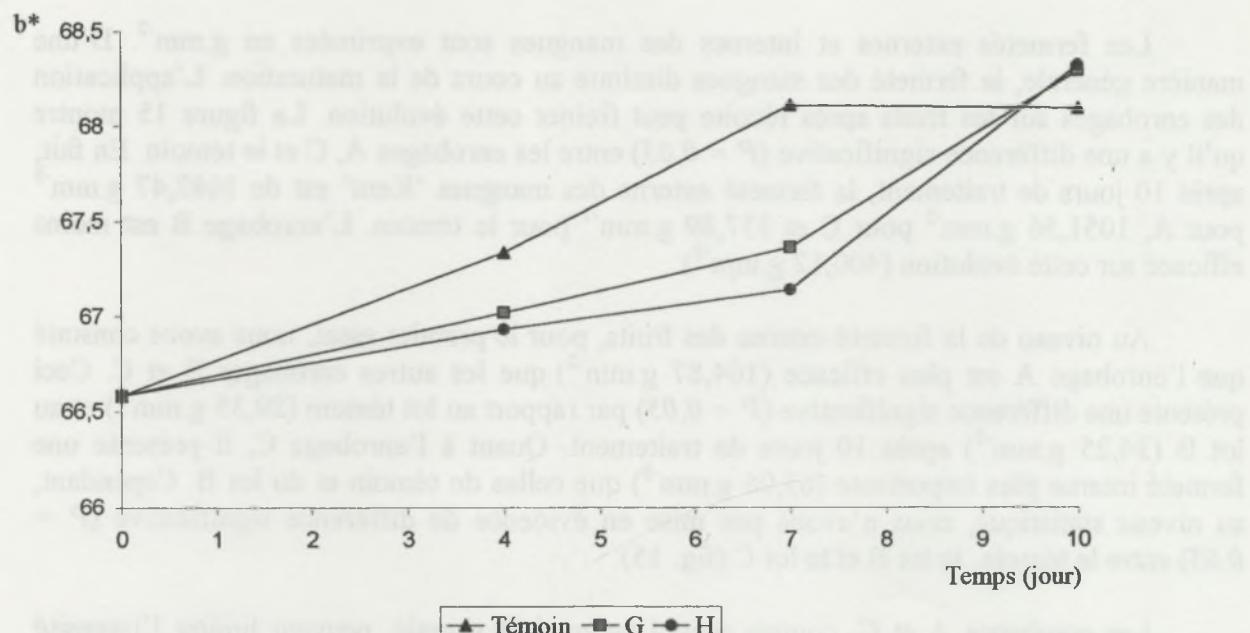
Les fermetés externes et internes des mangues sont exprimées en g.mm<sup>-2</sup>. D'une manière générale, la fermeté des mangues diminue au cours de la maturation. L'application des enrobages sur les fruits après récolte peut freiner cette évolution. La figure 15 montre qu'il y a une différence significative ( $P = 0,05$ ) entre les enrobages A, C et le témoin. En fait, après 10 jours de traitement, la fermeté externe des mangues 'Kent' est de 1082,47 g.mm<sup>-2</sup> pour A, 1051,56 g.mm<sup>-2</sup> pour C et 337,89 g.mm<sup>-2</sup> pour le témoin. L'enrobage B est moins efficace sur cette évolution (400,12 g.mm<sup>-2</sup>).

Au niveau de la fermeté interne des fruits, pour le premier essai, nous avons constaté que l'enrobage A est plus efficace (104,87 g.mm<sup>-2</sup>) que les autres enrobages B et C. Ceci présente une différence significative ( $P = 0,05$ ) par rapport au lot témoin (29,35 g.mm<sup>-2</sup>) et au lot B (34,25 g.mm<sup>-2</sup>) après 10 jours de traitement. Quant à l'enrobage C, il présente une fermeté interne plus importante (65,96 g.mm<sup>-2</sup>) que celles du témoin et du lot B. Cependant, au niveau statistique, nous n'avons pas mise en évidence de différence significative ( $P = 0,05$ ) entre le témoin, le lot B et le lot C (fig. 15).

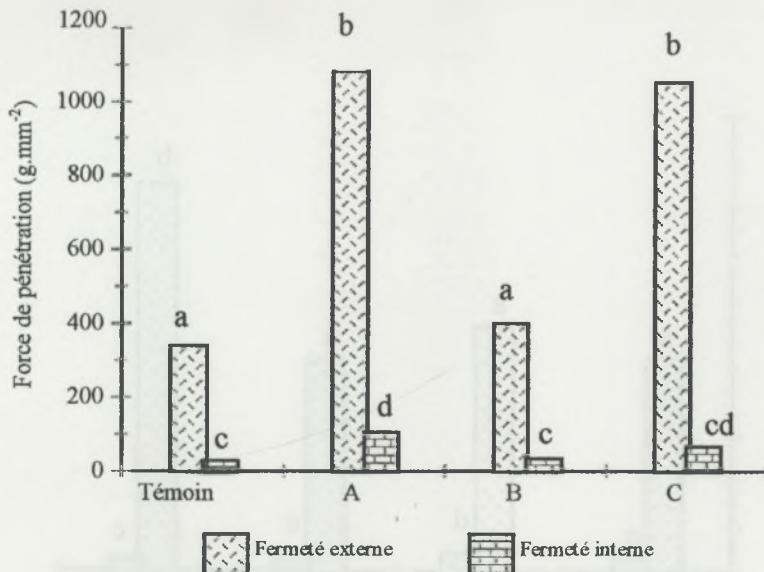
Les enrobages A et C, comme nous l'avons déjà signalé, peuvent limiter l'intensité respiratoire des mangues au cours de la maturation. Cela entraîne une diminution de la perte de fermeté externe du fruit.



**Figure 13 : Evolution de la valeur de  $a^*$  interne des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai III)**



**Figure 14 : Evolution de la valeur de  $b^*$  interne des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai III)**



**Figure 15 : Fermeté\* des mangues ‘Kent’ au 10<sup>e</sup> jour de stockage à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai I)**

\* pour la même fermeté, les colonnes ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et celles qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

Dans le deuxième essai, l'enrobage F permet également de maintenir la fermeté externe des mangues ‘Tommy Atkins’ (fig. 16). Après 11 jours de conservation à température ambiante, la fermeté externe des fruits enrobés avec F est de  $850,78 \text{ g.mm}^{-2}$ , suivie par le lot D ( $538,93 \text{ g.mm}^{-2}$ ), le lot témoin ( $470,85 \text{ g.mm}^{-2}$ ) et le lot E ( $462,24 \text{ g.mm}^{-2}$ ). Pour la fermeté interne des mangues, nous avons constaté que l'enrobage D présente une fermeté interne plus importante ( $40,21 \text{ g.mm}^{-2}$ ) que les autres lots ( $35,66 \text{ g.mm}^{-2}$  pour E,  $28,01 \text{ g.mm}^{-2}$  pour F et  $30,43 \text{ g.mm}^{-2}$  pour le témoin) avec une différence significative ( $P = 0,05$ ).

Pour les mangues de variété ‘Kent’ du troisième essai, l'enrobage G permet de maintenir les fermetés externe et interne des fruits. La figure 17 montre la différence significative entre cet enrobage et le lot témoin et le lot H. Après 10 jours de traitement, les fruits du lot G présentent une fermeté externe de  $923,76 \text{ g.mm}^{-2}$  et  $209,00 \text{ g.mm}^{-2}$  pour la fermeté interne. Quant à l'enrobage H, il présente une valeur de fermeté externe plus importante que celle du témoin ( $557,59 \text{ g.mm}^{-2}$  contre  $327 \text{ g.mm}^{-2}$  pour le témoin). Il en est de même pour la fermeté interne ( $68,30 \text{ g.mm}^{-2}$  contre  $59,82 \text{ g.mm}^{-2}$  pour le témoin). Mais nous n'avons pas constaté de différence significative ( $P = 0,05$ ) entre le lot H et le témoin.

La maturation des fruits se caractérise par une perte de fermeté suite à l'action d'enzymes telles que les pectines estérasées et les polygalacturonases qui hydrolysent les matières protopectiques en pectines solubles (Diaz-Sobac *et al.*, 1996 ; Narain *et al.*, 1998).

Le mécanisme de la maturation est normalement déclenché par la fixation des molécules d'éthylène sur un site spécifique localisé sur la seconde membrane cellulaire. Cette fixation à un récepteur protéique nécessite la présence d'oxygène et est inhibée par de fortes teneurs en dioxyde de carbone (Burg *et al.*, 1971).

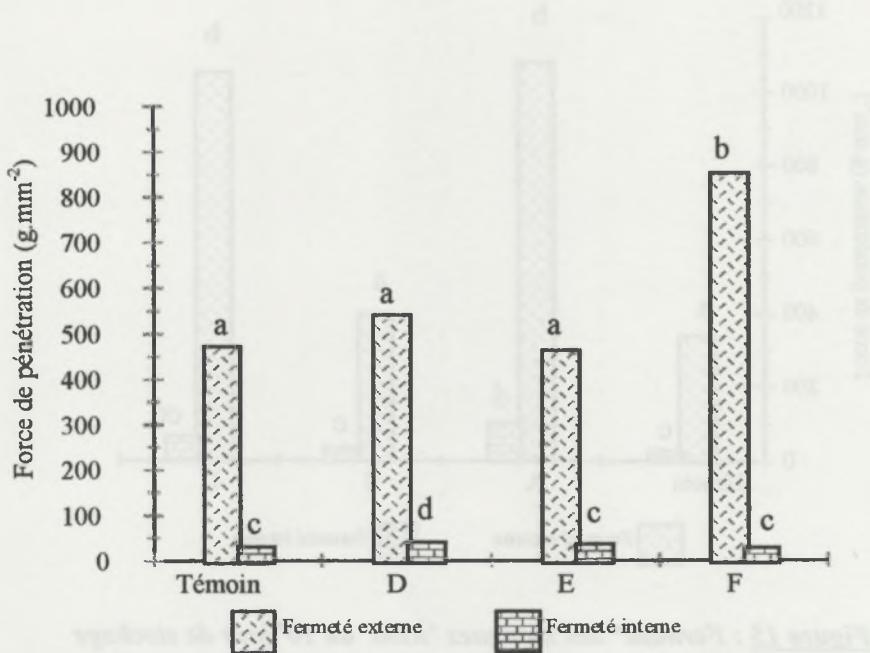


Figure 16 : Fermeté\* des mangues 'Tommy Atkins' au 11<sup>e</sup> jour de stockage à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai II)

pour la même fermeté, les colonnes ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et celles qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

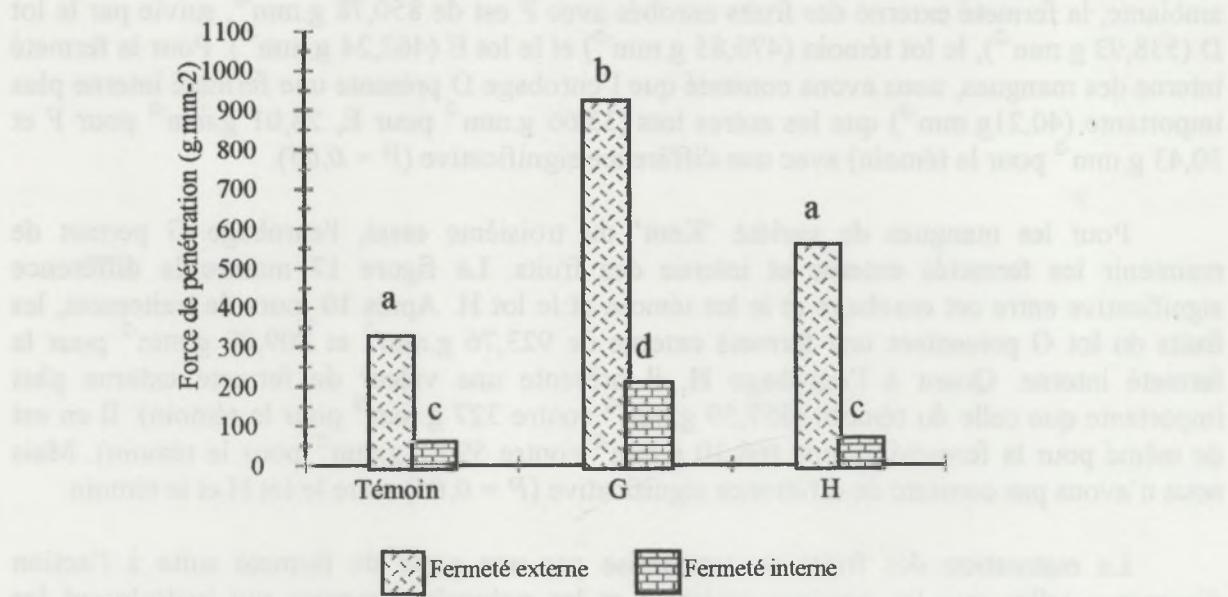


Figure 17 : Fermeté\* des mangues 'Kent' au 10<sup>e</sup> jour de stockage à 19-22°C et à 56-60% H.R. (Essai III)

\* pour la même fermeté, les colonnes ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et celles qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

### 1.5. Changement de la composition chimique

L'évolution de la composition chimique des mangues au cours du temps est présentée dans les tableaux 20, 21 et 22. Les modifications biochimiques des mangues au cours de la maturation induisent la réduction de l'acidité titrable, l'augmentation du pH et des sucres (extrait sec soluble).

**Tableau 20 : Evolution de la composition des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai I)**

Echantillon	pH			A.T. <sup>(*)</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )			E.S.S. <sup>(**)</sup> (g.100 <sup>-1</sup> )			Sucre/Acide (g.meq <sup>-1</sup> )		
	0j	10j	15j	0j	10j	15j	0j	10j	15j	0j	10j	15j
Témoin	3,45	4,31	4,64	12,75	4,50	2,75	17,5	19,5	17,0	1,37	4,33	6,18
A	3,45	4,22	4,49	12,75	5,25	4,55	17,5	17,5	16,5	1,37	3,33	3,63
B	3,45	4,28	4,54	12,75	5,38	3,25	17,5	18,5	19,0	1,37	3,44	5,85
C	3,45	4,25	4,47	12,75	5,25	4,75	17,5	19,0	17,0	1,37	3,62	3,57

(\*) : A.T. = Acidité titrable

(\*\*) : E.S.S. = Extrait sec soluble

Nous avons constaté que tous les enrobages avaient plus ou moins d'effet sur les changements biochimiques des mangues pendant le stockage. En effet, après 15 jours de traitement, nous avons avec les mangues 'Kent' les valeurs suivantes de pH : 4,64 (témoins), 4,49(A), 4,54 (B) et 4,47 (C). Cela se traduit par la diminution de l'acidité titrable (tableau 20).

Au cours de la maturation des fruits, l'E.S.S. augmente améliorant ainsi le goût sucré de la pulpe. Avec les différents enrobages, l'E.S.S. est maximal au 10<sup>e</sup> jour aussi bien pour le témoin que pour toutes les mangues traitées. Ensuite, l'E.S.S. du témoin a diminué (de 19,5°brix au 10<sup>e</sup> jour à 17,0°brix au 15<sup>e</sup> jour) car les mangues étaient trop mûres. Quant aux fruits du lot B, l'E.S.S. est resté constant (18,5°brix au 10<sup>e</sup> jour et 19°brix au 15<sup>e</sup> jour). Cela peut s'expliquer par le ralentissement de la maturation des fruits du lot B par rapport au témoin. Les mangues des lots A et C, quant à elles, ont des valeurs d'E.S.S. réduites. Ceci se traduit par une fermentation anaérobiose de la pulpe que nous avons observée au 10<sup>e</sup> jour lors de la coupe des fruits. La respiration anaérobiose entraîne la conversion du glucose en éthanol et en CO<sub>2</sub> en absence d'oxygène (Kader, 1987).

**Tableau 21 : Evolution de la composition des mangues 'Tommy Atkins' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai II)**

Echantillon	pH			A.T. <sup>(*)</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )			E.S.S. <sup>(**)</sup> (g.100 <sup>-1</sup> )			Sucre/Acide (g.meq <sup>-1</sup> )		
	0j	7j	11j	0j	7j	11j	0j	7j	11j	0j	7j	11j
Témoin	3,91	4,72	5,15	8,00	3,75	2,50	13,5	14,0	13,0	1,69	3,73	5,20
D	3,91	3,89	4,45	8,00	7,00	6,13	13,5	12,5	13,5	1,69	1,79	2,20
E	3,91	4,62	4,89	8,00	6,25	5,38	13,5	13,0	11,0	1,69	2,08	2,04
F	3,91	4,50	4,72	8,00	4,75	3,25	13,5	13,0	12,0	1,69	2,74	3,69

(\*) : A.T. = Acidité titrable

(\*\*) : E.S.S. = Extrait sec soluble

Dans le second essai (c'est-à-dire avec les mangues 'Tommy Atkins'), nous avons observé une augmentation moins rapide du pH de la pulpe des fruits enrobés que ceux du

témoin. A titre d'exemple, après 11 jours de traitement, le pH était de 5,15 pour du témoin, 4,45 pour D, 4,89 pour E et 4,72 pour F (tableau 21). Les enrobages D et E peuvent diminuer la perte de l'acidité titrable des mangues 'Tommy Atkins'. En effet, après 11 jours de conservation à température ambiante, l'acidité titrable des lots D étaient égale à 6,13 méq.100g<sup>-1</sup>, 5,38 méq.100g<sup>-1</sup> pour le lot E et seulement 2,5 méq.100g<sup>-1</sup> pour le témoin et 3,25 méq.100g<sup>-1</sup> pour le lot F (tableau 21). En ce qui concerne l'E.S.S. des fruits, nous avons constaté que l'enrobage D pouvait maintenir constante la valeur du brix (13,5) après 11 jours de traitement. Comme nous l'avons déjà expliqué dans le premier essai, les enrobages E et F ont causé la fermentation des fruits. L'E.S.S. a donc diminué pour ces deux lots : 11°brix (E) et 12°brix (F) après 11 jours de traitement.

Les changements biochimiques des mangues 'Kent' du troisième essai sont présentés dans le tableau 22. Il semblait que les enrobages G et H aient des effets similaires aux enrobages B et D. C'est-à-dire qu'ils assurent une diminution plus lente de l'acidité titrable que le témoin non enrobé. Quant aux valeurs du brix des mangues traitées, elles sont restées quasiment constantes (17,5°brix en moyenne) après 10 jours de traitement (tableau 22).

Lors de la maturation, le pH augmente et l'acidité diminue par conversion des acides en sels (Kumar *et al.*, 1992). De plus, ce phénomène peut être expliqué par la perte rapide de l'acide citrique associé à une légère diminution de la quantité d'acide malique (Medlicott et Thompson, 1985).

L'amidon accumulé pendant la croissance du fruit est rapidement consommé au cours de la maturation. Cette perte est marquée dans les chloroplastes où les granules d'amidon commencent progressivement à disparaître lorsque la maturation avance (Selvaraj *et al.*, 1989 ; Morga *et al.*, 1979 ; Subramanyam *et al.*, 1976).

La teneur en amidon diminue fortement dans le fruit mûr (Narain *et al.*, 1998 ; Parikh *et al.*, 1990 ; Medlicott *et al.*, 1986). L'hydrolyse de ce composé dans les mangues mûres est associée à l'activité de l'amylase (Fuchs *et al.*, 1980). L'hydrolyse de l'amidon au cours de la maturation conduit à une augmentation des sucres totaux comme le glucose, le fructose et le saccharose. De plus, l'invertase agit sur le saccharose pour donner du glucose et du fructose. L'augmentation du goût sucré de la pulpe est donc liée à la présence de ces différents sucres. Leur proportion respective joue un rôle important sur l'intensité du goût sucré puisqu'ils possèdent chacun un pouvoir sucrant spécifique, le plus élevé étant celui du saccharose.

**Tableau 22 : Evolution de la composition des mangues 'Kent' en fonction du temps à 19-22°C et à 56-60% H. R. (Essai III)**

<b>Echantillon</b>	<b>pH</b>			<b>A.T.<sup>(*)</sup> (meq.100g<sup>-1</sup>)</b>			<b>E.S.S.<sup>(**)</sup> (g.100g<sup>-1</sup>)</b>			<b>Sucre/Acide (g.meq<sup>-1</sup>)</b>		
	<b>0j</b>	<b>7j</b>	<b>10j</b>	<b>0j</b>	<b>7j</b>	<b>10j</b>	<b>0j</b>	<b>7j</b>	<b>10j</b>	<b>0j</b>	<b>7j</b>	<b>10j</b>
<b>Témoin</b>	3,90	4,41	5,12	11,25	5,00	3,00	18,0	17,5	15,0	1,60	3,50	5,00
<b>G</b>	3,90	4,09	4,95	11,25	6,25	5,20	18,0	17,0	17,5	1,60	2,72	3,37
<b>H</b>	3,90	4,21	5,05	11,25	9,75	5,90	18,0	17,5	17,0	1,60	1,74	2,88

(\*) : A.T. = Acidité titrable

(\*\*) : E.S.S. = Extrait sec soluble

## I.6. Bilan

Tous les enrobages étudiés permettent de limiter l'intensité respiratoire des mangues au cours de la maturation (fig. 3, 4 et 5). Cela permet de prolonger la durée de vie des fruits après récolte. En effet, dans notre étude, l'utilisation des enrobages augmente la durée de conservation des mangues après traitement de plusieurs jours par rapport aux lots témoins (à température ambiante). De plus, lorsque l'intensité respiratoire est limitée, le développement de la couleur externe et interne des mangues est inhibé, ainsi que l'évolution de la composition chimique de la pulpe.

Les enrobages B, E et F conduisent à une perte minimale de poids pendant toute la période de conservation. Ils retardent donc de quelques jours le flétrissement du fruit. Cependant, les autres enrobages (A, C, G et H) n'ont pas d'effet significatif sur la perte de poids des mangues par rapport aux lots témoins.

L'utilisation des enrobages sur la conservation en frais des fruits, aura pour but d'une part, de prolonger la durée de vie du fruit et d'autre part de diminuer la perte de poids au cours du stockage en maintenant les qualités gustatives du fruit. Dans notre étude, nous avons remarqué lors de la coupe des fruits que les enrobages A, C, E et F causent la fermentation de la pulpe ce qui est préjudiciable à la qualité organoleptique des fruits. Dans la deuxième partie de notre étude nous avons donc travaillé avec les quatre enrobages B, D, G et H qui présentent un avantage certain sur les autres car ils ne causent pas, comme nous l'avons déjà signalé, de fermentation de la pulpe.

Les effets de 8 enrobages sur la conservation de la mangue sont résumés dans le tableau 23.

**Tableau 23 : Effets de 8 enrobages sur la conservation des mangues variétés 'Kent' et 'Tommy Atkins' à 19-22°C à et 56-60% H. R.**

Enrobage	Limitation de l'intensité respiratoire	Limitation de la perte de poids	Qualité			
			Couleur	Texture	Composition chimique	Fermentation
A	+++	+	+++	+++	++	+++
B	+++	+++	++	+	++	
C	+++	+	+++	+++	++	+++
D	+++	++	+++	++	++	
E	+++	+++	++	++	++	+++
F	++	+++	++	+++	++	+++
G	+++	+	+++	+++	++	
H	+++	+	+++	++	++	

+++ : fort

++ : moyen

+ : faible

## II. Traitement secondaire : validation des enrobages choisis

Nous avons vérifié l'efficacité des quatre enrobages présélectionnés (B, D, G et H) avec des mangues de la variété 'Early Gold' en provenance de l'Ile de la Réunion. Ces fruits ont été récoltés à deux stades différents de maturité : 15 jours avant le point jaune et au point jaune (115 jours environ après la nouaison). Pour simplifier, nous appelons :

- mangues vertes : les fruits qui ont été récoltés 15 jours avant le point jaune ;
- mangues point jaune : les fruits récoltés au point jaune.

Les différents fruits, après enrobage, sont conservés à 12°C et 80% d'H.R. Pour juger de l'efficacité des enrobages, nous avons mesuré, pour chaque lot : l'intensité respiratoire (I.R.), la perte de poids, la couleur interne (pulpe), la couleur externe (peau), la fermeté pénétrométrique et les paramètres physico-chimiques (pH, acidité titrable, extrait sec soluble, teneur en éthanol).

### II.1. Intensité respiratoire

La mesure de l'intensité respiratoire permet de faire apparaître chez de nombreux fruits une augmentation importante de la respiration lors du déclenchement de la maturation. Cette hausse brutale a reçu le nom de crise climactérique. Après ce phénomène, la maturation du fruit est suivie de la sénescence. L'application d'enrobage inhibe l'apparition de cette crise dans nos conditions de stockage (12°C et 80% H.R.). Cela permet de prolonger la durée de vie des fruits de quelques jours de plus par rapport aux fruits non traités.

Nous avons constaté que tous les enrobages étudiés (B, D, G et H) ont limité la consommation d'oxygène des mangues point jaune et vertes (fig. 18 et 19).

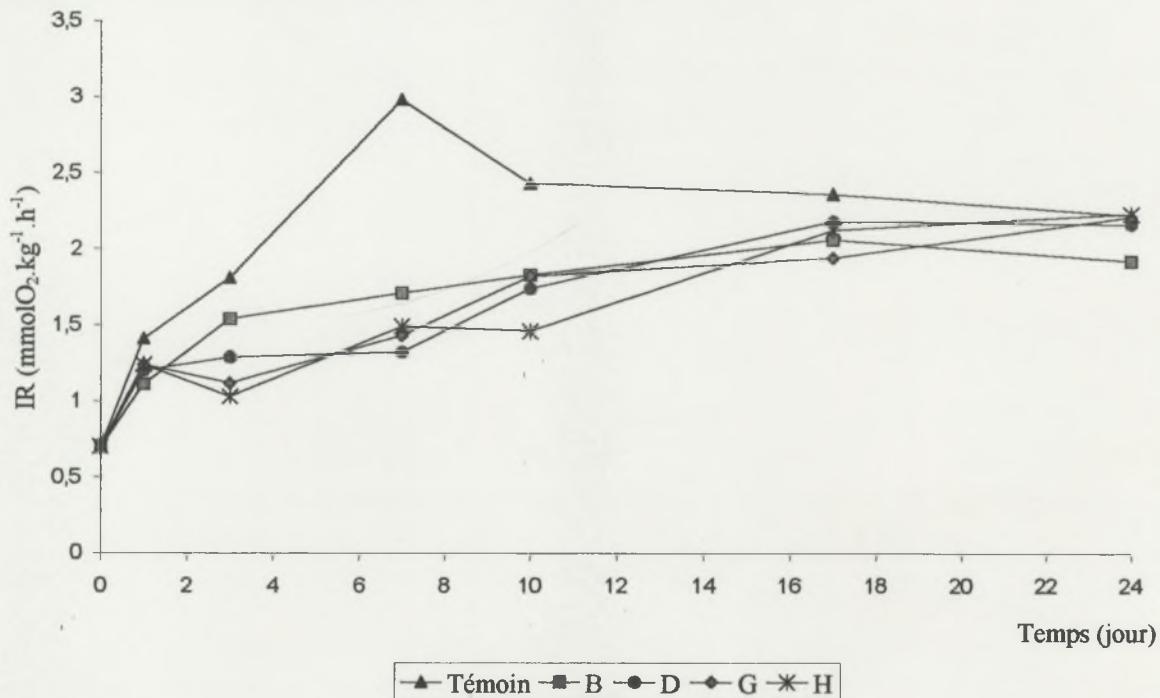
Les fruits enrobés n'ont pas présenté de pic respiratoire, ce qui n'est pas le cas des lots témoins. En effet, pour les lots témoins, les mangues point jaune ont subi cette crise au 7<sup>e</sup> jour ( $2,98 \text{ mmolO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ) et les mangues vertes au 10<sup>e</sup> jour ( $3,79 \text{ mmolO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ ), soit 3 jours plus tard que les mangues point jaune.

A partir d'une même valeur de  $0,7 \text{ mmolO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , la consommation d'oxygène de toutes les mangues point jaune a rapidement augmenté après 1 jour de stockage :  $1,11 \text{ mmolO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (B),  $1,20 \text{ mmolO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (D),  $1,24 \text{ mmolO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (G),  $1,24 \text{ mmolO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (H) et  $1,41 \text{ mmolO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  (témoin). Ensuite, une augmentation progressive a été observée jusqu'au 17<sup>e</sup> jour. De plus, nous remarquons une stabilisation de l'intensité respiratoire au cours de la dernière semaine de stockage (fig. 18). Cela peut s'expliquer par le mûrissement des mangues point jaune.

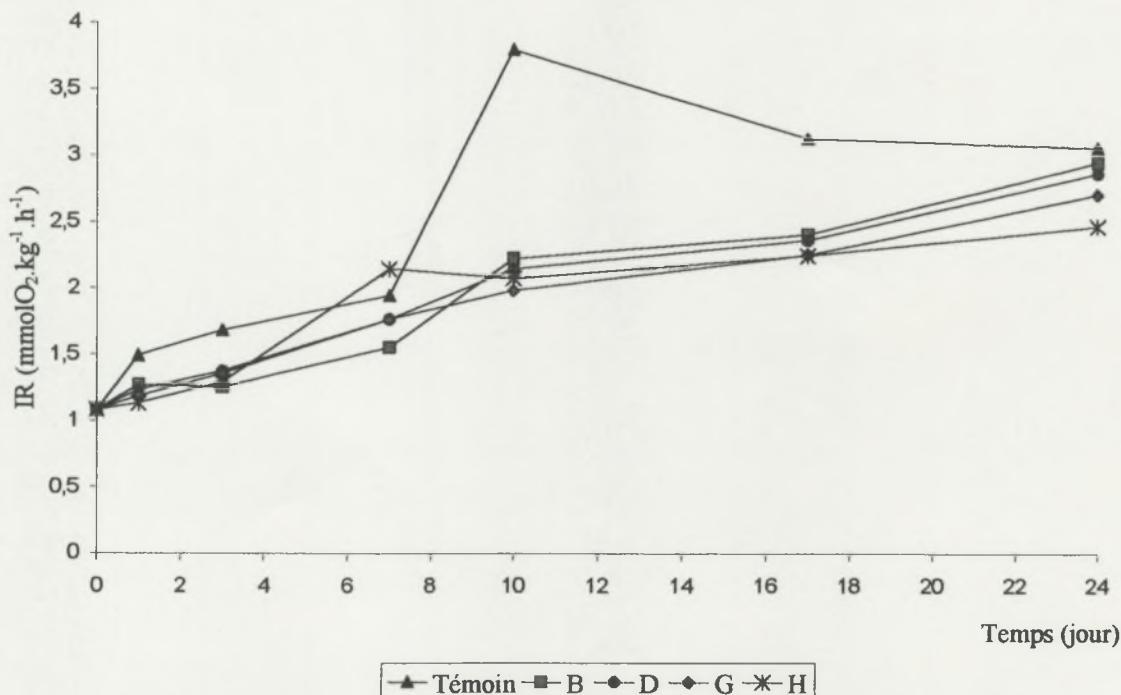
Quant aux mangues vertes enrobées, nous avons constaté que leur intensité respiratoire a fortement augmenté au cours des 10 premiers jours. Par la suite, jusqu'à la fin de l'expérience, cette croissance est plus lente (fig. 19). En outre, nous notons une consommation d'oxygène plus forte pour les mangues vertes que pour les mangues point jaune, ceci dans tous les lots au cours de maturation.

En ce qui concerne l'intensité respiratoire, nous concluons que les enrobages B, D, G et H peuvent limiter la consommation d'oxygène des mangues aux différentes conditions (à température ambiante : 19-22°C, 56-60% H.R. et au froid : 12°C, 80% H.R.) ainsi qu'aux

différents stades de maturité du fruit (variété 'Early Gold' étudiée ici). Ces enrobages sont d'un grand intérêt pour le transport à longue distance, surtout s'ils sont utilisés en combinaison avec d'autres techniques, comme la réfrigération.



**Figure 18 : Consommation d' $O_2$  des mangues 'Early Gold' jaunes en fonction du temps à 12°C et à 80% H. R.**



**Figure 19 : Consommation d' $O_2$  des mangues 'Early Gold' vertes en fonction du temps à 12°C et à 80% H. R.**

## II.2. Perte de poids

Les pertes de poids des mangues 'Early Gold' sont présentées dans les tableaux 24 et 25.

Au cours de l'expérience, nous avons remarqué que l'enrobage B peut diminuer la perte de poids des mangues point jaune et vertes. En effet, après 17 jours de stockage, les fruits présentent une perte de poids de 15,05% (mangues point jaune) et 16,71% (mangues vertes) contre 19,40% (témoins point jaune) et 20,34% (témoins vertes). Ce qui montre une différence significative ( $P=0,05$ ) entre les lots B et les lots témoins. Ceci confirme le précédent résultat avec des mangues 'Kent'.

La diminution de la perte de poids des fruits enrobés peut être attribuée aux propriétés de barrières à la diffusion des gaz des stomates, organes qui régulent le processus de transpiration et d'échange de gaz entre le fruit et l'environnement (Diaz-Sobac *et al.*, 1996).

L'enrobage B (à base de cire de Carnauba), comme nous l'avons déjà signalé, est hydrophobe. En outre, sa caractéristique de barrière à la vapeur d'eau a été étudiée par plusieurs auteurs (Hagenmaier et Shaw, 1992 ; McGuire et Hallman, 1995 ; Baldwin *et al.*, 1999).

Toutes les mangues enrobées avec D présentent une perte de poids importante : 19,14% (point jaune) et 18,87% (vertes). Il n'y a pas de différence significative ( $P=0,05$ ) entre les lots enrobés avec D et les lots témoins (tableaux 24 et 25). Cette observation est également faite dans l'essai I avec les mangues de variété 'Tommy Atkins' (tableau 18).

La diminution de la perte de poids n'a pas été remarquée pour les mangues enrobées avec G et H. Par contre, après 17 jours de conservation, les mangues des lots H présentent une perte de poids plus importante que celles des lots témoins : 20,93% (point jaune) et 23,88% (vertes) contre 19,40% (témoins point jaune) et 20,34% (témoins vertes) (tableaux 24 et 25).

L'utilisation du propylène glycol comme agent plastifiant permet d'améliorer la flexibilité du film (Ketsa et Fennema, 1986), mais il risque d'augmenter la perméabilité à la vapeur d'eau (Banker, 1966 ; Brubaker et Kammermeyer, 1953 ; Kumins, 1965). Ce phénomène est remarquable dans le cas de l'enrobage G pour les mangues de variété 'Kent' (tableau 19) et 'Early Gold' (tableaux 24 et 25).

Parallèlement, nous avons constaté que le flétrissement des fruits apparaît aux différents moments : au 13<sup>e</sup> jour pour les lots B, au 8<sup>e</sup> jour pour les lots témoins, D, G et H.

Rappelons que, la plupart des cellules végétales contiennent des quantités très importantes d'eau. La cueillette provoque la suppression de l'apport d'eau par les racines, tandis que la transpiration n'est pas stoppée. Les conséquences en sont importantes. D'une part, ce phénomène conduit à une diminution du poids due à la perte en eau par transpiration, et d'autre part, à une modification du métabolisme cellulaire à cause du stress hydrique. En effet, du point de vue physiologique, l'eau a une place importante dans la vie de la cellule : elle est à l'origine de la turgescence des tissus, facteur essentiel de la qualité du fruit. Passé un certains seuil, la turgescence diminue et les fruits flétrissent (Hartmann, 1992).

Au niveau de la perte de poids des mangues, nous pouvons conclure que l'enrobage B présente une bonne protection à la vapeur d'eau. Les autres enrobages n'ont pas d'influence sur la perte de poids.

**Tableau 24 : Perte de poids des mangues 'Early Gold' jaunes en fonction du temps à 12°C et à 80% H. R.**

Echantillon	Perte de poids (%)*				
	1j	4j	6j	10j	17j
Témoin	1,13 ab	3,50 b	8,31 b	12,38 bc	19,40 b
B	0,90 a	2,67 a	6,43 a	9,44 a	15,05 a
D	1,29 b	3,59 b	7,74 ab	10,83 ab	19,14 b
G	1,19 b	3,34 b	9,09 b	12,13 b	19,71 b
H	1,13 ab	3,58 b	8,39 b	11,96 b	20,93 b

\* pour un même temps, les lots ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et ceux qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

**Tableau 25 : Perte de poids des mangues 'Early Gold' vertes en fonction du temps à 12°C et à 80% H. R.**

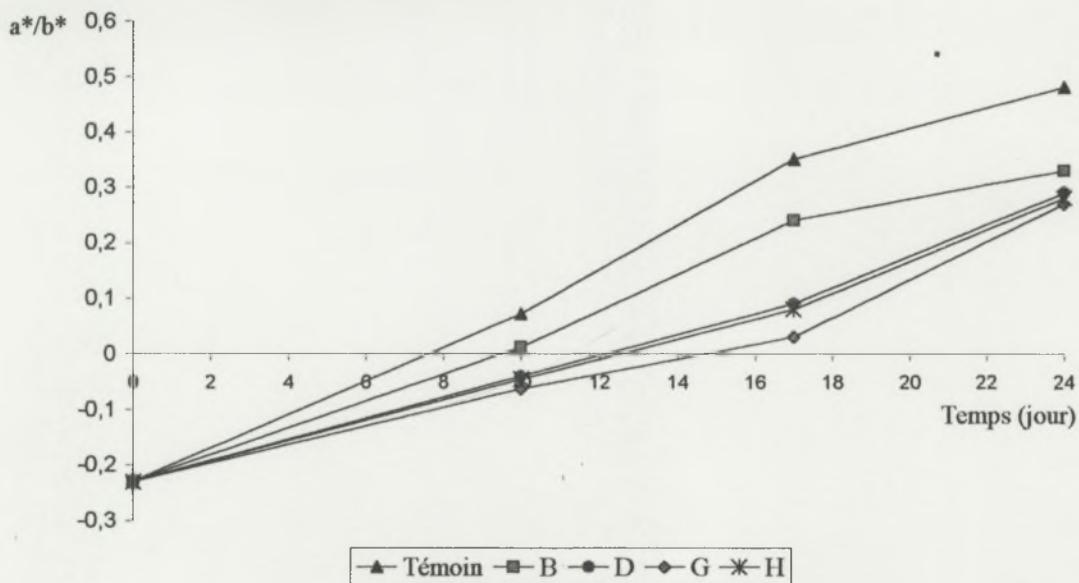
Echantillon	Perte de poids (%)*				
	1j	4j	6j	10j	17j
Témoin	1,36 b	3,98 b	9,25 c	13,43 c	20,34 b
B	1,15 a	3,37 a	7,94 ab	11,85 a	16,72 a
D	1,38 b	3,64 ab	8,40 b	12,74 b	18,87 b
G	1,44 b	3,89 b	9,67 d	12,55 ab	19,32 b
H	1,28 ab	3,69 ab	9,32 bc	14,08 d	23,88 c

\* pour un même temps, les lots ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et ceux qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

### II.3. Evolution de la couleur

#### II.3.1. Couleur externe

Comme pour les intensités respiratoires, nous avons constaté que tous les enrobages ont limité le développement du ratio  $a^*/b^*$ . L'enrobage G est le plus efficace. En effet, après 17 jours de traitement, il présente une valeur de  $a^*/b^*$  de 0,03 (soit une réduction de 55% par rapport au témoin) pour les mangues jaunes. Pour les autres enrobages, l'ordre d'efficacité est le suivant : H > D > B avec pour valeur respective de  $a^*/b^*$  0,08, 0,09 et 0,24 contre 0,35 pour le témoin. A la fin de la période de conservation (24<sup>e</sup> jour), les rapports  $a^*/b^*$  obtenus ont des valeurs de 0,03 (B), 0,29 (D), 0,27 (G) et 0,28 (H). Le lot témoin présente une valeur de  $a^*/b^*$  plus importante que les autres lot : 0,48 (fig. 20).



**Figure 20 : Evolution de la valeur  $a^*/b^*$  externe des mangues 'Early Gold' jaunes en fonction du temps à 12°C et à 80% H.R.**

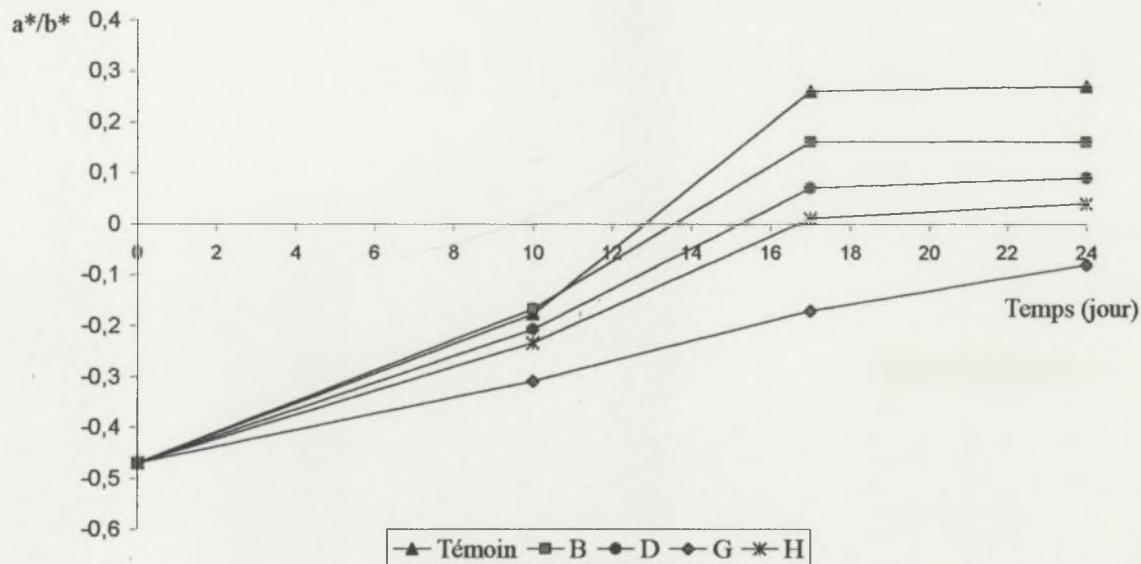
En outre, les enrobages ont limité l'évolution du rapport  $a^*/b^*$  des mangues vertes. L'enrobage G, comme nous l'avons déjà signalé dans le cas des mangues jaunes, est le plus efficace sur le développement de la proportion  $a^*/b^*$  pour les mangues vertes. En fait, nous avons observé, après 17 jours de traitement, que l'enrobage G présente une valeur de  $a^*/b^*$  de -0,17 soit une diminution de 59% par rapport au témoin. Cette efficacité est suivie par celui des lots H (0,01), D (0,07) et B (0,16) contre 0,26 pour le lot témoin. A partir du 17<sup>e</sup> jour, la couleur externe des fruits semblait ne plus changer quel que soit le lot (fig. 21). Le stade de cueillette des fruits (15 jours avant le point jaune) et l'effet du froid (12°C) peuvent expliquer ce phénomène.

L'évolution de la couleur externe des mangues enrobées est limitée. Cela se traduit par la diminution de la perte chlorophyllienne de l'épiderme du fruit (Bank, 1984a). L'application d'enrobage 'Semperfresh' sur les abricots a également montré une stabilité de la couleur externe du fruit (Sünnü et Bayindirli, 1995).

Les mangues jaunes ont vu leur couleur externe évoluer jusqu'à la fin de la période d'observation. Pour les mangues vertes, le développement de la couleur s'est estompé au 17<sup>e</sup> jour.

Comme l'avaient déjà observé McGuire et Hallman (1995), McGuire (1997), l'enrobage B (à base de carnauba) est moins efficace sur l'évolution de la couleur externe des mangues jaunes et vertes. A partir des résultats obtenus, l'ordre d'efficacité des enrobages, pour le développement du rapport  $a^*/b^*$  (couleur externe), est le suivant : G > H > D > B. Pour les fruits enrobés, l'inhibition de cette évolution est directement liée à la diminution de l'IR. En effet, l'application d'enrobage entraîne l'augmentation de la teneur en  $\text{CO}_2$  et la diminution de la teneur en  $\text{O}_2$  à l'intérieur du fruit (Drake *et al.*, 1987 ; Mainnheim et Soffer,

1996). Une teneur élevée en CO<sub>2</sub> inhibe la synthèse de l'éthylène, ce qui peut limiter le changement de la couleur du fruit (Buescher, 1979).



**Figure 21 : Evolution de la valeur  $a^*/b^*$  externe des mangues 'Early Gold' vertes en fonction du temps à 120°C et à 80% H.R.**

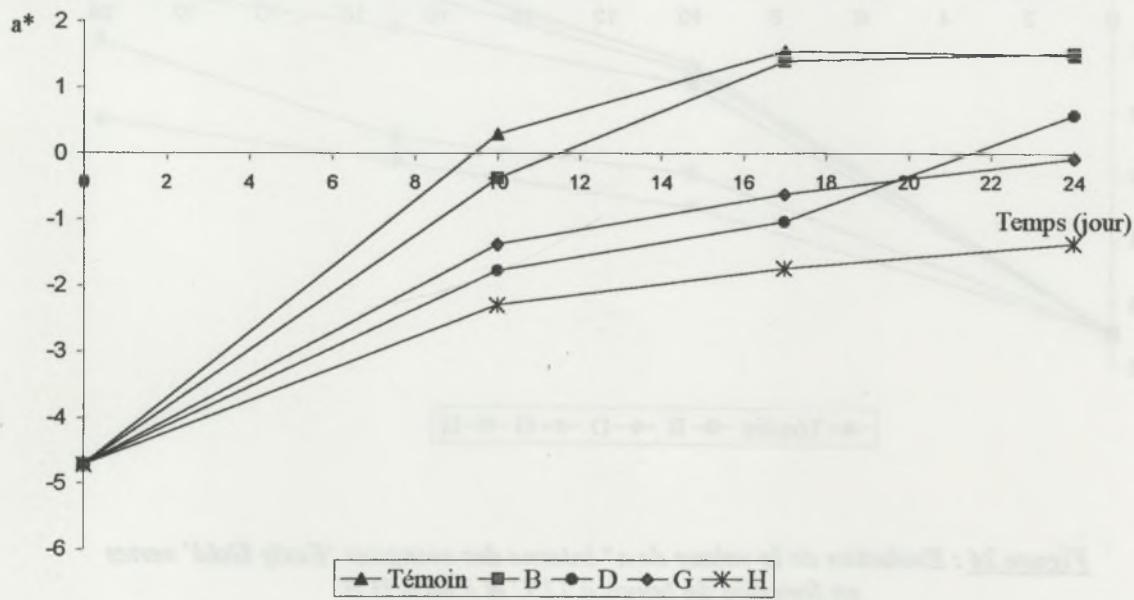
### II.3.2. Couleur interne

Comme précédemment, le développement de la couleur interne des mangues au cours de la maturation est exprimée en valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  du système de la C.I.E. Nous avons constaté que la couleur interne des mangues au point jaune a évolué plus rapidement que celle des mangues vertes (fig. 22, 23, 24 et 25).

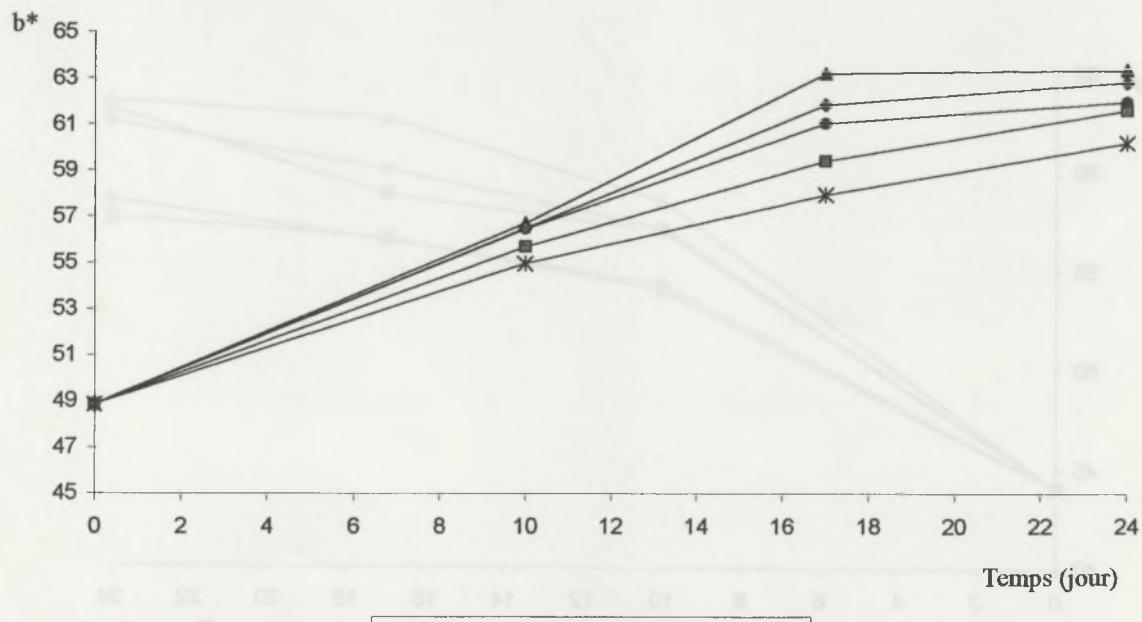
L'application des enrobages D, G et H limite le développement des valeurs de  $a^*$  et  $b^*$  des mangues au cours de la maturation. En effet, après 17 jours de traitement, la valeur de  $a^*$  des mangues jaunes est de -1,04 pour D, 0,62 pour G et -1,74 pour H (soit une réduction respective de 41%, 35%, 53% par rapport au lot témoin). L'enrobage H est donc plus efficace que les enrobages D et G. Quant à l'enrobage B, il semble ne pas influencer la valeur de  $a^*$  (1,39) soit une diminution de 3% par rapport au témoin. A partir du 17<sup>e</sup> jour, les valeurs de  $a^*$  du témoin et du lot B (mangues point jaune) n'évoluent plus. Cela se traduit par le mûrissement des fruits de ces lots. Pour les lots D, G et H, cette valeur continue à augmenter progressivement jusqu'à la fin de la période d'observation (fig. 22).

La valeur de  $b^*$  des mangues point jaune a fortement augmenté pendant les 17 premiers jours. Comme nous l'avons déjà signalé, l'évolution de cette valeur est limitée par l'application d'enrobage. En fait, après 17 jours de stockage, nous avons remarqué une valeur de  $b^*$  de 59,4 (B), 61,03 (D), 61,86 (G) et 57,95 (H) soit une limitation respective de 27%, 15%, 9% et 37% par rapport au témoin. Par la suite, cette valeur augmente légèrement pour le

lot témoin, les lots B et D. Quant aux enrobages G et H, il semble qu'ils conservent la même vitesse de développement jusqu'à la fin de la période de conservation (fig. 23).



*Figure 22 : Evolution de la valeur de  $a^*$  interne des mangues 'Early Gold' jaunes en fonction du temps à 12°C et à 80% H. R.*



*Figure 23 : Evolution de la valeur de  $b^*$  interne des mangues 'Early Gold' jaunes en fonction du temps à 12°C et à 80% H. R.*

avant et au cours de la maturation des mangues 'Early Gold' vertes. Ces résultats sont comparés à ceux obtenus pour les variétés 'Chiquita' et 'Dole'.

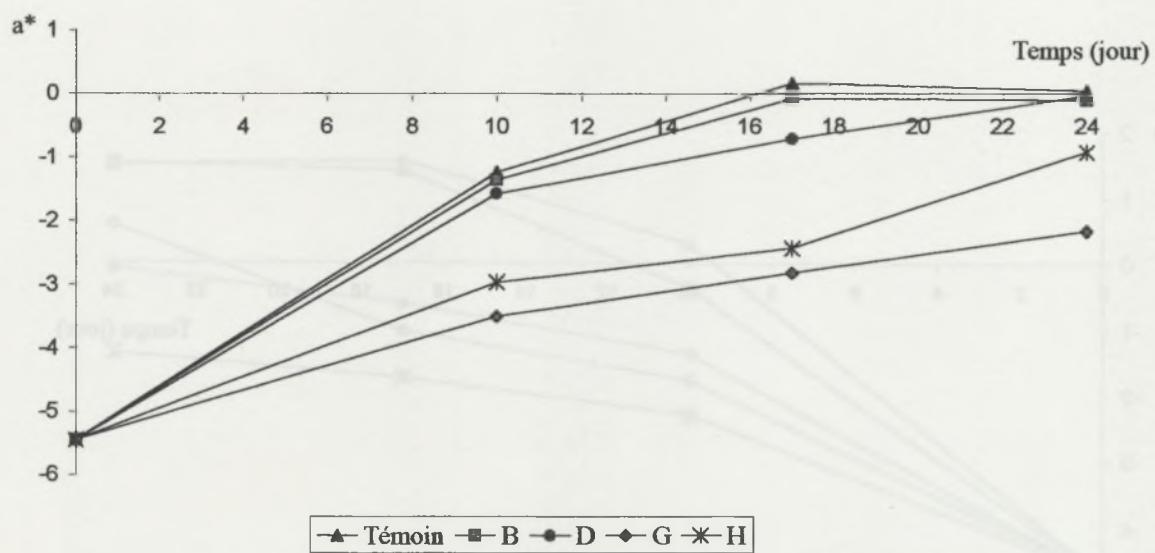


Figure 24 : Evolution de la valeur de  $a^*$  interne des mangues 'Early Gold' vertes en fonction du temps à 12°C et à 80% H.R.

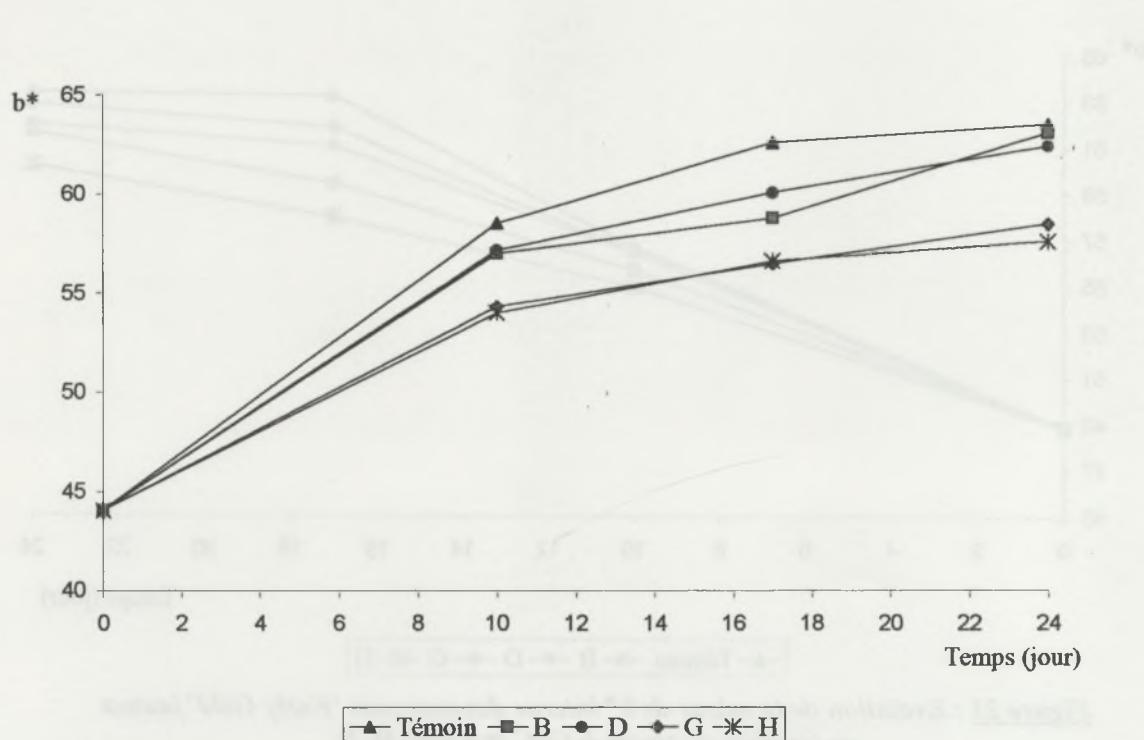


Figure 25 : Evolution de la valeur de  $b^*$  interne des mangues 'Early Gold' vertes en fonction du temps à 12°C et à 80% H.R.

En ce qui concerne l'évolution de la couleur interne des mangues vertes, nous avons remarqué que les enrobages G et H sont les plus efficaces sur cette évolution. En effet, après 17 jours de stockage, ils présentent une valeur de -2,83 (G) et -2,44 (H) soit une réduction de 53% et 46% respectivement par rapport au témoin. Pour la valeur de  $b^*$ , nous avons noté une valeur de 56,49 pour G et 56,6 pour H (soit 33% et 32% de moins par rapport au lot témoin). Les enrobages B et D sont moins efficaces : -0,08 (B), -0,71 (D) pour la valeur de  $a^*$  et 62,58 (B), 58,76 (D) pour la valeur de  $b^*$ . Nous avons également constaté, à partir du 17<sup>e</sup> jour, que l'évolution des valeurs de  $a^*$  et de  $b^*$  est moins rapide dans tous les lots pour les mangues vertes (fig. 24 et 25).

Dans notre étude, les enrobages G et H se sont avérés efficaces sur l'évolution de la couleur interne. Cela se traduit, comme nous l'avons déjà discuté dans le cas de la couleur externe, par la diminution de l'intensité respiratoire des fruits au cours de la maturation (fig. 18 et 19). L'enrobage B semble ne pas influencer le développement de la couleur interne des mangues point jaune et vertes (fig. 22, 23, 24 et 25), même s'il a montré son efficacité sur l'évolution de la couleur externe (fig. 20 et 21). Un phénomène analogue a été rapporté par Castrillo et Bermudez (1992) pour les mangues 'Bocado' traitées avec les enrobages 'Primafresh C' et 'Primafresh 31'.

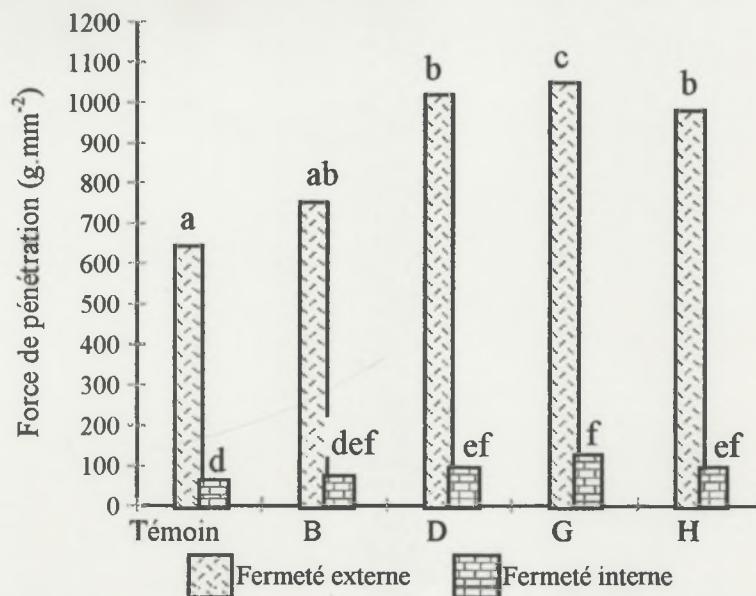
#### II.4. Fermeté

D'une manière générale, le ramollissement de la texture est une caractéristique remarquable de la maturation de la mangue. En effet, des modifications de la paroi des cellules caractérisent fréquemment ce phénomène. Elles font intervenir des polygalacturonases et des cellulases. La cohésion entre les cellules diminue, la paroi devient moins rigide, entraînant des changements de texture de la chair qui devient ainsi fondante (Huber, 1983).

Le ramollissement au cours de la maturation peut être dû à la perte d'eau à la surface du fruit (Mohamed *et al.*, 1992). L'application d'enrobage peut donc contribuer à éviter la perte de la fermeté des fruits.

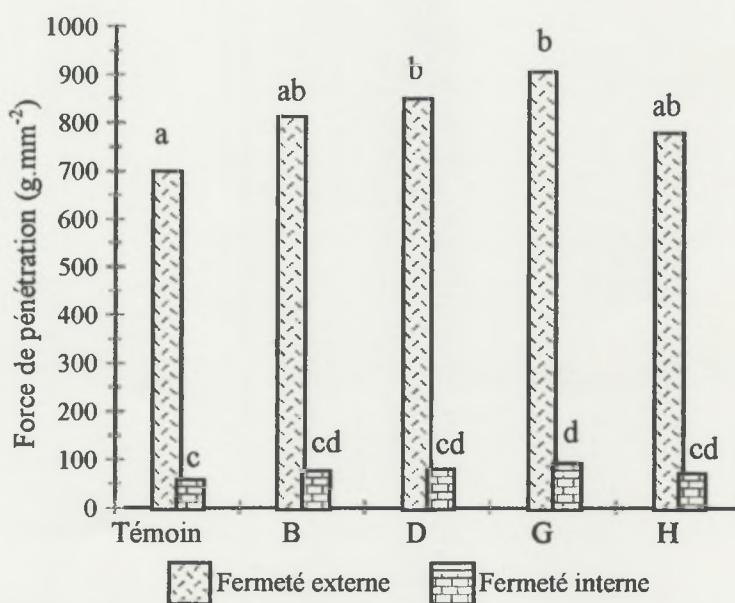
Dans notre étude, nous avons remarqué, pour les mangues point jaune, que l'enrobage G est le plus efficace au niveau de la fermeté externe des fruits. En effet, après 17 jours de stockage, les fruits de ce lot présentent une valeur de 1050,36 g.mm<sup>-2</sup> pour la fermeté externe. Cela montre une différence significative ( $P = 0,05$ ) entre le lot G et les autres lots. Quant aux lots D et H, ils présentent une différence significative ( $P = 0,05$ ) par rapport au témoin. En fait, nous avons constaté, après 17 jours de stockage, une valeur de 1020,11 g.mm<sup>-2</sup> (D) et 979,52 g.mm<sup>-2</sup> (H) contre 644,32 g.mm<sup>-2</sup> (témoin) pour la fermeté externe. L'enrobage B n'est pas efficace sur le maintien de la fermeté externe des mangues point jaune (fig. 26).

En ce qui concerne la fermeté interne des mangues point jaune, nous avons noté que les enrobages D, G et H permettent de maintenir la fermeté interne des fruits. Il y a une différence significative ( $P = 0,05$ ) entre ces enrobages et le lot témoin : 125,98 g.mm<sup>-2</sup> (G), 94,38 g.mm<sup>-2</sup> (D) et 94,65 g.mm<sup>-2</sup> (H) contre 61,97 g.mm<sup>-2</sup> (témoin). L'enrobage B présente une valeur de fermeté interne plus importante que le lot témoin (74,00 g.mm<sup>-2</sup>), mais cette différence n'est pas significative ( $P = 0,05$ ) (fig. 26).



**Figure 26 : Fermeté des mangues 'Early Gold' jaunes au 17<sup>e</sup> jour de stockage à 12°C et à 80% H. R.**

\* pour la même fermeté, les colonnes ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et celles qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.



**Figure 27 : Fermeté des mangues 'Early Gold' vertes au 17<sup>e</sup> jour de stockage à 12°C et à 80% H. R.**

\* pour la même fermeté, les colonnes ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et celles qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

Pour les mangues vertes, nous avons également constaté que les enrobages D et G sont les plus efficaces. Après 17 jours de stockage, ils présentent une valeur de 850,20 g.mm<sup>-2</sup> (D) et 905,01 g.mm<sup>-2</sup> (G) contre 699,35 g.mm<sup>-2</sup> (témoin) pour la fermeté externe. Cela montre une différence significative ( $P = 0,05$ ) entre les fruits enrobés (D, G) et les fruits témoins. Les mangues des lots B et H présentent des valeurs de la fermeté externe plus importantes que celles du témoin (812,64 g.mm<sup>-2</sup> pour B, et 778,98 g.mm<sup>-2</sup> pour H contre 699,35 g.mm<sup>-2</sup> pour le témoin), mais cette différence n'est pas significative ( $P = 0,05$ ).

Comme nous l'avons déjà signalé dans le cas des mangues point jaune, l'enrobage G est le plus efficace sur la limitation de la perte de fermeté interne des mangues vertes. En fait, nous avons remarqué, après 17 jours de stockage, que les fruits enrobés avec G présentent une valeur de 92,71 g.mm<sup>-2</sup> pour la fermeté interne. Pour les autres enrobages B, D et H, il n'y a pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) avec le lot témoin (fig. 27).

En outre, l'efficacité des enrobages sur le maintien de la texture des fruits au cours de stockage a été étudiée avec plusieurs espèces de fruit : mangue (Diaz-Sobac *et al.*, 1997), abricot (Sümnü et Barindirli, 1995), pêche (Sümnü et Barindirli, 1994), pomme (Saftner et Conway, 1998), goyave (McGuire et Hallman, 1995, McGuire, 1997).

## II.5. Changement de la composition chimique

Les tableaux 26 et 27 présentent l'évolution de la composition chimique des mangues 'Early Gold' au cours de la maturation. Nous avons constaté que tous les enrobages ont bloqué l'évolution de certains paramètres biochimiques, comme par exemple l'acidité titrable, le pH, l'E.S.S. des fruits. De plus, l'évolution de ces paramètres pour les mangues point jaune est plus rapide que celle des mangues vertes. En effet, à partir de la même valeur de pH (2,98), après 24 jours de stockage, les mangues point jaune présentent une valeur de pH de 4,81 (témoin), 4,29 (B), 4,22 (D) et 4,11 (H) contre 4,61 (témoin), 4,20 (B), 4,01 (D), 4,09 (G) et 4,05 (H) pour les mangues vertes. L'augmentation du pH de la pulpe des mangues se traduit par la diminution de l'acidité titrable au cours de la maturation.

**Tableau 26 : Evolution de la composition des mangues 'Early Gold' jaunes en fonction du temps à 12°C et à 80% H. R.**

Echantillon	pH			A.T. <sup>(*)</sup> (meq.100g <sup>-1</sup> )			E.S.S. <sup>(**)</sup> (g.100g <sup>-1</sup> )			Sucré/Acide (g.meq <sup>-1</sup> )		
	0j	17j	24j	0j	17j	24j	0j	17j	24j	0j	17j	24j
Témoin	2,98	3,97	4,81	32,25	4,40	2,75	10,0	14,0	14,0	0,31	3,18	5,09
B	2,98	3,77	4,29	32,25	6,25	4,50	10,0	12,0	15,5	0,31	1,92	3,44
D	2,98	3,52	4,22	32,25	4,65	3,75	10,0	14,5	14,5	0,31	3,12	3,87
G	2,98	3,93	4,11	32,25	6,45	5,00	10,0	17,5	15,0	0,31	2,71	3,00
H	2,98	3,67	4,41	32,25	5,80	3,40	10,0	14,5	12,0	0,31	2,50	3,53

(\*) : A.T. = Acidité titrable

(\*\*) : E.S.S. = Extrait sec soluble

**Tableau 27 : Evolution de la composition des mangues 'Early Gold' vertes en fonction du temps à 12°C et à 80% H. R.**

<b>Echantillon</b>	<b>PH</b>			<b>A.T.<sup>(*)</sup> (meq.100g<sup>-1</sup>)</b>			<b>E.S.S.<sup>(**)</sup> (g.100g<sup>-1</sup>)</b>			<b>Sucre/Acide (g.méq<sup>-1</sup>)</b>		
	<b>0j</b>	<b>17j</b>	<b>24j</b>	<b>0j</b>	<b>17j</b>	<b>24j</b>	<b>0j</b>	<b>17j</b>	<b>24j</b>	<b>0j</b>	<b>17j</b>	<b>24j</b>
<b>Témoin</b>	2,98	3,87	4,61	33,25	8,75	6,00	9,0	14,0	13,0	0,27	1,60	2,17
<b>B</b>	2,98	3,58	4,20	33,25	18,50	8,50	9,0	13,0	15,0	0,27	0,70	1,76
<b>D</b>	2,98	3,85	4,09	33,25	16,25	6,50	9,0	14,0	14,5	0,27	0,86	2,23
<b>G</b>	2,98	3,62	4,01	33,25	14,00	10,25	9,0	13,0	12,5	0,27	0,93	1,22
<b>H</b>	2,98	3,55	4,05	33,25	15,50	8,75	9,0	15,0	13,5	0,27	0,97	1,54

(\*) : A.T. = Acidité titrable

(\*\*) : E.S.S. = Extrait sec soluble

Pour toutes les mangues enrobées, nous avons également noté que l'acidité titrable diminue moins rapidement que celles des lots témoins (tableaux 26 et 27). L'enrobage G est le plus efficace sur cette caractéristique : 5 méq.100g<sup>-1</sup> pour les mangues jaunes et 10,25 méq.100g<sup>-1</sup> pour les mangues vertes, après 24 jours de stockage.

La transformation en glucose de l'amidon est une autre caractéristique importante de la maturation des fruits. Les principaux phénomènes sont, d'une part, l'hydrolyse et la disparition de l'amidon et, d'autre part, l'enrichissement en sucres solubles.

Au niveau de l'E.S.S. de la pulpe, nous avons remarqué que l'application d'enrobage n'a pas d'effet indésirable sur cette évolution (tableaux 26 et 27).

La composition chimique de la pulpe est un des paramètres indispensables pour évaluer la qualité gustative du fruit. Dans notre étude, le traitement d'enrobage n'a pas d'effets importants sur la composition biochimique des mangues 'Early Gold' point jaune et vertes à la fin de la période de stockage (12°C et 80% H.R.). Cela a également été noté lors d'études précédentes sur plusieurs fruits différents : pêche (Sümnü et Bayindirli, 1994), mandarine (Subramanyam *et al.*, 1970) ou orange (Hagenmaier et Baker, 1997).

**Tableau 28 : Teneur en alcool de la pulpe des mangues 'Early Gold' conservées à 12°C et à 80% H. R.**

<b>Echantillon</b>	<b>Teneur en éthanol (mg.100g<sup>-1</sup> de la pulpe)</b>	
	<b>Mangues jaunes</b>	<b>Mangues vertes</b>
<b>Départ (0j)</b>	0,82	1,00
<b>24j après traitement</b>		
<b>Témoin</b>	5,45	3,39
<b>B</b>	0,76	6,31
<b>D</b>	8,72	4,84
<b>G</b>	1,43	15,05
<b>H</b>	41,21	4,50

Nous avons analysé la teneur en éthanol de la pulpe des mangues au départ (0 jour) et à la fin de la période d'observation (24 jours). Le résultat obtenu est présenté dans le tableau 28. Nous avons constaté qu'il y avait une faible quantité d'éthanol dans la pulpe des fruits au départ (0,82 mg.100g<sup>-1</sup> pour les mangues point jaune et 1 mg.100g<sup>-1</sup> pour les mangues vertes). La teneur en éthanol augmente dans les lots après 24 jours de conservation. Pour les mangues point jaune, nous avons trouvé, pour l'enrobage H, une quantité d'éthanol plus importante que

pour les autres lots ( $41,21 \text{ mg.}100\text{g}^{-1}$ ). Quant aux mangues vertes, nous avons noté, pour l'enrobage G, une quantité d'éthanol plus importante que les autres lots ( $15,05 \text{ mg.}100\text{g}^{-1}$ ). Néanmoins, au cours des tests de dégustation, le jury n'a pas perçu le goût fermenté de la pulpe des mangues.

Dans notre étude, nous avons remarqué de petites quantités d'éthanol dans la pulpe des mangues 'Early Gold' au départ et à la fin de la période de stockage. Cela est en accord avec les résultats trouvés par Mannheim et Soffer (1996) pour les oranges (variété 'Valencia') traitées avec l'enrobage 'Natural Zivdar', Bank (1984a) pour les bananes (variété 'Valery') enrobées avec 'TAL-Prolong' et Dhalla et Hanson (1988) pour les mangues (variété 'Julie') traitées avec 'Prolong' à 0,75% et 1%.

## II.6. Test de dégustation de la mangue

Après la conservation, la qualité organoleptique des mangues 'Early Gold' est évaluée par des tests de dégustation sur les six caractéristiques principales de la pulpe (couleur, odeur, arôme, acidité, saveur sucrée et texture). Les notes données pour chaque caractéristique vont de 1 à 5 (1 : mauvais, 5 : très bon). Les résultats sont présentés dans le tableau 29. La note globale pour chaque lot est obtenue en faisant la somme des notes correspondant aux six caractéristiques étudiées. Trente est la note globale maximale.

**Tableau 29 : Notes du test de dégustation des mangues 'Early Gold' conservées à  $12^\circ\text{C}$  et à 80% H. R.**

Echantillon	Notes du test de dégustation (*)	
	Mangues jaunes	Mangues vertes
Témoin	15,52 ab	14,78 ab
B	24,31 bc	17,18 bc
D	19,18 ab	13,98 ab
G	16,32 ab	9,92 a
H	13,92 a	14,45 ab

\* pour une même colonne, les lots ayant la même lettre minuscule ne présentent pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) et ceux qui ont des lettres différentes présentent une différence significative.

Pour les mangues point jaune, nous avons constaté que les fruits enrobés avec B présentent une bonne appréciation (24,31) suivie par D (19,21), G (16,32), le témoin (15,52) et H (13,92). Nous avons également remarqué qu'il n'y a pas de différence significative sur les notes ( $P = 0,05$ ) entre les fruits enrobés et les fruits témoins pour les mangues point jaune (tableau 29).

L'enrobage H présente la plus faible note (13,92). Cela peut s'expliquer par la présence d'une quantité d'éthanol plus importante que les autres enrobages ( $41,21 \text{ mg.}100\text{g}^{-1}$ ). Malgré le fait que les mangues de ce lot ne présentent pas de goût fermenté, la présence d'une quantité assez importante d'éthanol peut être influencer le goût global du fruit.

Quant aux mangues vertes, les mangues enrobées avec B présentent aussi une bonne note (17,18). Les fruits du lot G portent la note la plus faible (9,92). Néanmoins, il n'y a pas de différence significative ( $P = 0,05$ ) entre les fruits enrobées et les fruits témoins (non traité) pour les mangues vertes (tableau 29).

Au niveau de la qualité organoleptique des mangues 'Early Gold' après la conservation, le test de dégustation montre que l'enrobages B conduit à une meilleure note pour les mangues point jaune et vertes (tableau 29). D'autre part, pour tous les fruits enrobés, nous ne remarquons pas, par rapport aux lots témoins, de différence significative ( $P = 0,05$ ). Ce qui est similaire aux résultats des analyses physico-chimiques dont nous avons déjà discuté.

## **CONCLUSION**

## CONCLUSION

Nous avons formé un panel de dégustation des fruits frais en évaluant le seuil de perception de chaque personne avec trois saveurs principales : amère, acide et sucrée. Le seuil de perception de ces saveurs est variable selon les dégustateurs. Pour les saveurs amère et acide, les dégustateurs peuvent les percevoir à partir de la solution la plus diluée ( $0,00525 \text{ g.l}^{-1}$  pour la saveur amère et  $0,13 \text{ g.l}^{-1}$  pour la saveur acide). Quant à la saveur sucrée, elle est perçue à partir de la dilution  $D_6$  ( $0,94 \text{ g.l}^{-1}$ ).

A température ambiante ( $19\text{-}22^\circ\text{C}$  et 56-60% d'H.R.), tous les enrobages étudiés peuvent limiter l'IR des mangues de variétés 'Kent' et 'Tommy Atkins' au cours de stockage. Ceci retarde la maturation des fruits de plusieurs jours par rapport aux lots témoins non enrobés.

Les enrobages B, E et F permettent de réduire la perte de poids des mangues. En effet, après 15 jours de traitement, l'enrobage B présente une perte de poids de 5,49% contre 9,11% pour le lot témoin. Par contre, les autres enrobages A, C, D, G et H n'ont pas d'influence significative sur la perte de poids.

Lorsque l'intensité respiratoire des fruits enrobés est ralentie, le développement des couleurs externe et interne, ainsi que l'évolution des fermetés externes et internes de ces fruits sont également plus ralenties.

A la fin de la période de conservation, nous avons constaté que les mangues enrobées avec A, C, E et F présentent un goût fermenté lors de la découpe des fruits.

Les quatre enrobages B, D, G et H ont donc été présélectionnés et les résultats ont été vérifiés à  $12^\circ\text{C}$  et 80% d'H.R. avec des mangues 'Early Gold' à deux stades différents de maturité. La diminution de l'I.R. des fruits enrobés est confirmée. La durée de stockage des fruits traités est bien prolongée de quelques jours et l'évolution de la couleur externe et interne ainsi que celle de la fermeté externe et interne des fruits enrobés est ralenti.

L'enrobage B montre une bonne propriété de barrière à la vapeur d'eau. Après 17 jours de stockage, il conduit à une perte de poids de 15,05% contre 19,4% pour le témoin (mangues jaunes).

Toutes les mangues présentent une faible quantité d'éthanol dans la pulpe après 24 jours de conservation. Toutefois, au niveau de la qualité organoleptique, le jury n'a pas perçu le goût fermenté. Les mangues des lots B présentent une bonne note : 24,31 pour les jaunes et 17,18 pour les vertes. Néanmoins, pour tous les fruits enrobés, nous ne constatons pas, par rapport aux lots témoins, de différence significative ( $P = 0,05$ ).

Les meilleurs résultats en terme de perte de poids et de qualité organoleptique ont été obtenus avec un enrobage à base de carnauba ('Tropical Fruit Coating 213').

Enfin, nous notons que l'application d'enrobage sur la mangue n'a pas d'effets nuisibles sur le changement physico-chimique de la pulpe du fruit dans tous les lots.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR (1995).** Contrôle de la qualité des produits alimentaires – Analyse sensorielle, 5<sup>e</sup> édition, Tour Europe, Paris, 133-141.
- AL ZAEMEY A. B., MAGAN N. and THOMPSON A. K. (1993).** Studies on the effect of fruit coating polymers and organic acids on growth of *Colletotrichum musae* in vitro and postharvest control of anthracnose of bananas. *Mycol. Res.*, 97(12) : 1463-1468.
- ASTM (1990).** Standard test method for water transmission of materials, E96-80, ASTM Book of Standards, 15(9) : 811-818. Cité par DONHOWE G. and FENNEMA O. (1994). Edible films and coatings characteristics, formation, definitions and testing methods. In: KROCHTA J. M., BALDWIN E. A. and NISPEROS-CARRIEDO M. O. (Eds), *Edible coatings and films to improve good quality*, Technomic Publishing Company, Inc., Switzerland, 1-24.
- AVENA-BUSTILLOS R. J. and KROCHTA J. M. (1993).** Water vapor permeability of Caseinate-Based edible films as affected by pH, calcium cross-linking and lipid content. *J. Food Sci.*, 58(4) : 904-907.
- AWORH O. C., NWANKWO C. F. and OLORUNDA A. O. (1991).** Control of postharvest losses in citrus under tropical conditions : effects of wax and fungicide. *Trop. Sci.*, 31 : 177-182.
- AYDT T. P., WELLER C. L. and TESTIN R. F. (1990).** Unpublished data. Clemson University, Clemson S. C. Cité par GENNADIOS A. and WELLER C. L. (1990). Edible films and coatings from wheat and corn proteins. *Food Technol.*, 44(10) : 63-69.
- BALDWIN E. A. (1994).** Edible coatings for fresh fruits and vegetables: past, present, and future. In : KROCHTA J. M., BALDWIN E. A. and NISPEROS-CARRIEDO M. O. (Eds), *Edible coating and films to improve good quality*, Technomic Publishing Company, Inc., Switzerland, 25-64.
- BALDWIN E. A., BURNS J. K., KAZOKAS W., BRECHT J. K., HAGENAMIER R. D., BENDER R. J. and PESIS E. (1999).** Effect of two coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. *Postharvest Biol. Technol.*, 17 : 215-226.
- BALDWIN E. A., NISPEROS M. O., CHEN X. and HAGENMAIER R. D. (1996).** Improving storage life of cut apple potato with edible coating. *Postharvest Biol. Technol.*, 9(2) : 151-163.
- BALDWIN E. A., NISPEROS-CARRIEDO M., SHAW P. E. and BURNS J. (1995).** Effect of coating and prolonged storage conditions on fresh orange flavor volatiles, degrees brix, and ascorbic acid levels. *J. Agric. Food Chem.*, 43 : 1321-1331.
- BANKER G. S., GORE A. Y. and SWARBRICK J. (1966).** Water vapour transmission properties of free polymer films. *J. Pharm. Parmac.*, 18 : 457. Cité par KESTER J. J. and FENNEMA O. R. (1986). Edible films and coatings : A Review. *Food Technol.*, 47-59.
- BANKS N. H. (1984a).** Some effects of Tal-prolong coating on ripening bananas. *J. Exp. Botany*, 35(150) : 127-137.
- BANKS N. H. (1984b).** Studies of the banana fruit surface in relation to the effects of Tal-prolong coating on gaseous exchange. *Scientia Horticulturae*, 24 : 279-286.
- BANKS N. H. (1985).** Response of banana fruit to Pro-long coating at different times relative to the initiation of ripening. *Scientia Horticulturae*, 26 : 149-157.
- BAUCHOT A. D. and JOHN P. (1995).** Sucrose ester-based coatings formulated with food compatible antioxidants in the prevention of superficial scald in stored apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120(3) : 491-496.
- BHARDWAJ C. L., HAYDN F.J. and IAN H. S. (1984).** A study of the migration of externally applied sucrose esters of fatty acids through the skins of banana, apple and pear fruits. *J. Sci. Food Agric.*, 35 : 322-331.

- BOE A. A. and SALUNKHE D. K. (1967).** Ripening tomatoes : ethylene, oxygen and light. *Economic Bot.*, 21 : 312.
- BOMPEIX G. et MORGAT F. (1977).** Cires, anti-échaudures, fongicides et conservation des pommes. *Fruits*, 32(3) : 189-195.
- BRUBAKER D. W. and KAMMERMAYER K. (1953).** Flow of gases through plastic membranes. *Ind. Eng. Chem.*, 45 : 1148. Cité par KESTER J. J. and FENNEMA O. R. (1986). Edible films and coatings : A review. *Food Technol.*, 47-59.
- BUESCHER R. W. (1979).** Influence of carbon dioxide on postharvest ripening and deterioration of tomatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 104 : 545.
- BUFLER G. (1984).** Ethylene-enhanced 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase activity in ripening apples. *Plant Physiol.*, 75 : 192-195.
- BUFLER G. (1986).** Ethylene-promoted conversion of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene in peel apple at various stages of fruit development. *Plant Physiol.*, 80 : 539-543.
- BURDON J. N. (1997).** Postharvest Handling of Tropical and Subtropical Fruit for Export. In : MITRA S. K. (Ed), *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*, CAB International, New York, N. Y., 1-20.
- BURG S. P., APELBAUM A., EISINGER W. and GOO KANG V. (1971).** Physiology and mode of action of ethylene. *Hort Science*, 6(4) : 359-364.
- CARRILLO-LOPEZ A., VALDEZ TORRES J. B., ROJAS VILLEGAS R., YAIAH E. M. and GOMEZ J. A. (1995).** Ripening and quality of mango fruit as affected by coating with 'Semperfresh'. *Acta Horticulturae*, 370 : 203-216.
- CASTRILLO M. and BERMUDEZ A. (1992).** Postharvest ripening in wax coated 'Bocado' mango. *Inter. J. Food Sci. Technol.*, 27 : 457-463.
- CHALUTZ E., DEVAY J. E. and MAXIE E. C. (1969).** Ethylene isocoumarin formation in carrot root tissue. *Plant Physiol.*, 44 : 235.
- CHAPLIN G. R. (1989).** Advances in postharvest physiology of mango. *Acta Horticultura*, 231 : 639-648. Cité par GOMER-LIM M. A. (1997). Postharvest physiology. In : LITZ R. E. (Ed), *The Mango Botany, Production and Uses*, CAB International, N. Y., USA, 425-446.
- CHEAL L. H., PAGE B. B. G. and SHEPHERD R. (1997).** Chitosan coating for inhibition of sclerotinia rot of carrots. *New Zealand J. Crop Hort. Sci.*, 25 : 89-92.
- CHUN D., MILLER W.R. and RISSE L. A. (1990).** Benefits of postharvest application of a biocide (thiabendazole) and coating on the storage of 'Minneola' tangelos. *Trop. Sci.*, 30 : 241-248.
- COMBRINK J. C., DE KOCK S. L. and VAN EEDEN C. J. (1990).** Effect of postharvest treatment and packaging on the keeping quality of fresh guava fruit. *Acta Horticulturae*, 275(2) : 639-645.
- CUQ B., GONTARD N. and GUILBERT S. (1995).** Edible films and coatings as active layers, In : ROONEY M. L. (Ed), *Active Food Packaging*, Chapman & Hall-Glagow-UK, 111-141.
- CUQ B., GONTARD N., CUQ J. L. and GUILBERT S. (1996a).** Theological model for the mechanical properties of myofibrillar protein based films. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 44 : 1116-1122.
- CUQ B., GONTARD N., CUQ J.L. and GUILBERT S. (1996b).** Stability of myofibrillar protein based bio-packaging during storage. *J. Food Technol.*, 29 : 344-348.

- DALAL V. B., EIPESON W. E. and SINGH N. S. (1971).** Wax emulsion for fresh fruits and vegetables to extend their storage life. *Indian Food Packer (IND)*, 25 (5) : 9-15.
- DANZART M. (1994).** Les plans d'expériences en analyse sensorielle. *Cours pédagogique*, ENSIA, Massy-Montpellier-Lille, 37p.
- DEWETTINCK K., MESSENS W., DEROO L. and HUYGHEBAERT A. (1999).** Agglomeration tendency during top-spray fluidized bed coating with gelatin and starch hydrolysate. *Food Sci. Technol.*, 32(2) : 102-106.
- DHALLA R. and HANSON S. W. (1988).** Effect of permeable coating on the storage life of fruits. II. Pro-long treatment of mangoes (*Mangifera indica* L. cv. Julie). *Inter. J. Food Technol.*, 23(1) : 107-112.
- DIAC-SOBAC R., DE LA CRUZ J. ALMA VAZQUEZ LANA, BERISTAIN C. I. and GARCIA H. S. (1997).** Evaluation of softening and associated enzyme activities during the ripening of coated 'Manila' mangoes. *J. Hort. Sci.*, 72(5) : 749-753.
- DIAZ-SOBAC R., LUNA A. V., BERISTAIN C. I., DE LA CRUZ J. and GARCIA H. S. (1996).** Emulsion coating to external postharvest life of mango (*Mangifera indica* cv. Manila). *J. Food Proc. Preser.*, 20 : 191-202.
- DILLEY D. R. (1978).** Approaches to Maintenance of Postharvest Integrity, *J. Food Biochem.*, 2 : 235. Cité par SALUNKHE D. K., BOLIN H. R. and REDDY N. R. (1991). Postharvest physiology. In : SALUNKHE D. K. (Ed), *Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables*, Vol. 1 : *Fresh Fruits and Vegetables*, CRC Press, Inc., N. W., Boca Raton, Florida, 254.
- DONHOWE G. and FENNEMA O. (1994).** Edible films and coatings characteristics, formation, definitions and testing methods. In : KROCHTA J. M., BALDWIN E. A. and NISPEROS-CARRIEDO M. O. (Eds), *Edible coating and films to improve good quality*, Technomic Publishing Company, Inc., Switzerland, 1-24.
- DRAKE S. R., FELLMANN J. K. and NELSON J. W. (1987).** Postharvest use of sucrose polyesters for extending the shelf-life of stored 'Golden Delicious' apples. *J. Food Sci.*, 52(5) : 1283-1285.
- EDWARDS M. and BLENNERHASSETT R. (1994).** Evaluation of wax to extend the postharvest storage life of 'Honeydew' melons. *Aus. J. Exp. Agric.*, 34(2) : 427-429.
- EL GHIAOUTH A., ARUL J., PONNAMPALAM R. and BUOLET M. (1991).** Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. *J. Food Sci.*, 56(6) : 1618-1620.
- EL GHIAOUTH A., ARUL J., RENIER J. and ASSELIN A. (1992a).** Antifungal activity of chitosan on two postharvest pathogens of strawberry fruits. *Phytopathology*, 82(4) : 398-402.
- EL GHIAOUTH A., PONNAMPALAM R., CASTAIGNE F. and ARUL J. (1992b).** Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes. *HortScience*, 27(9) : 1016-1018.
- FAO (1998).** *Production Yearbook*, 52 : 161-162.
- FUCHS Y., PESIS E. and ZAUBERMAN G. (1980).** Changes in amylase activity, starch and sugar contents in mango fruit pulp. *Scientia Horticulturae*, 13 : 155-160.
- GENNADIOS A., WELLER C. and TESTIN R. F. (1993a).** Modification of physical and barrier properties of edible wheat gluten-based films. *Cereal chemistry*, 70(4) : 426-429.
- GENNADIOS A., WELLER C. L. and TESTIN R. F. (1993b).** Temperature effect on oxygen permeability of edible protein-based films. *J. Food Sci.*, 58 : 212-219.
- GOBURDHUN S. (1994).** Chemical ripening dwarf 'Cavendish' bananas (cv Naine). I. Effects of ethel and ethylene on ripening. II. Extension of self-life of ripened fruits. *Revue Agricole et Sucrerie de l'Ile-Maurice*, 73(3) : 36-43.

- GOMER-LIM M. A. (1997).** Postharvest physiology. In : LITZ R. E. (Ed), *The Mango Botany, Production and Uses*, CAB International, N. Y., USA, 425-446.
- GONTARD N. and RING S. (1996).** Edible wheat gluten film : Influence of water content on glass transition temperature. *J. Agric. Food Chem.*, 44 : 3474-3478.
- GONTARD N., DUCHEZ C., CUQ J. L. and GUILBER S. (1994).** Edible composite films of wheat gluten and lipids : Water vapour permeability and other physical. *Inter. J. Food Sci. Technol.*, 29 : 39-50.
- GONTARD N., GUILBER S. and CUQ J. L. (1992).** Edible wheat films : Influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. *J. Food Sci.*, 58(1) : 190-195.
- GONTARD N., GUILBER S. and CUQ J. L. (1993).** Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapour barrier properties of an edible wheat gluten film. *J. Food Sci.*, 58(1) : 206-210.
- GONTARD N., MARCHESEAU S., CUQ J.L. and GUILBER S. (1995).** Water vapour permeability of edible belayed films of wheat gluten and lipids. *Inter. J. Food Sci. Technol.*, 30 : 49-56.
- GONTARD N., THIBAULT R. CUQ B. and GUILBERT S. (1996).** Influence of relative humidity and film composition on oxygen and carbon dioxide permeabilities of edible film. *J Agric. Food Chem.*, 44 : 1064-1069.
- GREENER I. K. and FENNEMA O. (1989a).** Barrier properties and surface characteristics of edible, bilayer films. *J. Food Sci.*, 54(6) : 1393-1399.
- GREENER I. K. and FENNEMA O. (1989b).** Evaluation of edible, bilayer films for use as moisture barriers for food. *J. Food Sci.*, 54(6) : 1400-1407.
- GUILBERT S. (1986).** Technology and application of edible protective films. In : MATHLOUTHI M. (Ed), *Food Packaging and Preservation*, Elsevier Applied Science Published, New York, 371-394.
- GUILBERT S. et BIQUET B. (1989).** Les films et enrobages commestibles. Dans : BUREAU G. & MULTON J. J. (Eds), *L'emballage des Denrées Alimentaires de Grande Consommation*, Tech. & Doc., Lavoisier, APRIA, Paris, 320-359.
- GUILBERT S., GONTARD N. and GORRIS G. M. (1996).** Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings. *Food Sci. Technol.*, 29 : 10-17.
- HAGENMAIER R. D. and BAKER R. A. (1993).** Reduction in gas exchange of citrus fruit by wax coatings. *J. Agric. Food Chem.*, 41(2) : 283-287.
- HAGENMAIER R. D. and BAKER R. A. (1997).** Edible coating from Morpholine-Free wax microemulsion. *J. Agric. Food Chem.*, 45 : 349-352.
- HAGENMAIER R. D. and BAKER R.A. (1995).** Layer coatings to control weight loss and preserve gloss of citrus fruit. *HortScience*, 30(2) : 296-298.
- HAGENMAIER R. D. and SHAW P. E. (1992).** Gas permeability of fruit coating waxes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117 : 105-109.
- HALLMAN G. J. and FOOS J. F. (1996).** Coating combined with dimethoate as a quarantine treatment against fruit flies (Diptera: *Tephritidae*). *Postharvest Biol. Technol.*, 7 : 177-181.
- HALLMAN G. J., McGUIRE R. G., BALDWIN E. A. and CAMPBELL C. A. (1995).** Mortality of feral Caribbean fruit fly (Diptera: *Tephritidae*) immatures in coated guavas. *J. Eco. Entomol.*, 88(5) : 1353-1355.
- HALLMAN G. J., NISPEROS-CARRIEDO M. O., BALDWIN E. and CAMPBELL (1994).** Mortality of Caribbean fruit fly (Diptera: *Tephritidae*) immatures in coated fruits. *J. Eco. Entomol.*, 87(3) : 752-757.

**HARD N. F., SHARMA S. C., WOLFE R. and FRENKEL C. (1974).** Ethylene induced isoperoxidase changes during fiber formation in postharvest asparagus. *J. Food Sci.*, 39: 452.

**HARDENBURG R. E., WATADA A. E. and WANG C. Y. (1986).** The Commercial Storage of Fruits, Vegetables and Florist and Nursery Stocks. *Agriculture Handbook*, n°66, USDA. Cité par SALUNKHE D. K., BOLIN H. R. and REDDY N. R. (1991). Postharvest physiology. In : SALUNKHE D. K. (Ed), *Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables, Vol. 1 : Fresh Fruits and Vegetables*, CRC Press, Inc., N. W., Boca Raton, Florida, 49-50.

**HARTMANN C. (1992).** Hartmann C. (Ed) *La sénescence des végétaux*, Collection Méthodes, Hermann, Paris, 159p.

**HERALD T. J., GNANASAMBANDAM R., MCGUIRE B. H. and HACHMEISTER K. A. (1995).** Degradable wheat gluten films : preparation, properties and applications. *J. Food Sci.*, 60(°5) : 1147-1150, 1156.

**HUBER D. J. (1983).** Cell wall hydrolase and fruit softening. *Hort. Rev.*, 5 : 169-219.

**HUDDAR A. G., BHARALI B. C. and THIMMARAJU K. R. (1987).** Note on extension of storage life of mango fruits by Tal-prolong. *Acta Horticulturae*, 231 : 668-669.

**JANGCHUD A. and CHINNAN M. S. (1999).** Properties of peanut protein film : sorption isotherm and plasticizer effect. *Food Sci. Technol.*, 32(2) : 89-94.

**JOBLING J., McGLOSSON W. B. and DILLEY D. R. (1991).** Induction of ethylene synthesizing competency Granny Smith apple by exposure to low temperature in air. *Postharvest Biol. Technol.*, 1 : 111-118.

**JOSEPH K. and AWORH O. C. (1992).** Postharvest treatment of 'Wild' mango for improved shelf life. *Food Chem.*, 44 : 45-48.

**JOYCE D. C., SHORTER A. J. and JONES P. N. (1995).** Effect of delayed film wrapping and waxing on the shelf life of avocado fruit. *Aus. J. Exp. Agri.*, 35 : 657-659.

**KADER A. A. (1985).** Ethylene induced senescence and physiological disorders in harvested horticultural crops, *HortScience*, 20 : 54.

**KADER A. A. (1987).** Respiration and gas exchange of vegetables. In : WEICHMANN J. (Ed), *Postharvest Physiology of Vegetables*, Marcel Dekker, Inc., New York, 25-43.

**KADER A. A., KASMURE R. F., MITCHELL F. G., REID M. S., SOMMER N. F. and THOMPSON J. F. (1985).** Postharvest Technology of Horticultural Crops. *University of California*, Davis. Cité par SALUNKHE D. K., BOLIN H. R. and REDDY N. R. (1991). Postharvest physiology. In : SALUNKHE D. K. (Ed), *Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables, Vol. 1 : Fresh Fruits and Vegetables*, CRC Press, Inc., N. W., Boca Raton, Florida, 51.

**KALRA S. L., TANDON D.K and LOHANI H. C. (1988).** Ripening of wax coated 'Dashehari' mango during storage. *Ind. Food Packer*, 42(5) : 7-11.

**KESTER J. J. and FENNEMA O. (1989a).** An edible film of lipids and cellulose ethers : Barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. *J. Food Sci.*, 54(6) : 1383-1389.

**KESTER J. J. and FENNEMA O. (1989b).** An edible film of lipids and cellulose ethers : Performance in a model frozen-food system. *J. Food Sci.*, 54(6) : 1390-1392.

**KESTER J. J. and FENNEMA O. R. (1986).** Edible films and coatings : A review. *Food Technol.*, 47-59.

**KETSA S. and PRABHASAVAT T. (1992).** Effect of skin coating on shelf life and quality of 'Nang Klangwan' mangoes. *Acta Horticulturae*, 321(2) : 764-770.

**KHADER S. E .S .A., TANDON D. K. and KALRA S. K. (1992).** Epicuticular wax and lenticel changes during development of mango cv. Dashehari. *Indian. J. Hort.*, 49(2) : 165-168.

- KNEE M., LOONEY N. E., HATFIELD S. G. S. and SMITH S. M. (1983).** Initiation of rapid ethylene synthesis by apple fruits in relation to storage temperature. *J. Exp. Bot.*, 34 : 1207-1212.
- KREMER-KOHNE S. and LONSDALE J. H. (1990).** Maintaining market quality of fresh litchis during storage. Part 1 : Control browning. *Litchi Yearbook South African Litchi Growers' Association*, 3 : 15-17.
- KRISHNALIAH J., SATYAPRASAD C., SINGH T. G., THIRUTHAIAH V. and DAVE B. (1985).** Protection of banana fruit using food grade fruit coating. *Indian. J. Hort.*, 42(1&2) : 136-138.
- KRISHNAMURTHY S. (1989).** Effects of Tal-prolong on shelf life and quality attributes of mango. *Acta Horticulturae*, 231 : 675-678.
- KUMAR N. (1997).** Physico-chemical characteristics of some South and West Indian mangoes. *Haryana J. Hort. Sci.*, 26(1&2) : 99-100.
- KUMAR R.; KAUSHIK R. A. and CHHARIA A. S. (1992).** Effect of postharvest treatments on the quality of mango during storage. *Haryana J. Horti. Sci.*, 21(1-2) : 46-55.
- KUMINS C. A. (1965).** Transport through polymer films. *J. Polymer Sci.*, Part C, 10 : 1. Cité par KESTER J. J. and FENNEMA O. R. (1986). Edible films and coatings : A review. *Food Technol.*, 47-59.
- LAROUSSILHE (de) F. (1980).** René Coste (XXIX) (Ed), *Le mangue : techniques agricoles et productions tropicales*. G-P Maisonneuve & Larose, Paris (V<sup>e</sup>), 195-222.
- LAU O. L. (1998).** Effect of growing season, harvest maturity, waxing, low O<sub>2</sub> and elevated CO<sub>2</sub> on flesh browning disorders in 'Braeburn' apples. *Postharvest Biol. Technol.*, 14 : 131-141.
- LAU O. L. and MEHERIUK M. (1994).** The effect of edible coatings on storage quality of 'McIntosh', 'Delicious' and 'Spartan' apples. *Canada J. Plant Sci.*, 847-852.
- LAVILLE E. (1994).** (Ed), *La protection des fruits tropicaux après récolte*, CIRAD-COLEACP, Tec. & Doc.-Lavoisier, 190p.
- LIEBERMAN M. (1979).** Biosynthesis and action of ethylene. : Annu. Rev., *Plant Physiol.*, 30 : 533-591.
- LOUGHEED E. C., MURR D. P. and TOIVONEN P. M. A. (1987).** Ethylene and nonethylene volatiles. In : WEICHMANN J. (Ed), *Postharvest Physiology of Vegetables*, Marcel Dekker, Inc., New York, 255-276.
- LYONS J. M. and BREIDENBACH (1987).** Chilling injury. In : WEICHMANN J. (Ed), *Postharvest physiology of vegetables*, Marcel Dekker, Inc., New York, 305-326.
- MAINNHEIM C. H. and SOFFER T. (1996).** Permeability of different wax coatings and their effect on citrus fruit quality. *J. Agri. Food Chem.*, 44 : 919-923.
- MARCELLIN P. (1986).** Conservation des fruits en atmosphère contrôlée. Situation actuelle. *Revue Générale du Froid*, 76 : 155-159. Cité par PECH J. C.; BALAGUE C.; LATCHE A. and BOUZAYEN M. (1994). Postharvest physiology of climacteric fruits recent developments in biosynthesis and action of ethylene. *Sciences des aliments*, 14 : 3-15.
- MARTINEZ-JAVEGA J. M., CUQUERELLA J., del RIO M. A., MATEROS M. and del RIO M. A. (1991).** Coating treatments in postharvest behaviour of oranges. Technical innovations in freezing and refrigeration of fruits and vegetables, vol. 79-83, Paper presented at a conference held in Davis, California, USA, 9-12 July, 1989 - Banque données CAB -1992.
- MATHUR P. B. and SRIVASTAVA H. C. (1955).** Effect of skin coatings on storage behavior of mangoes. *Food Res.*, 20: 559-566. Cité par KETSA S. and PRABHASAVAT T. (1992). Effect of skin coating on shelf life and quality of 'Nang Klangwan' mangoes. *Acta Horticulturae*, 321(2) : 764-770.

- MATURA T.** (1997). Citrus. In : MITRA S. K. (Ed), *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*, CAB International, New York, N. Y., 21-46.
- MAYNES J. R. and KROCHTA J. M.** (1994). Properties of edible films from total milk protein. *J. Food Sci.*, 59(4) : 909-911.
- McGUIRE R. G.** (1994). Application of *Candida guillermondii* in commercial citrus coatings for biocontrol of *Penicillium digitatum* on grapefruits. *Biogical Control*, 4(1) : 1-7.
- McGUIRE R. G.** (1997). Market quality of guavas after hot water quarantine treatment and application of carnauba wax coating. *HortScience*, 32(2) : 2271-274.
- McGUIRE R. G. and HALLMAN G. J.** (1995). Coating guavas with cellulose or Carnauba based emulsion interferes with postharvest ripening. *Hortscience*, 30(2) : 294-295.
- McHUGH T. H. and KROCHTA J. M.** (1994a). Dispersed phase particle size effects on water vapor permeability of whey protein-beeswax edible films. *J. Food Proc. Preser.*, 18(3) : 173-188.
- McHUGH T. H. and KROCHTA J. M.** (1994b). Milk-protein-based edible films and coatings. *Food Technol.*, 48(1) : 97-103.
- McMILLAN R. T., SPALDING D. H. and REEDER W. F.** (1987). Effectiveness of various postharvest treatment for mango decay control. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 100(2) : 7-9.
- MEDLICOTT A. P. and THOMPSON A.K.** (1985). Analysis of sugars and organic acid in ripening mango fruits (*Mangifera indica* L. var. Keitt) by high performance liquid chromatography. *J. Sci. Food Agric.*, 36 : 561-566.
- MEDLICOTT A. P., BHOGOL M. and REYNOLDS S. B.** (1986). Changes in peel pigmentation during ripening of mango fruit (*Mangifera indica* var. Tommy Atkins). *Ann. Applied Biol.*, 109 : 651-656.
- MEDLICOTT A. P., SIGRIST J. M. REYNOLDS S. B. and THOMPSON A .K.** (1987). Effect of ethylene and acetylene on mango fruit ripening. *J. Appl. Biol.*, 111 : 439-444.
- MEHERIUK M.** (1990). Skin color in 'Newtown' apples treated with calcium nitrate, urea, diphenilamine and a film coating. *HortScience*, 25(7) : 775-776.
- MITCHAM E. J. and McDONALD R. E.** (1992). Cell wall modification during ripening of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 117(6) : 919-924.
- MITRA S. K. and BALDWIN E. A.** (1997). Mango. In : MITRA S. K. (Ed), *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*, CAB International, New York, N. Y., 85-122.
- MOHAMED S., KYI K. M. M., IDRIS A. Z., YUSOF S. and OSMAN A** (1992). Effects of various surface treatments (palm oil, liquid paraffin Semperfresh or starch surface coating and LDPE wrapping) on the storage life of guava at 10°C. *Acta Horticulturae*, 321(2) : 786-794.
- MORGA N. S., LUSTRE A. O., TUNAC M. M., BALOGOT A. H. and SORIANO M. R.** (1979). Physicochemical changes in Philippines Caraboa mangoes during ripening. *Food Chem.*, 4 : 225-234.
- MORIN F., RIGAULT C. et HARTMANN C.** (1985). Conséquences d'un séjour au froid sur le métabolisme de l'éthylène au cours de la maturation de la poire Passe Crassane après récolte. *Physiol. Vég.*, 32 : 353-359.
- MURATA T.** (1997). Citrus. In : MITRA S. K. (Ed), *Postharvest Physiology and Storage of Tropical and Subtropical Fruits*, CAB International, New York, N. Y., 21-46.
- MYERS A. W., MEYER J. A., ROGERS C. E., STANNETT V. and SZWARC M.** (1961). Studies on the gas and vapor permeability of plastic films and coated papers. Part IV. The permeation of water vapor, TAPPI, 44(1) : 58-64. Cité par DONHOWE G. and FENNEMA O. (1994). Edible films and coatings characteristics,

formation, definitions and testing methods. In : KROCHTA J. M., BALDWIN E. A. and NISPEROS-CARRIEDO M. O. (Eds), *Edible coating and films to improve good quality*, Technomic Publishing Company, Inc., Switzerland, 1-24.

**NAKASONE H. Y. and PAULL R. E. (1998).** Mango. In : NAKASONE H. Y. and PAULL R. E. (Eds), *Tropical Fruits*, CAB International, London, UK, 208-238.

**NARAIN N., BORA P. S., NARAIN R. and SHAW P. E. (1998).** Mango. In : SHAW P. E., CHAN H. T. and NAGY S. (Eds), *Tropical and subtropical fruits*, AGSCIENCE, Inc., Florida, USA.

**NARAYANA C. K., PAL R. K. and ROY S. K. (1996).** Effect of pre-storage treatments and temperature regime on shelf life and respiration behavior of ripe Baneshan mango. *J. Food Sci. Technol.*, 33(1) : 79-82.

**NISPEROS-CARRIEDO M. O., BALDWIN E. A. and SHAW P. E. (1991).** Development of an edible coating for extending postharvest life of selected fruits and vegetables. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 104 : 122-125.

**OLORUNDA A. O. and AWORH O. C. (1984).** Effects of Tal-prolong, a surface-coating agent, on the shelf life and quality attributes of plantain. *J. Sci. Food Agric.*, 325 : 573-578.

**PARIKH H. R., NAIR G. M. and MODI V. V. (1990).** Some structural changes during ripening of mangoes (*Mangifera indica* var. Alphonso) by abscisic acid treatment. *Ann. Bot.*, 65 : 121-127.

**PARK H. J., BUNN J. M., VERGANO P. J. and TESTIN R. F. (1994a).** Gas permeation and thickness of the sucrose polyesters, Semperfresh coatings on apples. *J. Food Proc. Preser.*, 18 : 349-358.

**PARK H. J., CHINNAN M. S. and SHEWFELT R. T. (1994b).** Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *J. Food Sci.*, 59(3) : 568-570.

**PECH J. C., BALAGUE C., LATCHE A. and BOUZAYEN M. (1994).** Postharvest physiology of climacteric fruits recent developments in biosynthesis and action of ethylene. *Sciences des aliments*, 14 : 3-15.

**PESIS E. and MARINANSKY R. (1992).** Influence of fruit coating on papaya quality. *Acta Horticulturae*, 321(2) : 659-666.

**PETRACEK P. D. and MONTALVO L. (1997).** The degreening of 'Fallglo' tangerine. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 112 : 47-552.

**PRUSKY D., FUCHS Y., KOBILER L., ROTH L., WEKSLER A., SHALOM Y., FALLIK E., ZAUBERMAN G., PESIS E., AKERMAN M., YKUTIELY O., WEISBLUM A., REGEV R. and ARTES L. (1999).** Effect of hot brushing, prochloraz treatment and waxing on the incidence of black spot decay caused by *Alternaria alternata* in mango fruits. *Postharvest Biol. Technol.*, 15(2) : 165-174.

**ROTHAN C., GAUILLARD F., MORAS P. et NICOLAS J. (1990).** Mode d'action du CO<sub>2</sub> sur la synthèse de l'éthylène chez le kiwi. Dans: La maîtrise de la qualité des fruits frais, 9<sup>e</sup> colloque sur les recherches fruitières, Avignon, 4, 5 et 6 décembre, INRA-CTIFL. Cité par PECH J. C., BALAGUE C., LATCHE A. and BOUZAYEN M. (1994). Postharvest physiology of climacteric fruits recent developments in biosynthesis and action of ethylene. *Sciences des aliments*, 14 : 3-15.

**SAFTNER R. A. and CONWAY W. S. (1998).** Effects of postharvest calcium and fruit coating treatment on postharvest life, quality maintenance and fruit surface injury in 'Golden Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 123(2) : 294-298.

**SAHNI C. K. and KHURDIYA D. S. (1989).** Physico-chemical changes during ripening in 'Dashehari', 'Chausa', 'Neelum' and 'Amrapali' mango. *Indian. Food Packer*, 43(5) : 5-10.

**SALMAH Y., MAZIAH S., WAN MOHAMAD W. O., ROSLI M., SITI HAJAR A. and KHOO KHAY C.** (1992). Physico-chemical response of papaya to waxing. Recent advances in horticultural science in the tropics, *Universiti Pertanian Malaysia, Selangor, Malaysia*, 7-9 Aug., 292 : 223-230.

**SALUNKHE D. K., BOLIN H. R. and REDDY N. R.** (1991). Postharvest physiology. In : SALUNKHE D. K. (Ed), *Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables, Vol. 1 : Fresh Fruits and Vegetables*, CRC Press, Inc., N. W., Boca Raton, Florida, 45-63.

**SARGENT S. A., BRECHT J. K., ZOELLNER J. J., BALDWIN E. A. and CAMPBELL C. A.** (1994). Edible reduce surface drying of peeled carrots. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 107 : 245-247.

**SAUL S. H., MAU R. F. L., KOBAYASHI R. M., TSUDA D. M. and NISHINA M. S.** (1987). Laboratory trials of Methoprene impregnated waxes for preventing survival of adult oriental fruit flies from infested papayas. *J. Eco. Entomol.*, 80(2) : 494-496.

**SELVARAJ Y., KUMAR R. and PAL D. K.** (1989). Changes in sugars, organic acids, amino acids, lipid constituents and aroma characteristics of ripening mango (*Mangifera indica L.*) fruit. *J. Food Sci. Technol.*, 26 : 308-313.

**SHU H., ALBRIGO L. G. and FELLERS P. L.** (1987). Effects of harvest date and type of film wrapping on keeping quality of Florida grapefruit. *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, 100 (2&3) : 13-18.

**SINGH U. B., MOHAMMED S. and MOHAMMED S.** (1997). Comparative efficacy of wax emulsion and rice starch on the post-harvest shelf-life on fully ripe guava fruit. *J. Food Sci.*, 34(6) : 519-522.

**SRINIVAS R. N., VENKATESH REDDY T., RAVI P. C., LALITH ACHOTH and CHINNAPPA REDDY B. V.** (1997). Postharvest loss assessment of 'Totapuri' and 'Alphonso' mangoes. *J. Food Sci. Technol.*, 34(1) : 70-72.

**SRIVASTAVA H. C., NARASIMHAN P., KAPUR N. S., SREENIVASAN A. and SUBRAHMANYAM V.** (1969). Role of respiration on development of carotenoids during ripening of mangoes (*Mangifera indica L.*) and tomatoes (*Lycopersicum esculentum L.*). In : LEITCH J. M. (Ed), *Proceedings of the First International Congress of Food Science and Technology*, vol. 1, London, Gordon & Breach Science Publisher. Cité par DHALLA R. and HANSON S. W. (1988). Effect of permeable coating on the storage life of fruits. II. Pro-long treatment of mangoes (*Mangifera indica L.* cv. Julie). *Inter. J. Food Technol.*, 23(1) : 107-112.

**SRIYOOK S., SIRIATIWAT S. and SIRIPHANICH J.** (1994). Durian fruit dehiscence-water status and ethylene. *HortScience*, 29(10) : 1195-1198.

**SUBRAMANYAM H., LAKSHMINARAYANA S., MOORTHY N. V. N. and HADRA N. V.** (1970). The effect of isopropyl N-phenyl carbamate and fungicidal wax coatings on 'Coorg' mandarins to control spoilage. *Trop. Sci.*, 21(4) : 307-313.

**SUBRAMANYAM H., MOORTHY N. V. H., DALAL V. B. and SRIVASTAVA H. C.** (1962). Effect of fungicidal wax coating with or without growth regulator on the storage behavior of mangoes. *Food Sci.*, 11 : 236-239. Cité par DHALLA R. and HANSON S. W. (1988). Effect of permeable coating on the storage life of fruits. II. Pro-long treatment of mangoes (*Mangifera indica L.* cv. Julie). *Inter. J. Food Technol.*, 23(1) : 107-112.

**SUBRAMANYAM K. V.** (1986). Postharvest losses in horticulture crops. An appraisal, Agriculture Situation in India, 41(3) : 349. Cité par SRINIVAS R. N., VENKATESH REDDY T., RAVI P. C., LALITH ACHOTH and CHINNAPPA REDDY B. V. (1997). Postharvest loss assessment of 'Totapuri' and 'Alphonso' mangoes. *J. Food Sci. Technol.*, 34(1) : 70-72.

**SUBRAMANYAM H., GOWRI S. and KRISHNAMURTHY S.** (1976). Ripening behaviour of mango fruits graded on specific gravity basis. *J. Food Sci. Technol.*, 13 : 84-86.

**SUMNU G. and BAYINDIRLI L.** (1994). Effects of Semperfresh™ and Johnson™ fruit coatings on post-storage quality of 'Ankara' pears. *J. Food Proc. Preser.*, 18(3) : 189-199.

- SUMNU G. and BAYINDIRLI L. (1995).** Effects of sucrose polyester coating on fruit quality of apricots. *J. Sci. Food Agric.*, 67 : 537-540.
- TUCKER G. A. (1993a).** Respiration and energy. In : SEYMOUR G. B., TAYLOR J. E. and TUCKER G. A. (Eds), *Biochemistry of Fruit Ripening*, Chapman & Hall, London SE1 8HN, 3-8.
- TUCKER G. A. (1993b).** Texture Changes. In : SEYMOUR G. B., TAYLOR J. E. and TUCKER G. A. (Eds), *Biochemistry of Fruit Ripening*, Chapman & Hall, London SE1 8HN, 17-23.
- VASQUEZ-SALINAS C. and LAKSHMINARAYANA S. (1985).** Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage temperatures. *J. Food Sci.*, 50 : 1646-1648.
- WEICHEMANN J. (1987).** Low oxygen effects. In : WEICHMANN J. (Ed), *Postharvest physiology of vegetables*, Marcel Dekker, Inc., New York, 231-237.
- WILLS R., McGLOSSON B., GRAHAM D. and JOYCE D. (1998).** WILLS I. (Ed), *Postharvest, An Introduction to the Physiology & Handling of Fruit, Vegetables & Ornamentals*, CAB International, Hyde Park Press, Adelaide, Australia, 262p.
- YANG C. C. and CHINNAN M. S. (1987).** Modeling of color development of tomatoes in modified atmosphere storage. *Trans. ASAE*, 30(2) : 548. Cité par PARK H. J., CHINNAN M. S. and SHEWFELT R. T. (1994). Edible coating effects on storage life and quality of tomatoes. *J. Food Sci.*, 59(3) : 568-570.
- YU Y. B., ADAMS D. O. and YANG S. F. (1980).** Inhibition of ethylene production by 2,4-dinitrophenol and high temperature. *Plant Physiol.*, 66 : 286-290.
- ZHANG D. and QUANTICK P. C. (1997).** Effect of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 12 : 195-202.
- ZHANG D. and QUANTICK P. C. (1998).** Antifungal effects of chitosan coating on fresh strawberries and raspberries during storage. *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, 73(6) : 763-767.
- ZHANG D., QUANTICK P. C., WARREN P. J., ZHANG D. L., CHEN F., LIU S. X., LI Y. B., YIANG Y. M. and GUO J. Y. (1997).** Effect of Pro-long coating on changes in colour and enzyme activity of post-harvest litchi fruit. *J. Trop. Subtrop. Botany*, 5(2) : 54-60.

## **ANNEXES**

## ANNEXE I

***Tableau 1 : Spécification des solutions mères***

Saveur	Substance témoin (1)	Concentration g.l <sup>-1</sup> (1)
Acide	Acide citrique cristallisé (monohydraté) M <sub>r</sub> = 210,14	1,20
Amère	Hydrochlorure de quinine (dihydraté) M <sub>r</sub> = 396,92	0,054
Salée	Chlorure de sodium anhydre M <sub>r</sub> = 58,46	4,00
Sucrée	Saccharose (2) M <sub>r</sub> = 342,3	24,00

(1) a/ Il faut vérifier que les produits employés sont exempts d'impuretés pouvant donner des saveurs parasites.  
 b/ Deux litres de solution mère peuvent convenir pour une vingtaine de sujets.

(2) La solution de saccharose n'étant pas stable, elle doit être préparée seulement quelques heures avant l'essai

***Tableau 2 : Séries des dilutions appropriées pour chaque saveur***

Code de la solution	Acide		Amère		Salée		Sucrée	
	1	2	1	2	1	2	1	2
D <sub>1</sub>	500	0,06	500	0,025	500	20	500	12,0
D <sub>2</sub>	400	0,48	400	0,020	350	1,4	300	7,2
D <sub>3</sub>	320	0,38	320	0,016	245	0,98	180	4,32
D <sub>4</sub>	256	0,31	256	0,0128	172	0,69	108	2,59
D <sub>5</sub>	205	0,25	205	0,01025	120	0,48	65	1,56
D <sub>6</sub>	164	0,20	164	0,0082	84	0,34	39	0,94
D <sub>7</sub>	131	0,16	131	0,00655	59	0,24	23	0,55
D <sub>8</sub>	105	0,13	105	0,00525	41	0,16	14	0,34
Raison de géométrique	R = 0,8		R = 0,8		R = 0,7		R = 0,6	
Colonne 1 : quantité de solution mère prélevée en ml pour 1l de solution finale Colonne 2 : concentration des dilutions en g/l								

***Tableau 3 : Solutions d'essai pour la distinction des saveurs***

Substance	Concentration g.l <sup>-1</sup> (1)
Acide citrique	0,43
Quinine	0,02
Saccharose	5,76
Chlorure de sodium	1,19

(1) Il a été prouvé par des essais pratiques que les concentrations préconisées détectées et reconnues par 50% de sujets naïfs.

Source : Norme NF 09-002, AFNOR-1995

## ANNEXE 2

### FORMULAIRE REMPLI POUR L'APPRECIATION DE LA SENSIBILITE GUSTATIVE

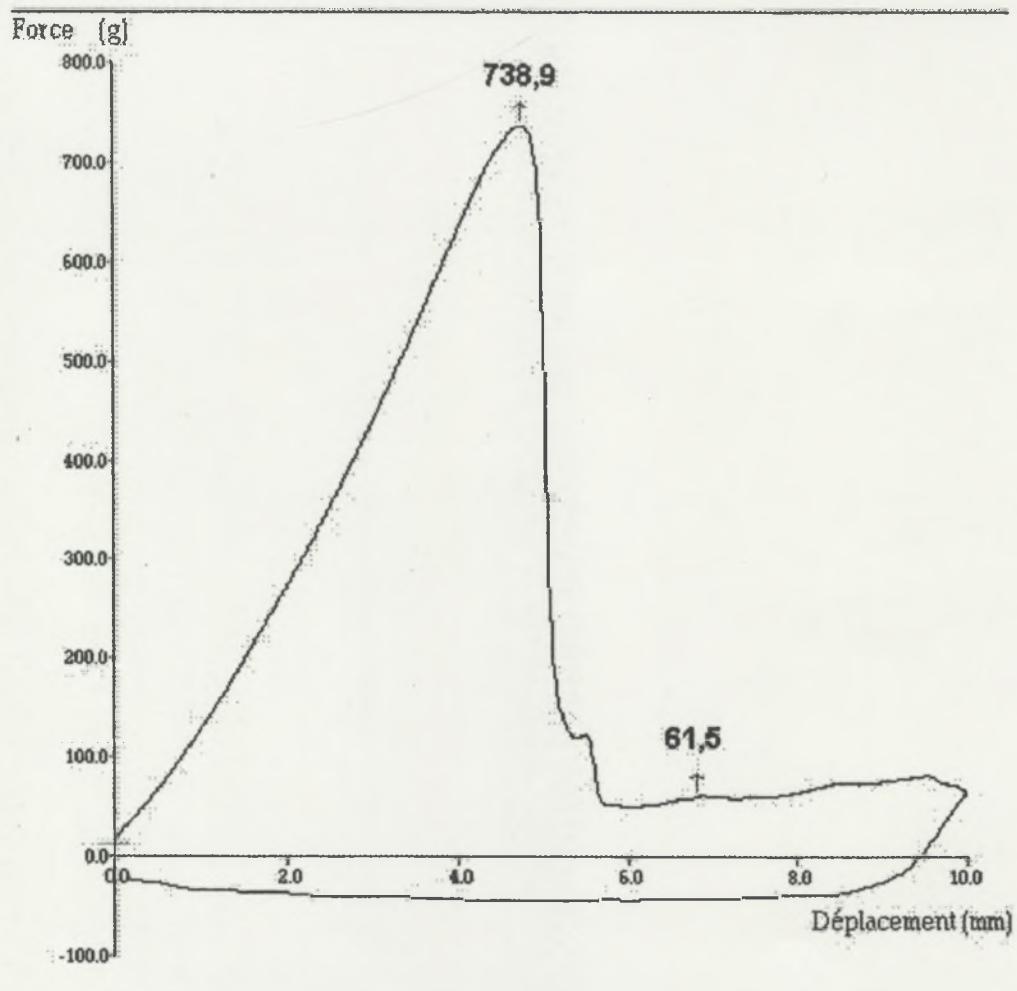
NOM ET PRENOM .....		DATE.....		
N° de code des récipients	Acide	Amère	Salée	Sucrée
123	X			
357				X
147		X		
159			X	
<i>Mettez une croix dans la colonne appropriée</i>				

### FORMULAIRE REMPLI POUR LA FAMILISATION AUX DIFFERENTS TYPES DE SEUIL

NOM ET PRENOM .....		DATE.....									
	Ordre de présentation des récipients										
	1 <sup>er</sup>	2 <sup>e</sup>	3 <sup>e</sup>	4 <sup>e</sup>	5 <sup>e</sup>	6 <sup>e</sup>	7 <sup>e</sup>	8 <sup>e</sup>	9 <sup>e</sup>	10 <sup>e</sup>	11 <sup>e</sup>
N° de code	798	157	528	651	593	213	516	326	375	561	586
Réponses	0	X amère	X	XX	XX	X	XXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXX
<i>Notation : 0</i>	<i>aucune impression perçue</i>										
<i>x</i>	<i>saveur perçue</i>										
<i>xx, xxx, xxxx, etc.</i>	<i>différence de concentration appréciée</i>										
<i>Inscrire le nom de saveur reconnue sous le numéro du récipient concerné</i>											

### ANNEXE 3

#### COURBE DE MESURES DES FERMETES EXTERNE ET INTERNE DE LA MANGUE



*Remarque :*

$F_1 = 738,9 \text{ g.mm}^{-2}$  est la valeur de la fermeté externe  
 $F_2 = 61,5 \text{ g.mm}^{-2}$  est la valeur de la fermeté interne

**ANNEXE 3-4****FORMULAIRE DE REPONSE  
(Test de dégustation de la mangue)**

Nom : .....

Date : .....

Veuillez goûter ces échantillons et indiquer une note de 1 = minimum à 5 = maximum en face des caractéristiques ci-dessous.

Caractéristiques	Échantillons			
<i>Couleur</i> (jaune, orange, orangé jaunâtre, jaune orangé, abricot...)				
<i>Odeur</i> (au nez) : - térébenthine - vert - fermentée - ou autre (à identifier)				
<i>Arôme</i> (en bouche)				
<i>Acidité</i>				
<i>Saveur sucrée</i>				
<i>Texture</i> : - fibreuse - pâteuse - gélatineuse - fondante - ferme - normale				

Commentaires supplémentaires :

## - RESUME -

L'effet de huit enrobages sur la conservation en frais de mangues a été étudié dans différentes conditions de stockage : 19-22°C, 56-60% H.R. et 12°C, 80% H.R. Les enrobages choisis sont à base de 'Carnauba', 'Shellac', protéines et polysaccharides qui présentent des caractéristiques intéressantes pour prolonger la durée de stockage des fruits.

Nous avons constaté que tous les enrobages permettent de limiter l'intensité respiratoire, le développement de la couleur externe et interne ainsi que la perte de la fermeté externe et interne des mangues de variétés 'Kent', 'Tommy Atkins' et 'Early Gold' au cours de stockage. La maturation des fruits enrobés est ainsi retardée de quelques jours par rapport aux lots témoins. Néanmoins, à la fin de la période de conservation (19-22°C et 56-60% H.R.), les mangues ('Kent' et 'Tommy Atkins') enrobées avec quatre enrobages conduisent à un goût fermenté. De plus, une petite quantité d'éthanol ( $0,76\text{--}41,21 \text{ mg.}100\text{g}^{-1}$  de la pulpe) a été détectée avec les mangues 'Early Gold' conservées à 12°C et 80% H.R.

A la suite de cette étude préliminaire, quatre autres enrobages ont été présélectionnés et testés dans de conditions standardisées. Les meilleurs résultats en terme de perte de poids et de qualité organoleptique ont été obtenus avec un enrobage à base de carnauba ('Tropical Fruit Coating 213').

L'application d'enrobage n'a pas d'effets notables sur la composition biochimique de la pulpe.