

N° D'ORDRE

UNIVERSITE
DE OUAGADOUGOU

FACULTE DES SCIENCES
ET TECHNIQUES



LABORATOIRE
DE BIOTECHNOLOGIE
ET DE TECHNOLOGIE
ALIMENTAIRE

VALORISATION TECHNOLOGIQUE DE LA VARIETE AMELIE DE MANGUE DU BURKINA FASO :

*Maîtrise des paramètres physico-chimiques pour une
meilleure stabilisation des produits de transformation*

THESE

DE DOCTORAT DE SPECIALITE SCIENCES BIOLOGIQUES APPLIQUEES

OPTION : BIOCHIMIE - MICROBIOLOGIE

(Technologie Alimentaire - Nutrition)

Présentée par :

SAWADOGO née LINGANI Hagrétou

Soutenue le 8 Juillet 1993 devant la Commission d'Examen :

Président : - M. Gnissa KONATE, Maître de Recherche, CNRST

Examineurs : - M. Sébastien OUEDRAOGO, Docteur d'Etat, CNRST

- M. Hoang-Phuong NGUYEN, Maître de Conférence, Université de Ouagadougou

- M. Alfred S. TRAORE, Professeur, Université de Ouagadougou

DEDICACE

A la mémoire de mon père

A ma mère , qu'elle trouve ici l'expression
d'un attachement profond

A mon époux , mes enfants
Ismaël et Yasmina , avec
toute mon affection

A tous les miens.

S O M M A I R E

	Pages
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : BIBLIOGRAPHIE	
I/ Altérations : Agents et mécanismes	4
1°) Altération microbiennes	4
2°) Altération enzymatiques	4
3°) Altération physico-chimique : le brunissement non enzymatique	5
II/ Conservation	7
1°) Effets des paramètres du milieu sur les agents de détérioration	7
a) paramètres physiques	7
b) paramètres chimiques	8
2°) Procédés de conservation	10
a) l'appertisation	10
b) la déshydratation	11
III/ Production, altération et conservation de la mangue	12
1°) Brèves données historiques	12
2°) Présentation du fruit	12
3°) Travaux antérieurs	13
4°) Problèmes liés à la production des mangues au Burkina Faso	16
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES	
I/ Matériel végétal	19
I-1/ Provenance des échantillons	19
I-2/ Echantillonnage et prélèvement	19
I-3/ Conservation des échantillons	20
a) Echantillons destinés à l'analyse des caracté- ristiques physico-chimiques	20
b) Echantillons destinés aux essais de séchage .	20

.../...

AVANT -PROPOS

C'est au laboratoire de biotechnologie et de technologie alimentaire que ce travail a été réalisé. Il n'aurait pu être mené à son terme sans le soutien de nombreuses personnes auxquelles je tiens à exprimer toute ma gratitude et ma profonde reconnaissance. J'adresse mes sincères remerciements:

- Au Professeur S. Alfred TRAORE ,qui a bien voulu accepter de m'accueillir dans son laboratoire et d'assurer la direction de cette recherche. Sa participation au jury témoigne d'un soutien constant.

- A Mr. Alhadi WEREM , Directeur de l'I.B.E , Mr Rigobert YAMEOGO , Mr. Théophile GARANGO et Godefroy THIOMBIANO , Attachés de Recherches à l'I.B.E pour leur collaboration , leur constante disponibilité et leurs conseils fructueux.

- Aux Responsables de Flex-Faso et à Mr.Perboire NDO qui ont accepté de mettre à notre disposition un verger pour mener cette étude.

- A Mr. Joseph TOE ,Directeur Technique à l'UCOBAM , et Mr. Atou ZOURE , Chef de production , pour leur franche et loyale collaboration.

- A Mr. I. Pierre GUISSOU , Directeur de l'IRSN , et Mr. Abdoulaye YARO , pour leur soutien matériel , leur disponibilité et les remarques constructives.

- A Mr. Zama BANHORO , Directeur de la Direction du Développement Industriel (D.D.I) pour la documentation qu'il a bien voulu mettre à ma disposition.

- A Mr. Hoang-Phyong NGUYEN ,Maître de Conférences , et Mme, à la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) qui ont bien voulu relire le manuscrit et y ont apporté leurs critiques et suggestions fructueuses.

- Au Professeur Sita GINKO , Responsable du 3e Cycle des Sciences Biologiques Appliquées , à la FAST , pour ses conseils encourageants.

- A Mr. Sébastien OUEDRAOGO ,Docteur d'Etat, et Mr. Gnissa KONATE,Maître de Recherches, au CNRST , pour avoir bien voulu accepter de juger ce travail . Leur participation au jury me fait un grand honneur.

- A Mr. Justin NIKIEMA , qui a assuré la dactylographie de ce document,à toute l'équipe du laboratoire de biotechnologie et technologie alimentaire ,à tous ceux qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

Je voudrais enfin exprimer plus particulièrement ma reconnaissance à l'Agence Canadienne pour le Développement International (ACDI) en collaboration avec l'Association des Universités Africaines (AUA) , qui m'ont octroyé une bourse , sans laquelle ce travail ne serait réalisé.

II/ Procédés de conservation appliqués	21
II-1/ Méthodologie du séchage solaire	21
II-1-1/ Description de séchoirs solaires	21
II-1-2/ Préparation et prétraitements des échantillons	21
a) Préparation	21
b) Prétraitements	21
II-1-3/ Procédure de séchage	23
II-1-4/ Stockage du produit séché	23
II-2/ Obtention des tranches de mangue en sirop :	
processus de fabrication	24
III/ Méthodes analytiques	28
III-1/ Dosage des constituants glucidiques	28
1°) Dosage des sucres totaux	28
2°) Dosage de l'amidon	29
3°) Dosage des sucres réducteurs	29
4°) Estimation du taux de saccharose	30
III-2/ Dosage des protéines totales	31
III-3/ Détermination du taux de matière grasse	32
III-4/ Détermination de la teneur en eau	32
III-5/ Mesure du pH et dosage de l'acidité totale ..	33
III-6/ Dosage de l'acidité ascorbique	34
1°) Méthode colorimétrique (ROE et KUETHER	
1943)	34
2°) Méthode volumétrique au réactif de	
TILLMANS	36
III-7/ Détermination de la matière sèche soluble	
(Brix)	37
III-8/ Méthodes d'évaluation du brunissement	37
III-8-1/ Produit séché	37
a) Mesure de l'absorbance dans le visible .	37
b) Mesure de l'absorbance dans l'ultra-	
violet (U.V)	38
III-8-2/ Conserves de mangue au sirop	38
III-9/ Analyse des pigments caroténoïdes	38
III-9-1/ Analyse qualitative des pigments	38

a)	Chromatographie sur couche mince et lecture au spectrophotodensitomètre ...	39
a ₁ /	Extraction des pigments	39
a ₂ /	Chromatographie sur couche mince et lecture au spectrophotodensitomètre ...	39
a ₃ /	Test préliminaire de caractérisation	39
b)	Chromatographie sur colonne	40
b ₁ /	Extraction	40
b ₂ /	Saponification	40
b ₃ /	Reprise des caroténoïdes par l'éther de pétrole (40 - 60°)	40
b ₄ /	Séparation et purification	41
Ó)	Préparation des colonnes	41
ß)	Séparation et purification	41
III-9-2/	Dosage quantitatif des caroténoïdes totaux	44
a)	Extraction	44
b)	Saponification	44
c)	dosage et expression des résultats	44
III-9-3/	Dosage séparé des carotènes totaux et des xanthophylles totaux	45
III-10/	Evaluation de l'énergie métabolisable	46
III-11/	Dosage des éléments minéraux	46
a)	Dosage du phosphore (Méthode colorimétrique à l'acide ascorbique)	46
a ₁ /	Principe	46
a ₂ /	Mode opératoire	46
b)	Dosage du soufre (par turbidimétrie) ...	47
b ₁ /	Principe	47
b ₂ /	Mode opératoire	47
c)	Dosage des chlorures (par argentimétrie).	48
c ₁ /	Principe	48
c ₂ /	Mode opératoire.....	48

d) Dosage du Fer, Calcium, Potassium, Magnésium, Sodium, Cuivre, Zinc, Manganèse (Fe, Ca, K, Mg, Na, Cu, Zn, M,)	49
III-12/ Recherche de l'activité des déshydrogénases et amylases	50
III-12-1/ Activité des déshydrogénases	50
a) Principe	50
b) Obtention de l'extrait enzymatique	51
c) Mode opératoire	51
III-12-2/ Activité amylasique	52
a) Principe	52
b) Obtention de l'extrait enzymatique.....	52
c) Mode opératoire	52
III-12-3/ Détermination des vitesses des réactions enzymatiques	53
III-13/ Analyse des propriétés organoleptiques des produits fabriqués	54
III-13-1/ Test de dégustation	54
III-13-2/ Observation visuelle des boîtes de conserves de mangues	55
III-14/ Contrôle de la qualité biologique des conser- ves de mangues	56
III-14-1/ Conserves apparemment saines	56
a) Recherche des coliformes	56
b) Recherche des staphylocoques	56
c) Recherche des clostridies	56
d) Dénombrement de la flore totale sur gélose nutritive	56
e) Recherche des levures et des moisissures	56
III-14-2/ Examen bactériologique des boîtes de conserves bombées	57
III-15/ Analyse statistique des résultats	57

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

A) Produit à l'état frais	58
I/ Evolution des constituants biochimiques au cours du développement de la mangue	58
I-1/ Constituants glucidiques	58
I-2/ Matière sèche totale et eau	61
I-3/ Acidité et pH	61
I-4/ Acidité ascorbique	63
I-5/ Protéines totales, matière grasse et sels minéraux totaux	66
I-6/ Activité des déshydrogénases et des amylases	66
a) Activité des déshydrogénases	66
b) Activité des amylases	70
II/ Appréciation du degré de maturité	70
III/ Valeur nutritionnelle	73
III-1/ Composition en éléments minéraux	73
III-2/ Valeur énergétique	75
B) Produits transformés	76
I/ Tranches de mangue séchées	76
I-1/ Aspects technologiques	76
a) Courbes de séchage	76
a ₁ / Description des courbes de séchage	76
a ₂ / Influence du type de séchoir sur le processus de séchage	85
a ₃ / Influence des prétraitements sur le processus de séchage	85
b) Rendement en produit séché	86
c) Caractéristiques organoleptiques	87
I-2/ Aspects physico-chimiques et biochimiques	88
I-2-1/ Influence du séchage et /ou du stockage sur les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques	88
a) Taux d'humidité (teneur en eau résiduelle) .	88
b) Acidité titrable	89
c) Effets du séchage et du stockage sur l'acide ascorbique	89

d)	Effets du séchage et de stockage sur le brunissement	93
I-2-2/	Effets du séchage et de stockage sur les pigments de la mangue Amélie	100
a)	Résultats de l'analyse qualitative	100
b)	Effets du séchage et de stockage sur les teneurs en caroténoïdes	106
b1/	Teneurs en caroténoïdes totaux, carotènes et xanthophylles des échantillons frais	106
b2/	Effets du séchage sur les teneurs en caroténoïdes totaux, carotènes et xanthophylles ..	106
b3/	Influence du stockage à la température ambiante	107
II/	Conserves de mangue au sirop	113
II-1/	Aspects technologiques	113
II-1-1/	Caractéristiques organoleptiques du produit en fin de fabrication : appréciation de dégustateurs	113
II-1-2/	Résultats de l'observation visuelles des conserves durant le stockage	114
a)	Echantillons conditionnés en boîtes	114
b)	Echantillons conditionnés en bocaux	115
II-2/	Aspects physico-chimiques et biochimiques	118
II-2-1/	Qualité microbiologique	118
a)	germes pathogènes	118
b)	Flore totale - levures et moisissures	119
c)	Résultats de l'analyse bactériologique des boîtes bombées	122
II-2-2/	Effets du traitement thermique et du stockage sur l'acide ascorbique	124
II-2-3/	Influence du stockage sur les autres paramètres physico-chimiques	128
a)	Matière sèche totale ou Brix	128
b)	pH et acidité titrable	128
c)	Sucres totaux et sucres réducteurs	128
d)	Brunissement	132
	Conclusions et perspectives	138
	Références bibliographiques	142

ANNEXES

Liste des sigles

I.B.E	=	Institut Burkinabè de l'Energie
U.CO.B.A.M.	=	Union des Coopératives Agricoles et Maraichères du Burkina
COFRUMA	=	Coopérative Fruitière et Maraichère
FRUCEMA	=	Fruits Céréales Maraichage
SOCABE	=	Société Coopérative Agricole de Bérégadougou
Flex-Faso	=	Société des Fruits et Légumes du Faso
FIMEX	=	Faso Import Export Service
IRSN	=	Institut de Recherche sur les Substances Naturelles
DICPIP	=	Dichlorophénol - indophénol
A.O.A.C	=	Association of official Analytical Chemists
AFNOR	=	Association Française de Normalisation
Ech	=	Echantillon
Past.	=	Pasteurisé
Var.	=	Variété
5-H.M.F	=	5-Hydroxyméthylfurfural
brés.	=	brésilienne
Ind.	=	Indienne
EP	=	Ether de pétrole
Ac.	=	Acétone
S.Te	=	Séchoir Tente
S.Pyr	=	Séchoir Pyramide
trait.	=	traitement
F.T.	=	Flôre Totale
L.	=	Levures
M.	=	Moisissures
Env.	=	Environ

Introduction

La transformation et le stockage des produits alimentaires ont une importance considérable, en raison du rôle économique et social qu'ils revêtent et du rôle essentiel que ces activités jouent sur le plan nutritionnel et sanitaire. La transformation des produits alimentaires périssables pour assurer leur conservation sur une longue période est une nécessité économique justifiée principalement par la réduction des pertes liées aux pourritures, et une nécessité sociale liée au besoin de l'homme de disposer de nourriture en permanence en quantité suffisante.

Les fruits et légumes, indissociables ou complémentaires, sont particulièrement périssables sous l'action conjuguée de microorganismes, avec leurs multisystèmes enzymatiques et des températures élevées. Les pertes post - récoltes de ces denrées dans le monde sont considérables surtout dans les pays chauds où elles sont évaluées entre 20 et 50 % des récoltes (24). La production mondiale des fruits et légumes se place au second rang après celle des céréales (24); ces produits sont donc très importants pour assurer l'équilibre nutritionnel des populations.

Sur le plan nutritionnel, les fruits et légumes constituent un supplément indispensable des régimes de base constitués de céréales et de féculents, relativement pauvres en sels minéraux et en vitamines. Pour encourager la consommation de tels produits, il est important de s'efforcer d'assurer leur conservation non seulement pour accroître les disponibilités destinées à la consommation mais également pour mieux préserver les grandes qualités nutritionnelles de ces aliments.

Sur le plan économique, ces denrées jouent un rôle non négligeable. Les fruits tropicaux par exemple, du fait de leur arôme typique, présentent un attrait particulier pour les consommateurs européens. Leur exportation vers les pays tempérés ne cesse de croître avec en prime l'entrée de devises pour les pays producteurs. Parmi ces fruits, on peut citer les mangues qui, avec

une production mondiale annuelle de 13,4 millions de tonnes occupent le 4^e rang des productions fruitières après les agrumes, les bananes et les pommes (56).

Au Burkina Faso, les fruits et légumes ont constitué ces dernières années en quantité et en valeur, respectivement 7 % et 3 % des exportations totales, la mangue occupant la première place (111). Cependant, la grande périssabilité de ce fruit limite considérablement sa diffusion à l'état frais, alors qu'il existe une demande pour des produits semi-oeuvrés destinés à la pâtisserie, la confiserie, l'industrie laitière; et pour des produits transformés: jus, nectars, concentrés, confitures, arômes...

Toutes ces potentialités justifient cette étude sur la mangue qui s'est déroulée en trois étapes : la première étape a concerné la connaissance de la mangue:

- Une connaissance physiologique en rapport avec le degré de développement du fruit. En effet, que ce soit la diffusion à l'état frais ou l'exploitation industrielle, il est indispensable de connaître à quel stade récolter le fruit pour éviter de compromettre sa qualité et celle des produits dérivés. Les possibilités de stockage et de transport dépendent aussi du stade auquel le fruit est récolté.
- Une connaissance des qualités nutritionnelles par l'évaluation de la valeur nutritive : valeur énergétique et activateurs métaboliques (éléments minéraux, vitamines).

La deuxième étape a consisté en l'application de deux procédés de conservation à savoir : le séchage solaire et l'appertisation par la fabrication de conserves de mangues au sirop.

* Conservation par séchage : La production d'aliments à humidité moyenne (15 - 35 %) à base de fruits ou légumes prend de plus en plus de l'ampleur dans le monde entier ; ces produits présentent l'avantage de se conserver facilement et peuvent être consommés sans subir une réhydratation (157, 79). En outre, l'abondance et la gratuité de l'énergie solaire dans nos pays,

réduisent les coûts de production. Des recherches sur le séchage ont permis la mise au point de séchoirs solaires améliorant les méthodes traditionnelles de séchage. A ce titre, deux séchoirs solaires confectionnés par l'Institut Burkinabè de l'Energie (I.B.E.) ont été utilisés pour les expérimentations.

* Conservation par appertisation : Au Burkina Faso, de nombreuses entreprises s'intéressent à la promotion des fruits et légumes, parmi lesquelles l'Union des Coopératives Agricoles et Maraichères du Burkina (U.CO.B.A.M.) qui dispose d'une unité de transformation pour la revalorisation de ces produits. Un des objectifs de cette entreprise est la production de conserves de mangue et de bien d'autres fruits. Un premier essai sans succès a été faite en 1985. Ce travail est donc entrepris pour apporter une contribution à la résolution du problème.

Enfin, la troisième étape consiste en l'étude de la stabilité des produits élaborés pendant un stockage dans les conditions ambiantes, par un contrôle des caractéristiques physico-chimiques et biochimiques afin d'apprécier la durée probable de conservation. En terme de stabilité pendant le stockage, les indices de détérioration pris en compte sont basés sur les facteurs de qualité suivants :

- prolifération microbienne
- dégradation de l'acide ascorbique (vitamine C)
- réactions de brunissement non enzymatiques ou réaction de Maillard. La réaction de Maillard retient beaucoup l'attention des chercheurs qui activent le monde de la recherche en technologie alimentaire à cause de sa grande implication dans les modifications de couleur, de saveur et de qualité nutritionnelle de divers aliments au cours des processus de transformation et du stockage (3, 109).

CHAPITRE I : BIBLIOGRAPHIE

Les fruits s'altèrent sous l'action de divers agents de détérioration. Certains paramètres physico-chimiques ont une influence considérable sur ces agents de dégradation et cette action est utilisée avec profit pour la conservation de ces denrées périssables.

I - Altérations : agents et mécanismes

1) altérations microbiennes

Les altérations microbiennes représentent souvent l'altération la plus fréquente si des précautions ne sont pas prises pendant l'entreposage. L'altération microbienne des fruits se caractérise par des phénomènes de fermentation et de putréfaction et résulte des actions combinées de divers microorganismes (bactéries, levures, moisissures). Elle est souvent signalée par la présence d'acides, de gaz et de toxines. L'industrie de conserves de fruits présente souvent des aspects apparents de la détérioration microbienne : le gaz produit s'accumule dans la boîte et entraîne le gonflement de celle-ci. Les mésophiles et les thermophiles sont les deux types de microorganisme qui interviennent principalement dans l'altération microbienne des conserves (128).

2) Altérations enzymatiques

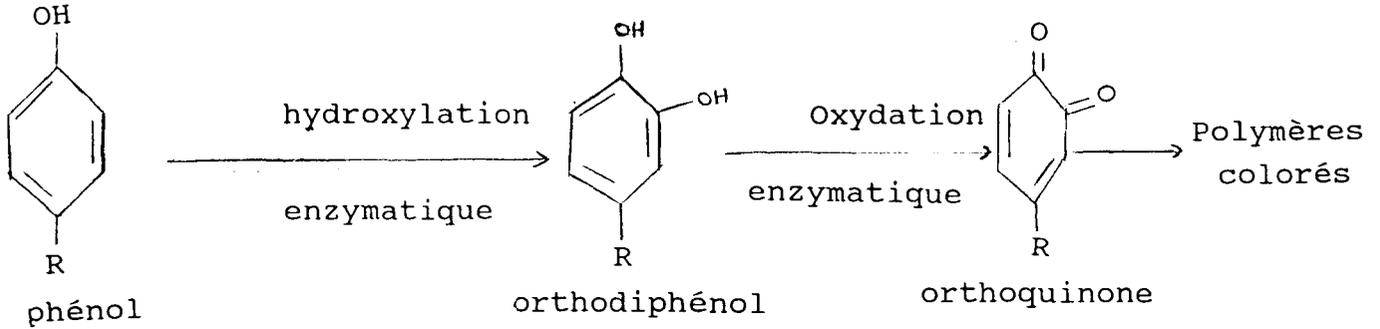
Elles résultent de l'action d'enzymes de détérioration qui sont des enzymes endocellulaires du tissu végétal. Les enzymes particulièrement importantes dans la dégradation des fruits sont :

- . les enzymes oxydatives (catalases, peroxydases, oxydo-réductases)
- . les enzymes associées à la dégradation de la couleur (polyphénol oxydases, lipoxydases, enzymes amylolytiques...)
- . les enzymes hydrolytiques (amylases, invertases,

polygalacturonidases, cellulases...)

Un des aspects les plus importants de la détérioration enzymatique des fruits est le brunissement enzymatique:

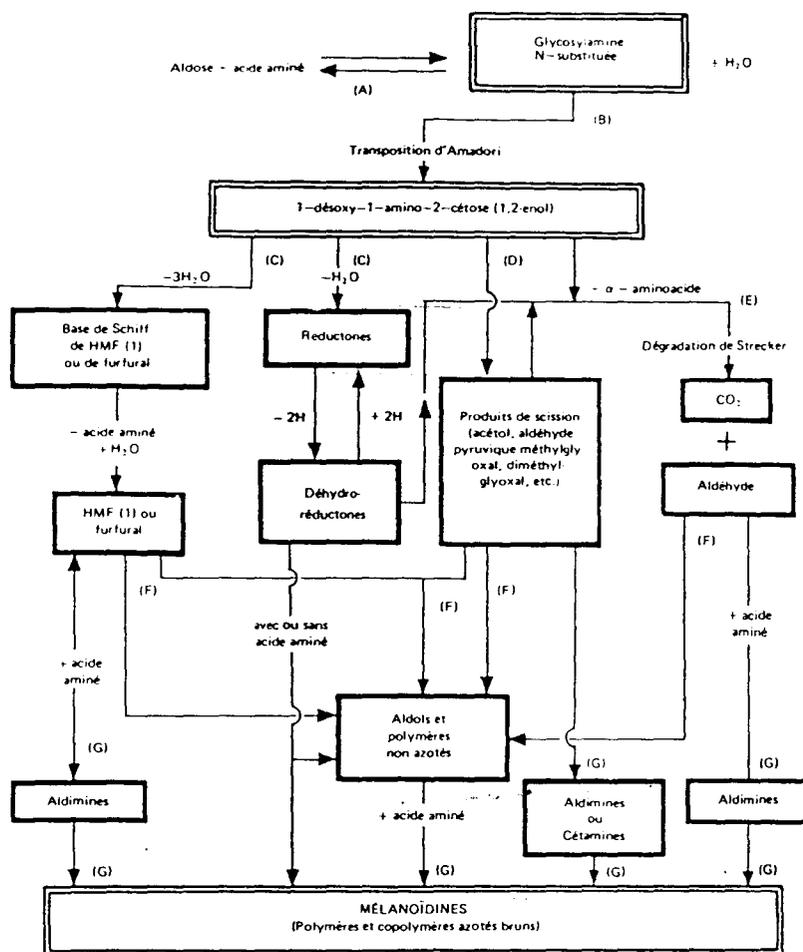
C'est la transformation enzymatique dans ses premières étapes de composés phénoliques en polymères colorés appelés mélanines, le plus souvent bruns ou noirs dont voici le mécanisme réactionnel :



Le brunissement enzymatique s'observe surtout chez certains fruits lors des traitements (pelage, découpage, broyage, congélation, déshydratation...). Dans un fruit susceptible de brunir, il n'y a pratiquement pas de brunissement tant que le tissu reste sain et intact.

3) Altération physico-chimique : le brunissement non enzymatique

Le brunissement non enzymatique appelé réaction de MAILLARD, désigne un ensemble de réactions complexes aboutissant à la formation de pigments bruns ou noirs appelés mélanoïdines, à des modifications d'odeurs et de saveurs, à des pertes de valeur nutritionnelle. Des composés carbonylés, des acides aminés et des protéines participent à ces réactions. Ce type d'altération se manifeste lors des traitements technologiques et lors de l'entreposage. La figure 1 résume les réactions du brunissement non enzymatique.



(1) HMF = Hydroxyméthyl-5-furfural

Fig 1 : Etapes des réactions de Maillard conduisant à la formation de mélanoidines (65)

II - Conservation

1) Effet des paramètres du milieu sur les agents de détérioration

La plupart des procédés de conservation mis en oeuvre pour prolonger la durée de conservation des fruits, repose sur des modifications de l'environnement visant à inhiber ou à détruire la flore parasitaire et les systèmes enzymatiques.

a) Paramètres physiques

Il y a entre autres:

- La température : son rôle est primordial car chaque espèce de microorganisme est caractérisée par des limites de températures minimales et maximales entre lesquelles elle peut se développer, et par une température optimale de croissance. Ceci a permis la classification des espèces microbiennes en trois groupes distincts comme l'indique le tableau I.

Tableau I: Températures de croissance des microorganismes (35a)

Groupes	Températures °C		
	Minimum	Optimum	Maximum
Psychrophiles	-15	+10	+20 env.
Mésophiles	+5 à +10	+30 à +40	+50 env.
Thermophiles	+40	+50 à +55	+65 env.

Quant aux enzymes, leur activité atteint le maximum entre 30 et 40 °C ; des températures supérieures à 50°C les inactivent (110)

- la disponibilité en eau ou activité de l'eau; (a_w):

$$\text{Par définition} \quad a_w = \frac{P_w}{P_{w_0}} = \frac{\text{HR (en \%)}}{100} \quad (150)$$

P_w = pression partielle de vapeur d'eau dans le produit à une température donnée

P_{w_0} = pression partielle de vapeur d'eau pure à la même température.

HR = humidité relative.

L'activité de l'eau permet de donner une mesure de la disponibilité de l'eau dans les fruits et produits dérivés. Son rôle est important pour leur conservation lors de l'entreposage. Les mécanismes d'altération sont influencés par l'activité de l'eau (Fig 2).

b) *paramètres chimiques*

- le pH : il détermine le type de microorganismes capable de se développer dans un fruit donné. En général, les bactéries s'accommodent des milieux faiblement acides ou alcalins, alors que les moisissures et les levures trouvent des conditions optimales de développement dans des milieux franchement acides (Fig 3). Cette propriété sélective et germicide de l'acidité sur la flore parasitaire est largement mise à profit pour conserver divers aliments. le pH a aussi une forte influence sur la résistance à la chaleur des microorganismes sporogènes. La résistance maximum s'observe en général entre les pH 6,5 et 7,0 ; par contre des pH acides ou alcalins diminuent la thermorésistance.

- le sucre : son addition aux produits à base de fruit est d'abord destinée à maintenir une bonne apparence et à améliorer la saveur du produit. Cependant, une concentration élevée a une action inhibitrice sur le développement de nombreux microorganismes qui ne supportent pas une pression osmotique élevée. La figure 4 met en évidence la sensibilité des microorganismes par rapport à la

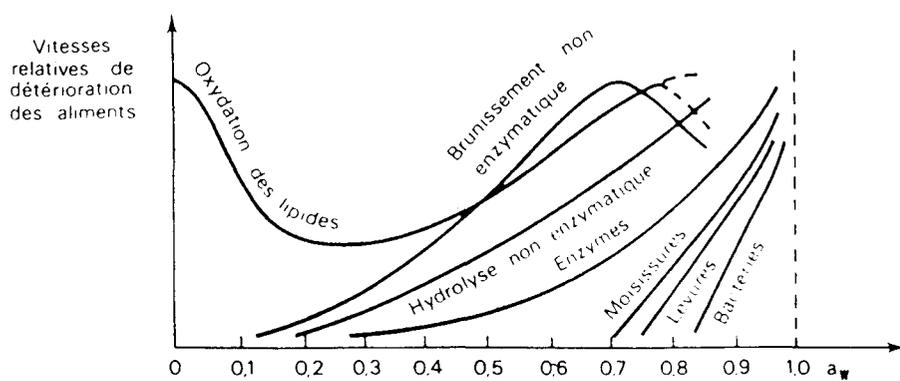


Fig 2 : Vitesse de détérioration des aliments en fonction de l'activité de l'eau (a_w) d'après LABUZA, (92b)

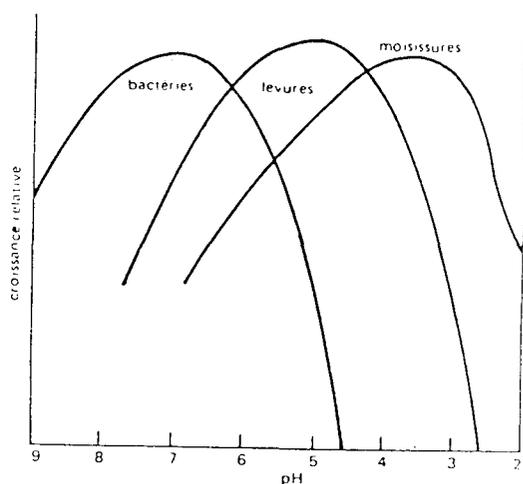


Fig 3 : Influence du pH du milieu sur le développement de la flore microbienne (110)

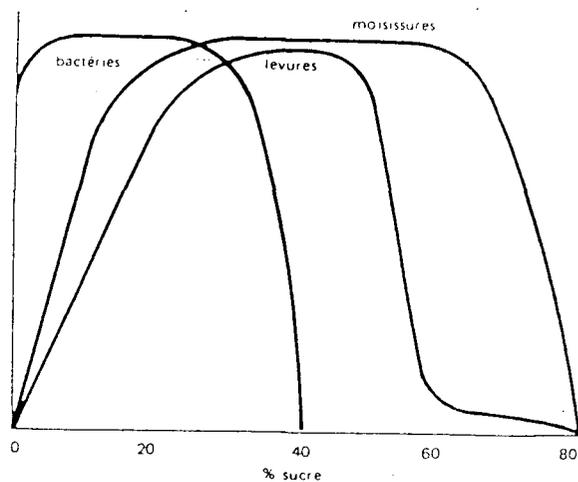


Fig 4 : Influence de la pression osmotique, exprimée par la concentration en sucre, sur le développement de la flore microbienne (110).

concentration en sucre.

- les agents de conservation : De nature chimique, ils sont couramment utilisés pour prolonger la durée de conservation des fruits et produits dérivés. Ce sont des composés antimicrobiens, microbicides ou simplement bactériostatiques, actifs à doses relativement faibles. Ils agissent également comme les antioxydants, les tampons, les stabilisateurs pour empêcher les altérations physiques (128, 35b). Parmi ces composés, on retient : l'anhydride sulfureux (SO_2), utilisé sous forme de gaz ou de sel (sulfite, bisulfite et métrasulfite de sodium, de potassium et de calcium) et l'acide citrique

2) Procédés de conservation

Toutes les méthodes de conservation visent à détruire ou à inhiber les catalyseurs biologiques de la détérioration (systèmes enzymatiques des microorganismes, enzymes endogènes des cellules végétales). La nature protéique des enzymes permet de les détruire ou de les inactiver par différents moyens physiques ou chimiques : acidité, alcalinité, radiations ionisantes, déshydratation, chaleur...; les deux derniers seront appliqués dans le cas de la mangue :

a) l'appertisation

C'est l'application des traitements thermiques; basée sur la méthode originale de Nicolas APPERT (1810); elle consiste en l'emploi de deux moyens (35a):

- Le conditionnement de l'aliment dans un récipient hermétiquement clos et étanche aux liquides, gaz et microorganismes.

- L'application d'un traitement thermique pour détruire ou inhiber totalement la croissance et l'activité des microorganismes et des enzymes.

Son efficacité dépend de:

- . la charge microbienne initiale du produit
- . l'intensité et la durée du traitement thermique
- . la résistance spécifique des germes présents à la chaleur;
- . les caractéristiques de l'aliment dont le pH.

L'appertisation a deux variantes :

- la pasteurisation, pratiquée généralement à des températures ne dépassant pas 100 °C et employée le plus souvent pour les produits acides (pH < 4,5).
- la thermostérilisation faite à 115 - 120 °C et employée pour des produits de pH supérieurs à 4,5 qui exigent pour leur conservation des traitements thermiques plus sévères. Le but est d'assurer une large sécurité vis à vis de *clostridium botulinum* , bactérie sporogène thermorésistante et dangereuse en raison de la toxine qu'elle secrète.

b) la déshydratation

Le séchage est une opération qui consiste à extraire une partie de l'eau d'un produit afin d'obtenir en fin de traitement un produit solide d'humidité résiduelle donnée (22).

Son objectif est:

-d'alléger le produit : Les réductions de poids et de volume induites lors du séchage contribuent à la diminution des coûts d'emballage et de transport.

- de stabiliser le produit : dans les produits déshydratés, du fait de leur faible activité d'eau, les microorganismes ne peuvent plus proliférer et la plupart des réactions chimiques et enzymatiques de détérioration sont ralenties. Ceci permet d'éviter sa dégradation ultérieure entraînant ainsi une meilleure conservation.

- parfois de donner au produit une présentation particulière.

De manière générale, cette opération recouvre toute action qui vise à évaporer par voie thermique une substance volatile (solvant). L'évaporation implique à la fois un transfert de chaleur

et un transfert de matière.

Il ya deux méthodes de séchage dont le séchage par entraînement : en effet, lorsqu'un corps humide est placé dans un courant d'air ou dans un autre gaz, suffisamment chaud et sec, il s'établit spontanément entre ce corps et l'air un écart de température et de pression partielle d'eau, tel :

- qu'un transfert de chaleur s'effectue de l'air vers le produit sous l'effet de l'écart de température,

- qu'un transfert d'eau s'effectue en sens inverse du fait de l'écart de concentration en eau dans l'air (150).

Le séchage solaire est un mode de séchage par entraînement.

III - Production, altération et conservation de la mangue

1 - Brèves données historiques

Le manguier (*Mangifera indica* L.) serait originaire du Sud-Est asiatique ou de la région indo-birmane. Introduite au X^e siècle en Afrique et au XIV^e siècle au Brésil, cette espèce s'est propagée entre les deux tropiques et compte environ 1000 variétés (13).

Au Burkina Faso on rencontre plus d'une dizaine de variétés : Amélie ou gouverneur, Mango, Lippens, Brook, Springfield, Valencia, Haden, Kent, Zill, Keïtt, Ruby, Irwin, Smith...

2 - Présentation du fruit

La mangue est une drupe plus ou moins aplatie latéralement et ayant des formes diverses selon la variété : Oblongue, réniforme, élliptique, ovoïde, cordiforme.

La peau ou épicarpe, verdâtre, devient à maturité jaune, jaune-verdâtre, orange ou rouge-violacée selon la variété; elle présente des lenticelles plus ou moins apparentes.

La pulpe ou mésocarpe, de couleur jaune-orangée à maturité est fondante ou un peu ferme. Elle renferme un noyau enveloppé d'un

endocarpe ligneux, ovale ou réniforme, aplatie à ses extrémités; la face externe est creusée de sillons longitudinaux et garnie de fibres pénétrants plus ou moins dans le mésocarpe. A maturité la mangue dégage une odeur agréable, la pulpe est sucrée, légèrement acidulée et de saveur variable suivant les variétés (95).

3 - Travaux antérieurs

Le manguiier est cultivé dans de nombreux pays au monde dont le premier producteur est l'Inde avec 70 % de la production totale (56). Cependant , les investigations sur ce fruit ont commencé lentement en Inde et en Floride (95). L'intérêt de plus en plus croissant accordé à la connaissance de ce fruit justifie un rappel de quelques travaux ayant contribué à son développement : des recherches sur la productivité du manguiier ont entraîné de nombreux essais avec des régulateurs de croissance pour améliorer cette productivité ; parmi ceux-ci le cultar dont le principe actif est le paclobutrazol a été largement utilisé avec des résultats variables (82). La détermination du stade de récolte a nécessité des études sur l'évolution de certaines caractéristiques physico-chimiques de la mangue au cours de son développement sur l'arbre (69a, 69b, 144, 89, 138) le problème de la période favorable de récolte est complexe et les résultats sont controversés car variables d'une variété à l'autre : le taux d'amidon (16), l'extrait sec soluble associé à la densité (97, 27, 161) , les rapports sucres totaux/acidité, amidon/acidité (69b,89) ont été proposés par les uns et les autres comme critères pour apprécier le degré de maturité.

Certains auteurs ont analysé les pigments au cours du développement de la mangue et pendant le mûrissement (97, 70) : les caroténoïdes constituent les pigments majoritaires de la mangue mûre. Des investigations sur les systèmes enzymatiques de ce fruit ont mis en évidence la présence d'invertase (34), d'enzymes inhibitrices de la peroxydase et de l'amylase dans la mangue verte (108), une forte activité des polyphénol-oxydases dans la variété Haden (8).

Certains auteurs se sont préoccupés aux composés volatiles (80, 2, 102) : Ainsi ACKERNAN et TORLINE (2) à partir de 8 cultivars d'Afrique du sud ont trouvé entre autres deux esters d'acides insaturés identifiés pour la première fois dans la mangue: les esters d'acides 3-buténoïque et 2-méthyl-3-buténoïque. KAPUR (80) identifie 30 à 40 composés volatils dont les ocimènes, cis et trans-allocimène, myrcène, hexa et hepta lactones, sur la variété Dashehari de l'Inde.

Des recherches sur la maladie des tâches noires de la mangue considérée comme l'une des principales maladies du manguier, ont mis en évidence l'efficacité de l'hydroxyde de cuivre (136).

Les recherches sur la conservation de la mangue à l'état frais ont été intenses : De nombreuses études ont été entreprises dans le but de déterminer les températures limites et optima de conservation en entreposage réfrigéré. Les résultats dépendent largement de la variété : SRIVASTAVA (161) indique par exemple des températures de 5,5 - 7,2°C favorables pour certaines variétés, et 8,9 - 11°C pour d'autres. SUBRAMANHAN et coll. (163), de même que THOMAS et OKE (167) ont précisé que la variété Alphonso ne tolère pas des températures inférieures à 10 °C; par ailleurs, KANE (84) souligne que les variétés Amelie et Julie se détériorent à des températures inférieures à 12°C. La mangue ne tolère donc pas le froid intense. A ce propos, des auteurs ont rapporté que les fruits tropicaux en général sont prédisposés à des maladies physiologiques dues aux basses températures appelées " coup de froid " (172, 51). Dans le cas de la mangue, ces maladies physiologiques se produisent à des températures inférieures à 10 - 13 °C (135, 119, 120). Les manifestations de cette intolérance se traduisent par des décolorations de la peau et l'apparition de nécroses épidermiques (171), fréquemment associées à une perturbation du mûrissement, une perte d'arôme et de saveur (94) et un développement de la flore d'altération notamment la flore fongique (145, 164, 75). Les possibilités d'entreposage à la température ambiante en fonction de la variété, des cultivars et de divers prétraitements visant à augmenter la durée de conservation ou à réguler le

mûrissement ont été des domaines d'études pour divers auteurs : KALRA et TANDON (74a) par exemple ont constaté qu'un trempage à l'eau chaude (54°C pendant 5 mn) suivi d'un traitement à l'éthrel (500 ppm) favorisent un mûrissement régulier des fruits et réduisent les contaminants fongiques. L'équipe de BHULLAR (20) a montré que, conditionner les mangues en sachets de polyéthylène perforés ou les enduire d'une émulsion de cire à 6 %, donne une meilleure coloration après un entreposage à la température ambiante. PADMININA-GARAJ et coll.(129) ont révélé un effet positif du carbure de calcium sur le mûrissement et la qualité de la mangue Alphonso. La benzylaminopurine retarde le mûrissement, augmente les teneurs en sucres réducteurs et diminue les teneurs en acides aminés libres et acides organiques dans la mangue mûre (132).

La déshydratation comme procédé de conservation a été pratiquée avec succès sur la mangue : tranches de mangue séchée ou " cuir " de mangue (purée de mangue ou jus de mangue séchés) (63, 126, 58, 74b, 9). II en est de même pour l'appertisation avec la production de tranches de mangue au sirop ou au naturel (130a, 4, 124) sur des variétés indiennes.

Récemment c'est l'irradiation aux rayons γ qui est employée comme méthode de conservation de la mangue à l'état frais : Les radiations γ inhibent la production d'éthylène, retardant ainsi le mûrissement (83, 11); elles sont efficaces contre les mouches des fruits notamment celles des mangues (142). Cependant, des doses élevées affectent la qualité nutritionnelle par réduction de la teneur en vitamine C (11). Certains cultivars, par ailleurs, présentent une intolérance aux radiations γ qui se manifeste par un brunissement de la peau et un goût indésirable de la pulpe (6, 168). Les travaux de GHOLAP et coll. (55) sur les effets de l'irradiation sur les constituants lipidiques et aromatiques de la mangue Alphonso indiquent une diminution de la teneur en acide oléique, les éléments volatils ne subissent aucune modification.

Des auteurs se sont intéressés à l'influence du traitement thermique sur des qualités nutritionnelles et organoleptiques de la mangue (68, 149); l'équipe de SAKHO (149) a noté des modifications

quantitatives de composés terpéniques et furanniques et de composés résultants de la dégradation des caroténoïdes après un chauffage de la pulpe à 95 °C pendant 10 mn, quant à l'équipe de HUNTER (68), 41 composés ont été identifiés parmi lesquels le 2,5-diméthyl-4-méthoxy-2-H-furane-3, n'avait pas jusqu'en ce moment été identifié dans les produits naturels.

Les possibilités d'utilisation des procédés industriels de traitement de la mangue ont été parmi les premières préoccupations des chercheurs. Celles ci se sont avérées limitées en raison de l'absence d'équipements adaptés à l'extraction de la pulpe (151). Le pelage et le dépulpage restent manuels et laborieux; ce qui engendre un fort coût de production. Néanmoins, CZYHRIN CIW (41) a indiqué que les mangues mûres peuvent être pelées après congélation par raclage de la peau. BREKKE et coll. (28) préconisait un pelage par la vapeur. Certains auteurs proposent un usage combiné de dispositifs mécaniques utilisés pour certains fruits comme des brosses dépulpeuses (19) et des centrifugeuses spéciales (12).

4 - Problèmes liés à la production des mangues au Burkina Faso

Sur la plan national, les données statistiques sur la production des fruits sont inexistantes; seules les quantités exportées au niveau de certaines entreprises sont disponibles (annexe 9, Tableaux II et III). La culture fruitière est assez développée grâce aux conditions climatiques favorables (112). La production des mangues est de loin la plus importante et les principales zones productrices sont :

- le Sud-Ouest : Province du Houet, du Kéné Dougou et de la Comoé. Dans ces régions la production de mangue est l'une des principales activités agricoles.
- le Centre-Ouest : Province du Boulkiemdé et du Sanguié.

La production est confrontée à d'énormes difficultés dont les conséquences sont des pertes importantes enregistrées chaque année:

- pertes liées à la chute de fruits immatures.
- pertes liées à l'attaque de parasites : mouches des mangues,

champignons, fourmis, ... La variété amélie est très sensible à l'attaque des mouches de mangue.

- pertes liées à la conservation et à l'écoulement du produit. Elles sont principalement dues aux mauvaises conditions de stockage et à la mévente.

La restriction et la mauvaise organisation du circuit interne de distribution font que, pendant les périodes de production, les mangues pourrissent dans les zones productrices pendant que la demande, importante dans les régions non productrices (Province du Sanematenga, du Séno, du Soum, de l'Oudalan) ne peut être satisfaite. Des marchés sont saturés entraînant la mévente : les mangues s'altèrent et pourrissent, favorisées par les mauvaises conditions de stockage. Cette situation s'explique en partie par certaines contraintes :

- . l'accès difficile des sites de production lié aux mauvais états des routes.

- . L'insuffisance de moyens de transport adaptés.

Le circuit externe est dominé par le marché européen. Mais, avec la percée des variétés colorées sur le marché international, on assiste ces dernières années à l'effondrement des quantités de mangue Amélie exportées par le Burkina Faso. En effet, certains pays producteurs approvisionnant le marché européen, ont développé la culture de variétés colorées plus attrayantes, contrairement à la variété Amélie.

En ce qui concerne la conservation, les difficultés sont énormes. Il existe certes des entreprises qui s'intéressent à la promotion des mangues (COFRUMA, FRUCENA, SOCABE, UCOBAM, FLEX-FASO, FIMEX...). mais, seules quelques unes disposent des infrastructures adaptées à la conservation de fruits : c'est le cas de l'UCOBAM et de FLEX_FASO qui ont des entrepôts frigorifiques pour l'entreposage réfrigéré. Une grande partie des mangues récoltées est stockée en vrac à même le sol ou sur des nattes, ou en cartons, à la température ambiante, ce qui augmente les risques d'altération et de pourriture. Les pertes dans les champs peuvent atteindre 60 - 70 % (169). Du point de vue de la transformation, l'UCOBAM produit de

la confiture de mangue; la SAVANA fabrique de la confiture, du concentré, du jus et de la purée de mangue en boîte; cette dernière est principalement destinée à la production de jus et concentré. La SOCABE dispose d'une unité de transformation artisanale et pratique le séchage solaire de mangue depuis quelques années.

La mangue est une denrée très périssable produite pendant une brève période de l'année (Avril à Juin). Elle exige des techniques appropriées pour sa conservation afin de limiter le plus possible les pertes et de mettre à la disposition du consommateur des produits dérivés de grandes qualités nutritionnelles et organoleptiques. En outre, il est très important de connaître la composition chimique de la mangue (glucides, protides, lipides, vitamines, éléments minéraux), l'influence des procédés de conservation sur certains constituants particulièrement importants, vitamines notamment. D'autres part, le stade de récolte de la mangue est très important pour les possibilités de stockage et de transformation. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail.

Les méthodes ci-après ont été mis en oeuvre pour l'obtention des résultats.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

I - Matériel végétal

I.1 - Provenance des échantillons

Le travail a porté sur la variété Amelie, communément appelée "mangue greffée" cultivée au Burkina Faso. Cette variété est la plus largement répandue (80 % de la production) et la plus commercialisée.

Les mangues utilisées proviennent de deux localités :

. Orodara (Province du Kéné Dougou), située à 500 km environ à l'Ouest de Ouagadougou. Ces échantillons ont été obtenus par l'intermédiaire de l'UCOBAM et ont servi à la fabrication de conserves de mangue au sirop.

. Zoula (Province du Sanguié) localité située à 112 km environ à l'Ouest de Ouagadougou où des manguiers ont été mis à notre disposition en 1989 pour le déroulement des travaux. Ces échantillons ont servi pour l'étude des caractéristiques physico-chimiques de la mangue pendant son développement, ainsi que pour les expérimentations de séchage solaire. Cette localité a été choisie en collaboration avec Flex-Faso.

1.2 - Echantillonnage et prélèvement

Le 21 Février 1989, le verger a été inspecté et deux manguiers ont été choisis au hasard. Les fruits déjà formés et ceux, ayant la même position sur l'arbre (côté Est et visible extérieurement) et approximativement la même taille ont été marqués. Aux premiers prélèvements (un mois plus tard), les jeunes fruits avaient un poids moyen de 60-70g. Pour la suite du travail, un échantillonnage de 5 mangues au moins est effectué sur chaque manguiers une fois par semaine durant le développement du fruit jusqu'à maturité.

Ces échantillons ont servi pour l'étude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques.

Une année plus tard (19 Février 1990) cinq manguiers (dont les deux précédents) ont été choisis et marqués; les jeunes fruits

étaient déjà formés. Certains échantillons ont permis la reprise de certaines expériences de 1989 pour la vérification des résultats; les autres ont servi aux essais de séchages. Pour ces derniers, les fruits matures et de même taille ont été cueillis le 25 Avril 1990 à l'aide " d'un cueille-fruit " aménagé pour éviter d'endommager les fruits. Les fruits cueillis sont mélangés et répartis au hasard en lots pour les expérimentations de séchage.

I.3 - conservation des échantillons

a) *Echantillons destinés à l'analyse des caractéristiques physico-chimiques*

Ces échantillons ont été conservés au froid. A chaque prélèvement, les mangues sont lavées, essuyées, pelées et la pulpe réduite en purée à l'aide d'un broyeur électrique (Osterizer, galaxie). La purée est homogénéisée et répartie en cinq parts dans des sachets en cellophane puis congelée à -20 °C. Chaque fraction est, par la suite décongelée pour les besoins des analyses envisagées.

b) *Echantillons destinés aux essais de séchage*

Les mangues matures triées ont été conservées à 10 - 12 °C à une humidité relative de 80-90 %. Au fur et à mesure, pour des besoins des expérimentations de séchage, des échantillons sont prélevés et entreposés dans les conditions ambiantes d'une salle. Ces mangues qui mûrissent généralement au bout de 48 heures sont alors soumises au séchage solaire.

II - Procédés de conservation appliqués

II.1 - Méthodologie du séchage solaire

II.1.1 - Description des séchoirs solaires

Deux types de séchoirs solaires à système direct de séchage ont été utilisés : le séchoir tente et le séchoir pyramide confectionnés par l'IBE avec du matériel local et ne diffèrent l'un de l'autre que par la forme d'où leurs appellations. Les charpentes sont en bois recouvertes d'un film plastique transparent en polyéthylène. Le plancher est recouvert de graviers servant de capteur d'énergie. Deux ouvertures, l'une située à la partie inférieure, l'autre à la partie supérieure permettent la circulation de l'air. La surface d'entreposage des produits est constituée d'un treillis en métal galvanisé situé à 70 cm et à 20 cm du sol respectivement pour le séchoir tente et le séchoir pyramide (cf schémas annexe 1), (176).

La température et la vitesse de l'air à l'intérieur des séchoirs ont été enregistrées à l'aide d'un dispositif automatique adapté : le " Mobile Data Acquisition System 12 "(MODAS 12). Des thermohygromètres installés à l'intérieur des séchoirs ont permis d'enregistrer l'humidité relative de même que la température.

II.1.2 - Préparation et prétraitements des échantillons

a) Préparation

Des mangues mûres mais fermes et ne présentant aucune altération mécanique ou parasitaire visible, sont lavées, pelées, dénoyautées puis découpées en tranches de 8 à 10 mm d'épaisseur.

b) Prétraitements

Le but de l'expérience étant d'assurer une bonne conservation

du produit séché; des traitements de préservation avec des agents chimiques de conservation ont été pratiqués avant de soumettre les tranches au séchage. A chacun des prétraitements correspondent des lots d'échantillons séchées qui, en fonction du type de séchoir donne deux échantillons différents conformément au Tableau IV.

Tableau IV: Différents types d'échantillons obtenus en fonction des prétraitements et du séchoir utilisé.

N° des lots	Prétraitements	Type de séchoir utilisé et N° des échantillons correspondants	
		type de séchoir	N° échantillon
I	Aucun (lot témoin)	tente	1
		pyramide	2
II	trempage dans une solution aqueuse de saccharose à 10 % (58) pendant 30 mn	tente	3
		pyramide	4
III	trempage dans une solution aqueuse de métabisulfite de sodium $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ à 0,05 % (27) pendant 30 mn	tente	5
		pyramide	6
IV	trempage dans une solution aqueuse de ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) à 0,05 % pendant 60 mn	tente	7
		pyramide	8
V	trempage dans une solution aqueuse d'acide citrique à 0,5 % (27) pendant 15 mn	tente	9
VI	trempage dans une solution aqueuse d'acide citrique à 0,5 % pendant 30 mn	tente	10
VII	Anhydride sulfureux gazeux (SO_2) pendant 45 mn	tente	11
		pyramide	12
VIII	Anhydride sulfureux gazeux (SO_2) pendant 90 mn	tente	13
		pyramide	14

Le traitement à l'anhydride sulfureux gazeux a consisté à maintenir les tranches de mangue dans une ambiance d'anhydride sulfureux gazeux obtenue en brûlant du soufre pur dans une enceinte close appelée " soufroid "; les proportions ont été de 2 g de

soufre pur pour 500 g de produit à traiter (60).

Pour les opérations de trempage, le temps d'égouttage a été de 1 - 2 mn et les proportions de 1 kg de tranches pour 2 litres de solution. Les durées de trempage ont été choisies arbitrairement.

II.1.3 - *Procédure du séchage*

La mise au séchage est faite simultanément dans les deux types de séchoir pour chacun des lots d'échantillon. On pèse 2000 g de tranches de mangue qui sont répartis en 4 parts de poids identiques (500 g). Chaque séchoir reçoit deux parts dont l'une est disposée sur une claie mobile de poids connu, et introduite dans le séchoir; l'autre part est disposée sur la surface d'entreposage du séchoir. Les claies mobiles chargées, sont pesées toutes les trois heures afin de suivre l'évolution du séchage. Quant aux tranches de mangue entreposées sur la surface d'entreposage des séchoirs, des échantillons y sont prélevés 24 heures après la mise à sécher, puis toutes les 12 heures pour la détermination du taux d'humidité jusqu'à la fin du séchage.

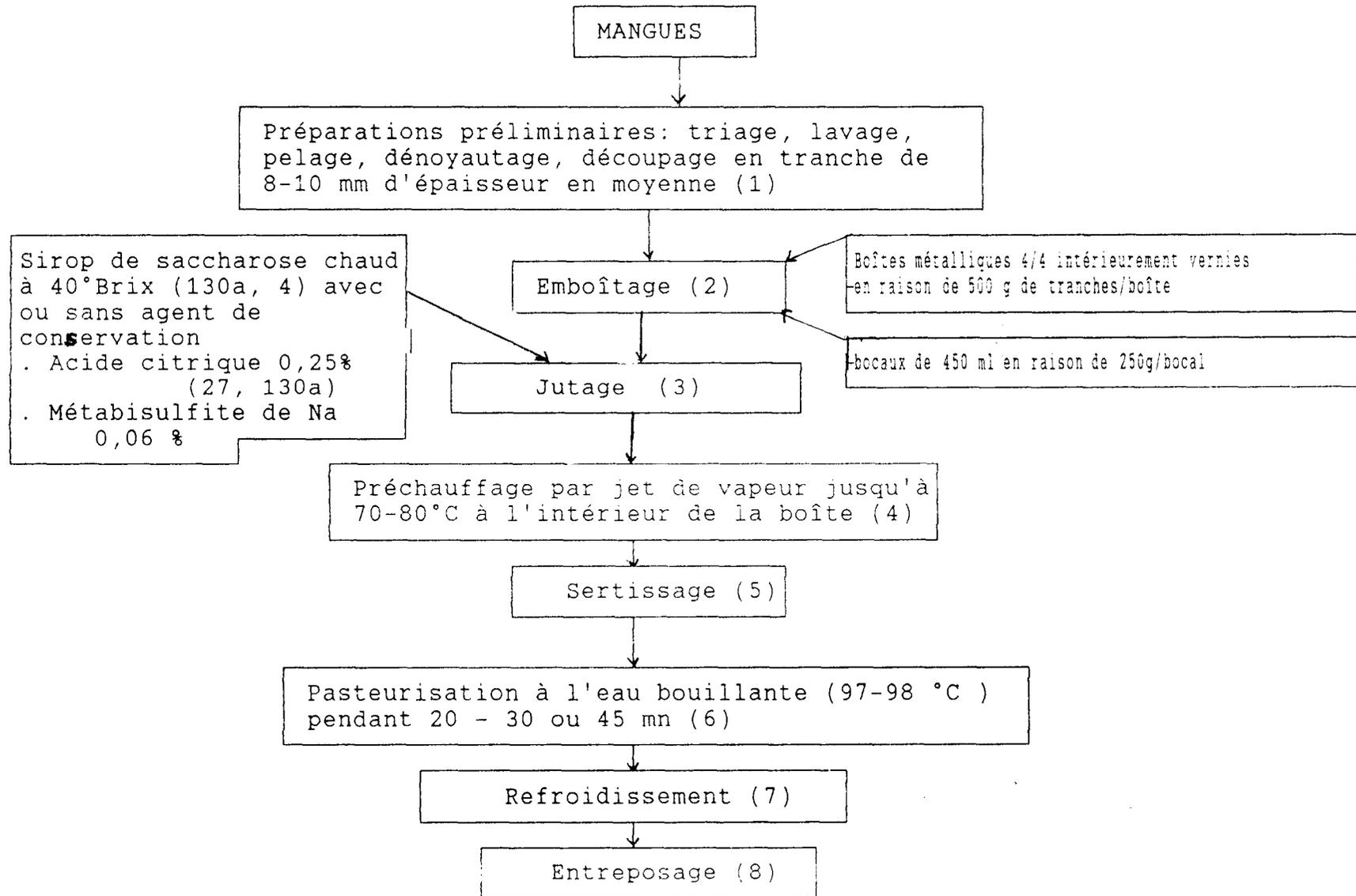
II.1.4 - *Stockage du produit séché*

En fin de séchage, le produit séché est ramassé; on laisse refroidir pendant une heure à la température de la salle.

Les tranches de mangue séchées sont ensuite triées et chaque lot est répartie en fractions dans des bocaux. Ces bocaux sont encartonnés et entreposés dans les conditions ambiantes du laboratoire pour la suite des travaux. Tous les 3 mois, le contenu d'un bocal est utilisé pour le contrôle des caractéristiques physico-chimiques.

II.2 - Obtention des tranches de mangue au sirop : Processus de fabrication

La fabrication des conserves de mangue au sirop a suivi le schéma technologique ci-après proposé et adapté aux équipements de l'UCOBAM mis à notre disposition.



- Etape (1) : C'est la préparation de la matière première qui consiste en des opérations de triage, de lavage, de pelage et de découpage en tranches.
- Etape (2) : Les tranches de mangue sont rangées dans des boîtes métalliques ou dans des bocaux en verre.
- Etape (3) : Elle consiste à couvrir les tranches de mangue mises en boîtes par un sirop de saccharose chaud (80°C) à 40° Brix (40 %p/p). Ce sirop est obtenu à partir d'un mélange de 40 kg de saccharose (sucre de canne blanc) et 60 kg d'eau, chauffé sous agitation jusqu'à ébullition. L'addition des agents chimiques de conservation se fait en fin de préparation du sirop.
- Etape (4) : On chauffe les boîtes par jets de vapeur jusqu'à ce que le produit soit d'environ 70-80°C.
- Etape (5) : C'est la fermeture hermétique des boîtes. Elle est réalisée à l'aide d'une sertisseuse automatique, Model AG. 100.
- Etape (6) : C'est le traitement thermique qui consiste à maintenir les boîtes serties dans de l'eau bouillante pendant 20, 30 ou 45 minutes. Il est réalisé dans des marmites basculantes à chauffage par vapeur.
- Etape (7) et (8) : Après la pasteurisation, boîtes et bocaux sont refroidis à l'eau de robinet jusqu'à atteindre une température d'eau d'environ 40°C. Ils sont ensuite essuyés puis stockés dans les conditions ambiantes de l'usine.

En raison du traitement thermique qui intervient ici, les mangues mises en oeuvre sont des mangues mures, à peau verte et assez consistantes. Le problème d'adaptabilité variétale à la technologie a été abordé en associant à cette expérience la variété lippens (petite variété très sucrée d'où son nom "Timi - Timi" en langue nationale dioula).

Au total 420 unités ont été produites en raison de 20 ou 25 unités par série d'échantillons. Tous les trois mois, on prélève au hasard 2 unités de chaque série pour les besoins des contrôles biologiques et physico-chimiques.

Les différents types d'échantillons obtenus sont inscrits sur le tableau V.

Tableau V: Différents types d'échantillon de conserves de mangue au sirop

N° des lots d'échantillons	Variétés de mangue	Emballage	Agent chimique de conservation	Temps de pasteurisation (mn)	nombre d'échantillons
1	Amelie	boite 4/4	Exempt(témoin)	20	25
2	"	"	"	30	25
3	"	"	Acide citrique 0,25 %	20	25
4	"	"	"	30	25
5	"	"	métabisulfite de Na	20	25
6	"	"	"	30	25
7	lippens	"	Exempt(témoins)	20	25
8	"	"	"	30	25
9	"	"	"	45	25
10	"	"	métabisulfite de Na	20	25
11	"	"	"	30	25
12	"	"	"	45	25
13	Amelie	bocaux	"	20	20
14	"	"	"	30	20
15	"	"	Acide citrique 0,25 %	20	20
16	"	"	"	30	20
17	"	"	métabis. de Na	20	20
18	"	"	"	30	20
					T = 420

III - METHODES ANALYTIQUES

III.1 -Dosage des constituants glucidiques

1) Dosage des sucres totaux

Ce dosage a été réalisé sur la mangue durant son développement sur l'arbre et sur les conserves de mangues au sirop. Il a été réalisé selon la méthode à l'orcinol sulfurique préconisée par MONTREUIL et SPIK (118).

Mode opératoire:

* Echantillons frais : 200 mg de pulpe de mangue finement broyée sont mis en suspension dans 50 ml d'eau distillée. Le mélange est mis sous agitation magnétique pendant 10 mn puis le volume est ajusté à 200 ml avec de l'eau distillée. On prélève 1 ml de cette solution et on ajoute 2 ml du réactif à l'orcinol sulfurique, puis 7 ml de la solution d'acide sulfurique 60 %. Le mélange est homogénéisé, porté au bain marie bouillant pendant 20 mn puis placé à l'obscurité pendant 45 mn. Après 10 mn à la température ambiante, l'absorbance est mesurée à 510 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les teneurs en glucide sont déterminées à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie avec le D glucose comme sucre de référence.

Les résultats sont exprimés en équivalent D-glucose.

* Mangue au sirop:

Le dosage est fait avec le sirop de sucre recouvrant les tranches.

On prépare une solution mère à partir de 10 g de sirop de sucre centrifugé à 5000 tours/mn pendant 15 mn, dilué à 100 ml avec de l'eau distillée. 1 ml de cette solution est ensuite ramené à 50 ml avec de l'eau distillée. 0,2 ml de cette dilution est ramené à 1 ml avec de l'eau distillée auquel on ajoute les réactifs comme précédemment décrit. La suite du dosage reste le même.

2) Dosage de l'amidon

La détermination de la teneur en amidon a été possible grâce à la coloration bleue ou rouge violacée développée par l'empois d'amidon en présence d'iode (159).

Reactif : - solution d'iodure de potassium : 2 g de KI dans 100 ml d'eau. Après dissolution on ajoute 2,5 g de I_2

Mode opératoire: 100 mg de purée de mangue sont mis en suspension dans 20 ml d'eau froide. Ce volume est ramené à 100 ml avec de l'eau distillée bouillante sous agitation magnétique. Le mélange est chauffé jusqu'au début de l'ébullition, refroidi rapidement puis filtré. A 10 ml de filtrat, on ajoute 0,1 ml du réactif à l'iode. Après homogénéisation, l'absorbance est lue à 580 nm avec un spectrophotomètre (U.V - Visible spectrophotometer M 302).

Une courbe de référence établie avec l'amidon soluble (amidon de pomme de terre) a été réalisée pour déterminer les teneurs en amidon.

3) Dosage des sucres réducteurs

La méthode au 3 - 5 dinitrosalicylate (DNS) (88) a été utilisée pour doser les sucres réducteurs dans les échantillons frais et appertisés (conserves au sirop).

Réactif au DNS (cf annexe 2)

Mode opératoire

* Echantillons frais : 2,5 g de purée de mangue sont mis en suspension dans 25 ml d'eau distillée chaude (60°C). Le mélange est maintenu sous agitation magnétique pendant 1 h 30 mn puis filtré au Büchner. Le résidu est lavé deux fois avec 25 ml d'eau distillée sous agitation pendant 30 mn. Les filtrats sont recueillis et le volume est ajusté à 100 ml avec de l'eau distillée.

A 1 ml de cette solution glucidique, on ajoute 2 ml du réactif au DNS. Le mélange est porté au bain marie pendant 15 mn puis

refroidi rapidement à l'eau distillée. Après homogénéisation, l'absorbance est lue à 546 nm à l'aide du spectrophotomètre. Les concentrations en sucres réducteurs sont calculées à partir d'une courbe d'étalonnage établie avec le D-glucose comme sucre de référence.

* Conserves de mangue au sirop : la préparation de l'échantillon est la même que dans le cas du dosage des sucres totaux, mais le dosage est fait ici à partir de 0,5 - 1 ml de sirop dilué. La procédure du dosage reste la même que précédemment décrite.

Les résultats sont exprimés en équivalent D-glucose.

4) Estimation du taux de saccharose

La détermination du taux de saccharose dans les échantillons frais, a été réalisée par comparaison des pouvoirs réducteurs avant et après hydrolyse chlorhydrique ménagée à partir de la solution glucidique obtenue lors du dosage des sucres réducteurs.

. L'hydrolyse :

Dans un tube à essai, on met 10 ml de filtrat et 0,2 ml de HCl pur. Le mélange est porté au bain marie bouillant pendant 15 mn puis refroidi rapidement à l'eau de robinet.

. Mode opératoire :

On dose les sucres réducteurs dans le filtrat hydrolysé et dans le filtrat non hydrolysé.

La teneur en saccharose est donnée par la relation :

$$(B - A) \times 0,95 \text{ avec}$$

A = teneur en sucres réducteurs avant l'hydrolyse

B = teneur en sucres réducteurs après hydrolyse

0,95 = Coefficient de conversion; l'hydrolyse étant effectuée en milieu aqueux, 95 % des sucres intervertis proviennent du saccharose de l'échantillon. Ce facteur est obtenu à partir de la relation d'hydrolyse d'une molécule de saccharose et est égale au rapport:

Poids moléculaire du saccharose

Σ poids moléculaire des sucres intervertis (glucose + fructose) (134)

III.2 - Dosage des protéines totales

La méthode Kjeldalh (43) a été utilisée pour doser les protéines totales. Le catalyseur de digestion est constitué d'un mélange de 100 g de sulfate de potassium (K_2SO_4) et de 20 g de sulfate de cuivre ($CuSO_4, 5H_2O$).

Mode opératoire

On introduit dans un matras propre et sec:

- . 2 g de pulpe de mangue
- . 1 g de catalyseur de digestion
- . 0,2 g de sélénium
- . 10 ml de H_2SO_4 concentré
- . un morceau de paraffine
- . une bille de verre.

Ce mélange est minéralisé pendant 3 h et 30 mn par chauffage graduel à 50°C, 80°C, 100°C et 200°C sur une plaque chauffante jusqu'à l'obtention d'une solution jaunâtre ou blanchâtre avec dégagement de fumée blanchâtre. On laisse refroidir le minéralisat ainsi obtenu puis on ajuste le volume à 100 ml avec de l'eau distillée. Le minéralisat dilué est distillé avec l'appareil de Kjeldalh (GERHAR D.T. VAP ODEST 1). Le distillat est recueilli dans l'indicateur à l'acide borique (20 ml de solution d'acide borique plus 2 - 3 gouttes d'héliantine et de vert de bromocrésol) puis titré par H_2SO_4 0,05N. La fin de la réaction est marquée par le virage du vert au jaune. La teneur en protéines est donnée par la relation :

$$\text{Protéine (\%)} = \frac{(V_1 - V_0)N \times 14 \times 10^{-3}}{PE} \times 6,25 \times 100$$

V_0 = Volume de H_2SO_4 0,05N nécessaire pour titrer le blanc (eau distillée)

V_1 = Volume de H_2SO_4 0,05N nécessaire pour titrer l'échantillon

N = Normalité de H_2SO_4 (0,05)

PE = Prise d'essai

6,25 = Coefficient de conversion

14 = PM de l'azote

III.3 - Détermination du taux de matière grasse

Le dosage des lipides a été fait après extraction à l'hexane par la méthode SOXLHET.

A partir de 10 g de pulpe de mangue, on extrait les matières grasses à l'aide du dispositif soxlhet pendant 3 heures. Le solvant est ensuite évaporé avec un rotavapor. Le ballon contenant les lipides est débarrassé des traces de solvant après incubation à $103^\circ C$ à l'étuve jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Le pourcentage en matière grasse est donné par la relation:

$$\text{Matière grasse (\%)} = \frac{M}{PE} \times 100$$

M = Poids des lipides

PE = Prise d'Essai

III.4 - Détermination de la teneur en eau

Elle est réalisée après dessiccation à l'étuve à $103^\circ C$ à partir d'une prise d'essai de 10 g (produit frais) ou 2 g (produit séché). Au bout de 15 heures de dessiccation l'échantillon est pesée toutes les trois heures après refroidissement au dessiccateur jusqu'à l'obtention d'un poids constant à 10^{-2} près. Le taux d'humidité est donné par la relation:

$$\text{eau (\%)} = \frac{M_0 - M}{M_0} \times 100$$

M_0 = Poids initial de l'échantillon

M = Poids final de l'échantillon

Les résultats obtenus par cette méthode ont été vérifiés par la méthode AFNOR (NF V05 - 105) appliquée aux fruits et légumes et qui consiste en une dessiccation à l'étude sous pression à 70°C (5).

III.5 - Mesure du pH et dosage de l'acidité totale

La méthode AFNOR (5) appliquée aux fruits et légumes et produits dérivés a été utilisée avec le mode opératoire suivant :

. Produit frais

* Mesure du pH

5 g de broyat de pulpe de mangue sont mis en suspension dans 25 ml d'eau distillée. Après une forte agitation magnétique, on mesure le pH à l'aide d'un pH-mètre préalablement étalonné avec des solutions standards tampon pH = 4 et pH = 7.

* Acidité : On ajoute à la solution précédente 3 gouttes de phénolphthaléine et on titre avec de la Soude 0,1 N jusqu'à ce que la coloration rose indiquant la fin du dosage persiste pendant 30 secondes.

. Produit séché

Dans une fiole conique, on introduit 2,5 g de broyat de mangue puis 50 ml d'eau distillée chaude (50 - 60°C). Après homogénéisation, on chauffe à reflux au bain marie bouillant pendant 30 minutes. Après refroidissement, le mélange est filtré, le résidu rincé avec de l'eau distillée et le volume est ajusté à 100 ml. On prélève 25 ml et on titre avec du NaOH 0,1 N.

. Conserves de mangue au sirop

- Le pH est mesuré directement à partir de 25 ml de sirop.

- Acidité : 25 g de sirop sont dilués à 100 ml avec de l'eau distillée. Après agitation magnétique, 50 ml sont prélevés puis titré avec NaOH 0,1 N.

L'acidité totale est exprimée en % acide citrique par la relation suivante :

$$\text{Acidité (\%)} = \frac{N \times V \times VT}{VP \times PE} \times 0,070 \times 100$$

N = Normalité de NaOH

V = Volume de NaOH nécessaire pour titrer l'échantillon

VT = Volume totale de la solution à titrer

VP = Volume prélevé

PE = Prise d'Essai

0,070 = facteur de conversion en équivalent acide citrique.

III.6 - Dosage de l'acide ascorbique

L'acide ascorbique a été dosé par la méthode volumétrique au réactif de Tillmans : le 2 - 6 dichlorophénol-indophénol de l'A.O.A.C. (Association of Official Analytical Chemists, 1970) (77, 73). Cette méthode a été vérifiée par la méthode colorimétrique de ROE et KUETHER (40).

1) Méthode colorimétrique (ROE et KUETHER (1943))

Principe : L'acide Déhydroascorbique, formé par oxydation de l'acide ascorbique par le charbon norit se transforme spontanément en acide dicéto gulonique en milieu acide. Ce dérivé forme avec la dinitro-2, 4 phényl hydrazine une bis-2, 4-dinitrophénylhydrazone qui, traité avec l'acide sulfurique à 85 % donne par suite d'un réarrangement moléculaire un composé de couleur rougeâtre très stable, permettant un dosage spectrophotométrique.

Réactifs :

- mélange de solutions d'acide métaphosphorique 5 % et d'acide acétique à 10 % (5 g d'acide métaphosphorique dans une fiole de 100 ml et ajuster le volume avec une solution d'acide acétique 10 % V/V).
- solution de dinitro-2, 4 phénylhydrazine : 2 g de dinitro-2, 4 phénylhydrazine dans H₂SO₄, 9N qsp 100 ml.

- solution d'acide sulfurique 85 %
- charbon norit pur
- acide ascorbique

Mode opératoire

. Extraction de l'acide ascorbique

2,5 g de pulpe de mangue broyée sont mis en suspension dans 50 ml de la solution d'acide métaphosphorique/Acide acétique. Ce mélange est mis sous agitation pendant 1 heure, puis filtré. Le résidu est rincé et on note le volume total.

Avec les conserves de mangue, l'extraction est faite à partir de 10 g de sirop + 10 g de pulpe de mangue.

Après agitation, le dosage de l'acide déhydroascorbique est réalisé sur une partie aliquote du filtrat avant et après oxydation.

. Dosage de l'acide déhydroascorbique

A 4 ml de l'extrait précédent, on ajoute 1 ml de la solution de dinitro-2, 4 phénylhydrazine. Après 3 heures d'incubation à 37°C, le mélange est placé dans de la glace puis on y ajoute lentement et en agitant, 5 ml d'acide sulfurique 85 %. Après 30 mn au repos, à la température ambiante, l'absorbance est mesurée à 540 nm contre un blanc.

. Oxydation de l'acide ascorbique

On prélève 10 ml de l'extrait et on ajoute 1 g de charbon norit. Après 10 mn d'agitation magnétique, la suspension est filtrée, le charbon norit est rincé et le volume est ajusté à 25 ml avec la solution mélange d'acide métaphosphorique/acide acétique. Le dosage de l'acide déhydroascorbique (produit de l'oxydation) est fait avec une partie aliquote de ce filtrat.

La détermination de la teneur en acide déhydroascorbique est faite à l'aide d'une courbe d'étalonnage obtenue à partir d'une solution d'acide ascorbique à 0,04 mg/ml oxydée par le charbon norit.

La teneur en acide ascorbique est alors égale à la différence

entre la teneur en acide déhydroascorbique avant oxydation et après oxydation.

Remarque : Le charbon norit permet d'une part l'oxydation de l'acide ascorbique, la clarification de l'extrait et par conséquent l'élimination des substances interférantes (certains pigments).

2) Méthode volumétrique au réactif de Tillmans

Principe : L'acide ascorbique, comporte une fonction ènediol très oxydable sur les carbones 2 et 3. Cette propriété confère à cet acide des réactions d'oxydo-réduction qui permettent non seulement de le caractériser mais aussi de le doser.

Réactifs :

- solution de 2,6-dichlorophénol-indophénol (sel de sodium) à 0,5 mg/ml.
- solution d'acide métaphosphorique 5 % / Acide acétique 10 %.

Mode opératoire

Extraction : L'extraction de la vitamine C est faite comme précédemment décrite avec la solution d'acide métaphosphorique / Acide acétique.

Dosage : 25 ml d'extrait sont titrés attentivement avec la solution de 2,6 dichlorophénol-indophénol jusqu'à ce que la coloration rouge indiquant la fin du dosage persiste pendant 5 secondes.

La quantité d'acide ascorbique est calculée à partir d'une référence établie par le dosage de 10 ml d'une solution d'acide ascorbique pur de concentration connue préparé dans la solution d'acide métaphosphorique / acide acétique.

La teneur en acide ascorbique est alors donnée par la relation suivante :

$$\text{Acide ascorbique (mg \%)} = \frac{b \times V_1}{V_2} \times \frac{100}{PE}$$

b = quantité d'acide ascorbique contenue dans la solution d'acide ascorbique pur (solution de référence).

V_1 = Volume du réactif nécessaire pour le dosage de la solution de référence

V_2 = Volume du réactif nécessaire pour le dosage de l'échantillon

PE = Prise d'Essai

III.7 - Détermination de la matière sèche soluble (Brix)

Le pourcentage de matière sèche soluble ou degré Brix (°Brix) est déterminé par la méthode réfractométrique normalisée (NF V05-109) (5). La mesure est faite directement avec un réfractomètre de type Abbé adapté à un dispositif de circulation d'eau permettant d'effectuer les mesures à 20°C.

Ce dosage est réalisé sur le sirop de saccharose des conserves de mangue. Les résultats sont exprimés en pourcentage (P/P) de saccharose.

III.8 - Méthodes d'évaluation du brunissement

Ces méthodes sont basées sur les propriétés d'absorption des pigments du brunissement dans le visible et de certains produits issus des réactions de brunissement dans l'ultrat-violet. Pigments et produits étant extractibles dans les mêmes solvants (eau, alcool...)

III.8.1 - Produit séché

a) *Mesure de l'absorbance dans le visible*

Dans le cas des produits séchés, l'expérience a montré que les meilleurs solvants sont les alcools; ce qui a valu l'appellation d'"indice de pigments solubles dans l'alcool" ("Alcohol soluble color index ") par certains auteurs (62a).

Procédure: L'extraction de pigments est faite à partir d'1 g de broyat de mangue séchée par trituration dans un mortier en porcelaine avec du méthanol à 70 % jusqu'à solvant incolore. L'extrait est filtré sur papier whatmann n°2 et le volume est ramené à 100 ml avec du méthanol à 70 %.

L'absorbance est alors mesurée à 400 et 420 nm contre le méthanol 70 % comme blanc.

Les résultats sont exprimés en absorbance / g de matière sèche.

b) Mesure de l'absorbance dans l'U.V

On mesure l'absorbance de l'extrait précédemment obtenu dans l'U.V à 282 nm (141). Les résultats sont exprimés de la même manière.

III.8.2 - Conserve de mangue au sirop

Après centrifugation à 7000 tours / mn pendant 20 mn, 10 g de sirop sont dilués avec de l'eau distillée, quantité suffisante pour 20 ml. Le mélange est homogénéisé, filtré sur papier whatmann n°2 et l'absorbance est mesurée à 400 et 420 nm avec de l'eau distillée utilisée comme blanc.

Pour la mesure de l'absorbance à 282 nm, le diluat précédent est dilué au dixième avec de l'eau distillée avant la lecture au spectrophotomètre.

Les résultats sont exprimés en absorbance / g de matière sèche.

III.9 - Analyse des pigments caroténoïdes

III.9 - Analyse qualitative des pigments

Cette analyse a été faite sur la mangue mûre à l'état frais (A) et à l'état déshydraté (B); puis au cours du stockage à la température ambiante de l'échantillon séché, à savoir après 6 mois de stockage (C) et 12 mois de stockage (D).

a) *Chromatographie sur couche mince et lecture au spectrophotodensitomètre*

Elle a été réalisée au Laboratoire de Chimie de l'IRSN, Ouagadougou.

a1 - Extraction des pigments

L'extraction des pigments est faite à partir de 10 g (produit frais) ou 2,5 g (produit séché) de broyat de pulpe de mangue par trituration dans l'acétone refroidi à l'aide d'un mortier en porcelaine. Le solvant est renouvelé jusqu'à l'obtention d'un solvant incolore.

a2 - Chromatographie sur couche mince et lecture au spectrophotodensitomètre

La chromatographie sur couche mince est réalisée sur des plaques déjà préparées ayant comme adsorbant du gel de silice (60 F₂₅₄, Merck) et comme support une plaque de verre. Avec des micropipettes, on dépose séparément à la base de la plaque les différents échantillons. La plaque est ensuite introduite dans une cuve à chromatographie contenant le solvant de migration qui est un mélange Méthanol - Benzène - Ether de pétrole dans les proportions 1/2/2 (v/v).

En fin de migration, la plaque est séchée et installée dans le spectrophotodensitomètre pour la lecture.

a3 - Test préliminaire de caractérisation

Un test préliminaire de caractérisation des caroténoïdes est effectué après chaque extraction à l'aide du réactif de Carr - Price. Pour cela, dans des verres de montre, on met 2 à 5 ml d'extrait acétonique concentré qui est ensuite évaporé à sec. Au résidu on ajoute quelques gouttes du réactif de Carr - Price : solution saturée de chlorure d'antimoine III dans du chloroforme. On observe le changement de la coloration puis on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique concentré; on observe une 2ème fois le changement de la coloration.

Le test est positif lorsque la couleur initiale jaune devient bleue après l'addition de la solution d'antimoine et qui devient bleu-verdâtre après l'addition de l'acide sulfurique.

b) *Chromatographie sur colonne*

b1) *Extraction*

Elle est faite à partir de 10 g (produit frais) ou 2,5 g (produit séché) de broyat de pulpe de mangue par trituration dans l'acétone refroidi à l'aide d'un mortier en porcelaine. Le solvant est renouvelé jusqu'à l'obtention d'un solvant incolore. L'extrait acétonique total est filtré sur papier whatmann n°2 et séché sur 5 g de sulfate de sodium anhydre que l'on rince avec l'acétone pour récupérer les traces de pigment. La solution acétonique totale est concentrée à 100 ml sous pression réduite à 30°C avec un rotavapor. Cette solution constitue la solution A.

b2) *Saponification*

A la solution A, on ajoute un volume égal de potasse méthanolique (potasse 1N 15 %, et 85 % de méthanol) dans un flacon teinté de 250 ml. Le flacon est fermé hermétiquement et mis sous agitation magnétique à basse température. C'est la solution B.

b3) *Reprise des caroténoïdes par l'éther de pétrole (40-60°)*

La solution B est transvasée dans une ampoule à décanter. On y ajoute 40 ml d'éther de pétrole puis 5-10 ml d'eau distillée; deux phases se forment:

La phase inférieure aqueuse est soutirée puis traitée plusieurs fois à l'éther de pétrole jusqu'à ce que la dernière phase éthérée devienne incolore.

La phase éthérée totale est lavée 4 fois avec de l'eau distillée pour débarrasser les restes d'acétone et de méthanol.

L'extrait éthéré total est filtré et séché sur 5 g de sulfate de sodium anhydre et concentré à 10 ml environ sous pression

réduite à 30°C puis est repris dans 25 ml de n-hexane pur : solution C.

b4) Séparation et purification

La chromatographie sur colonne, utilisant les techniques décrites par COSTES (39) et SCHALLER (153) a été utilisée. Les adsorbants utilisés pour les colonnes sont : L'anhydride silicique (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3) neutre, la cellulose, l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) et le carbonate de calcium (CaCO_3).

α) Préparation des colonnes

. Colone de SiO_2 : cette colonne permet la séparation des carotènes des xanthophylles. Elle est préparée dans du méthanol après lavage de 50 g de poudre de SiO_2 pendant 30 mn dans le même solvant. 24 heures après sa préparation, la colonne est débarrassée de l'excès de méthanol en la lavant successivement avec un mélange méthanol/Ether de pétrole (1/1), puis un mélange hexane/éther de pétrole (1/1) et enfin avec l'hexane pur.

. Colonne (Al_2O_3) neutre : Préparée dans le méthanol, comme la précédente, cette colonne a servi à l'analyse de la fraction F_1 . Une première élution par l'hexane donne la fraction $F_{1,1}$ et une deuxième élution par le méthanol donne la fraction $F_{1,2}$.

. Colonne de cellulose

Cette cellulose est préparée dans de l'éther de pétrole et est abandonnée une semaine au moins dans la chambre froide avant son utilisation.

. Colonne de $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Elle est préparée dans l'éther de pétrole comme la précédente.

β) Séparation et purification

La solution C est chromatographiée sur colonne de SiO_2 . L'élution est faite successivement par:

- l'hexane jusqu'à éluat incolore qui donne la fraction F_1 , cette fraction plus concentrée, contient la presque totalité des

pigments. Elle est la fraction la plus importante.

- le méthanol jusqu'à éluant incolore qui donne la fraction F_{II} beaucoup moins importante que la première. Elle est recueillie dans un flacon contenant 2-3 ml de benzène qui favorise l'obtention d'une phase unique; le front de cette fraction tombe sous forme de gouttelettes contenant de l'hexane non miscible au reste de la solution même après agitation.

. La fraction F_I est analysée par la colonne d'alumine neutre. Une première élution par l'hexane donne la fraction $F_{I,1}$ et une deuxième élution par le méthanol donne la fraction $F_{I,2}$.

. La fraction $F_{I,1}$, plus importante du point de vue de la concentration est reprise dans l'éther de pétrole puis purifiée successivement sur colonne de cellulose, d'hydroxyde de calcium et par deux chromatographies successives sur colonne d'alumine neutre. La fraction final $F_{I,1}$ est évaporée sous pression réduite à 30°C puis les pigments sont repris dans 50 ml de n hexane. Le spectre de cette fraction est alors réalisé dans le visible avec le spectrophotomètre.

. La fraction $F_{I,2}$, reprise dans l'éther de pétrole et rechromatographiée sur colonne Al_2O_3 donne deux fractions $F_{I,2a}$ et $F_{I,2b}$ après élution par un mélange Ether de pétrole/Acétone 10 %. Ces deux fractions subissent chacune une chromatographie sur colonne d'hydroxyde de calcium: L'élution est faite avec le mélange Ether de pétrole/Acétone 10 %.

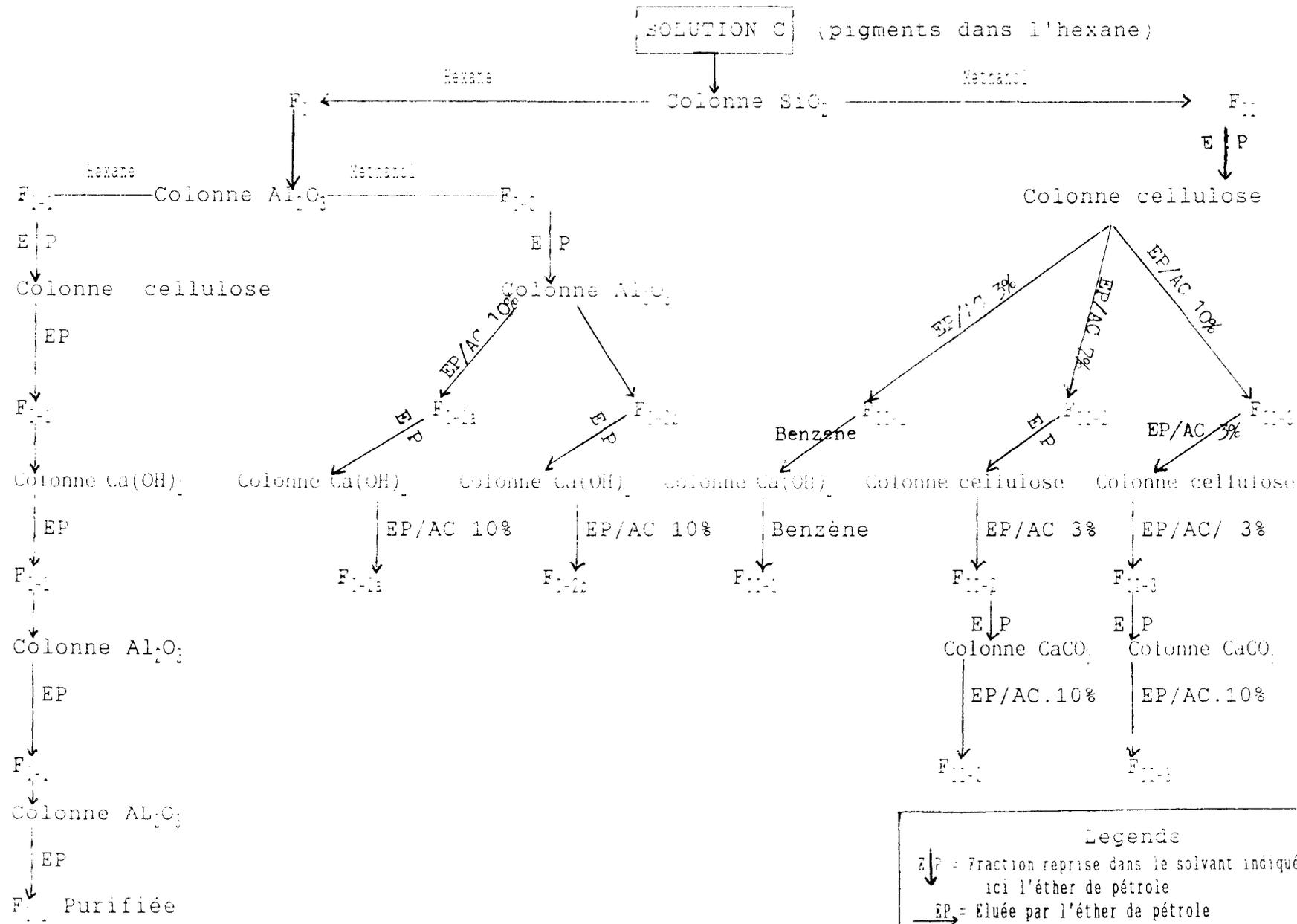
. La fraction F_{II} est fractionnée après une chromatographie sur colonne de cellulose:

Eluée avec : * l'éther de pétrole/Acétone 3 % on obtient la fraction $F_{II,1}$.

* l'éther de pétrole/Acétone 7 % ———> fraction $F_{II,2}$

* Ether de pétrole/Acétone 10 % ———> fraction $F_{II,3}$

Ces trois fractions de très faible concentration sont purifiés sur colonne de cellulose ou d'hydroxyde de calcium conformément au schéma suivant:



Schema resumat les principales étapes de séparation et de purification

III.9.2 - Dosage quantitatif des caroténoïdes totaux

a) *Extraction*

L'extraction est faite de la même manière que précédemment. L'extrait acétonique total est filtré sur papier whatmann n°2 et séché sur 5 g de sulfate de sodium anhydre que l'on rince avec de l'acétone pour récupérer les traces de pigment. On note le volume de l'extrait acétonique total, soit V_1 .

b) *Saponification*

Elle est faite selon une méthode combinant celle de COSTES (39) et MONERGER (115). 40 ml (V_2) de l'extrait précédant sont saponifiés par un volume égale d'un mélange méthanol, potasse 1N (15 % de KOH et 85 de méthanol) pendant 24 heures à froid et sous agitation. La saponification permet l'élimination des lipides et des chlorophylles. La solution est transvasée dans une ampoule à décanter où on y ajoute 40 ml d'éther diéthylique et quelques jets d'eau distillée.

Deux phases se forment : la phase inférieure, aqueuse est soutirée et traitée 2 fois comme précédemment avec l'éther diéthylique et l'eau distillée pour s'assurer de l'absence de traces de caroténoïdes. La solution étherée totale (phases supérieures) est filtrée et séchée sur 5 g de sulfate de sodium anhydre que l'on rince à l'éther diéthylique. On note le volume final soit V'_2 .

c) *Dosage et expression des résultats*

Le spectre d'absorption des pigments caroténoïdes dans l'éther diéthylique est enregistré entre 400 et 500 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

La concentration en caroténoïdes totaux est déterminée en utilisant le coefficient d'absorption spécifique moyen entre celui de la β carotène (carotène) et celui de la lutéine (xanthophylle)

selon GUERIN-DUMARTRAIT, (127) et exprimée par la formule :

Caroténoïdes totaux ($\mu\text{g/g}$) =

$$\frac{\text{Absorbance à 444 nm}}{240} \times 10^3 \times \frac{V'_2}{V_2} \times \frac{V_1}{\text{PE}}$$

V_1 = Volume de l'extrait acétonique total

V_2 = Volume prélevé pour la saponification

V'_2 = Volume final d'extrait étheré

PE = Prise d'Essai

III.9.3 - Dosage séparé des carotènes totaux et des xanthophylles totaux

Pour chaque échantillon, le dosage est fait à partir de l'extrait acétonique obtenu lors du dosage des caroténoïdes totaux. 100 ml d'extrait acétonique sont mis dans une ampoule à décanter. On y ajoute 50 ml d'éther de pétrole puis quelques millilitres d'eau distillée qui favorise la séparation en deux phases :

- la phase supérieure, étheropétrolique contient les carotènes et les chlorophylles.

- la phase inférieure, acétonique renfermant les xanthophylles est soutirée, transvasée dans une ampoule à décanter où elle est traitée avec 30 ml d'éther de pétrole pour récupérer les traces de carotènes.

L'extrait étheropétrolique totale est alors lavé 4 fois avec de l'eau distillée pour éliminer les traces d'acétone, puis saponifié pendant 24 heures à l'abri de la lumière vive; Au repos, on distingue deux phases : la phase étheropétroliuqe qui, après lavage à l'eau distillée, est séchée sur du sulfate de sodium anhydre : elle contient les carotènes.

Les xanthophylles (phase méthanolique) sont extraites avec 50 ml d'éther diéthylique. Après séchage et concentration à sec au rotavapor à 30°C, le résidu (xanthophylle) est repris dans 11 ml

d'éthanol pur.

La détermination quantitative est effectuée par spectrophotométrie à 450 nm ($E_{1\text{cm}}^{1\%} = 2505$) pour les carotènes et à 440 nm ($E_{1\text{cm}}^{1\%} = 2580$) pour les xanthophylles (149).

Les résultats sont exprimés en $\mu\text{g/g M.S}$

III.10 - Evaluation de l'énergie métabolisable

L'énergie métabolisable a été déterminée sur 50 échantillons frais (mangues mûres) après dosage des principes énergétiques (glucides, lipides, protéines) selon les méthodes décrites plus haut et en appliquant les coefficients spécifiques de ATWATER pour les fruits (99) :

1 g de glucides fournit généralement 3,60 Kcal

1 g de lipide fournit généralement 8,37 Kcal

1 g de protéine fournit généralement 3,36 Kcal

Les résultats sont exprimés en Kcal/100 g M.F.

III.11 - Dosage des éléments minéraux

a) *Dosage du phosphore (méthode colorimétrique à l'acide ascorbique).*

a1) Principe : Après minéralisation de la matière organique avec un mélange acide perchlorique (HClO_4) - eau oxygénée (H_2O_2), le phosphore de l'échantillon, est sous forme d'orthophosphate (H_3PO_4), qui en milieu acide, se combine avec le molybdate pour donner un complexe phosphomolybdique $\text{H}_3\text{P}(\text{MO}_3\text{O}_{10})_4$. Ce complexe en présence d'acide ascorbique est réduit en bleu de molybdène qui permet un dosage colorimétrique selon la loi de Beer-Lambert (l'intensité de la coloration dépend de la teneur en phosphate).

a2) Mode opératoire

* Minéralisation

Dans un matras propre et sec, on introduit 1 g de pulpe sèche, 4 ml de H₂O₂ et 2 ml de HClO₄. On procède à la minéralisation par chauffage graduel de 15-20 mn à 50°C, 70°C, 90°C, 100°C et 200°C sur plaques chauffantes jusqu'à l'obtention d'une solution jaunâtre ou blanchâtre avec dégagement de fumées blanchâtres. Après refroidissement, le volume du minéralisat est complété à 100 ml avec de l'eau distillée.

* Méthode de dosage

Dans un tube à essai, on introduit:

1 ml de filtrat du produit de digestion

5 ml d'eau distillée

4 ml d'une solution composée de :

10 ml de H₂SO₄, 6N

10 ml de molybdate d'ammonium 2,5 %

10 ml d'acide ascorbique à 10 %

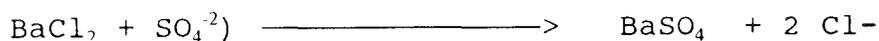
On laisse la coloration se développer pendant 30 mn puis on effectue la lecture de l'absorbance à 820 nm au spectrophotomètre. La teneur en phosphore est déterminée à l'aide d'une courbe étalon réalisée à partir d'une solution mère de K₂HPO₄ à 20 mg/ml.

b) Dosage du soufre (par turbidimétrie)

b1) Principe

Le soufre de la matière organique est converti en sulfate (SO₄²⁻) après minéralisation avec un mélange HClO₄-H₂O₂

Les sulfates en présence de chlorure de Baryum, précipitent sous forme de sulfate de baryum dont la turbidité de la solution, proportionnelle à la quantité de sulfates extraits permet un dosage au spectrophotomètre.



b2) Mode opératoire

La minéralisation est faite à partir d'1 g de pulpe de mangue

sèche comme dans le cas du phosphore.

On prélève 6 ml de minéralisat auxquels on ajoute 0,36 g de BaCl₂. Après agitation, on laisse reposer pendant 30 mn puis on ajoute 4 ml de la solution de stabilisation composée de: 2,5 ml de polyvynil alcool 1 %, 25 ml de glycerol et 72,5 ml d'eau distillée.

L'absorbance de la solution est ensuite mesurée au spectrophotomètre à 440 nm. Une gamme étalon effectuée à partir d'une solution mère de K₂SO₄ à 15 mmoles/l a permis la détermination de la teneur en soufre.

C) Dosage des chlorures (par argentimétrie)

c1) Principe

Après minéralisation, les ions chlorures sont précipités à l'état de chlorure d'argent par une solution titrée de nitrate d'argent. L'excès de nitrate d'argent (Ag⁺) est mis en évidence par le chromate de potassium qui forme un précipité rouge de chromate d'argent.



c2) Mode opératoire

-minéralisation par calcination (voie sèche)

10 g de pulpe de mangue sèche sont introduits dans un creuset en porcelaine puis soumis à une incinération dans un four à moufle (thermolyne type 1300, furnace) à 500 - 550°C jusqu'à l'obtention de cendres grise-blanches (3-4 heures). Après refroidissement dans un dessiccateur, on note le poids de cendre obtenu.

-dosage

0,5g de cendre sont mis dans une fiole de 50 ml puis on ajuste le volume avec de l'eau distillée. La solution est mise sous agitation magnétique jusqu'à dissolution complète. A 10 ml de cette solution, on ajout 2ml d'une solution de chromate de potassium 0,1 M puis

on titre avec AgNO_3 0,1 M. La fin du dosage est marquée par le virage de la couleur jaune citron au rose crème.

La teneur en ions chlorures est donnée par la relation suivante :

$$\text{Cl}-(\text{mg } \%) = \frac{N \times V \times 35,45}{\text{PE}} \times \text{fc}$$

N = Normalité de la solution de AgNO_3

V = Volume de AgNO_3

PE = Prise d'Essai

35,45 = Poids atomique de Cl

fc = facteur de conversion (pourcentage de cendre)

d) *Dosage du fer, du Calcium, du Magnésium, de Sodium, du cuivre, du Zinc et du Manganèse (Fe, Ca, K, Mg, Na, Cu, Zn, Mn)*

Ces oligoéléments ont été déterminés par Spectrophotométrie d'absorption atomique au Laboratoire d'analyse de plantes et de sols du Bureau National des Sols (BUNASOLS).

. Principe : Après minéralisation par voie humide, les différents ions sont dosés par absorption atomique.

. Mode opératoire : 1 g d'échantillon sec est digéré dans un matras de 50 ml avec 4 ml d'une solution mixte composée de : acide perchlorique (HClO_4) 60 %/acide sulfurique concentré (H_2SO_4), 7:1 (V/V); et 15 ml d'acide nitrique concentré (HNO_3). Le chauffage est graduel jusqu'à 345°C . Après digestion complète, le minéralisat est refroidi, son volume est ramené à 50 ml après filtration.

. dosage du Ca, Mg, Mn : A 0,2 ml de filtrat, on ajoute 4,8 ml d'une solution aqueuse de lanthane (La_2O_3) à 1 %. L'addition de lanthane permet d'éliminer les interférences du phosphore et de l'aluminium.

. dosage du Fe, Zn, Cu,.....: la dilution se fait avec de l'eau distillée.

La lecture est faite au spectrophotomètre d'absorption atomique (Perkin - Elmer, model 303) contre un blanc aux longueurs d'ondes suivantes:

Ca : 422,7 nm

Mg : 285,2 nm

Mn : 279,5 nm

K : 766,5 nm

Na : 589,0 nm

Fe : 248,0 nm

Cu : 324,7 nm

Zn : 213,9 nm

Les teneurs sont déterminées à partir d'une gamme étalon de chaque élément.

III.12 - Recherche de l'activité des déshydrogénases et des amylases

III.12.1 - Activité des déshydrogénases

a) *Principe*

Les déshydrogénases sont des oxydo-réductases. Au cours des oxydations biologiques, il ya perte d'électron et l'hydrogène arraché au substrat doit trouver un accepteur. Le receveur peut être soit du NAD ou NADP, des cytochromes, l'oxygène, des composés azotés.

Beaucoup de techniques de mesure de l'activité de ces enzymes utilisent le NAD ou le NADP dont on suit par spectrophotométrie la variation de l'absorbance à 340 nm. Dans d'autres cas, on fait appel aux colorants (bleu de méthylène, rose bengale, résazurine, bleu de Nil, 2-6 dichlorophénol-indophénol,...) en suivant la décoloration au cours de la réduction. L'activité des déshydrogenases est appréciée ici par la réduction du 2-6 dichlorophénol-indophénol.

b) *Obtention de l'extrait enzymatique*

L'extrait enzymatique est obtenu selon la technique de RENDINA (140).

10 g de purée de mangue sont mis en suspension dans 25 ml d'eau distillée. Le mélange est mis sous agitation pendant 5 mn puis centrifugé à 5000 tours/mn pendant 10 mn. L'opération est répétée deux fois avec le culot en utilisant 15 ml d'eau distillée. Les surnageants sont recueillis puis traités par une source d'ultra sons (LABSON IC 2000) tout en maintenant dans de la glace pilée. On centrifuge à 10000 tours/mn pendant 20 mn. Le surnageant est recueilli puis purifié par un traitement à l'éthanol pur (il renferme des sucres réducteurs): Dans un ballon contenant le surnageant de volume V ml, on y ajoute 4 V ml d'éthanol pur. Il se forme un précipité blanchâtre. Avec du papier Whatmann on élimine le surnageant (l'éthanol) et on retient le précipité. Lorsque tout l'alcool a filtré, on verse sur le filtre 25 ml d'eau distillée et on recueille le liquide qui s'écoule: C'est l'extrait enzymatique.

c) *Mode opératoire*

Les méthodes de BRISSOU (29) et de RENDINA (140) ont été combinées et appliquées.

. réactifs:

- Tampon phosphate 0,1 M pH 7,4

- Substrat: Malate de Na 0,1 M pH 7,4

Succinate de Na 0,1 M pH 7,4

- Dichlorophénol-indophénol (DICPIP) à 0,05 % dans l'eau distillée.

Réactifs	Tube 1	Tube 2 (blanc)
Tampon phosphate	4 ml	4 ml
DICPIP	0,4 ml	0
Substrat	2 ml	2 ml
Eau distillée	2 ml	2,4 ml

Après homogénéisation, on met 2,5 ml du contenu du tube 1 dans une cuve à spectrophotomètre. Au temps $t=0$, on lit l'absorbance initiale contre le blanc à 600 nm, puis on y injecte à l'aide d'une seringue 0,2 ml de l'extrait enzymatique, on suit alors la réduction de l'absorbance toutes les 10 secondes.

Le substrat métabolisé est calculé à partir d'une courbe étalon réalisée avec une gamme de concentration de DICPIP .

III.12.2 - Activité amylasique

a) Principe

L'activité des amylases est évaluée selon la technique amyloclastique qui consiste à suivre la réduction de l'intensité de la coloration bleue que l'iode donne en présence d'amidon (29, 87).

b) Obtention de l'extrait enzymatique

La technique d'extraction est la même que dans le cas précédent.

c) Mode opératoire

Réactifs :

- Tampon tris HCl 50 mM pH 7,0

- Solution d'iode: KI = 2 g

I_2 = 2,5 g

Eau distillée = qsp 100 ml

- Solution d'amidon (empois) à 0,04 mg/ ml préparé dans le tampon tris HCl 50 mM.

Dans un tube à essai, on introduit 6 ml d'empois d'amidon et 0,1 ml d'iode. Au temps $t = 0$, on y ajoute 1 ml de la préparation enzymatique. Après homogénéisation, on lit la densité Optique à 580 nm au spectrophotomètre. Le mélange est alors incubé à 37°C puis toutes les 20 mn, on suit l'hydrolyse de l'amidon qui se traduit

par une diminution de la coloration donc une baisse de l'absorbance. Les mesures sont faites contre un blanc qui subi les mêmes conditions.

Une courbe étalon établie avec l'amidon permet alors de calculer la quantité d'amidon hydrolysé en fonction du temps.

III.2.3 - Détermination des vitesses des réactions enzymatiques

La vitesse d'une réaction enzymatique est égale à la quantité de substrat métabolisé par unité de temps. Lorsqu'un enzyme est mis en présence de son substrat, à chaque instant, la vitesse de la réaction est proportionnelle à la quantité de substrat restant.

Si la quantité initiale de substrat (S_0) est en large excès par rapport à la quantité d'enzyme, on peut considérer comme négligeable la quantité de substrat qui disparaît au cours de la réaction par rapport à la quantité restante (S). Les centres actifs de toutes les molécules d'enzymes sont constamment occupés et la vitesse de la réaction est maximale et constante; dans ce cas, la relation entre la quantité de substrat métabolisé ($S_0 - S$) et le temps est linéaire (réaction d'ordre zéro). Cependant, si la réaction enzymatique se poursuit, la concentration en substrat diminue de manière significative, la vitesse de la réaction décroît également (réaction d'ordre 1).

L'expression graphique d'une cinétique d'ordre zéro au départ puis d'ordre un par la suite, est un cas fréquent en enzymologie. La vitesse initiale est définie par la tangente à l'origine de la courbe (101, 121).

III.13 - Analyse des propriétés organoleptiques des produits fabriqués

III.13.1 - Test de dégustation

Les conserves de mangue au sirop et les tranches de mangue séchées ont été soumises séparément à l'appréciation d'un échantillon de consommateurs composé de 20 personnes, conformément à une fiche sur laquelle sont inscrites les anotations suivantes:

Tranches de mangues séchées	
1 - Appréciation générale	<ul style="list-style-type: none"> - Très bon - Bon - Passable
2 - Apparence	<ul style="list-style-type: none"> - Belle - Passable - Mauvaise
3 - Goût	<ul style="list-style-type: none"> - Sucré - Acide - Sucré et acidulé
4 - Texture	<ul style="list-style-type: none"> - Consistante à la mastication - Perception mécanique pendant la mastication : <ul style="list-style-type: none"> * plasticité * Adhésivité
5 - Couleur	<ul style="list-style-type: none"> - Appréciation par rapport à la couleur originale de la mangue fraîche (appréciation visuelle de l'état de brunissement)

Conserve de mangues au sirop	
1 - Appréciation générale	- Très bon - Bon - Passable
2 - Apparence	- Belle - Passable - Mauvaise
3 - Texture	- Consistance à la mastication - Résistance des tranches à la pression de deux doigts.
4 - Aspect du sirop	- Liquide - Plus ou moins visqueux - Limpide - Trouble

III.13.2 - Observation visuelle des boîtes de conserve

Il s'agit d'un examen minutieux par observation visuelle des boîtes de conserve de mangue au sirop durant le stockage. On a ainsi examiné:

- l'extérieur des boîtes de conserve afin de déceler les boîtes défectueuses (bombées et perforées).
- l'intérieur de la boîte après avoir vidé le contenu pour apprécier l'influence du produit sur l'emballage.
- le produit même : son comportement au moment de l'ouverture (dégagement de gaz, d'odeurs caractéristiques), consistance des tranches à la mastication et résistance à la pression de deux doigts; aspect du sirop.

III.14 - Contrôle de la qualité biologique des conserves de mangue

Le but est d'établir si les produits fabriqués sont stériles ou contaminés par des germes compromettant leur qualité sanitaire. Le travail a alors consisté en la recherche des germes pathogènes (Coliformes, Staphylocoques, Clostridies), de la flore aérobie totale, de levures et de moisissures, sur des milieux de culture sélectifs.

III.14.1 - Conserves apparemment saines

a) *Recherche des coliformes*

Elle a consisté en un dénombrement en milieu solide gélose lactosée à 1% de désoxycholate (cf annexe 2).

b) *Recherche de staphylocoques*

On a réalisé un dénombrement en milieu hypersalé de Chapman (cf annexe 3)

c) *Recherche des clostridies*

Elle a été faite sur le milieu de Mc CLUNG (cf annexe 3)

d) *Dénombrement de la flore totale sur gélose nutritive (cf annexe 4)*

e) *Recherche des levures et des moisissures*

Le milieu de Sabouraud a été utilisé (cf annexe 4).

Les incubations sont faites à 30°C et à 37°C (clostridies), les lectures sont faites au bout de 24 h, 48 h et 72 h et les résultats sont exprimés en germes/g de produit.

III.14.2 - Examen bactériologique des boîtes de conserve bombées

L'analyse bactériologique des boîtes bombées a consisté en une observation microscopique directe d'une partie aliquote de l'échantillon puis en la recherche de germes pathogènes, au dénombrement de la flore totale, de levures et de moisissures, conformément aux méthodes précédentes.

III.15 - Analyse statistique des résultats

Elle a consisté à la détermination des écarts types et à l'application des méthodes explicatives (regression) pour vérifier les courbes de référence indispensables aux différents dosages colorimétriques que nous avons effectués.

* Détermination de l'écart type

Nous avons effectué, pour chaque échantillon, trois dosages; dans ces conditions, nous avons calculé la moyenne des résultats (\bar{x}) ainsi que l'écart type est calculé selon la formule suivante,

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

* Droite de régression et coefficient de corrélation linéaire.

La méthode des moindres carrés a été utilisée et a consisté à ajuster les points expérimentaux par une droite de régression de y (absorbance) en x (concentration) d'équation $y = ax + b$

on a déterminé :

$$- a = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$- b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$$- \text{le coefficient de détermination } R^2 = a^2 \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

$$- \text{le coefficient de corrélation linéaire} = |R^2| = \text{IRI}$$

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

A - Produit à l'état frais

I - Evolution des constituants biochimiques au cours du développement de la mangue

I - 1 Constituants glucidiques

Les résultats relatifs à la variation des composés glucidiques de la mangue Amélie au cours de son développement sont représentés par la figure 5 faisant observer les faits suivants :

- une augmentation de la teneur en sucres totaux. Ce taux, de l'ordre de 5 % environ dans les jeunes fruits augmente graduellement pendant la croissance du fruit et atteint un maximum de 13 % en moyenne diminue légèrement puis se stabilise autour de 12 % dans la mangue parfaitement mûre. Pendant l'entreposage à la température ambiante du fruit mûr, la teneur en sucres diminue.
- une augmentation du taux d'amidon jusqu'à un maximum pendant une première phase, et une diminution remarquable pendant une deuxième phase qui correspond certainement à la phase de maturation du fruit. Le taux d'amidon, de l'ordre de 0,5 % dans le jeune fruit, atteint 3 % dans la mangue mature. La mangue mûre n'en contient plus que 0,3 %.
- une augmentation de la concentration en sucres réducteurs. Celle-ci, de 3 % dans les jeunes fruits, atteint 5 % dans les fruits matures. Dans la mangue mûre, la teneur est de 5,28 %. Au cours de l'entreposage, on observe d'abord une légère augmentation de la concentration puis une diminution.
- une élévation de la teneur en saccharose. Les jeunes fruits ne contiennent que 0,3 % par rapport à 6 % dans les fruits mûrs. On note une diminution durant l'entreposage à la température ambiante. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par de certains auteurs dont ASKAR et ses collaborateurs (16); cette équipe, à travers trois variétés égyptiennes distinguent trois étapes au

cours du développement de ces fruits:

- . la première étape est caractérisée par une augmentation des sucres totaux, de l'acidité et de la matière sèche totale.
 - . la seconde étape connaît une légère augmentation des sucres totaux, une forte augmentation d'amidon et une diminution de l'acidité et de l'acide ascorbique.
 - . la dernière étape se caractérise par une diminution remarquable de l'amidon, et de l'acidité, une augmentation en sucres totaux et en matière sèche totale. L'acide ascorbique y diminue également.
- De même, les travaux de HUSSEIN et YOUSSEF (69a) sur les variétés Mendi et Taymour d'Arabie Saoudite ont indiqué une augmentation des sucres totaux, de la matière sèche totale et des sucres réducteurs durant la croissance du fruit. Par contre ARRIOLA et ses collaborateurs (13) ont pour leur part, montré avec la variété Maney de Guatemala, que la teneur en sucres totaux reste relativement constante pendant le développement du fruit sur l'arbre, mais diminue considérablement pendant le mûrissement et l'entreposage du fruit mûr. ELAHI et KHAN (49) signalent une diminution des sucres réducteurs pendant le mûrissement et l'entreposage.

La diminution très caractéristique du taux d'amidon pendant la maturation et l'entreposage a aussi été séparément signalée par JAUHARI et TRIPATHI (72), et par SRIVASTAVA (161). La perte de ce constituant est la conséquence certaine d'une hydrolyse enzymatique. On note d'ailleurs simultanément, un gain en sucres réducteurs provenant probablement de cette hydrolyse. A ce propos LINDET (in 98a) a montré que la formation de l'amidon et son dédoublement en saccharose et en sucres intervertis dans les fruits se font simultanément. La perte de saccharose pendant l'entreposage est la conséquence d'une hydrolyse enzymatique; la présence d'invertases dans la mangue ayant été décelée (34).

Au cours de cette étude, le mûrissement après cueillette a été mise en évidence. Aussi, 14 semaines après l'inspection et le marquage de jeunes fruits, des fruits matures ont été cueillis, mis en carton et entreposés dans les conditions ambiantes du

laboratoire. Les mangues ont parfaitement mûri au bout de deux jours. Sur la figure 5 on peut remarquer ce phénomène de mûrissement qui s'est caractérisé par une chute du taux de sucres totaux et d'amidon, et une augmentation du taux de saccharose et de sucres réducteurs.

La dégradation des différents sucres observés pendant l'entreposage de mangues mûres est une conséquence du métabolisme glucidique. Dans ce cadre, BUSSARD et DURAL (in 98a) suggèrent que la maturation des fruits et légumes est suivie d'une phase de désorganisation métabolique due en grande partie à l'action des enzymes de détérioration: les sucres sont alors fermentés, les alcools réagissent avec les acides et donnent des esters. La conséquence est une perte d'eau, de sucres, d'acide et de saveur. En somme, le fruit est détérioré et perd ses qualités nutritives et organoleptiques.

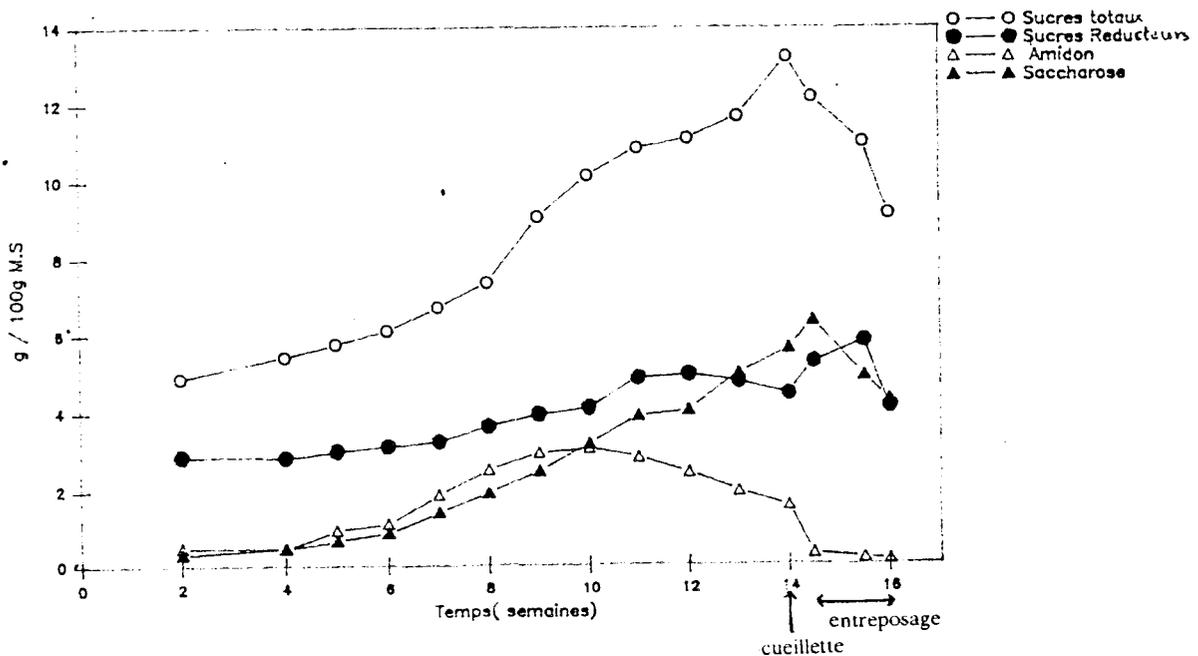


fig 5: Variation des constituants glucidiques au cours du développement de la mangue Amélie.

I - 2 Matière sèche et eau

Comme l'indique la figure 6, le taux de matière sèche totale de la mangue Amélie augmente graduellement pendant la croissance et la maturation. De l'ordre de 10 % dans les jeunes fruits, le pourcentage de matière sèche totale atteint 16 % dans le fruit mûr. Ces résultats sont en accord d'autres déjà publiés (16, 69a, 69b).

La teneur en eau, contrairement à la matière sèche totale diminue du jeune fruit (90 %) au fruit mûr (84 %). Pendant l'entreposage la teneur en eau diminue, il en résulte une augmentation de la matière sèche: c'est le phénomène de déshydratation, principe du séchage de tout produit alimentaire.

I.3 - Acidité et pH

L'évolution de l'acidité totale durant la croissance et la maturation de la mangue est rapportée sur la figure 7. Dans les jeunes fruits, le taux d'acidité totale est d'environ 2,15 % d'équivalent-acide citrique et correspondant à un pH de 3,35 (tableau VI, Annexe 9). Ce taux est marqué par de petites fluctuations pendant la croissance du fruit puis diminue nettement pendant la phase de maturation. La mangue mûre a une acidité totale de 0,64 % et un pH de 4,20. La perte d'acidité se poursuit durant l'entreposage. De nombreux auteurs (161, 16, 13) comme nous, ont noté que la phase de maturation est marquée par une perte progressive de l'acidité totale . Chez la variété "Pico" par exemple, l'acidité, exprimée en équivalent-acide citrique varie de 3,23 % à 0,09 % pendant le mûrissement (97). Cette désacidification progressive observée pendant la maturation et le mûrissement relève de l'oxydation des acides organiques à travers le cycle de Krebs (98a). Le même auteur, a indiqué que les acides organiques disparaissent progressivement, mais réapparaissent constamment par oxydation incomplète du glucose; il en résulte que l'acidité titrable peut demeurer constante pendant un certain temps avant de commencer à diminuer sensiblement. Ceci explique sans doute les fluctuations que nous avons nous mêmes observées .

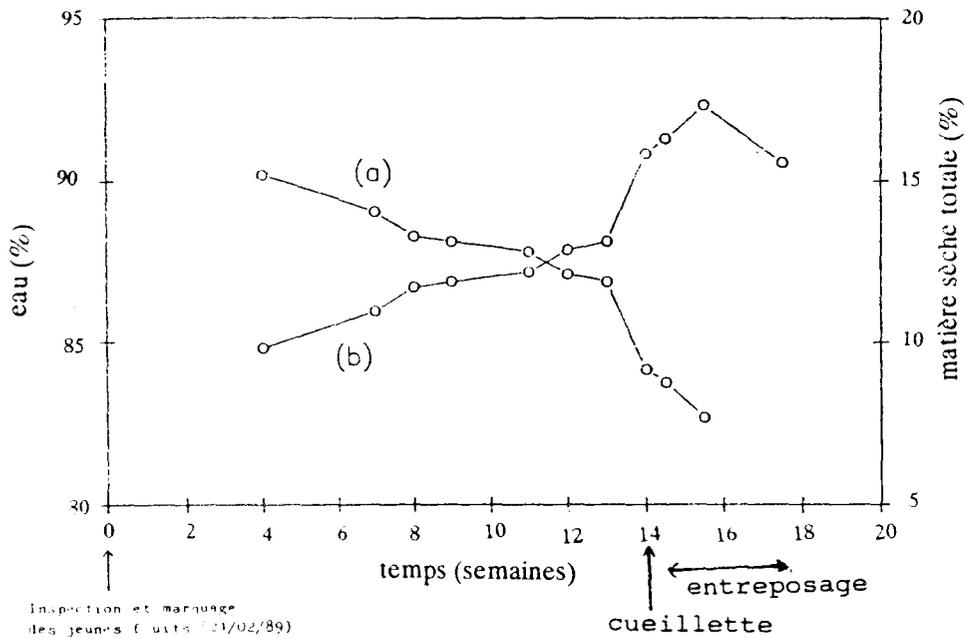


fig 6: Variation des teneurs en eau (a) et en matière sèche totale (b) au cours du développement de la mangue Amélie.

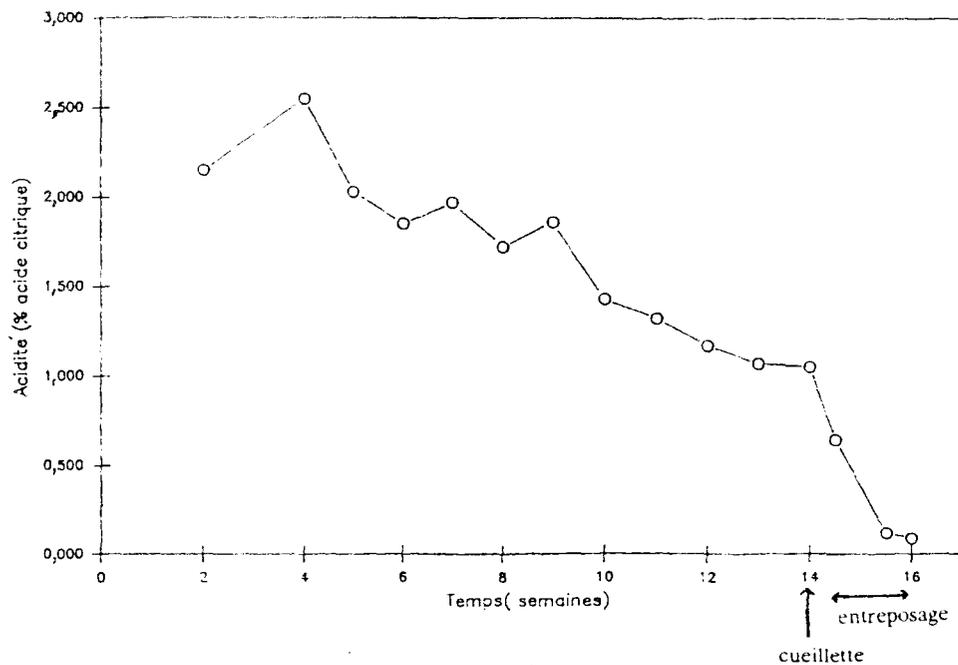


fig 7: Variation de l'acidité titrable au cours du développement de la mangue Amélie.

I.4 - Acide ascorbique

La teneur en acide ascorbique augmente au cours du développement de la mangue et atteint son maximum dans la mangue mûre (figure 8). Les jeunes fruits ont un taux d'environ 50 ppm (matière fraîche) contre 525 ppm dans les fruits parvenus à complète maturité. On observe une perte en acide ascorbique pendant l'entreposage. Nos résultats se rapprochent de ceux de MUSTARD et LYNCH (121) qui ont noté une augmentation de l'acide ascorbique jusqu'à la pleine maturité. D'autres auteurs travaillant avec différentes variétés (97, 16,13), ont observé une augmentation de ce composé pendant la croissance, du fruit, mais soulignent une perte pendant la maturation.

La perte observée pendant l'entreposage à la température ambiante est due à la dégradation de l'acide ascorbique qui résulte de l'action de l'ascorbate oxydase, et de certaines réactions de brunissement non enzymatique impliquant cet acide.

Le tableau comparatif suivant (tableau VII) indique une teneur en acide ascorbique de 420 - 630 ppm de la mangue Amélie mûre. De ce tableau, une grande variabilité de la teneur d'une variété à l'autre est perceptible. Cela relèverait des différences biologiques existant entre les variétés et de l'influence des facteurs climatiques.

Comparée à d'autres fruits, la mangue est une excellente source de vitamine C (tableau VII); elle est comparable aux oranges reconnues pour leur richesse en cet élément. Sa préservation lors des processus de conservation reste un objectif à atteindre.

Tableau VII: Tableau comparatif de la teneur en acide ascorbique de diverses variétés de mangues et d'autres fruits et légumes (en ppm M.F)

MANGUES	TENEURS
- Amélie du Burkina Faso (nos résultats)	420-630
-Variétés floridiennes (121)	54-1197
-Variétés brésiliennes (52)	120-730
-Julie de Porto Rico	629
-Francisque de Porto Rico (70)	521
-Hadena (8)	567
-Kent (17)	456
-Variétés non précisées (137)	100 - 1200
AUTRES FRUITS ET LEGUMES	TENEURS
- papaye (137)	600
- orange (137)	400 - 800
- mandarine (137)	200 - 600
- banane (137)	20 - 120
- pastèque (137)	70
- ananas (137)	150 - 400
- goyave (137)	200 - 5000
- pomme (137)	290
- citron (137)	500
- tomate (85)	102 - 253
- carotte (85)	50-110

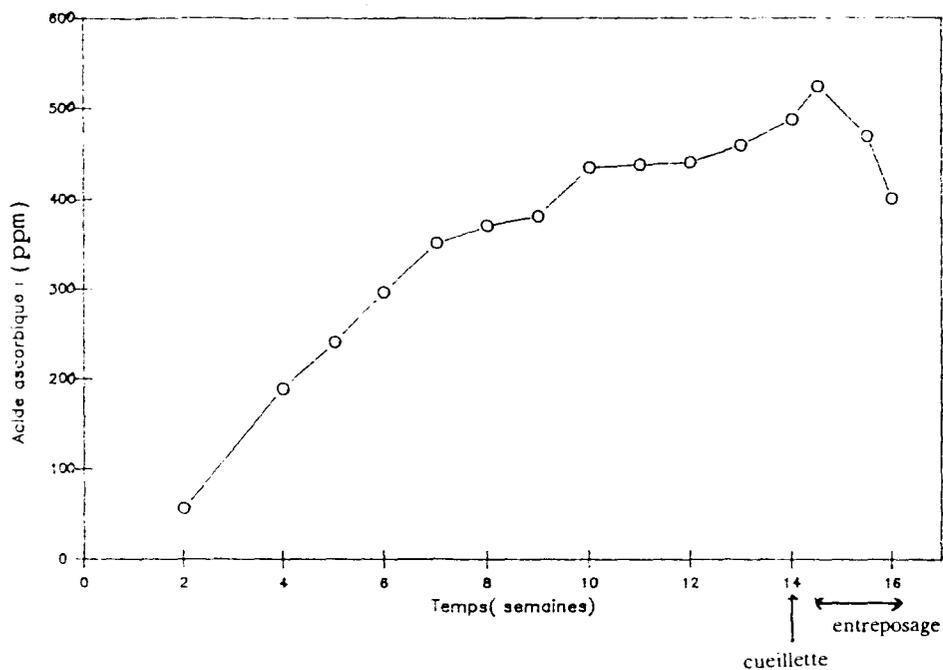


fig 8: Variation de la teneur en acide ascorbique (vitamine C) au cours du développement de la mangue Amélie.

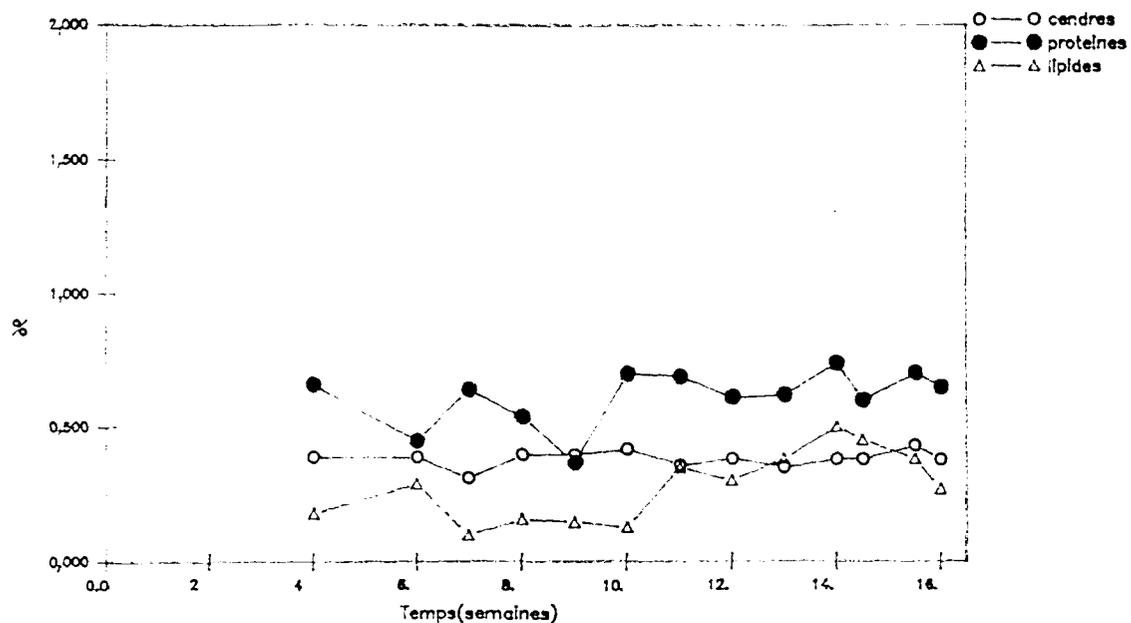


fig 9: Evolution des taux de protéines, de cendres totaux et de lipides au cours du développement de la mangue Amélie.

I.5 - Protéines, matières grasses et sels minéraux totaux

Ces constituants, en faible quantité, demeurent relativement constants durant le développement du fruit et au cours de l'entreposage. Les teneurs en protéines varient entre 0,5 et 0,7 % les lipides entre 0,2 et 0,5 % . Quant aux sels minéraux totaux les teneurs sont de l'ordre de 0,4 % (fig 9).

Certains rapports de la FAO (50) indiquent des teneurs en protéine de 0,7 % dans la mangue verte et 0,6 % dans la mangue mûre; pour les sels minéraux totaux, les teneurs indiqués sont de 0,4 % et de 0,3 % respectivement dans la mangue verte et dans la mangue mûre. Par ailleurs, PATHAK et SARADA (131) rapportent des taux de lipides de 0,80 % et 1,36 % respectivement pour les variétés Malgoa et Benishan de l'Inde.

I.6 - Activité des déshydrogénases et des Amylases

A travers cette étude, nous avons voulu mettre en évidence l'activité des déshydrogénases à différentes étapes du développement de la mangue et pendant l'entreposage afin d'avoir des indications sur l'intensité respiratoire à ces stades; l'activité des amylases nous permettra d'expliquer la variation de certains sucres.

a) *Activité des déshydrogénases (fig 10a et 10b)*

L'activité des déshydrogénases de la mangue Amélie s'accroît avec l'avènement de la maturité (fig 10a et 10b). L'activité de ces enzymes est plus intense dans la mangue mûre (fig 10a₃ et 10b₃) que dans la mangue verte (fig 10a₁ et 10b₁). Elle s'accroît pendant l'entreposage (fig 10a₄ et fig 10b₄). De même les vitesses de réaction de déshydrogénation mises en évidence ici sont plus élevées dans la mangue mûre que dans le jeune fruit (Tableau VIII); elles sont avec le malate comme substrat, et par rapport au

jeune fruit, trois fois et quatre fois plus élevées, respectivement pour la mangue mûre et pour la mangue mûre entreposés durant une semaine à la température ambiante. Avec le succinate comme substrat, les rapports sont, toujours par comparaison à la valeur trouvée dans le jeune fruit, d'environ deux pour la mangue mûre et trois pour la mangue mûre entreposée.

Les déshydrogenases sont des enzymes impliquées dans le cycle respiratoire des tissus vivants; leur activité traduit donc celle de la respiration. Par conséquent, l'intensité respiratoire s'accroît au cours de la croissance et surtout pendant la maturation de la mangue. Ces observations sont en accord avec celles rapportées par SRIVASTAVA (161) sur l'évolution de l'intensité respiratoire pour des variétés de mangues indiennes. Par ailleurs, ESKIN et ses collaborateurs (in 90) ont souligné que les fruits détachés de l'arbre deviennent des unités indépendantes dans lesquelles les processus de respiration et de transpiration jouent un rôle majeur. Ces enzymes qui catalysent les réactions d'oxydation et de réduction, sont responsables de la dégradation des fruits et légumes après la récolte. D'autre part, un grand nombre de fruit dont la mangue, montrent une élévation brusque des activités respiratoires après la cueillette. Ce phénomène est appelé élévation "climacteric" de la respiration (161, 98a, 90). Les fruits dits "climactériques" peuvent mûrir normalement sur l'arbre à l'exception de l'avocat.

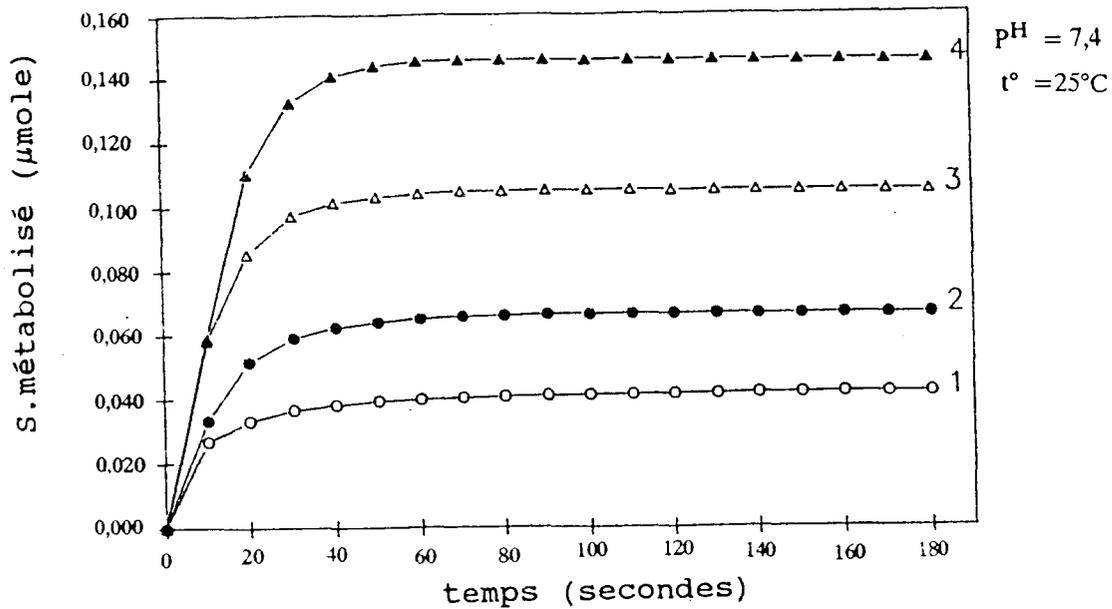


fig 10a: Activité des déhydrogenases de la mangue Amélie à différents stades de développement en utilisant le malate comme substrat.

- 1: 11 semaines après l'inspection et le marquage des échantillons
- 2: 13 semaines
- 3: 14 semaines (fruits mûrs)
- 4: 15 semaines (fruits mûrs entreposés pendant 1 semaine)

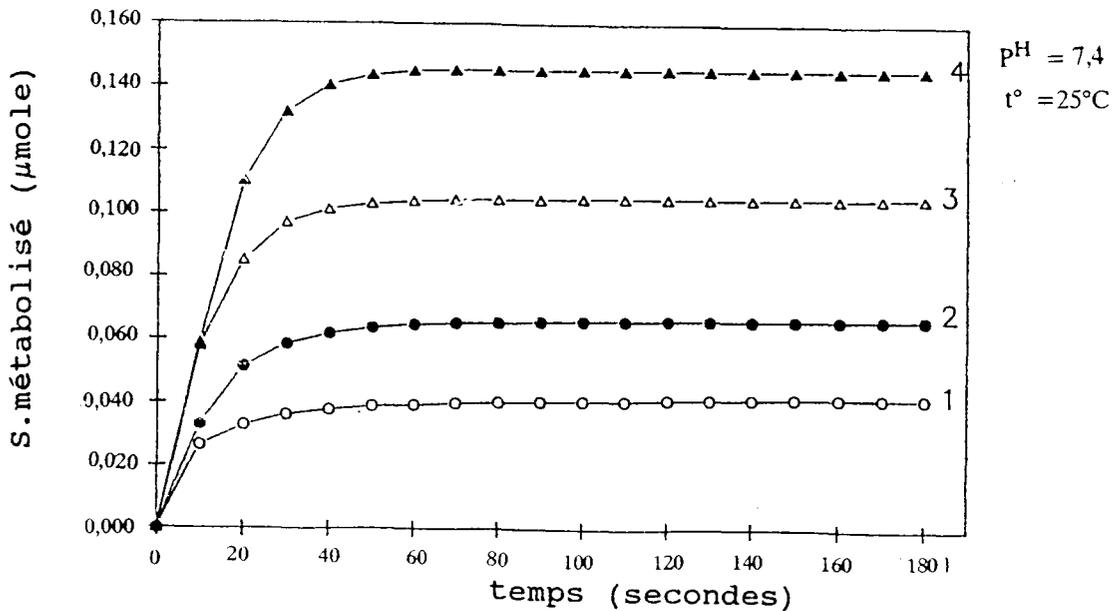


fig 10b: Activité des déhydrogenases de la mangue Amélie à différents stades de développement en utilisant le succinate comme substrat.

Tableau VIII : Vitesses initiales des réactions enzymatiques

temps (semaines après la date d'inspection et de marquage: 21/02/1989)	DESHYDROGENASES (10^{-3} μ moles/s)		AMYLASES (μ g/mn)
	Substrat 0,1 M		
	Malate de Na	Succinate de Na	
11	1,6	2,5	0,2
13	4,3	3,3	0,3
14 (cueillette)	5,2	4,4	0,4
14,5 (mûrissement)	nd	nd	0,5
15,5	6,1	7,0	1,0

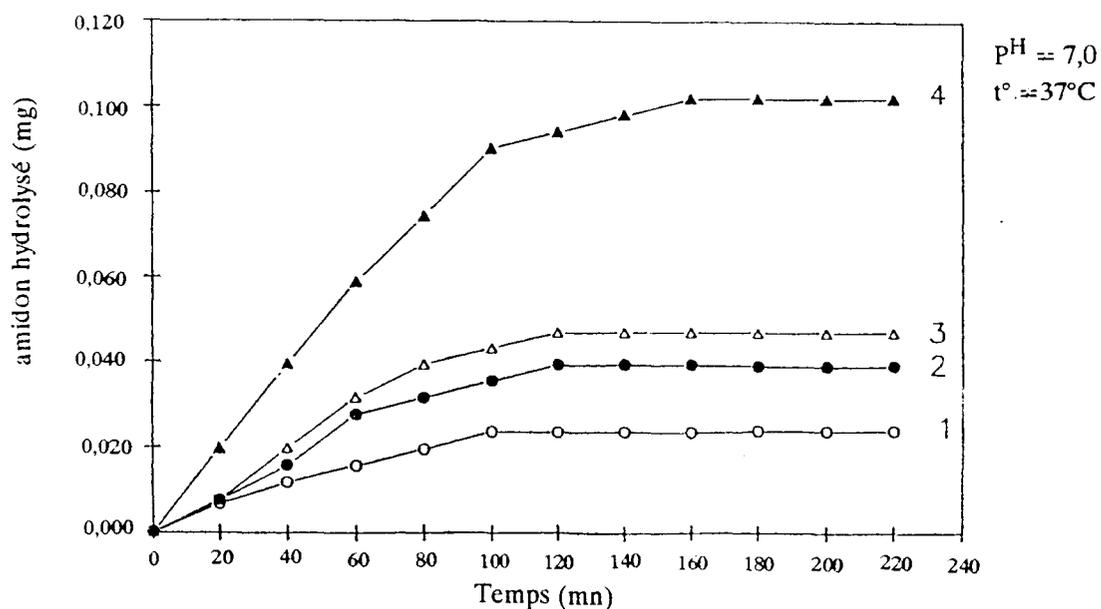


fig 11: Cinétique de l'hydrolyse de l'amidon par les amylases de la mangue Amélie à différents stade de développement.

- 1: 11 semaines après l'inspection et le marquage des échantillons
- 2: 13 semaines
- 3: 14 semaines (fruits mûrs)
- 4: 15 semaines (fruits mûrs entreposés pendant 1 semaine)

b) *Activité des amylases*

La cinétique de l'hydrolyse de l'amidon par les amylases extraites de la mangue Amélie est reportée sur la figure 11. L'activité amylasique, relativement faible dans la mangue verte (fig 11,) augmente au fur et à mesure que la mangue évolue vers la maturité; elle est beaucoup plus élevée pendant l'entreposage (fig 11₄). Les vitesses de réaction d'hydrolyse évoluent également dans le même sens; de l'ordre de 0,2 μg d'amidon hydrolysé / mn dans la mangue verte, la vitesse atteint 0,4 $\mu\text{g}/\text{mn}$ dans la mangue mûre et 1 $\mu\text{g} / \text{mn}$ dans la mangue mûre en stockage à la température ambiante (tableau VIII). Ces résultats révèlent que pendant les processus de maturation et de mûrissement, la mangue est le siège d'une importante activité amylasique responsable de la diminution du taux d'amidon constaté par bien d'autres auteurs (72, 161) et confirmé plus haut par nos résultats.

II - *Appréciation du degré de maturité*

D'un point de vue général, le développement du fruit une fois formé, résulte de l'activité cellulaire de la paroi de l'ovaire et les différentes parties de celle-ci se différencient avec des variantes selon les espèces botaniques. Le fruit croît et lorsqu'il est parvenu à sa taille normale, il est le siège d'importantes réactions chimiques intracellulaires en relation avec sa respiration: c'est la maturation, période de différenciation tissulaire (98a); elle est une période d'intenses activités enzymatiques responsables de modifications qui engendrent les qualités organoleptiques et nutritionnelles du fruit mûr. Ainsi par exemple l'amidon et d'autres polysides insolubles (cellulose xylane) s'hydrolysent pour donner des sucres solubles (glucose, fructose, saccharose). Les acides organiques, parallèlement à la transformation de l'amidon en sucres solubles, sont oxydés.

Concernant l'appréciation de la période de récolte nous

estimons que cela exige une grande habitude et les déterminations des paramètres impliqués, doivent se faire pendant plusieurs saisons de culture. Pour une même variété, les prélèvements devront être faits sur divers sites de production. De nombreux chercheurs (69a, 89, 144) ont certes essayé de déterminer les caractéristiques des mangues au cours du développement afin de définir le moment de la récolte mais le problème est complexe par le fait que ceux-ci ne sont pas identiques pour toutes les variétés; de plus ces facteurs évoluent en fonction des conditions climatiques et de culture. En ce qui nous concerne, l'exploitation de nos résultats, nous fait estimer que les taux d'acidité et d'amidon peuvent permettre d'apprécier, sinon le degré de maturité de la mangue Amélie, ou du moins, la période pendant laquelle le fruit peut être considéré comme physiologiquement mature. Il peut alors être cueilli sans inconvénient pour sa qualité. Les mangues immatures flétrissent en mûrissant avec une acidité élevée. Les courbes relatives aux variations du taux d'amidon et de l'acidité (Fig 5c, Fig 7) laissent entrevoir une évolution assez caractéristique de ces deux constituants à partir de la 11^{ème} semaine du développement de la mangue. L'acidité, après une fluctuation, a commencé à diminuer progressivement; quant à l'amidon, après une augmentation de sa teneur jusqu'au maximum de 3 % diminue remarquablement. Pour donc rejoindre HUSSEIN et YOUSSEF (69a, 69b); KRISHNAMURTHY et SUBRAMANYAM (89), ROY et BISWAS (144), les rapports sucres totaux/acidité, amidon/acidité, doivent permettre de déterminer approximativement le degré de maturité de la mangue. Bien que SRIVASTAVA (161) pense que les caractéristiques physico-chimiques à retenir, tout en les ajustant selon la variété et la région, sont :

- l'extrait sec soluble entre 12 et 15° Brix
- la densité entre 1,01 et 1,02
- la résistance de la chair à la pression de 1,75 - 2 kg/cm²

L'observation du tableau IX (cf Annexe 10) illustré par la figure 12 donnant les valeurs de ces rapports pour la mangue Amélie laisse

entrevoir deux périodes distinctes durant le développement du fruit sur l'arbre:

- la première période allant jusqu'à la 9^{ème} semaine qui se caractérise par une légère augmentation du rapport Sucres totaux/Acidité et une élévation graduelle et remarquable du rapport Amidon/Acidité. Cette phase correspond certainement à la phase de croissance de la mangue Amélie.

- la deuxième période, s'étalant de la 9^{ème} semaine à la 14^{ème} semaine pendant laquelle, l'augmentation du rapport Sucres totaux/Acidité est beaucoup plus sensible et régulière; et le rapport Amidon/Acidité atteignant un maximum, demeure relativement constant puis commence à diminuer. Cette phase correspondant à la phase de maturation de la mangue Amélie, et la période allant de la 11^{ème} à la 14^{ème} semaine pourrait être considérée comme la période favorable à la cueillette. Les mangues cueillies mûriront sans inconvénient majeur pour leurs qualités. En fonction des possibilités d'écoulement, les mangues seront cueillies, dans cet intervalle, précocement ou tardivement. Ainsi par exemple, pour une commercialisation rapide et sur place, les mangues pourraient être cueillies aux environs de la 14^{ème} semaine et pour une exportation, elles pourraient au contraire être récoltées précocement aux environs de la 11^{ème} semaine afin d'augmenter les possibilités de stockage et de faciliter le transport.

Nous suggérons donc que la cueillette puisse intervenir entre la 11^{ème} et la 14^{ème} semaine et que le rapport Amidon/Acidité puisse être exploité pour déterminer le stade de maturité de la mangue Amélie.

Le mûrissement entraîne une chute du rapport Amidon/Acidité et une augmentation considérable du rapport Sucres totaux/Acidité, dues à la baisse de l'acidité et de l'amidon (fig 12).

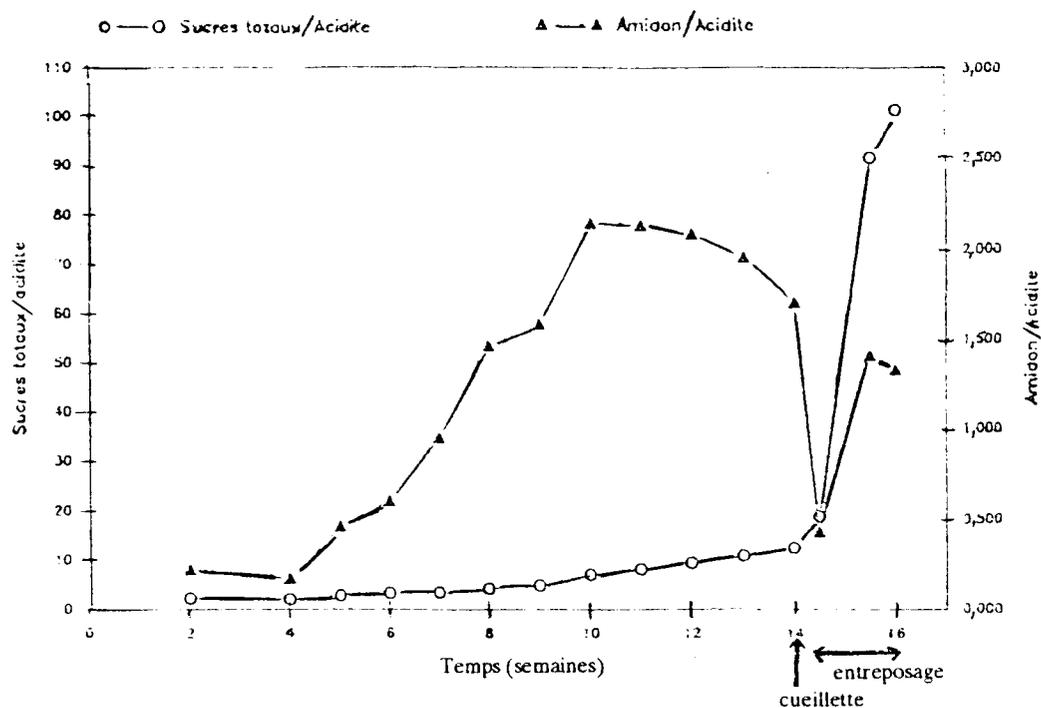


fig 12: Evolution des rapports sucres totaux/acidité, amidon/acidité au cours du développement de la mangue Amélie.

III - Valeur nutritionnelle

III.1 - Composition en éléments minéraux

L'analyse de la composition élémentaire ionique réalisée sur 40 échantillons a donné les résultats inscrits sur le tableau X. Les concentrations les plus importantes sont celles en potassium (K): 950 mg % M.S; en chlorures (Cl): 418 mg % M.S; en phosphore (P): 94 mg % M.S et en magnésium (Mg): 70 mg % M.S. Les teneurs en sodium (Na), en calcium (Ca), en fer (Fe) et en soufre (S), appréciables sont respectivement de l'ordre de 36 mg % M.S, 25 mg % M.S; 13 mg % M.S et 7 mg % M.S. Les autres éléments existent à l'état de traces : le manganèse (Mn): 1,8 mg % M.S, le zinc (Zn): 0,5 mg % M.S et le cuivre (Cu): 0,5 mg % M.S

Tableau X : Teneurs des éléments minéraux de la mangue (mg % M.S)

Eléments minéraux	Var. AMÉlie du Burkina Faso (nos résultats)			Var. indiennes non précisées (161)	Mangue (var. non précisée) (137)
	minimum	maximum	Moyenne		
K	750	1320	950 ±260		875
Cl	177	851	418±180		
P	64	114	94±10	143	85
Mg	52	104	70±4		85
Na	30	44	36±4		
Ca	12	45	25±9	72	85
Fe	5	22	13±5	215	9
S	5	9	7 ± 2		65
Mn	0,81	3,56	1,81±0,67		
Zn	0,15	0,95	0,47±0,23		
Cu	0,30	0,71	0,56±0,13		

Pour l'ensemble de nos échantillons, on constate que les teneurs en potassium, phosphore et chlorures sont très variables d'un échantillon à l'autre. La position du fruit sur l'arbre et la provenance des échantillons de cinq manguiers différents mais représentant la même variété sont des facteurs parmi tant d'autres qui expliqueraient cette variabilité.

Par rapport aux valeurs d'autres auteurs (161, 137), il y a des différences notables pour ce qui concerne certains éléments notamment le fer et le soufre (cf tableau). Cette divergence pourrait s'expliquer par la différence de variétés. Il est par ailleurs signalé que les cendres des mangues sont surtout riches en potassium (K), calcium (Ca), phosphore (P) et fer (Fe) (13). On rapporte également qu'en général les fruits sont particulièrement riches en potassium dont la teneur évaluée en K_2O est d'environ 50 % du poids des cendres (98b).

Ces substances minérales jouent, dans notre organisme, des rôles fonctionnels importants de natures métaboliques et physico-chimiques et entrent dans la constitution de composés à

signification physiologique particulière. Leur présence dans la mangue, lui confère une importance indéniable notamment pour sa richesse en K, P, Cl, Ca, Mg et en Fe. La mangue présente un intérêt nutritionnel certain et peut être indiquée comme un fruit nécessaire pour les consommateurs dits vulnérables: enfants, femmes enceintes et allaitantes, vieilles personnes.

III.2 - Valeur énergétique

Les résultats de l'évaluation de l'énergie métabolisable de la mangue Amélie mûre sont inscrits sur le tableau XI. Les teneurs en principes énergétiques des 40 échantillons analysés varient de 9 à 17 % pour les glucides, 0,55 à 0,93 % pour les protéines et 0,08 à 0,31 % pour les lipides. La valeur énergétique, calculée à partir de ces résultats est de l'ordre de 39 - 66 kcal/100 g M.F. d'où une moyenne de 52 Kcal/100 g M.F. Ces résultats se rapprochent de ceux de SRIVASTAVA (161) et ceux de RANDOIN (137) indiquant respectivement comme valeur énergétique de la mangue égale à 50-60 kcal/100 g M.F et 62 kcal/100 g M.F. Quant aux composés énergétiques, notamment les glucides, les taux indiqués pour des variétés floridiennes sont de l'ordre de 11 - 17 % (23); 7 - 16 % pour certaines variétés indiennes selon PALINISVAMY et ses collaborateurs (130b); 5-15 % pour 12 variétés du Bengladesh (114)

La mangue, comme la plupart des fruits est essentiellement glucidique. D'une valeur énergétique de 52 Kcal/100 g M.F, elle est comparable à la papaye (44 Kcal/100 g M.F) et la goyave (52 Kcal / 100 g M.F) (137). La mangue est donc une source d'énergie non négligeable.

Tableau XI : Teneurs en composés énergétiques et valeur énergétique de la mangue Amélie

	Minimum	Maximum	Moyenne
glucides (%)	9,88	17,02	13,35 ± 2,02
lipides (%)	0,08	0,31	0,17 ± 0,06
protéines (%)	0,55	0,93	0,73 ± 0,11
valeur énergétique Kcal/100g M.F	39,46	66,04	51,76 ± 7,05

B - Produits transformés

I - Tranches de mangue séchées

I.1 - Aspects technologiques

a) Courbes de séchage

Les courbes de séchage des tranches de mangue, représentées par les variations du poids du produit et par la vitesse de séchage, sont illustrées par les figures 14 à 21. L'observation de ces courbes permet les interprétations suivantes:

a₁) Description des courbes de séchage

L'opération de séchage peut être schématiquement divisée en deux étapes:

- la première étape se déroule pendant la première journée du séchage au cours de laquelle, le produit perd plus de 50 % environ de son poids (fig 13 à 18) ou de son eau (fig 19). Cette remarque fait exception des échantillons traités au soufre avec lesquels le

phénomène est plus ralenti (fig 17a). Par rapport à la vitesse de séchage, cette étape est celle à vitesses maximales de séchage.

Elle peut être considérée comme l'étape principale du processus de séchage car elle correspond à l'élimination d'une majeure partie de l'eau libre. L'eau libre ou encore eau d'imprégnation, est une eau retenue par les parois cellulaires de la matière et qui rend la denrée inapte à la conservation. Mais grâce à sa mobilité, elle s'évapore facilement; elle est de ce fait aisément éliminée pendant les premières heures du séchage. En terme de fixation de l'eau dans un produit biologiques, le schéma de la figure 20 (Annexe 8) donne une belle illustration. La forte teneur initiale en eau du produit (82 - 86 %) (Annexe 8, fig 19), donc une disponibilité d'eau, en plus de la facilité d'évaporation de la majeure partie de cette eau (eau libre) expliquent les vitesses de séchage élevées observées pendant cette phase. En effet, la présence d'eau libre à la surface du produit est constamment assurée par l'arrivée d'eau liquide provenant de l'intérieur; divers mécanismes sont responsables de ces déplacements de l'eau dans le produit parmi lesquels : la diffusion due à des gradients de concentration et le mouvement d'eau liquide sous l'influence de forces capillaires (35b).

- la seconde étape est marquée par de faibles taux de diminution du poids du produit et de la vitesse de séchage. Pendant cette période, on observe souvent une réhydratation du produit au cours de la nuit (conditions défavorables au séchage dues aux basses températures et à la haute humidité relative de l'air ambiant) matérialisée par une augmentation du poids du produit et de la vitesse de séchage à la reprise de l'opération. D'autres part, le caractère hygroscopique des tranches dû à leur taux d'humidité et à leur forte teneur en sucre, favorise leur reprise d'humidité.

Pendant cette phase, la teneur en eau du produit (ou le poids) tend asymptotiquement vers une valeur limite. Les faibles taux de décroissance du poids et de la vitesse sont dûs au fait que le transfert d'eau à travers les tranches est ralenti: l'épaisseur de

la couche sèche externe augmente, la diffusion de l'eau et la perméabilité de la vapeur à travers cette couche sèche diminuent au fur et à mesure que baisse la teneur en eau (35b). Le phénomène qui limite la vitesse de séchage est en fait le transfert d'eau ou de vapeur de l'intérieur à la surface de la tranche. Cette eau est liée aux constituants de l'aliment et son déplacement à travers la couche sèche est difficile. Cette phase est donc celle d'élimination de l'eau faiblement liée ou eau "osmotique" (cf fig 20 Annexe 8). L'expérience zéro (fig 13, Annexe 5) montre que dans le cas de la mangue, la teneur en eau dite critique est de 13 - 20 %; bien que le séchage ait été poursuivi jusqu'à 96 heures, le taux d'humidité du produit séché n'a pas approximativement excédé cette limite. Ce résultat vient confirmer ceux de divers auteurs qui ont souligné que les fruits séchés ne doivent pas contenir plus de 14 - 25 % d'eau et les légumes 7 - 10 % (98a, 60). En fait, ce taux correspond à celui de type 1 et 2 (fig 20); cette eau, fortement liée aux constituants de l'aliment est l'eau de constitution. Elle n'intervient pas dans les processus de dégradation (35a), il n'est donc pas nécessaire de l'éliminer au cours du séchage. En outre, pour conserver les qualités organoleptiques et la réversibilité lors d'une réhydratation ultérieure, la déshydratation des fruits ne doit pas être totale. Certains auteurs trouvent même que la déshydratation totale de tranches de fruits est inutile car ces fruits reprennent peu à peu de l'humidité qui se situe finalement aux environs de 12 % (98b).

L'opération de séchage selon les courbes types de séchage (obtenues dans des conditions bien définies de température et d'humidité relative) est divisée schématiquement en 3 périodes(22).

- Période I ou période de mise à température pendant laquelle le transfert de matière et par conséquent, la vitesse de séchage sont des plus réduits.

- Période II ou période de séchage à allure constante ou période d'évaporation superficielle de l'eau libre. Durant cette période comme dans la précédente, la quantité d'eau disponible est très grande et l'eau s'évapore comme de l'eau libre.

- Période III ou période de séchage à allure décroissante: Dès que l'eau fait défaut en surface, la vitesse de séchage diminue. Pendant cette phase, le facteur limitant est la migration interne de l'eau. Poursuivant indéfiniment le séchage, la teneur en eau du produit tend vers une valeur limite appelée teneur en eau limite qui, en fait, dépend de la température de séchage.

Par comparaison à cette description type du processus de séchage, nos résultats ne se rapprochent qu'à la période III. Mais, le processus de séchage est beaucoup plus complexe que ce qui vient d'être décrit. Les explications précédentes ne constituent qu'une représentation simplifiée de la réalité : II est en effet montré que:

- la période à allure décroissante peut être subdivisée en sous périodes (période III).
- la période de mise à température passe souvent inaperçue dans le cas de séchage de matières biologiques (période I).
- la période à allure constante (périodes II) n'est pas observée dans de nombreux cas lorsqu'il s'agit de produits biologiques notamment cellulaires (produits végétaux).; la résistance des parois cellulaires, le croûtage et la migration de solutés modifiant énormément l'image qu'ont donné au séchage les chercheurs ayant travaillé sur des substances inertes (brique, calcaire, cellulose) (150). Par ailleurs divers travaux sur des produits agro-alimentaires en témoignent : c'est le cas par exemple de DAUDIN sur le maïs, PIN sur la pomme de terre (150). Le présent travail sur la mangue vient en plus confirmer ces observations. Outre toutes ces explications, il est important de signaler que le séchage solaire est un mode de séchage assez particulier; les conditions météorologiques (humidité, température, vitesse de l'air) variant continuellement donc difficiles à contrôler, ont certainement une influence sur le processus de séchage.

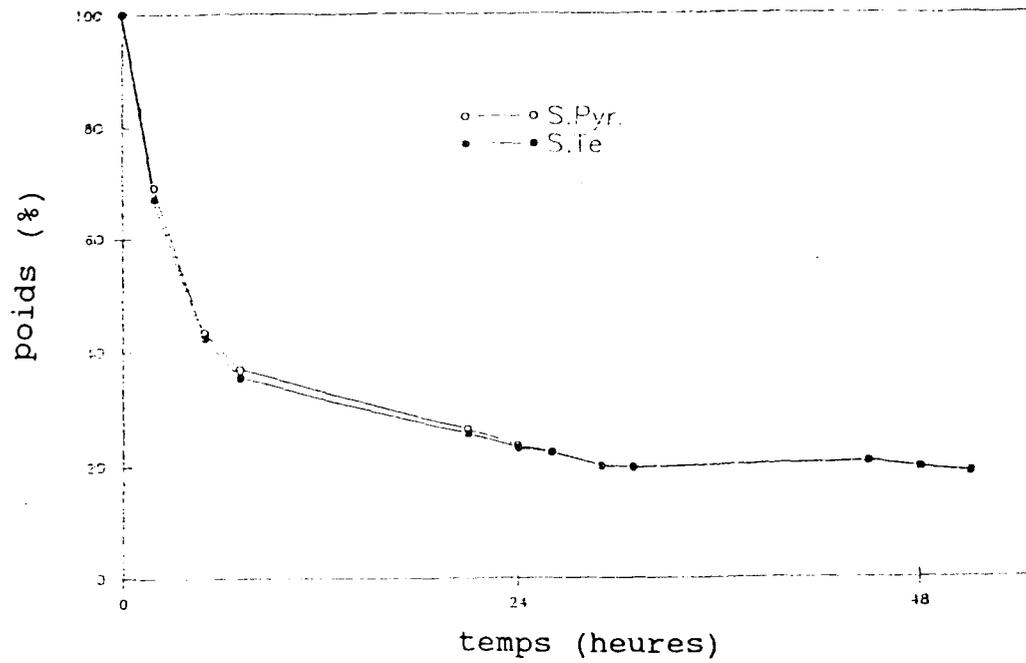


fig 14a: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (Ech. non traité).

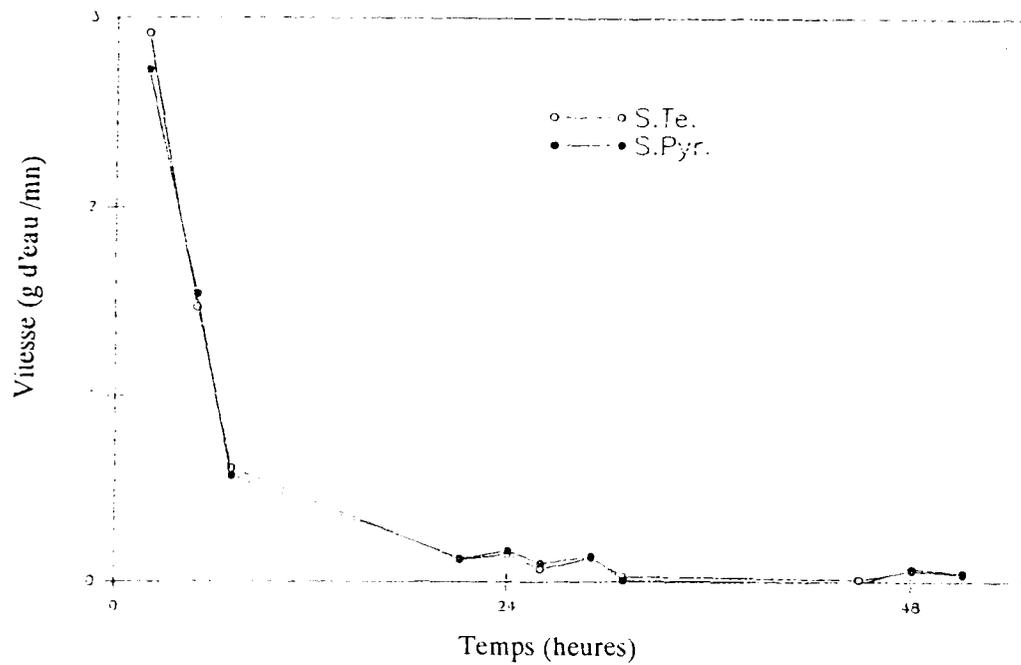


fig 14b: Vitesse de séchage en fonction du temps (Ech. non traité).

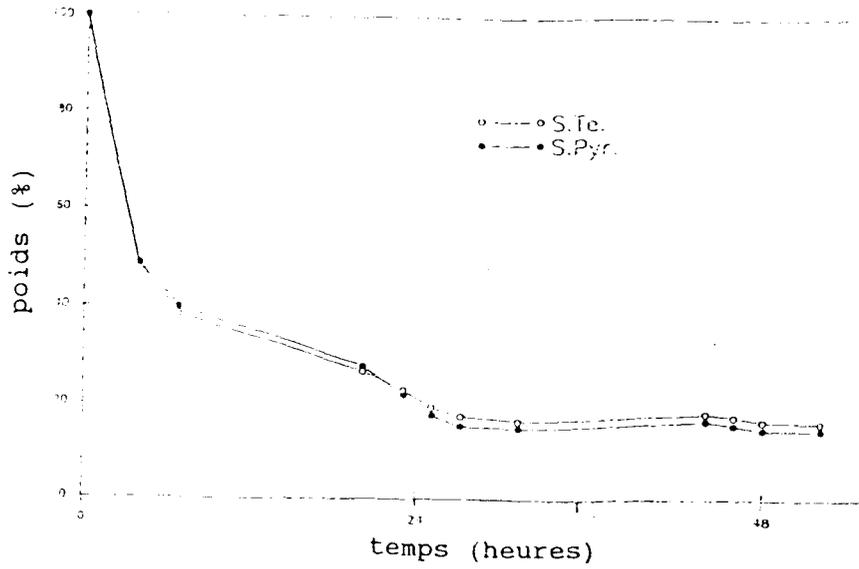


fig 15a: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (trait.sucre 10%-30mn)

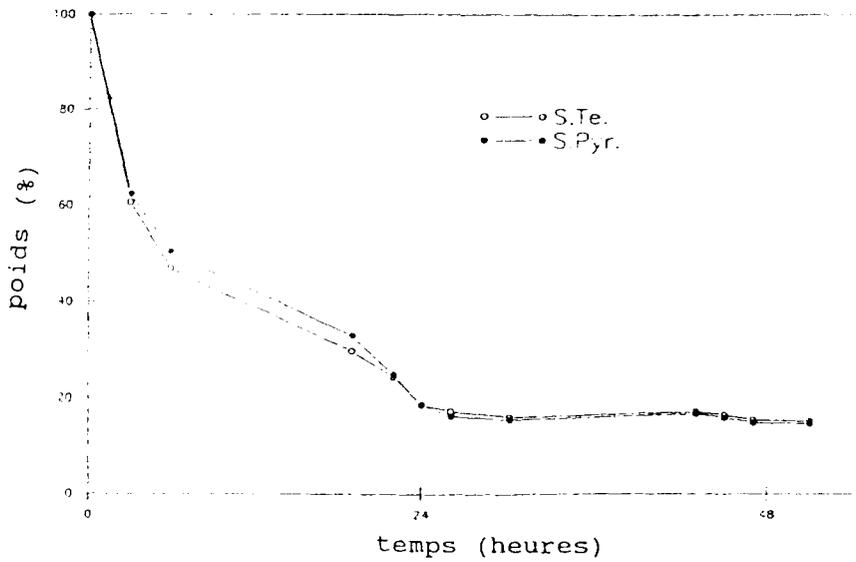


fig 15b: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (trait.sucre 10%-60mn)

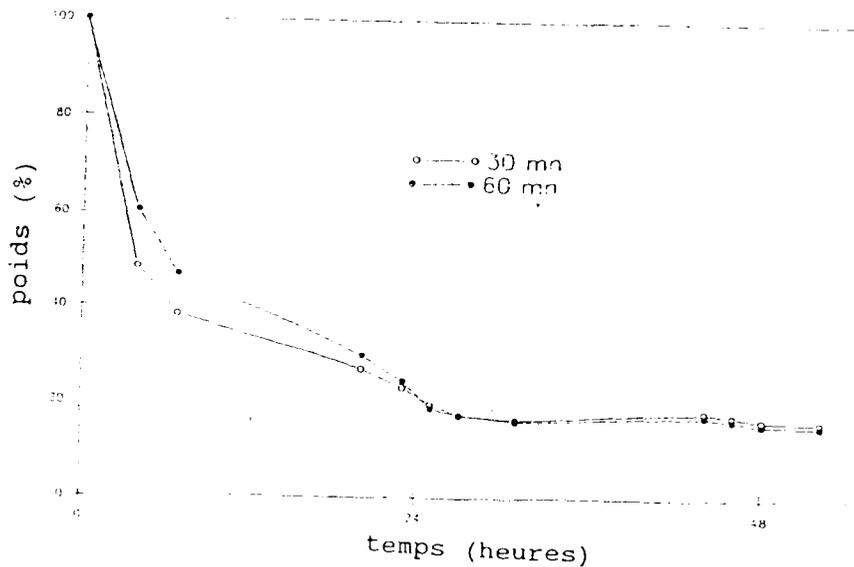


fig 15c: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (trait.sucre 10%- S.Te.)

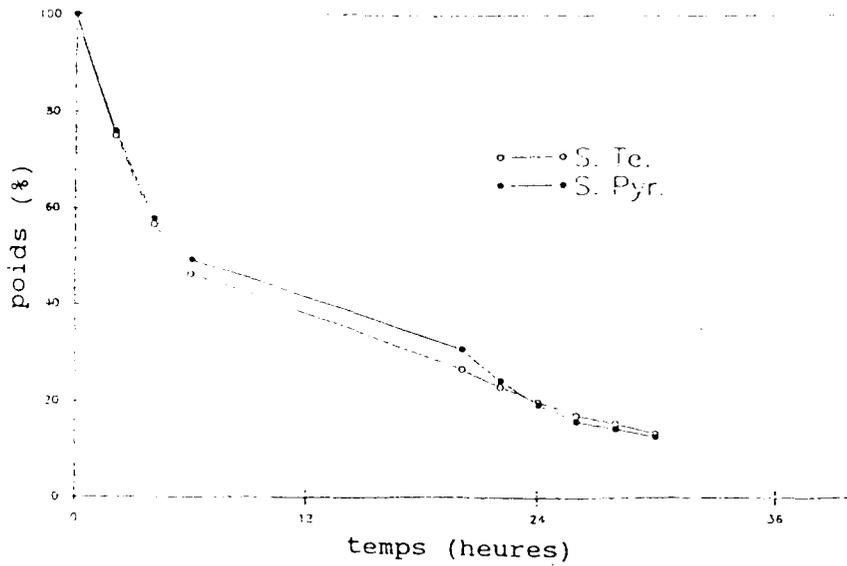


fig 16a: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage.
(trait.métabisulfite de Na -30mn).

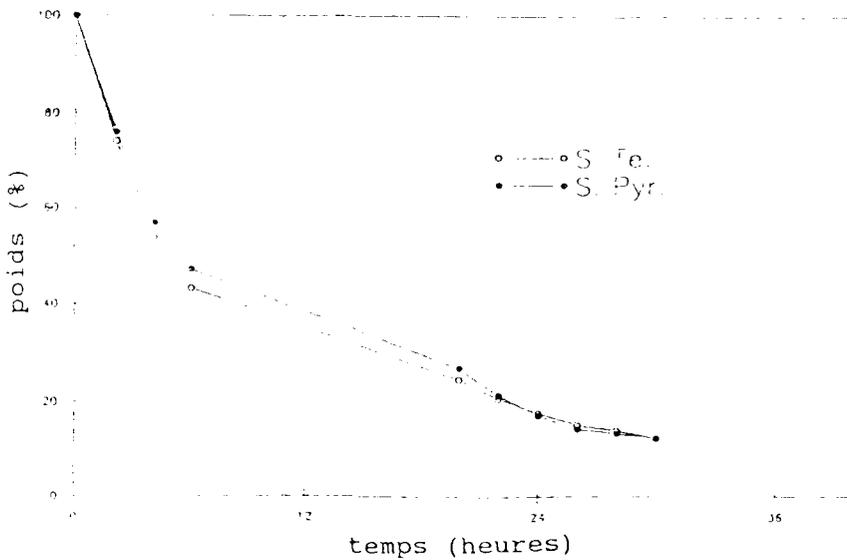


fig 16b: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage
(trait.métabisulfite de Na-60mn).

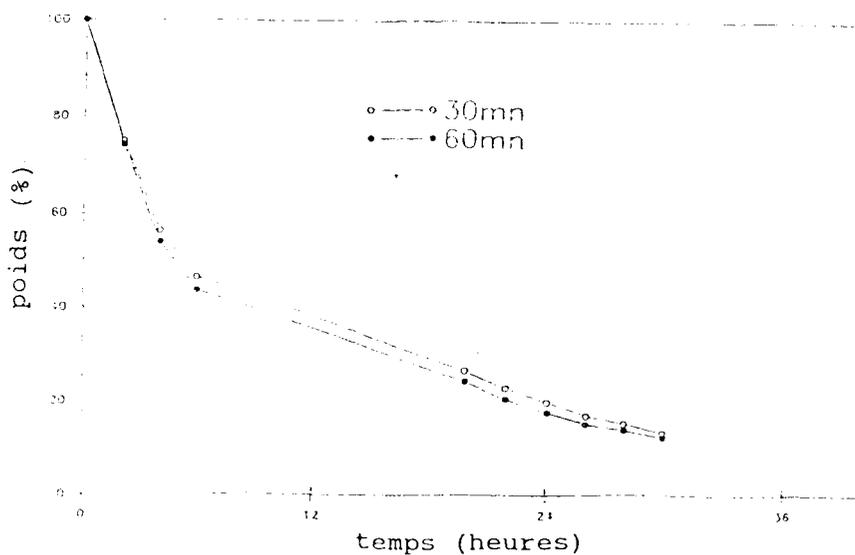


fig 16c: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage
(trait.métabisulfite de Na - S.Te.).

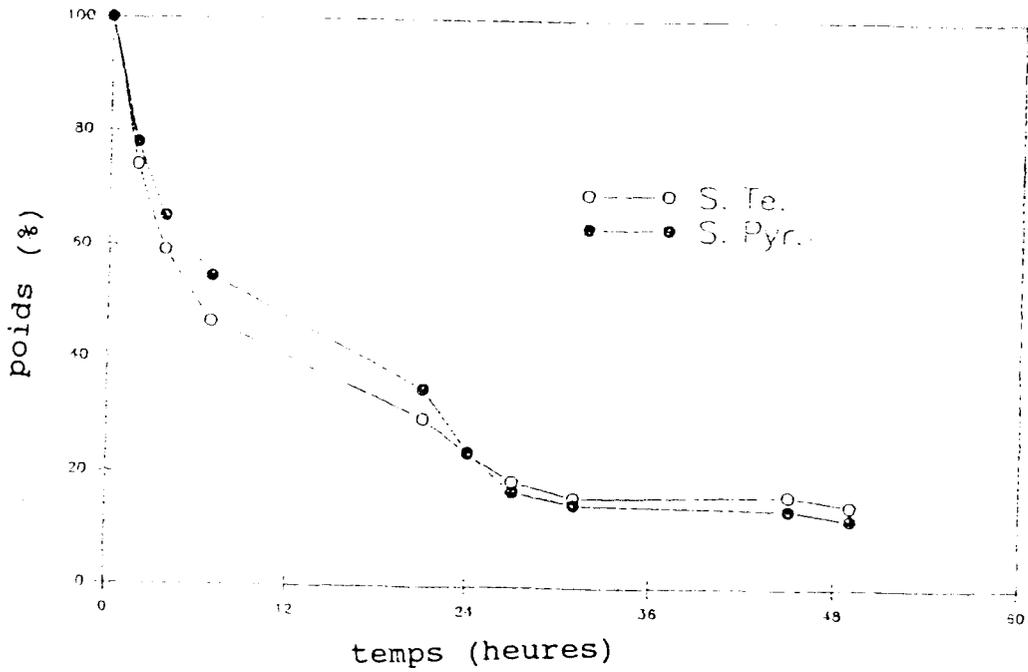


fig 17a: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (trait. acide citrique-15mn).

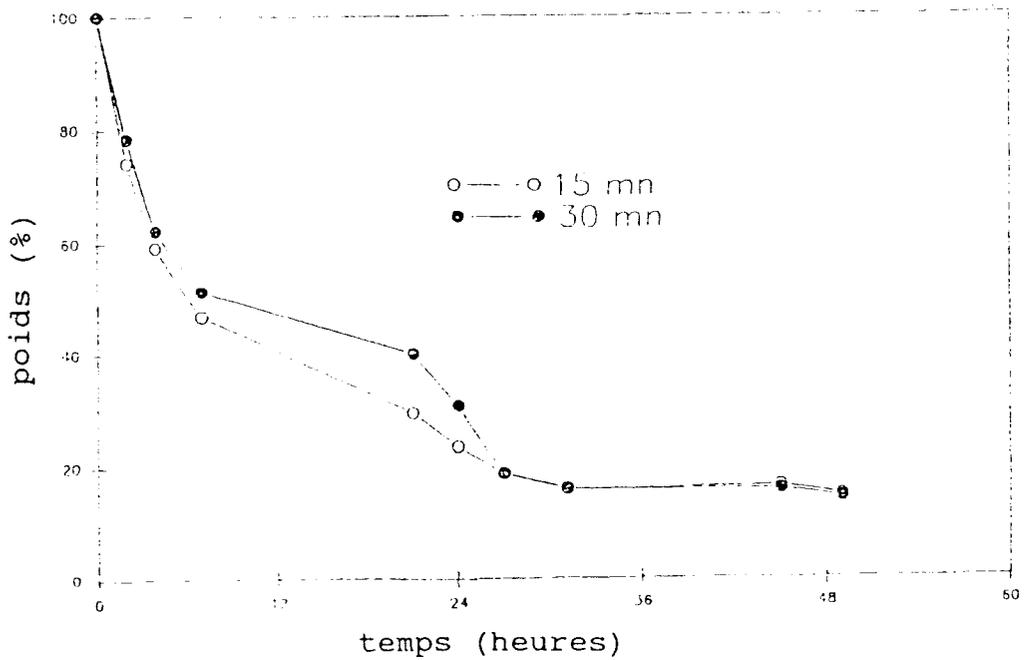


fig 17b: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (trait. acide citrique - S. Te.).

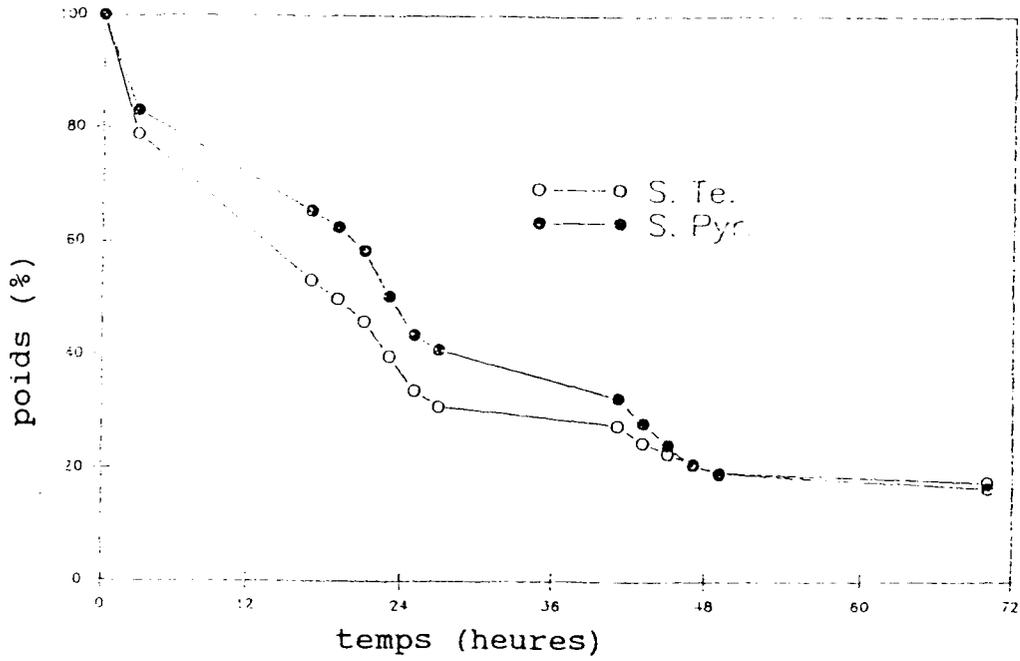


fig 18a: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (trait.SO₂ - 45mn).

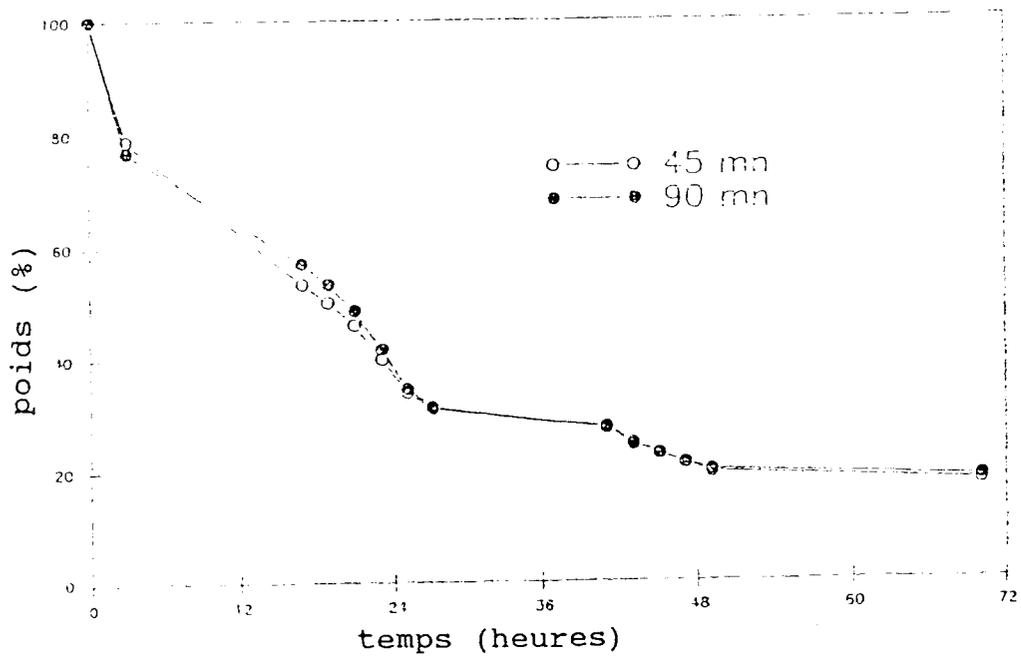


fig 18b: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (trait.SO₂ - S.Te.).

a₂ - Influence du type de séchoir sur le processus de séchage

II existe un léger décalage entre les cinétiques obtenues à partir du séchoir tente et celles obtenues à partir du séchoir pyramide. Le mécanisme est légèrement retardé avec le séchoir pyramide pendant la première étape alors qu'au cours de la seconde phase, le phénomène est inversé pour la plupart des échantillons (fig 13, 15, 16, 17). Cette différence persiste, bien que le séchoir pyramide offre des températures légèrement plus élevées que le séchoir Tente (tableau XII Annexe 11). L'explication possible à ce constat est que l'eau libre facile à évaporer et éliminée en première étape ne nécessite pas beaucoup d'énergie contrairement à l'eau liée évaporée en seconde étape qui est difficile à extraire. Dans ce sens, CHEFTEL et ses collaborateurs (35b) indiquent que le déplacement de l'eau liée aux constituants de l'aliment à travers la couche sèche est très lente et seule l'augmentation de la température du produit peut fournir la chaleur de désorption, nécessaire, ce qui permet d'éviter que la vitesse de séchage ne devienne négligeable.

a₃ - Influence des prétraitements sur le processus de séchage

- Les courbes issues du séchage des échantillons utilisant un même séchoir après un prétraitement par trempage dans une solution aqueuse indiquent un décalage en fonction du temps de trempage (fig 14 à 17). Le séchage des échantillons trempés pendant 60 mn dans une solution de sucre, de bisulfite et 30 mn dans une solution d'acide citrique est légèrement retardé par rapport au séchage des mêmes échantillons trempés dans les mêmes solutions mais pendant respectivement 30 mn et 15 mn. Ceci ne s'observe que pendant la première étape, conséquence de la différence de prise d'eau pendant le trempage.

Au cours de la seconde étape, les courbes sont inversées ou confondues.

- Le processus de séchage des échantillons traités à l'anhydride sulfureux (SO_2) gazeux montre une particularité (fig 18). Le séchage est beaucoup plus retardé par rapport aux séchage des autres échantillons traités ou non:

. La première étape se déroule pendant un temps deux fois plus long: ce temps est de 48 heures contre 24 heures dans les autres cas.

. Au bout de 24 heures de séchage, le pourcentage de masse (poids) perdu varie de 53 à 63 % contre 74 - 83 % pour les autres échantillons. Quant à la teneur en eau, elle est de 55 % contre 30 - 46 % pour les autres (fig 19).

. On y trouve les plus faibles vitesses initiales de séchage 1,17 - 1,29 g d'eau évaporée/mn contre 1,92 pour les autres échantillons si on considère le séchoir tente.

II apparaît donc clairement que l'anhydride sulfureux gazeux (SO_2) ralentit l'évaporation d'eau au cours du séchage des tranches de mangue. Nos résultats sont conformes à ceux de HARVEY et ses collaborateurs (62a) enregistré à travers leur étude sur la déshydratation de la pulpe de papaye à 74°C, 84°C et 94°C et qui indiquent que l'addition de l'anhydride sulfureux à 1104 ppm ralentit le processus de séchage et que le SO_2 à une concentration plus basse (552 ppm) n'a pas d'effet par comparaison avec la pulpe non traitée.

b - Rendement en produit séché

Les rendements en produit séché données par le rapport
Poids de tranches de mangue séchées

Poids de tranches de mangue fraîches (mises à sécher)

sont consignés sur le tableau XIII. Les valeurs varient entre 12,2 % et 18,4 % et ceci en fonction de la teneur en eau résiduelle du produit séché. Le séchoir pyramide, du fait des températures de

séchage légèrement plus élevées donne des tranches séchées de teneur en eau plus basse et par conséquent, les plus faibles rendements par rapport au séchoir tente.

Tableau XIII: Rendements en produit séché (%)

Séchoir tente		Séchoir pyramide	
Echantillons	Valeur (%)	Echantillons	Valeur (%)
1	16,6	2	15,9
3	15,3	4	14,8
5	13,4	6	12,6
7	12,3	8	12,2
9	13,5		
10	13,4		
11	17,7	12	16,7
13	18,4	14	17,8

c - Caractéristiques organoleptiques

La dégustation des tranches de mangue séchées d'un échantillon de consommateurs a donné les résultats suivants : ils ont trouvé les tranches de mangue séchées bonnes à plus de 75 %, consistantes à 95 %, un peu élastiques et adhésives pendant la mastication à plus de 80 %. Selon ces résultats, les mangues n'ont rien perdu de leur goût sucré acidulé et ont conservé une majeure partie l'arôme caractéristique de la mangue fraîche. De façon générale, les tranches séchées ont une coloration jaune ou jaune orangée avec des états de brunissement; les échantillons traités au SO₂ gazeux ont à priori donné les meilleurs résultats. Toutefois, les échantillons traités pendant 90 mn au SO₂ gazeux et 60 mn au métrasulfite de sodium ont révélé un arrière-goût particulier dû certainement à la teneur résiduelle en sulfites. Cette constatation rejoint celle de

SPADARO et ses collaborateurs (160) et de MANLAN et ses collaborateurs (104) travaillant avec des patates douces séchées traitées à 0,3 et 0,6 % de métabisulfite. Le goût de sulfite reste discret à la dégustation pour les échantillons ayant subi les mêmes traitements pendant un temps plus court (45 mn et 30 mn). Les échantillons traités à l'acide citrique ont pour leur part révélé un goût acide plus prononcé.

I.2 - Aspects physico-chimiques et biochimiques

I.2.1 - Influence du séchage et/ou du stockage sur les caractéristiques physico-chimiques et biochimiques

a) *Taux d'humidité (teneur en eau résiduelle)*

Les taux d'humidité de l'ensemble des échantillons en fin de séchage varient entre 14 et 20 % (cf Annexe 12, Tableau XV). ces résultats s'expliquent principalement par la variabilité des conditions de séchage (type de séchoir utilisé en particulier). En effet, le séchoir solaire implique des conditions naturelles (température, humidité relative de l'air, vitesse de l'air...) variant énormément et sont difficiles à contrôler et à maîtriser. Une telle variation ne peut pas ne pas influencer les résultats du séchage.

D'après MOSSEL (118), les fruits séchés jusqu'à 15 - 20 % d'humidité ont une activité de l'eau (A_w) de l'ordre de 0,60 - 0,65; l'activité de l'eau de nos échantillons s'est révélée comprise dans cette intervalle. Durant le stockage, il n'y a pas de changement notable du taux d'humidité pour l'ensemble des échantillons; ce qui démontre l'étanchéité de l'emballage au milieu ambiant. Cependant, une des conséquences de cette teneur en eau est le brunissement non enzymatique dont les vitesses maximales s'obtiennent à des A_w comprises entre 0,5 et 0,7 (92b).

b) *Acidité titrable*

Les résultats sont exprimés sur le tableau XVI (cf Annexe 12). II n'ya pas de différence notable de l'acidité totale (exprimée en équivalent-acide citrique % M.S) entre les mangues fraîches mises en oeuvre et les échantillons séchés. Les valeurs sont respectivement de l'ordre de 2,25 - 4,06 % M.S et 2,16 - 4,71 % M.S. (cf Annexes, Tableau XVI). II est clair que le traitement à l'acide citrique augmente le taux d'acidité des tranches de mangue séchées (cf échantillon 9 et 10 du tableau XVI qui ont les taux les plus élevés). Durant le stockage à la température ambiante il n'ya pas de variation significative.

c) *Effets du séchage et du stockage sur l'acide ascorbique*

Les effets du séchage et du stockage sur l'acide ascorbique sont illustrés par les figures 21 et 22 : Les teneurs en acide ascorbique des mangues fraîches mises en oeuvre pour le séchage sont de l'ordre de 3600 - 5400 ppm (M.S); les mangues séchées contiennent 1870 - 3950 ppm (M.S) d'acide ascorbique (fig 21a). Les pertes sont alors de l'ordre de 26 - 48 % (fig 21b). Les échantillons traités à l'anhydride sulfureux gazeux, retiennent le mieux l'acide ascorbique (Ech 11 à 14). HEIKAL et ses collaborateurs (63) ont indiqué une bonne rétention de l'acide ascorbique dans la purée de mangue séchée au soleil; les meilleurs résultats ont été obtenus avec un traitement à 1000 ppm au métrasulfite de potassium et à l'acide citrique à 0,3 g/litre. Nos résultats sont comparables à ceux de GOMEZ (58) qui a observé des pertes de l'ordre de 52 % dans la mangue séchée au soleil. L'acide ascorbique des tranches de mangue séchées conditionnées en bocaux à la pression atmosphérique puis stockées à la température ambiante, se dégrade (fig 22): Après 6 mois et 12 mois de stockage, les concentrations sont respectivement de l'ordre de 760 - 2330 ppm (M.S) et 190 - 460 ppm (M.S); par rapport à des teneurs

initiales de 1870 - 3950 ppm (M.S). Les pertes sont dans le même ordre de 39 - 74 % (6 mois) et 88 - 92 % (12 mois). Le traitement au SO₂ conserve mieux l'acide ascorbique durant les 6 premiers mois de stockage. Le mécanisme de dégradation de l'acide ascorbique (fig 22), lent pendant les trois premiers mois (pertes 12 - 25%), s'accélère entre le troisième et le neuvième mois de stockage puis ralentit durant les derniers mois de stockage.

Ces courbes, de forme sigmoïdale rappellent les travaux de ALIAGA et LUH (8) sur la dégradation de l'acide ascorbique de la mangue lyophilisée durant 12 mois de stockage et qui indiquent en fin de stockage des taux de rétention de 65 et 85 % à 20°C puis 44 et 72 % à 30 °C en fonction du mode de congélation (rapide et lent). SINGH et ses collaborateurs (156) à travers la mangue séchée soulignent une perte d'environ 50 % en acide ascorbique après un mois de stockage à 25°C. HEIKAL et ses collaborateurs (63) d'une part et GOMEZ (58) d'autre part ont également observé une perte notable en acide ascorbique pendant l'entreposage de la purée de mangue séchée et de tranches de mangue séchée. Par ailleurs, la dégradation de cet élément pendant le stockage de produits alimentaires, dépend de l'humidité ou de l'activité de l'eau de l'aliment (45, 155). L'acide ascorbique montre sa stabilité maximale aux basses activités de l'eau : $A_w = 0,020 - 0,316$ (146, 61). L'activité de l'eau de nos échantillons séchés d'environ 0,60 - 0,65 est favorable à la dégradation de l'acide ascorbique d'où ces énormes pertes enregistrées durant le stockage. En outre, la présence d'air dans les bocal et la température ambiante élevée constituent autant de facteurs favorables à sa dégradation. L'oxydation, la dégradation anaérobie et thermique sont les principales voies de dégradation de l'acide ascorbique dont un des produits finaux, le furfural intervient dans les phénomènes de brunissement.

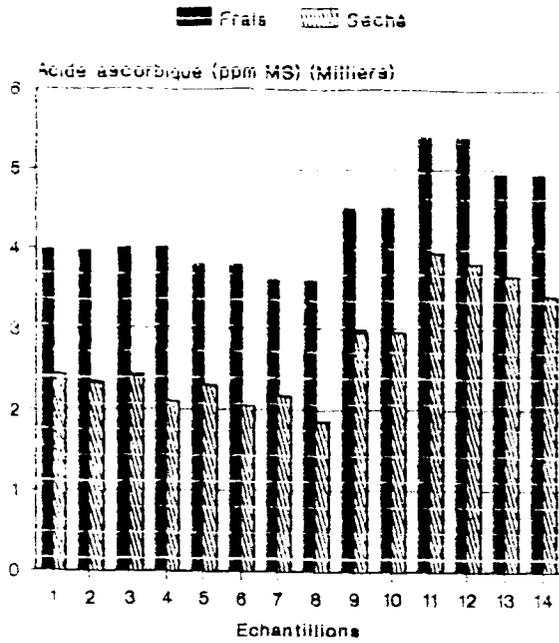


fig 21a: Teneurs en acide ascorbique des échantillons de mangue.

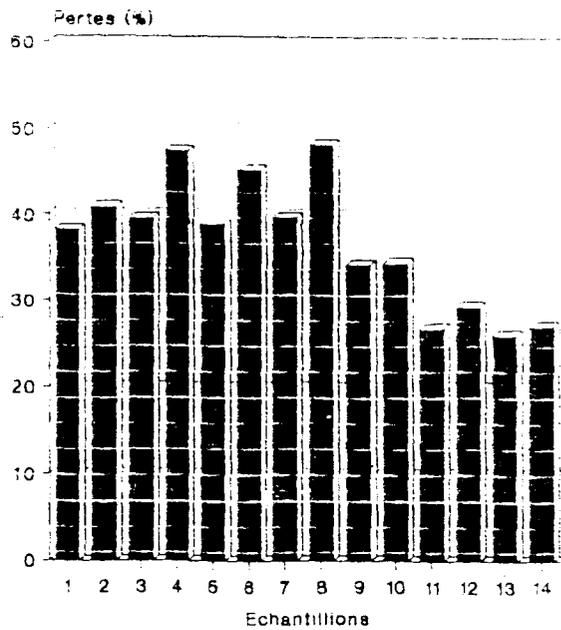


fig 21b: Pertes en acide ascorbique des échantillons de mangue après séchage solaire.

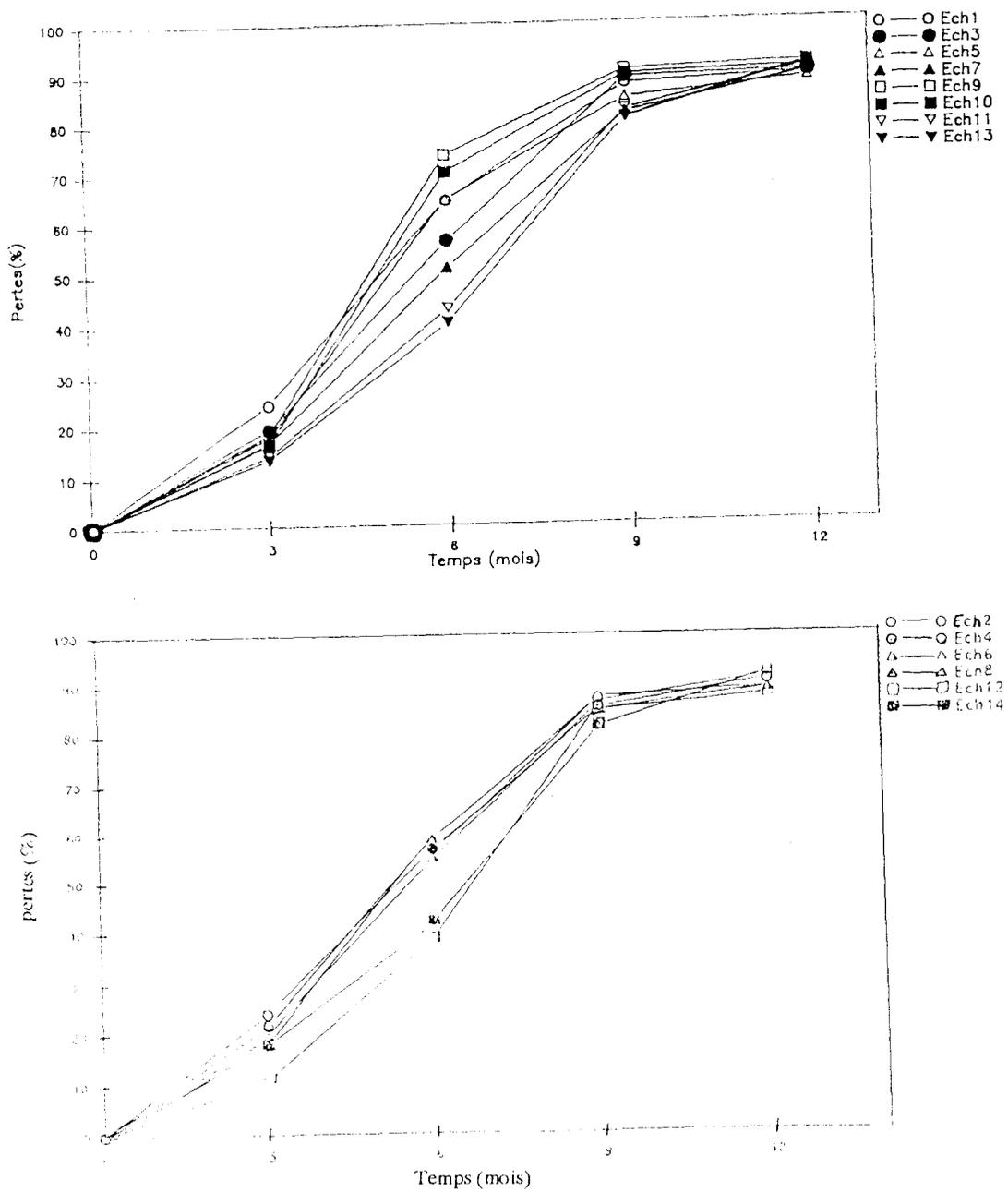


fig 22: Evolution des pertes en acide ascorbique au cours du stockage des échantillons de mangue séchés.

d) *Effets du séchage et du stockage sur le brunissement*

Les résultats sont indiqués sur les figures 23a, 23b, 23c qui montrent clairement que l'indice des pigments solubles dans l'alcool mesurant l'état de brunissement dans le visible, augmente considérablement après le séchage solaire. Les valeurs sont plus élevées pour la mangue séchée que pour la mangue fraîche. Les coefficients d'augmentation (Absorbance M.séchée/Absorbance M. fraîche) varient de 1,8 à 3,4 pour les mesures à 400 nm et 420 nm (fig 24). En d'autre terme, l'indice des pigments solubles dans l'alcool de la mangue séchée est en moyenne 2,50 fois plus élevé que celui de la mangue fraîche. Les coefficients les plus faibles s'observent au niveau des échantillons traités au SO₂ (Echantillons 7 et 8) qui sont en dessous des moyennes (fig 24).

Les mesures dans l'UV à 282 nm (fig 23c et 24), mettant en évidence la présence de certains produits issus des réactions de brunissement, laissent également entrevoir une différence nette entre la mangue fraîche et la mangue séchée. Les absorbances sont de l'ordre de 1,003 - 1,324 pour les échantillons frais par rapport à 1,437 - 1,898 pour les échantillons séchés. Le coefficient d'augmentation est en moyenne égale à 1,44; les plus faibles étant obtenus avec les lots traités au SO₂ (fig 24 lots 7 et 8). Le témoin (lot 1) semble le plus affecté par le brunissement; son rapport est le plus élevé (1,66). Par ailleurs on note un état de brunissement non négligeable du produit frais; cette altération qui s'est probablement produite lors des opérations de préparation des échantillons et de l'extraction, résulterait des réactions de brunissement non enzymatique et enzymatique.

Durant le stockage à la température ambiante, l'état de brunissement augmente en fonction du temps (fig 25a, 25b, 25c).

Dans tous les cas de figures, les lots traités au SO₂ et au métabisulfite de sodium (lots 7 et 8, lots 3 et 4) indiquent des variations modérées en fonction du temps de stockage. Avec l'acide citrique, l'évolution des absorbances, plus importante en début de

stockage marque un ralentissement à partir du 6^{ème} mois et tend vers un plateau (lots 5 et 6). Le témoins et le lot traités au sucre semblent être les plus affectés par le brunissement surtout à partir du 9^{ème} mois de stockage où on observe une accélération du phénomène (lots 1 et 2).

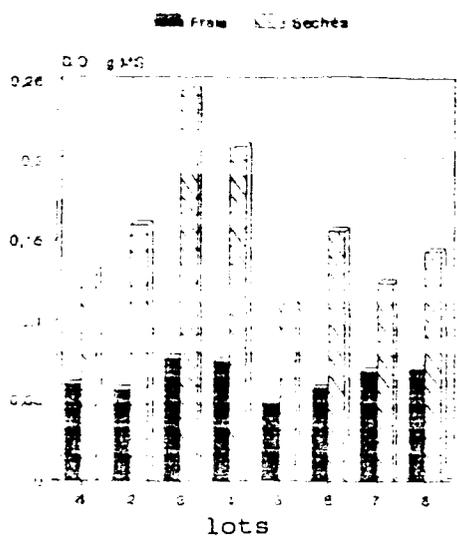
Le brunissement, évalué ici par les absorbances d'extraits alcooliques dans le visible et dans l'U.V, est un phénomène étudié par de nombreux auteurs dans divers produits alimentaires soumis à des traitements de conservation (déshydratation, chaleur...). Ainsi par exemple, HARVEY et ses collaborateurs (62a) ont souligné que le SO₂ réduirait considérablement l'indice des pigments solubles dans l'alcool provenant de la purée de mangue séchée, puis au cours de son entreposage pendant 6 mois à 24 °C et 38 °C. Les sulfites en général, sont d'ailleurs reconnus comme de puissants inhibiteurs du brunissement enzymatique et non enzymatique et préservent de ce fait, la couleur de divers aliments prédisposés à ces altérations. SINGH et ses collaborateurs (156) tout en confirmant des résultats antérieurs dont ceux de LABUZA (92b) ont prouvé que l'indice de brunissement augmente linéairement avec le temps de stockage après une période d'induction initiale qui dépend de l'humidité (ou l'activité d'eau) de l'aliment et de la température de stockage. Cette période d'induction est d'autant plus longue que l'activité de l'eau de l'aliment est faible. Nos conditions thermiques de stockage (température ambiante) créent des fluctuations de températures qui ne peuvent que influencer le mécanisme des réactions de brunissement et donc l'allure des courbes obtenues en fonction du temps. Plusieurs auteurs ont d'ailleurs constaté que le brunissement dans les produits dérivés de fruits et légumes, lorsqu'il est mesuré par l'absorbance dans le visible, est une fonction linéaire du temps à température de stockage constante (64, 78, 113). Quant à l'absorbance à 282 nm, LIVINGSTON et ses collaborateurs (100) de même que RESNIK et CHIRIFE (141) ont montré respectivement à partir d'extraits aqueux de sauce à base de pomme séchée et de la pomme déshydratée à 110°C pendant 3 heures, que le

brunissement engendre une forte absorbance à 282 - 285 nm; celle-ci augmente linéairement avec le temps à température de stockage constante.

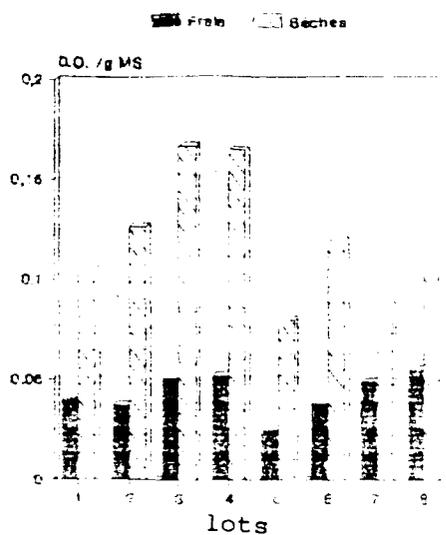
Le brunissement observé ici, serait favorisé par la teneur en eau résiduelle de nos échantillons. En effet, le brunissement non enzymatique est maximal entre des A_w de 0,60 - 0,75 (47, 92b); alors que nos échantillons de mangue séchés ont une A_w de l'ordre de 0,60 - 0,65. D'autre part, les sucres réducteurs et l'acide ascorbique, substrats du brunissement non enzymatique, ont été dosés dans la mangue Amelie. Selon LABUZA (92a) la déshydratation favorise ce type d'altération par le fait que les réactions sont accélérées, les réactifs se trouvant concentrés sous l'effet de la réduction d'eau.

La forte absorption à 282 - 285 nm d'extraits de produits alimentaires brunis a été associée à la présence du 5-hydroxyméthyl furfural (5 H.M.F) ou du furfural (100, 155). L'équipe de LIVINGTON, après avoir déterminé la teneur en 5-H.M.F dans la pomme séchée à l'aide d'une courbe standard de référence, a effectivement montré que l'absorbance à 285 nm est directement fonction du 5-H.M.F avec des possibilités d'interférence avec le furfural et d'autres composés de structures analogues. Par la suite, des études en chromatographie en phase liquide-gaz et en HPLC de divers systèmes alimentaires brunis ont mis en évidence la présence du furfural mais en faible proportion par rapport au 5-H.M.F. Cette proportion est due au fait que le furfural est très réactif par rapport au 5-H.M.F (46); en présence d'acide, il tend à se condenser avec les aldéhydes, les cétones et les amino acides (143). Lors de la déshydratation ou du chauffage d'aliments riches en sucres comme les fruits, en présence d'acide, il se forme des composés furanniques : les hexoses donnent le 5-H.M.F comme principal dérivé furannique et les pentoses, le furfural (174, 65, 54). La dégradation de l'acide ascorbique conduit également à la formation du furfural dans des conditions anaérobies (67, 165, 122a).

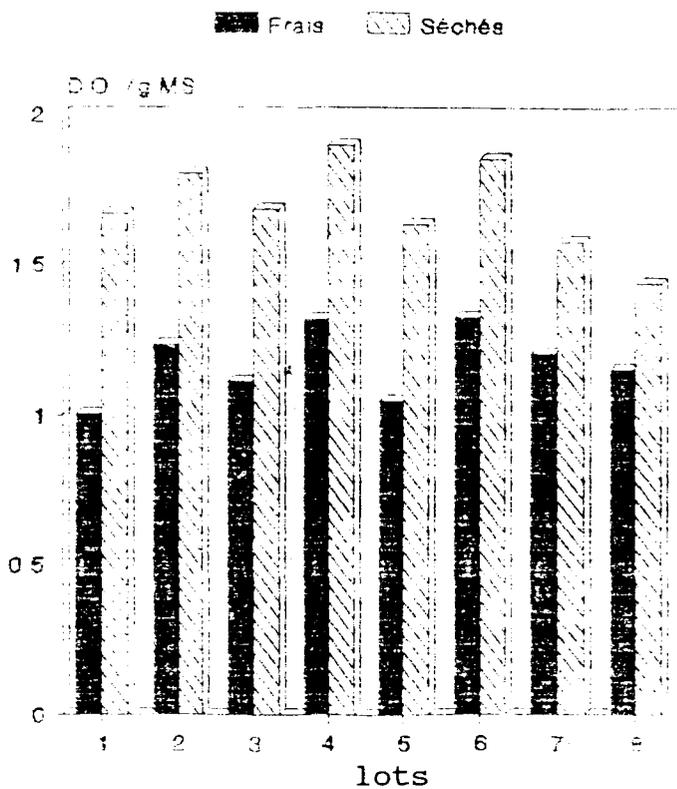
Dans le cas des mangues séchées, il est possible que le brunissement provienne également des réactions de brunissement enzymatique par l'action de polyphénoloxydases qui ont résisté au séchage. Les températures maximales enregistrées lors des expériences sont de 58-65 °C (Tableau XII Annexe 11). Celles-ci sont insuffisantes pour une inactivation totale des polyphénoloxydases et autres oxydases dont les activités conduisent à un brunissement. Signalons que les polyphénoloxydases ont été décelées dans la mangue (8); l'inactivation totale de ces enzymes exige un traitement à 75 °C pendant 15 mn; un traitement à 60°C pendant 20 mn entraîne seulement 50 % d'inactivation (170).



a) à 400 nm



b) à 420 nm



c) à 282 nm

fig 23: Absorbances d'extraits alcooliques des échantillons de mangue.

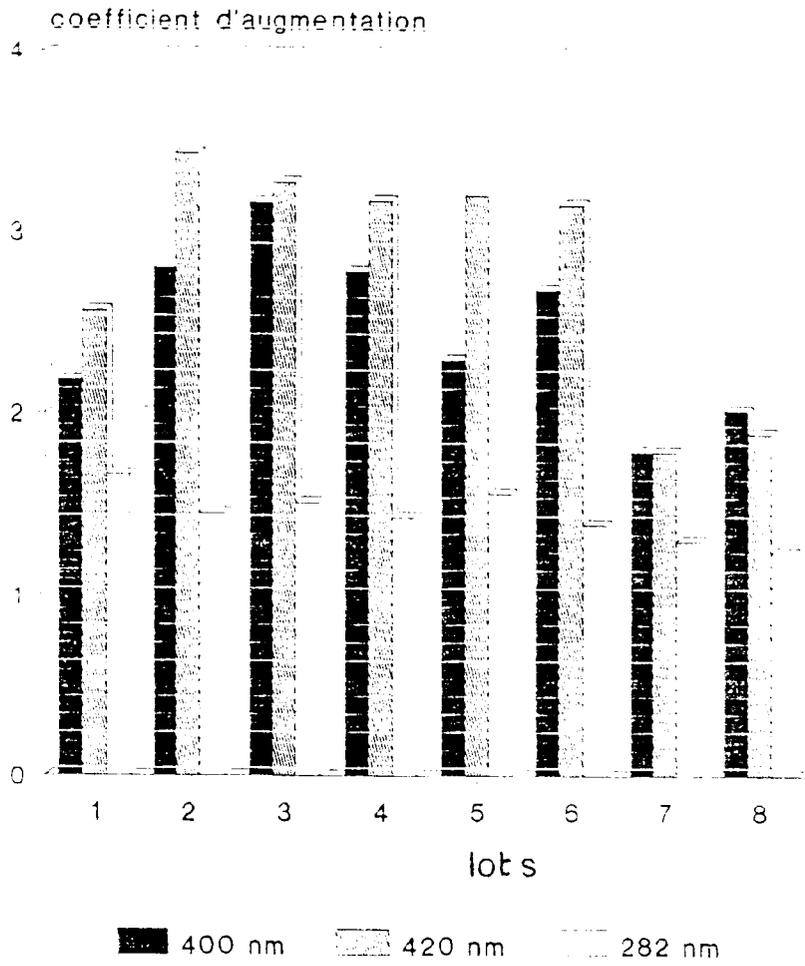


fig 24: Coefficients d'augmentation des absorbances d'extraits de mangues séchées.

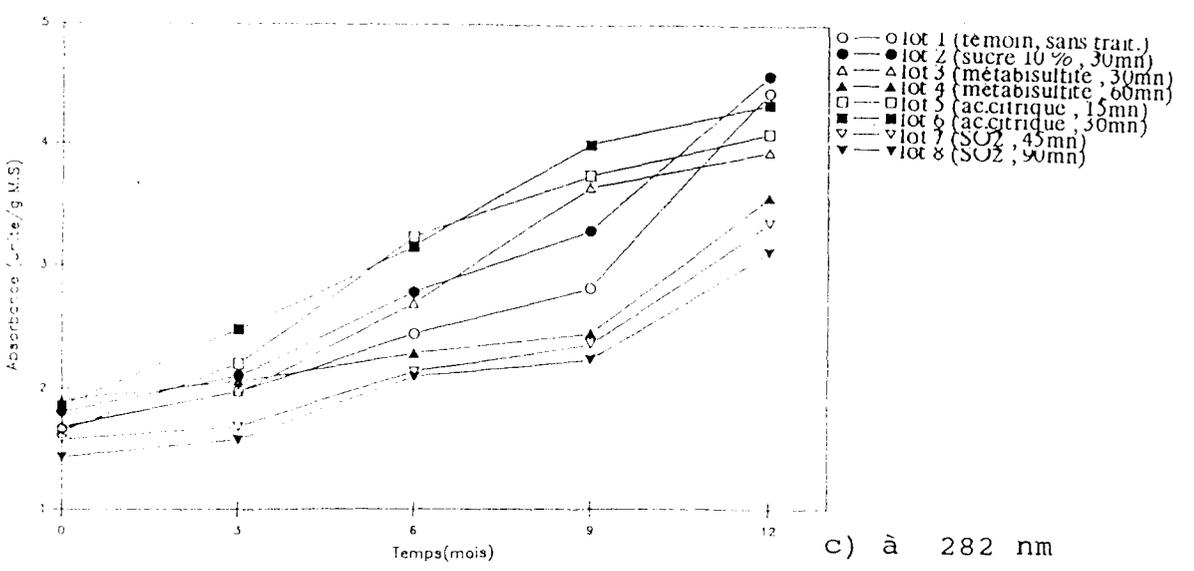
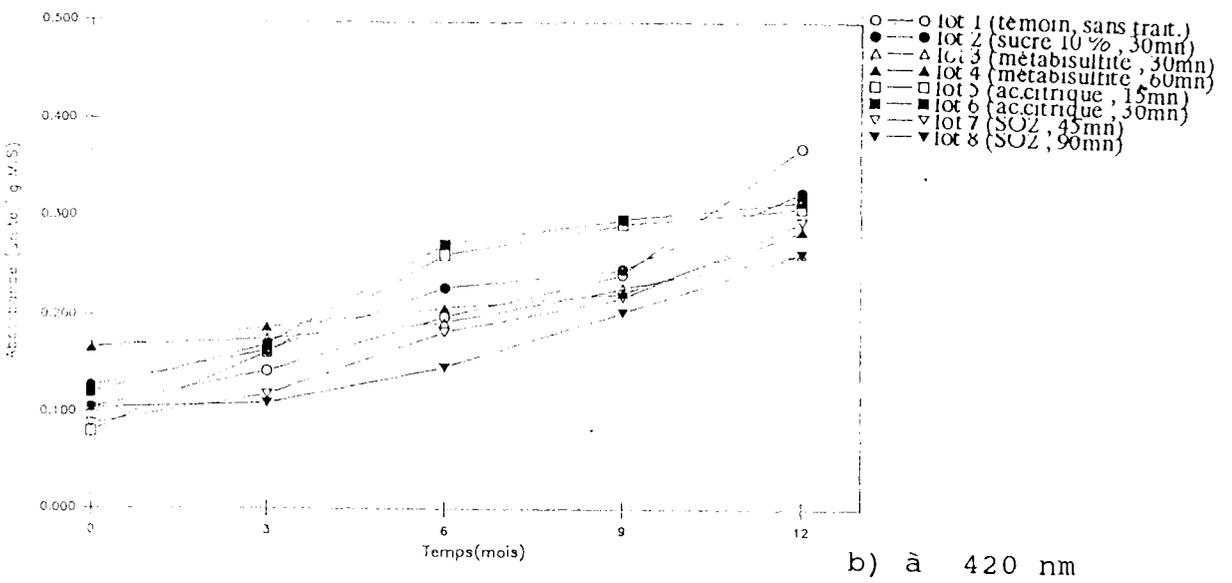
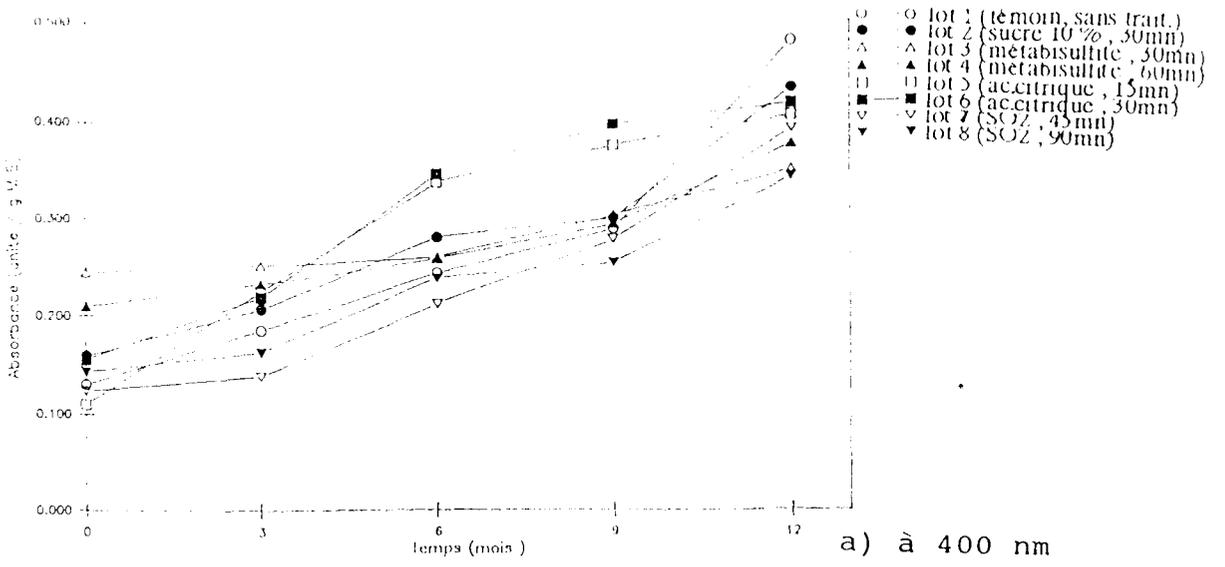


fig 25: Variation des absorbances d'extraits alcooliques de mangues séchées au cours du stockage à la température ambiante.

I.2.2 - Effets du séchage et du stockage sur les pigments de la mangue Amélie

a) Résultats de l'analyse qualitative

Les spectres d'absorption dans le visible de l'extrait acétonique des pigments totaux de la mangue fraîche et séchée sont représentés sur les figures 26A, 26B, 26C, 26D. Pour le produit séché, on observe les mêmes pics en début de stockage qu'après 6 mois et 12 mois de stockage à la température ambiante (fig 26B, 26C, 26D). Cependant, on note une différence avec l'échantillon frais (fig 26A) qui donne un spectre à deux pics dont le plus grand se situe à 452 nm. Ce pic se retrouve dans le spectre de la mangue séchée avec un léger déplacement à 454 nm (fig 26B) après 12 mois de stockage il a tendance à disparaître (fig 26D).

Le séchage modifie le spectre par l'apparition de nouveaux composés absorbant à 432, 408 et à 376 nm. Néanmoins le pigment majoritaire est toujours présent dans le produit et même après 12 mois de stockage. L'absorption à 450 - 454 nm de l'extrait acétonique est certainement due aux carotènes car la mangue est reconnue pour sa richesse en ces composés.

Le profil spectrodensimétrique à 450 nm de la couche mince des mêmes extraits a mis en évidence la présence de quatre composés matérialisés par 4 pics dont deux principaux (fig 27A, 27B, 27C, 27D). Le premier pic est plus important dans le produit frais, le second pic, presque inexistant dans la mangue fraîche apparaît nettement dans le produit séché et pendant le stockage. Les pics sont légèrement modifiés après 12 mois de stockage (fig 26D) mais leur position prouve qu'il s'agit vraisemblablement des mêmes constituants qu'en début et après 6 mois de stockage. Le second pic traduit sans doute la présence d'un composé apparu lors du séchage.

La séparation et la purification par la chromatographie sur colonne des pigments totaux de la mangue fraîche et séchée ont

donné une fraction principale : la fraction $F_{1,1}$, la plus importante dont le spectre dans l'hexane est représenté par les figures 28. Les spectres comme on peut le constater, indiquent des pics à 476, 448 et 424 nm. Ces spectres sont identifiés à celui de la β carotène par comparaison aux résultats de OKOMBI (127) et de GOLDMAN et ses collaborateurs (57). Le séchage ne déplace pas la position des pics, par contre le stockage a une influence sur ces derniers. Le premier pic à 424 nm a tendance à disparaître au cours du stockage. On observe une réduction notable de la hauteur des pics reflétant une diminution quantitative de la β -carotène.

En somme, le pic à 452 nm à travers le spectre d'absorption dans le visible de l'extrait acétonique totale (fig 26) ainsi que le premier spot de la couche mince représenté par le premier pic sur les figures 27, correspondent à celui de la β -carotène, constituant majeur des caroténoïdes de la mangue Amélie.

Les autres fractions obtenues à partir de la chromatographie sur colonne n'ont pas donné des résultats exploitables. Les spectres sont plats, conséquence probable de la faible teneur en pigments de ces fractions et de la dégradation de ceux-ci tout au cours des opérations d'extraction de séparation et de purification. Mais, selon le procédé adopté qui est celui utilisé par OKOMBI (127) pour l'étude des pigments de la cerise, les fractions $F_{1,2a}$ et $F_{1,2b}$ correspondraient vraisemblablement à la Cryptoxanthine ou à la Cryptoxanthine-5, 6-5', 6' diépoxyde; la fraction $F_{11,1}$, à la lutéine, ou à l'époxy lutéine ou un mélange des deux; la fraction $F_{11,2}$, à un mélange auroxanthine / violaxanthine; la fraction $F_{11,3}$, à la néoxanthine.

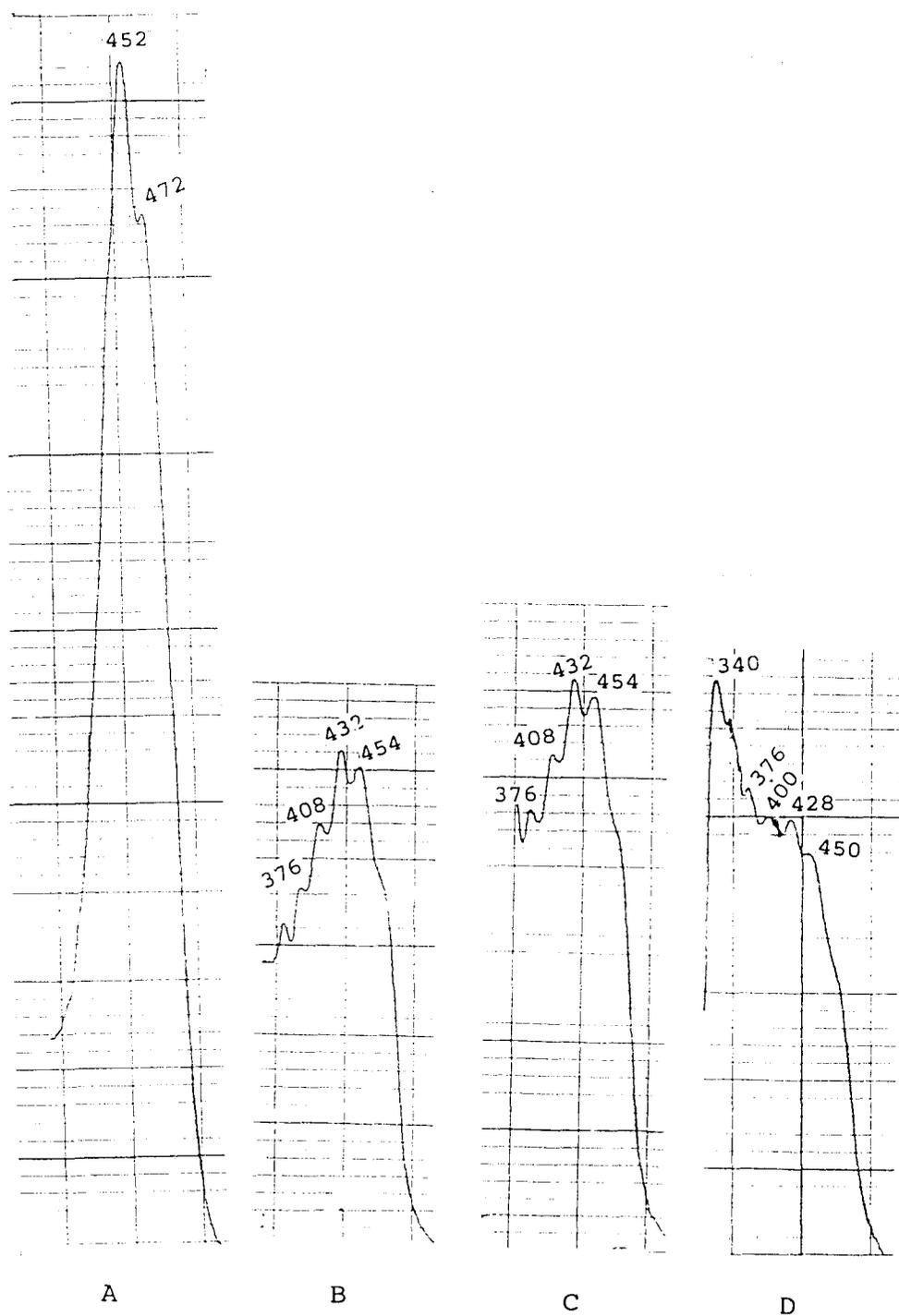


Fig 26 : Spectres d'absorption dans le visible d'extrait acétonique de mangue séchée (pigments caroténoïdes totaux).

A : Ech. frais

B : Ech. séché

C : Ech. séché après 6 mois de stockage

D : Ech. séché après 12 mois de stockage

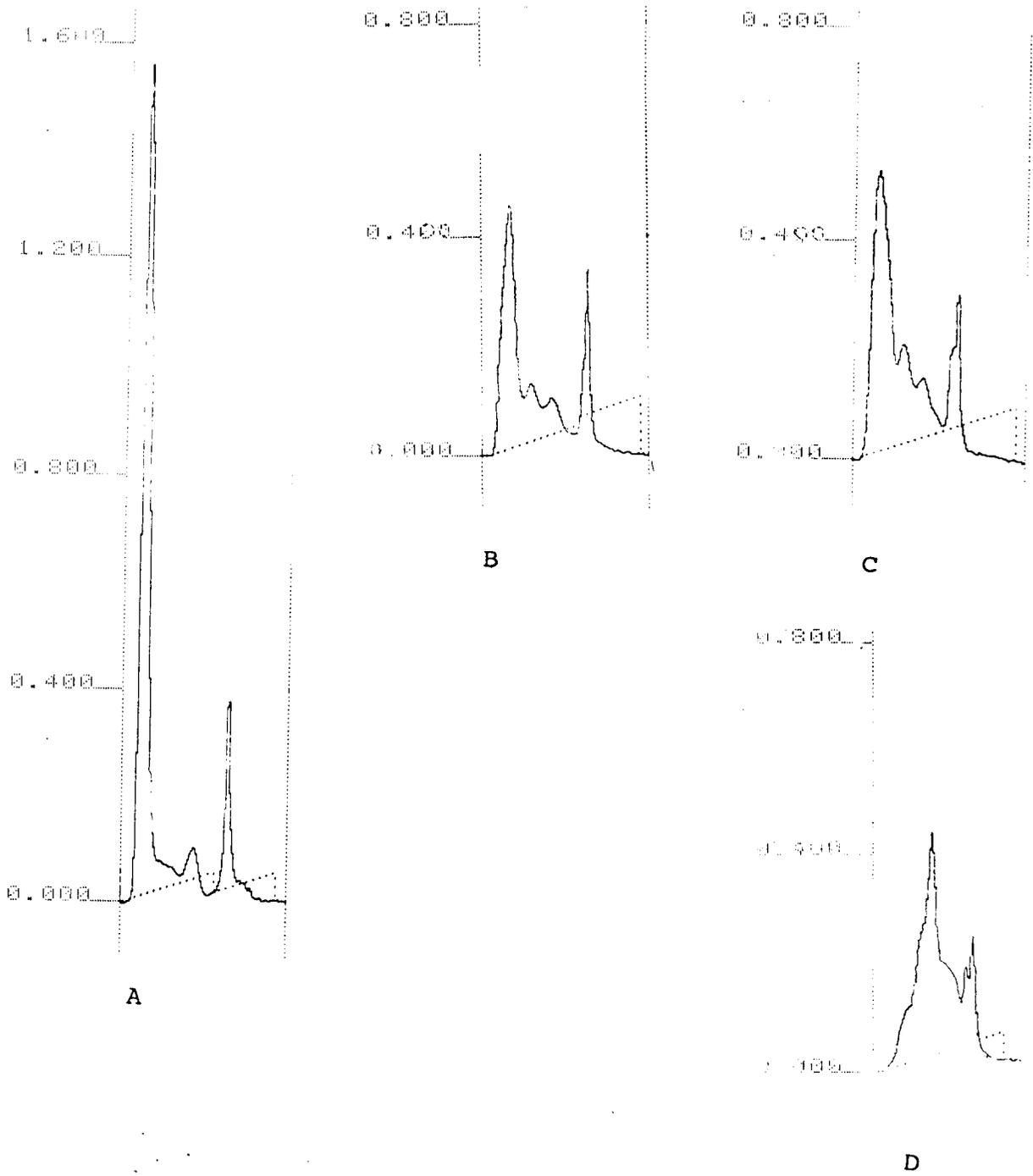


Fig 27 : Spectres photodensitométriques à 450 nm des pigments de la mangue

A : Ech. frais

B : Ech. séché

C : Ech. séché après 6 mois de stockage

D : Ech. séché après 12 mois de stockage

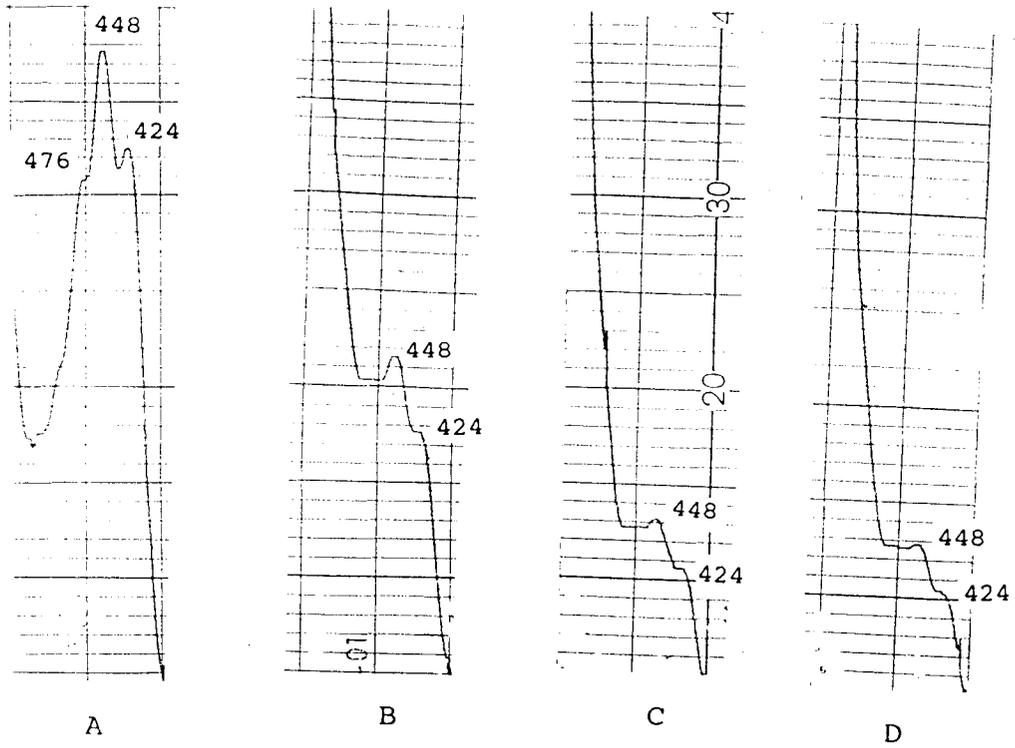
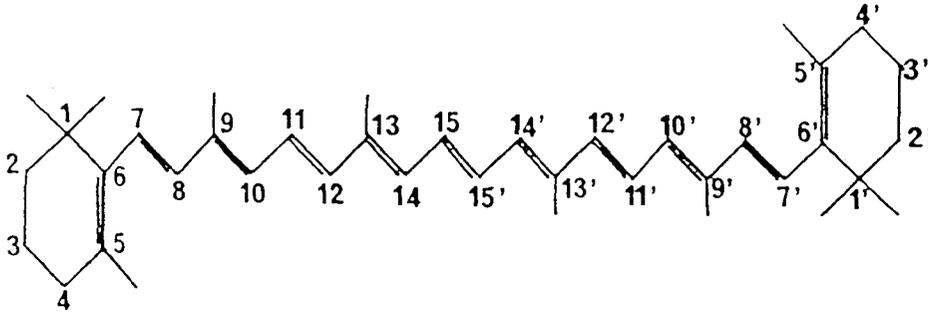
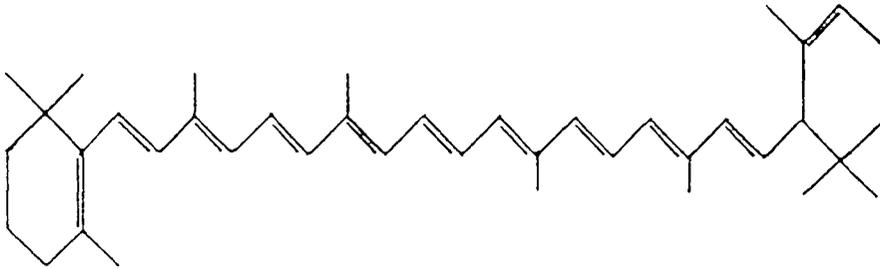


Fig 28 : Spectres d'absorption de la fraction $F_{1.1}$ dans l'hexane

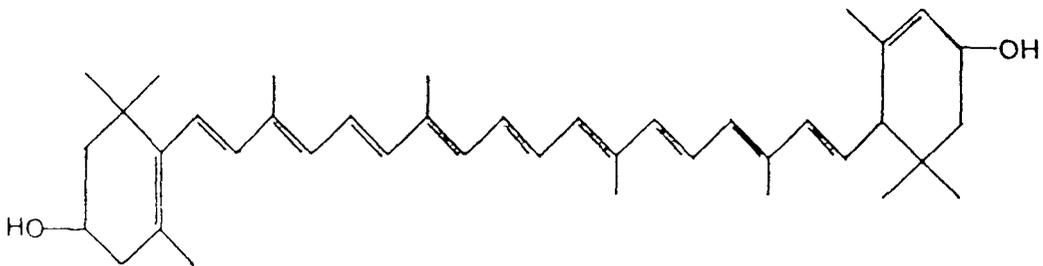
- A : Ech. frais
- B : Ech. séché
- C : Ech. séché après 6 mois de stockage
- D : Ech. séché après 12 mois de stockage



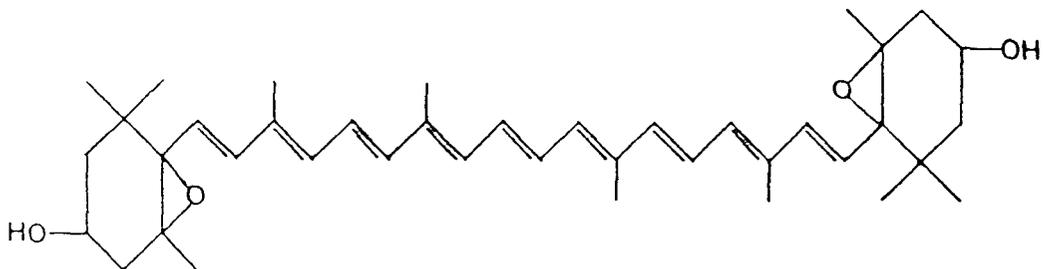
β-carotène



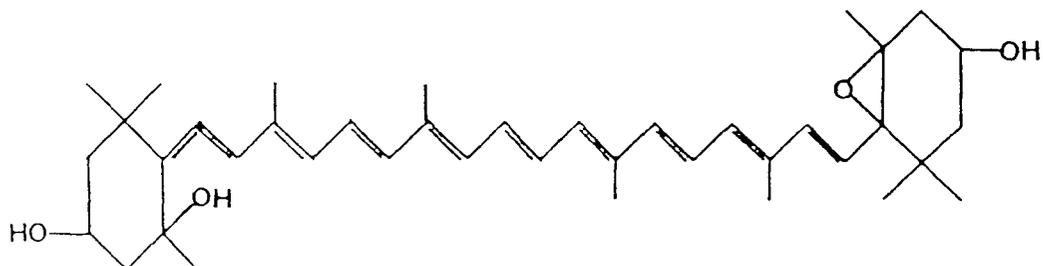
α-carotène



Lutéine (3, 3'-dihydroxy α-carotène)



Violaxanthine (3, 3'-dihydroxy-5, 6 - 5', 6'-diépoxy β-carotène)



Néoxanthine (3, 5, 3'-trihydroxy-6, 7-didéhydro-5', 6'-époxy β-carotène).

Structure de quelques caroténoïdes très répandus.

b) *Effets du séchage et du stockage sur les teneurs en caroténoïdes.*

b1) *Teneurs en caroténoïdes totaux, carotènes et xanthophylles des échantillons frais.*

Les résultats sont rapportés sur le tableau XVII (annexe 13), illustrés en partie par la figure 29. Ceux-ci indiquent des teneurs de 155-188 $\mu\text{g/g}$ M.S de caroténoïdes totaux dans les mangues fraîches ; les concentrations en carotène et en xanthophylle sont respectivement de l'ordre de 103-120 $\mu\text{g/g}$ M.S et 39-55 $\mu\text{g/g}$ M.S. Les carotènes sont prédominantes et représentent 61-70% des caroténoïdes de la mangue Amélie; les xanthophylles, représentent 24-29% (cf Annexe 13, Tableau XVIII).

A travers ce tableau, les teneurs en caroténoïdes de la mangue varient énormément d'une variété à l'autre et la mangue, comparée à d'autres fruits et légumes qui en sont riches, constitue une bonne source de carotènes notamment la β -carotène.

b2) *Effet du séchage sur les teneurs en caroténoïdes totaux, carotènes et xanthophylles.*

Le séchage dégrade les pigments caroténoïdes de la mangue. Les teneurs en caroténoïdes totaux, dans les échantillons séchés sont de 83-116 $\mu\text{g/g}$ M.S (fig 29); par rapport aux teneurs dans les produits frais (155-188 $\mu\text{g/g}$ M.S), les retentions sont de l'ordre de 50 à 70% pour l'ensemble des échantillons (figure 30). Le traitement aux sulfites préserve mieux les pigments caroténoïdes: 67-70 % de rétention pour les échantillons traités au SO_2 et 59-62 % pour ceux traités au métabisulfite de sodium (fig 30 lots. 7 et 8 puis 3 et 4). Quant aux carotènes et aux xanthophylles, les teneurs dans les produits séchés sont respectivement de l'ordre de 64-82 $\mu\text{g/g}$ M.S et 15-27 $\mu\text{g/g}$ M.S (tableau XVII), par rapport à des taux initiaux (produits frais) de 103-120 $\mu\text{g/g}$ M.S pour les carotènes et 39-55 $\mu\text{g/g}$ M.S pour les xanthophylles.

Les retentions sont respectivement de 58-78 %, puis 36-57 % (fig 32). On remarque que les xanthophylles semblent plus sensibles à l'effet du séchage.

b3) Influence du stockage à la température ambiante.

Les carotenoïdes se dégradent au cours du stockage. Au bout de 6 mois de stockage, les pertes sont évaluées à 17-38 % ; elles augmentent et atteignent 36-51 % après 12 mois de stockage (fig 31). Le même effet est observé sur les carotènes et les xanthophylles (fig 33 et 34). Après 6 mois et 12 mois de stockage, les pertes sont respectivement de 24-40 % et 30-54 %, pour les carotènes, puis 24-42 % et 38-52 % pour les xanthophylles. L'effet du stockage est le même sur les carotènes que les xanthophylles. Par ailleurs les traitements aux sulfites préservent plus ces pigments (lots. 3, 4, 7 et 8).

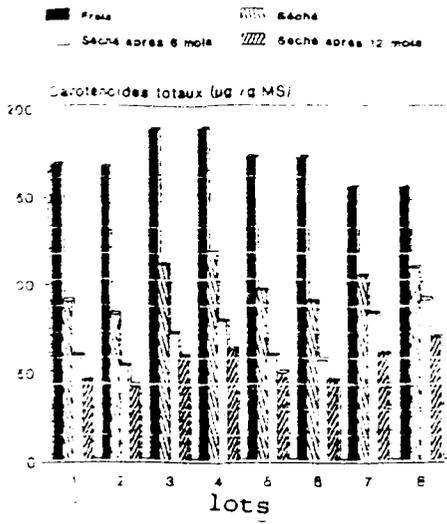


fig 29: Teneurs en caroténoïdes totaux des échantillons de mangue.

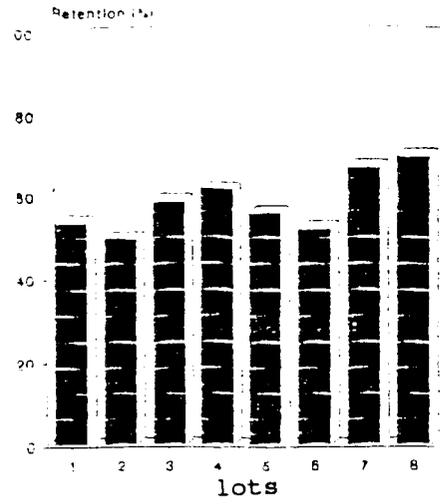


fig 30: Taux de rétention de caroténoïdes totaux des échantillons de mangue séchés

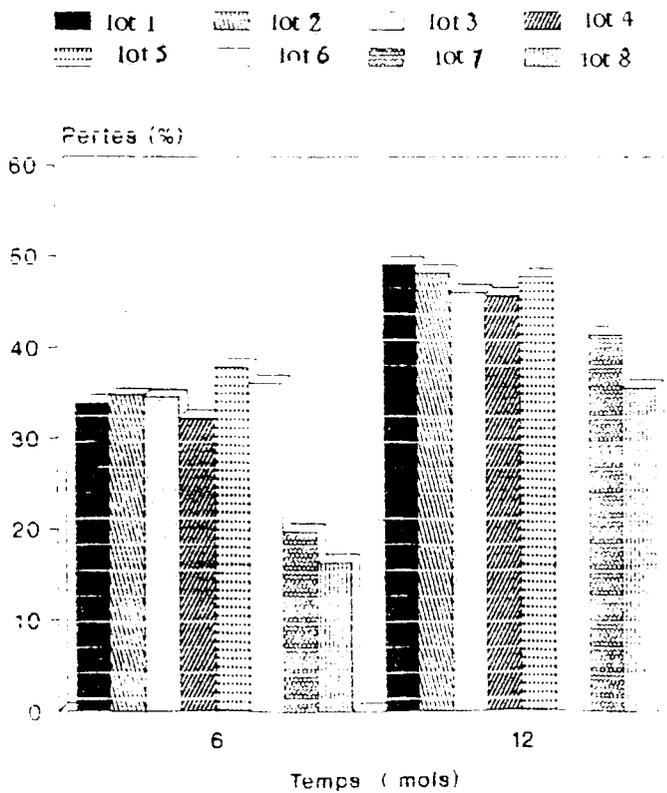


fig. 31: Pertes en caroténoïdes totaux au cours du stockage des échantillons de mangue séchés

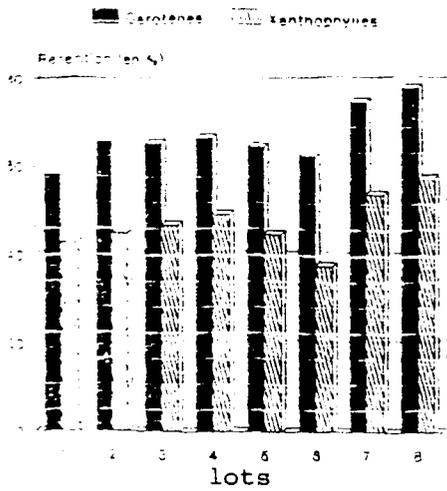


fig 32: Taux de rétention en carotènes et en xanthophylles des échantillons de mangue séchés

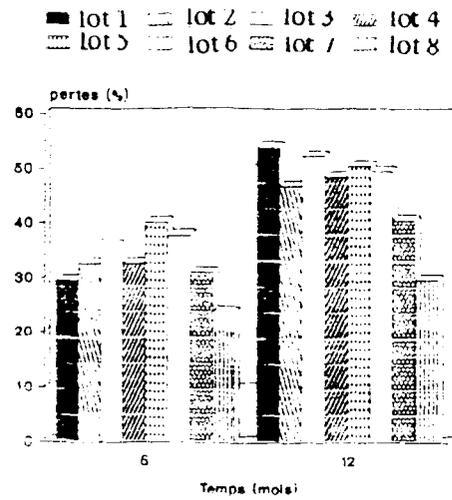


fig 33: Pertes en carotènes des échantillons de mangue séchés au cours du stockage à la température ambiante

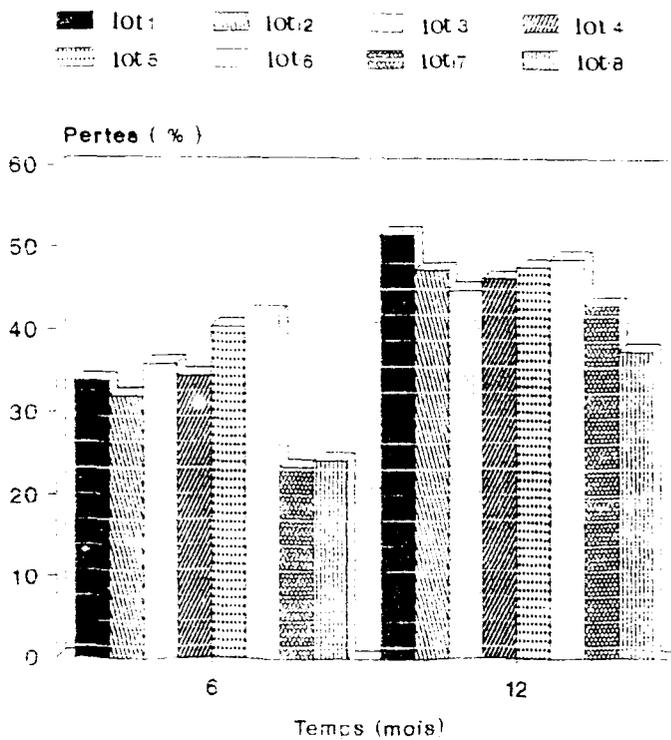


fig 34: Pertes en xanthophylles des échantillons de mangue séchés au cours du stockage à la température ambiante

La destruction des pigments caroténoïdes de la mangue Amélie, observée au cours du séchage et du stockage est due aux réactions d'oxydation qui ont eu lieu sur ces substances et dont les principaux facteurs sont: l'oxygène de l'air, la lumière et la température.

Le séchage solaire a été pratiqué dans les conditions naturelles, où tous ces facteurs sont réunis ; de plus pendant le stockage, certaines conditions favorisent l'oxydation de ces pigments:

- L'oxygène : au cours de l'opération de séchage, l'intérieur des séchoirs est saturé d'air ambiant; les tranches de mangue sont donc en contact permanent avec l'oxygène de l'air, engendrant ainsi des réactions d'oxydation. Pendant le stockage, le processus d'oxydation est dû à la présence d'air dans les bocal ; le remplissage et la fermeture ayant été faits à la pression atmosphérique.

Par rapport au phénomène d'oxydation des caroténoïdes notamment les carotènes, l'équipe de GOLDMAN (57) a précisé le rôle de l'oxygène dans la dégradation de la β -carotène à partir d'un système model d'aliment : la dégradation de ce pigment est plus rapide en présence d'oxygène qu'en absence d'oxygène ; par exemple, pour des retentions de 50 %, les durées de stockage à 35°C, en présence de 2 et 21 % d'oxygène, sont respectivement de 25 et 5 jours. En l'absence totale d'oxygène, la détérioration de la β -carotène est seulement de 12 % en 60 jours.

- La température : la chaleur favorise la destruction des pigments caroténoïdes : les températures de séchage, de l'ordre de 35 à 68°C (cf Annexe 11 , Tableau XII) et les températures ambiantes de stockage (25-33°C) sont favorables à la dégradation de ces composés. En effet, SHAKO et coll (149), étudiant l'influence de la chaleur sur les caroténoïdes de la mangue "mango" du Sénégal, ont rapporté des pertes de 37 % de carotènes et 60 % de xanthophylles après un chauffage à 95°C pendant 10 mn de la pulpe de mangue. La grande sensibilité des xanthophylles à l'effet du séchage que nous avons signalé plus haut semble être due à l'action

de la chaleur, nos résultats se rapprochant de ceux de SAKHO et ses collaborateurs (149). Quant à GOMEZ (58) il observe des pertes de 15-20 % de β -carotène de la mangue après un séchage solaire.

Les températures élevées de stockage sont favorables à la dégradation (57, 59). GRANDALL et ses collaborateurs (30) ont par exemple trouvé des pertes de 6 % et 54 % de la β -carotène de la peau d'orange après deux mois de stockage, respectivement à 4°C et 32°C.

- Concernant la lumière, il est reconnu qu'elle catalyse les réactions d'oxydation des pigments et qu'elle intervient dans les phénomènes de décoloration de produits alimentaires pigmentés (35a). La lumière solaire a donc favorisé l'oxydation des caroténoïdes lors des opérations de séchage.

Un autre facteur important, intervenant dans la stabilité des pigments caroténoïdes est la teneur en eau résiduelle ou activité de l'eau des échantillons. Des auteurs ont montré que la β -carotène a une bonne stabilité aux A_w intermédiaires de 0,484-0,747 (57, 61, 148). L'inhibition de la détérioration de la β -carotène par l'eau a été mise en évidence par GOLDMAN et ses collaborateurs (57); ceux-ci rapportent que, pour un stockage à 35°C, en présence de 2 % d'O₂, les durées de stockage pour 50 % de rétention sont de 42-35 et 25 jours, respectivement aux $A_w = 0,84-0,32$ et les conditions totalement sèches.

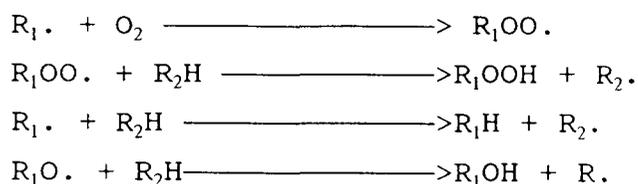
Nos échantillons, d'une A_w d'environ 0,60-0,65 constituent des milieux favorables, pour une bonne conservation de ces pigments; ce qui explique sans doute la stabilité relative observée au cours du stockage.

Les caroténoïdes sont des polyènes dont le mécanisme de dégradation oxydative de type radicalaire peut être résumé comme suit:

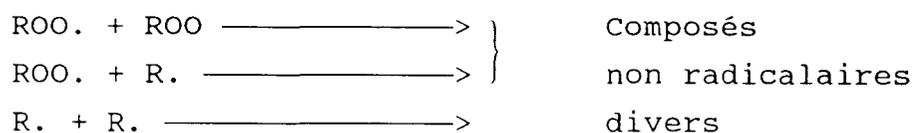
1°) réaction d'initiation donnant lieu à la formation de radicaux libres. Ces réactions sont facilitées par les températures élevées, la lumière et les traces de certains métaux.



2°) réaction de propagation, se caractérisant par une accumulation de radicaux libres ; ces réactions constituent l'étape d'oxydation par l'oxygène gazeux et nécessitent l'intervention de radicaux libres ; mais elles en créent autant qu'elles en consomment.



3°) réaction d'arrêt : les radicaux libres s'associent et donnent des composés non radicalaires divers (35a, 78).



Les produits formés sont variables et dépendent de la pression partielle d'oxygène (35a). Le plus souvent, ce sont des cétones, des alcools, des hydrocarbures polymérisés, des esthers susceptibles de modification de goût et de couleur (152, 166). La β -ionone, la déhydroactinidiolide, la damascenone sont entre autres, des produits issus de la dégradation de la β -carotène (149). Selon LABUZA (92a), l'inhibition de ce mécanisme de détérioration par l'eau peut s'expliquer par une action directe de l'eau sur la formation des radicaux libres ; la concentration de ceux-ci peut diminuer considérablement par interaction avec l'eau et dans certaines limites, cette réduction est d'autant plus importante que la teneur en eau augmente. Toute fois, l'effet de l'eau dépend de la composition du produit alimentaire (76). Aussi, dans certains cas, l'augmentation de la teneur en eau peut mobiliser des facteurs pro-oxydants du système ou exposer de nouveaux sites dûs au gonflement, conduisant en fin de compte à accélérer l'oxydation (15, 103).

II CONSERVES DE MANGUE AU SIROP.

II.1 Aspects Technologiques.

II.1.1 Caractéristiques organoleptiques du produit en fin de fabrication:appréciation de dégustateurs.

Du point de vue de l'appréciation générale, les conserves de mangue au sirop sont bons et ont une belle apparence. Toute fois, 25 % des dégustateurs les trouvent très sucrées. Pour ce qui concerne la variété Amélie, les échantillons pasteurisés pendant 20 mn et 30 mn ont donné des tranches de consistance douce à la mastication, plus ou moins résistantes à la pression de deux doigts. Les tranches sont demeurées intactes, avec un sirop légèrement visqueux et relativement trouble mais exempt de résidu pulpeux. Par contre, les tranches issues des échantillons pasteurisés pendant 45 mn, ont un goût de cuit, le sirop renferme des résidus pulpeux provenant de la désagrégation de certaines tranches trop cuites. Ces tranches ont une très faible résistance à la pression de deux doigts et sont très douces à la mastication ; certains dégustateurs les ont même comparées à de la patate douce cuite. A l'issue de ce résultat, la suite du travail a concerné les échantillons pasteurisés pendant 20 mn et 30 mn. Pour vérifier si ce résultat partiel est une conséquence d'une longue durée de pasteurisation, ou uniquement lié à la texture de la variété Amélie, la variété lippens a été mise en conserve. Il est important de signaler que cette variété lippens a été choisie car c'était la seule variété disponible sur place en quantité suffisante pour la mise en conserve. Les résultats sont les suivants :

cette variété (lippens) a donné des résultats prometteurs. Comparée à la variété Amélie, ses conserves sont plus appréciées; les tranches sont fermes, rigides ; le sirop est liquide sans aucun

résidu pulpeux. Les tranches ne présentent aucune altération mécanique due au traitement thermique même avec les échantillons pasteurisés pendant 45 mn. Le goût de cuit évoqué plus haut n'est pas décelable. Cette variété est donc mieux adaptée à la mise en conserve, mais présente l'inconvénient d'avoir un rapport pulpe/noyau faible, le noyau étant volumineux. Pour une exploitation industrielle, les rendements seront faibles par comparaison à la variété Amélie qui a un noyau réduit.

Les résultats sont donc liés aux caractéristiques de la matière première ; la variété Amélie, même verte est moins rigide que la variété lippens. L'aspect du sirop est probablement lié à une différence dans la composition chimique de ces deux variétés de mangue.

Pour l'ensemble des échantillons, le métabisulfite de sodium utilisé comme conservateur donne au produit un arrière goût et une odeur caractéristique indésirable. L'acide citrique utilisé à 0,25 % est perceptible au goût ; plus de 50 % des dégustateurs ont mentionné une forte acidité des échantillons traités avec cet acide.

II.1.2 Résultats de l'observation visuelle des conserves durant le stockage.

Ceux-ci sont résumés dans le tableau XIX:

a) *Echantillons conditionnés en boîtes*

Les taches grisâtres ou grises-bleuâtres observées sur les parois internes des boîtes sont un mode de corrosion qui résulte le plus souvent de la formation de sulfure d'étain et de fer (l'étain et l'acier sont les matériaux constitutifs des emballages en fer-blanc). Ces sulfurations stanneuses et ferreuses localisées, sont peu adhérentes et peuvent se disperser facilement dans le produit. Mais, elles ne constituent aucunement une avarie de la conserve (30). Cependant, elles constituent un défaut assez important pouvant inciter la méfiance du consommateur.

L'élément réactif qui est le soufre, mis en liberté sous l'action de la chaleur sous forme de sulfure, provient de la mangue elle-même qui en contient une quantité non négligeable, et du métabisulfite de sodium utilisé comme agent de conservation qui demeure la principale source. Les premières observations (entre le 6^e et le 9^e mois de stockage) de la marmorisation grise-bleuâtre sur les parois internes, ont d'ailleurs concerné des échantillons traités avec ce conservateur. De plus, les boîtes perforées détectées sont uniquement issues de ce lot d'échantillons. En effet, la perforation de l'emballage et la présence d'impuretés noirâtres, dues au sulfure de fer, à la surface du produit sont l'ultime étape de la corrosion. A ce propos, MARSAL(107) a souligné que la présence du dioxyde de soufre accélère la corrosion et provoque l'attaque perforante de l'acier. L'odeur caractéristique et indésirable des échantillons traités au sulfite, qui devient très forte à partir du 21^e mois de stockage, est sans doute une des conséquences de la corrosion. Ce phénomène provoque le bombage chimique qui résulte d'un mécanisme électrochimique avec formation d'hydrogène (98a , 30). La présence de sulfures, de sulfites, d'oxygène, et les températures de stockage élevées accélèrent la corrosion(107 , 42).

b) *Echantillons conditionnés en bocaux.*

Les anomalies ont été seulement observées au 21^e mois de stockage et sont:

- dégagement gazeux à l'ouverture, forte odeur caractéristique des échantillons traités au sulfite:

- baisse du niveau du sirop recouvrant les tranches, perceptible à travers les bocaux. Cette baisse pourrait s'expliquer par l'augmentation de la viscosité du sirop au cours du stockage, assez remarquable à partir du 18^e mois.

- une différence de l'état de brunissement du sirop a été mise en évidence à travers les bocaux. Les échantillons traités aux sulfites présentent un brunissement moins accentué par rapport aux autres.

Le conditionnement en bocal présente certains avantages qui sont entre autres : l'élimination des phénomènes de corrosion ; et une meilleure présentation du produit. Mais, l'exposition du produit à la lumière (photooxydation des pigments), la fragilité et le coût de l'emballage sont autant d'inconvénients à ne pas négliger.

TABLEAU XIX : Anomalies observées sur les conserves durant le stockage.

Temps de stockage (mois)	Boîtes avariées	Anomalies observées sur l'intérieur des boîtes et sur le produit au moment de l'ouverture	Autres observations
3	néant	néant	<ul style="list-style-type: none"> - Les boîtes perforées détectées sont uniquement des échantillons traités au métabisulfite de sodium. - La viscosité du sirop augmente au cours de stockage et ceci pour la variété Amélie. Cette observation est bien perçue à partir du 18^e mois de stockage - A travers les bocaux le niveau du sirop a baissé.
6	néant	néant	
9	une boîte bombée	Présence de tâches grisâtres sur les fonds des boîtes surtout au niveau de la soudure de quelques échantillons traités au métabisulfite de sodium.	
12	4 boîtes bombées	néant	
18	7 boîtes bombées 3 boîtes perforées	Présence de tâches grisâtres sur les fonds et les parois des boîtes des échantillons traités au métabisulfite, quelques échantillons traités à l'acide citrique et échantillons témoins.	
21	9 boîtes bombées 3 boîtes perforées	<ul style="list-style-type: none"> - Pour tous les échantillons prélevés il y'a un dégagement gazeux à l'ouverture et pour les lots traités au métabisulfite de Na, il se dégage une forte odeur caractéristique indésirable. - L'intérieur des boîtes présente des tâches grisâtres surtout sur les fonds, les parois au niveau de la soudure. - Perception d'une différence nette de la coloration du sirop entre échantillons traités au métabisulfite de Na qui présentent un brunissement moins accentué et les autres échantillons. Ceci est clairement mis en évidence à travers les bocaux. - Les tranches de la variété Amélie sont molles, flasques se désagrégeant facilement et donnant un sirop pulpeux. - Avec la variété lippens, la texture des tranches et l'aspect du sirop sont plus acceptables. 	

II.2 Aspects physico-chimiques et biochimiques

II.2.1 Qualité microbiologique

a) *Germes pathogènes*

Au terme des analyses microbiologiques sur les conserves de mangue au sirop portant sur les germes pathogènes recherchés (coliformes, staphylocoques et clostridies), les boîtes de pétri laissées à incubation jusqu'à 72 heures ont donné des résultats négatifs : 0 germe/g de produit pour les échantillons analysés. L'absence totale de germes pathogènes implique une excellente qualité sanitaire des conserves. Ces résultats satisfaisants sont dûs principalement:

- au respect strict des règles d'hygiène tout au cours du processus de fabrication qui a permis de réduire les possibilités de contamination par l'homme, source des contaminants pathogènes.

- au caractère acide du produit qui limite considérablement les types de microorganismes susceptibles de s'y développer. En effet, rares sont les bactéries parmi lesquelles on rencontre les espèces pathogènes et toxigènes, capables de proliférer à $\text{pH} < 4,0$. Par exemple, les clostridies et surtout *Clostridium botulinum*, dangereux en raison de sa toxine et de la résistance de ses spores à la chaleur ne se développent pas dans un milieu à $\text{pH} < 4,5$ (25, 71). KEITH et ses collaborateurs (81) ont même précisé que des $\text{pH} < 4,9$ inhibent la croissance des spores de cette bactérie.

- au traitement thermique: la pasteurisation dans l'eau bouillante (97°C) pendant 20, 30 et 45 mn a une action destructive sur les microorganismes présents. Les germes pathogènes sont d'ailleurs pour la plupart sensible à la chaleur et pratiquement détruits par appertisation (128). Mais, il faut toujours craindre des recontaminations des boîtes mal serties par des liquides souillés, notamment l'eau de refroidissement. Dans

tous les cas, certains rapports de la F.A.O (139, 10) soulignent qu'en général, les conserves de légumes ou fruits acides dont le pH est égal ou inférieur à 4,6, ne posent pas de problèmes microbiologiques liés à la santé humaine.

b) *Flore totale - Levures et Moisissures.*

Les résultats sont rapportés sur le tableau XX (cf Annexe 14) et illustrés en partie par la figure 35.

Ces résultats peuvent paraître invraisemblables. Mais cela est lié à la procédure de travail qu'il convient de rappeler avant toute interprétation. En effet, 420 unités (boîtes et bocaux) ont été fabriquées, en raison de 20-25 unités par lot d'échantillons. Tous les trois mois, 2 échantillons de chaque lot sont prélevés et analysés ; la moyenne des résultats est calculée et inscrite sur le tableau. L'hétérogénéité bactériologique des échantillons d'un même lot, rend difficile l'exploitation des résultats ; ceux-ci sont quand même interprétables dans la globalité. On remarque donc :

- une charge microbienne totale relativement basse pour l'ensemble des échantillons prélevés et analysés durant l'expérience ; celle-ci ne dépasse pas $37,5.10^3$ germes/g de produit et elle est dominée par la flore fongique notamment les levures.

- une augmentation de la charge microbienne globale en fonction du temps de stockage. Par ailleurs, le nombre d'échantillons contaminés augmente avec le temps de stockage : au bout de 21 mois de stockage par exemple, la presque totalité des échantillons analysés indiquait d'une charge microbienne globale comprise entre $0,85.10^3$ et $37,5.10^3$ /g de produit, par rapport à 27 % d'échantillons contaminés avec moins de 3.10^3 germes/g de produit en début de stockage.

- un développement microbien favorisé dans les lots témoins (tableau XX, lot 1 et lot 2).

- les échantillons traités au métabisulfite de sodium ne contiennent pratiquement pas de germes (tableau XX, lots 5, 6, 10,

11, 12, 17, 18 ; fig 35). Ce résultat se rapproche de ceux rapportés par certains auteurs (93, 44) : des pulpes de mangue, de goyave et de papaye ont été conservées stérilement pendant 18 mois avec du métabisulfite de sodium à 2000 ppm(SO₂).

- une mise en évidence de l'importance de la durée du traitement thermique : la plupart des échantillons pasteurisés pendant 30 mn et 45 mn sont relativement stables durant les 12 premiers mois de stockage (cf Annexe 14, Tableau XX).

Parmi les facteurs dont dépend l'efficacité du traitement thermique, la charge microbienne initiale a ici un rôle déterminant. En effet, la constitution de la mangue (forte teneur en eau, en sucre et en acidité) fait d'elle un milieu de prédilection pour les levures et les moisissures qui abondent dans l'air ambiant. Aucune précaution n'étant prise dans ce cadre (conditions naturelles) lors de la fabrication, cette charge microbienne initiale peut être anormalement élevée; le temps d'exposition trop long, dû à l'exécution manuelle de la plupart des opérations de la chaîne de fabrication est d'ailleurs un facteur favorable à son accroissement.

Les faibles pH des échantillons réduisent considérablement les possibilités de thermorésistance des bactéries sporogènes et inhibent par la suite, le développement éventuel des spores bactériennes en cas de résistance. Par ailleurs, la présence d'inhibiteurs et d'antimicrobiens (acide citrique, sucre) aide à la destruction des microorganismes présents. Il est par exemple, signalé que l'acide citrique empêche surtout le développement des moisissures (128) ; l'action germicide du sucre dépend de sa concentration et relève d'une augmentation de la pression osmotique du milieu et d'une réduction concomitante de l'activité de l'eau. Dans un milieu fortement sucré il y a simplement une déshydratation plasmolytique du milieu intracellulaire du microorganisme due à la forte hygroscopicité des sucres. Les bactéries présentent une plus grande sensibilité à l'action d'une pression osmotique élevée (110). Les levures et les moisissures s'y accommodent cependant. A

travers une étude sur des produits pasteurisés dérivés de la mangue (tranches au sirop, nectar, jus, pulpe) que les levures sont les seuls microorganismes à altérer ces produits.

L'effet antimicrobien de l'anhydride sulfureux (SO_2) utilisé ici sous forme de sel (métabisulfite de sodium) est dû entre autres, au fait qu'il affecte le développement des spores bactériennes par interférence dans les liaisons S-S de la protéine enzymatique, empêchant ainsi l'activité enzymatique essentielle. Il forme également des liaisons avec les extrémités carbonylées des glucides, ce qui empêche leur utilisation comme source d'énergie (123).

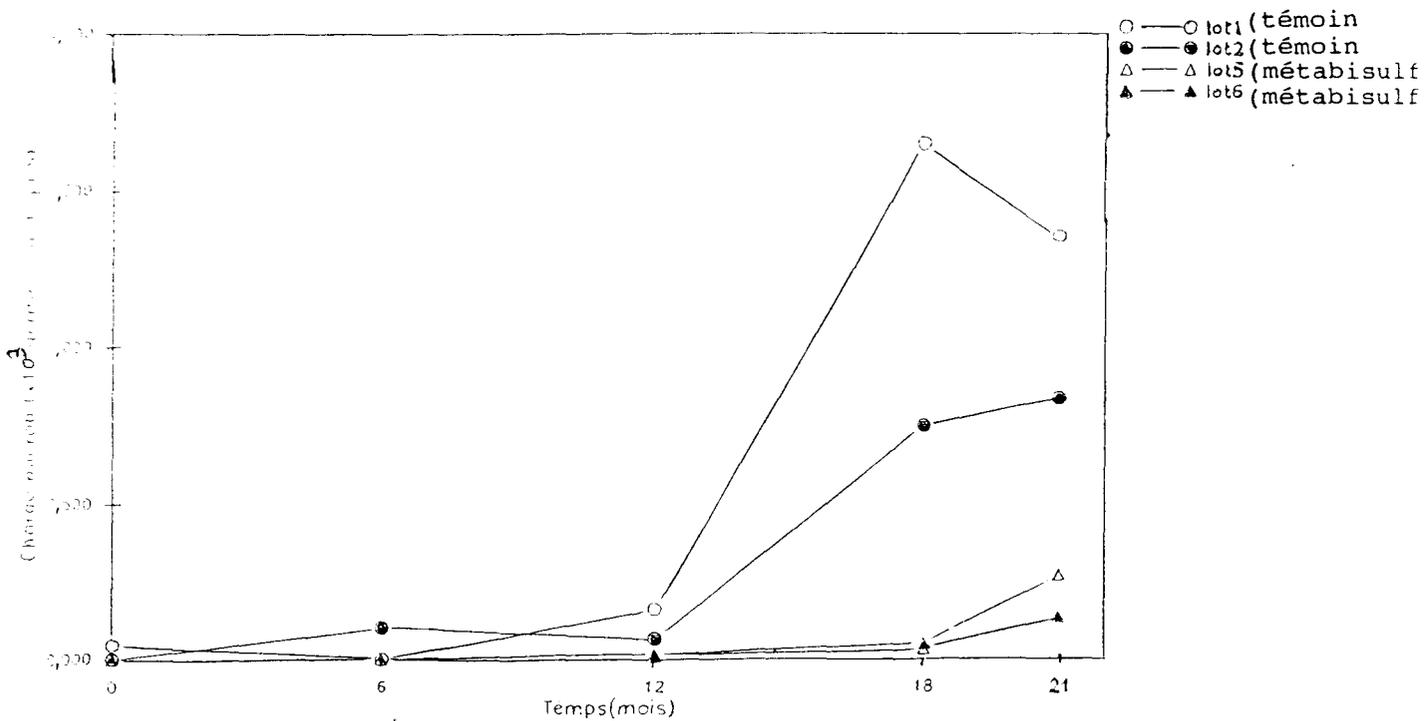


fig 35: Evolution de la flore totale de quelques échantillons de conserves de mangue au cours du stockage.

L'anhydride sulfureux, bien qu'un bon antimicrobien (93, 125,128), présente certains inconvénients : outre son intervention dans les phénomènes de corrosion, il est signalé que l'initiation de la crise chez certains sujets asthmatiques serait liée à l'ingestion de sulfite (125, 162). Il est par conséquent plus prudent d'éviter son utilisation comme agent de conservation. Nos conserves de mangue sont à notre avis acceptables du point de vue qualité sanitaire. Les normes pour des produits ayant subi un traitement thermique similaire, le lait pasteurisé conditionné par exemple est de : Flore totale $< 300.10^3$ germes/ml (128).

c) Résultats de l'analyse bactériologique des boîtes bombées.

Au total 21 boîtes bombées sur 420, soit un pourcentage de 5 % ont été détectées durant le stockage et l'observation microscopique directe indique la présence de bactéries en forme de batonnet, de cocci, de levures et de moisissures. La charge bactérienne par champs est relativement faible.

Quant à la numération, les résultats sont inscrits sur le tableau XXI(annex 15) à partir duquel on note:

- une charge bactérienne nettement plus élevée par rapport à celle d'échantillons sains de même lot et de même durée de stockage.

- une prédominance des échantillons témoins (non traités) parmi ces avaries (52 %), lesquels ont d'ailleurs les plus fortes charges bactériennes. Les échantillons traités à l'acide citrique viennent en deuxième position (28 %), puis suivent ceux traités au métabisulfite de sodium (19 %). Ces derniers ont la charge bactérienne la plus réduite ne dépassant guère celle d'échantillons analogues sains (Tableau XXI).

- une forte présence de levures et une présence non négligeable de bactéries .

A partir de ces résultats, l'origine du bombage peut être double:

- biologique, due à la prolifération des levures: le bombage résulte donc d'une fermentation alcoolique par production et accumulation de CO_2 ; et éventuellement de l'action conjuguée des bactéries anaérobies : les formes sporulées de certaines résistent à la chaleur et leur développement est facilité par la raréfaction d'oxygène dans l'espace libre des boîtes. Ces bactéries produisent un dégagement gazeux composé généralement d'un mélange de CO_2 et d'hydrogène (128).

- chimique, résultant de la corrosion, phénomène électrochimique entraînant la formation d'hydrogène. La corrosion peut se manifester lorsque des métaux sont en contact de solutions conductrices tels que les produits alimentaires aqueux contenant des sels minéraux et des acides organiques ; il se produit alors une réaction anodique (dissolution du métal sous forme d'ions positifs et libération de charges négatives) et une réaction cathodique (réduction d'oxygène ou de protons) (35b, 30). Le gaz produit (H_2) s'accumule et provoque le gonflement de la boîte.

Le métabisulfite, comme nous l'avons déjà évoqué, accélère le processus. Les températures de stockage élevées sont des facteurs favorables (107). Il est très probable que le bombage soit plus d'origine chimique que biologique car il est rapporté que le cas de bombage chimique est très fréquent dans les conserves de fruits au naturel et surtout au sirop (98a).

La conservation de tranches de mangue par la chaleur après une pasteurisation de 20 à 30 mn offre des résultats satisfaisants du point de vue de la qualité sanitaire. Toute fois, l'altération sous l'action fermentative des levures et de l'action de certaines bactéries acidophiles est à craindre au bout de longues périodes de stockage. Le métabisulfite de sodium préserve certes la qualité microbiologique mais présente certains inconvénients :

- goût et odeur indésirables
- fort pouvoir corrosif dont les conséquences sont entre autres le bombage chimique et la perforation de la boîte
- intolérance pour les sujets asthmatiques relevée par

certain auteurs (125, 262)

L'acide citrique peut par contre être utilisé comme conservateur ; il offre également des conserves de bonne qualité biologique.

II.2.2 Effets du traitement thermique et du stockage sur l'acide ascorbique.

Les teneurs en acide ascorbique dans les conserves de mangue et leur évolution au cours du stockage sont indiquées par le tableau XXII. Les mangues fraîches contiennent 430 à 560 ppm d'acide ascorbique ; les conserves fraîchement préparées en contiennent 95 à 220 ppm. Les pertes sont énormes et s'élèvent à 59,5-80,5 % ; les pertes les plus faibles sont enregistrées avec les échantillons traités au métabisulfite et les échantillons pasteurisés à courte durée. La dégradation thermique paraît être la principale cause de la perte en acide ascorbique. Les pertes en cette substance sont d'ailleurs estimées à au moins 75 % dans les conserves des fruits en général (98a). Cependant, des phénomènes d'oxydation par l'oxygène de l'air, pendant les opérations préliminaires de préparation (pelage, dénoyautage, découpage...) peuvent contribuer à augmenter ces pertes. Nos résultats sont en accord avec des études de la dégradation de la vitamine C dans des fruits ou légumes soumis aux traitements thermiques (32, 36, 86, 14). quant à la préservation de l'acide ascorbique par le métabisulfite de sodium, nos observations rejoignent celles de certains auteurs (98a, 110) ; ALBRECHT et SCHAFER (7) ont même remarqué au cours de leurs études, que les composés contenant du soufre limitent la dégradation de l'acide ascorbique. FOYER et HALLIWELL (53) ont aussi constaté que le glutathion (un tripeptide contenant du soufre) réduirait l'acide déhydroascorbique en acide ascorbique dans les chloroplastes des épinards.

Au cours du stockage des conserves de mangue à la température ambiante, l'acide ascorbique se dégrade (tableau XXII) : après 3 mois de stockage, les pertes sont de 22-33 % ; celles-ci

s'élèvent à 31-44 % puis 56-64 % respectivement au bout de 6 mois et 12 mois d'entreposage. Cette destruction est accélérée par les températures élevées de stockage : des températures supérieures à 27°C augmentent sensiblement le taux de destruction (96, 123), (23, 36, 62a) ; les pertes sont très limitées à des températures de stockage inférieures à 10°C (96, 23).

La détérioration de l'acide ascorbique observée ici, résulte d'une dégradation aérobie et anaérobie: la chute de la teneur pendant les trois premiers mois de stockage relèverait d'une dégradation oxydative par l'air résiduel contenu dans l'espace libre de la boîte; par la suite, la dégradation se ferait probablement selon un processus anaérobie. Dans cette optique, SMOOT et NAGY (158), préconisent une destruction principalement par voie anaérobie de l'acide ascorbique de produits dérivés de fruit en emballage hermétique et dépendrait largement de la durée et de la température de stockage. Cette dégradation anaérobie, étudiée par de nombreux auteurs, a une cinétique correspondant à celle d'une réaction d'ordre 1, à températures de stockage constantes et relativement basses (<30°C) (133, 147, 32) ; EISON PERCHONOK et ses collaborateurs (48) indiquent pour leur part, que de manière générale, la dégradation de l'acide ascorbique peut être décrite comme une réaction d'ordre zéro, un ou deux (0, 1, 2) en fonction de la disponibilité en oxygène et de la température de stockage.

A propos de la dégradation anaérobie, KURATA et ses collaborateurs (91) proposent le mécanisme suivant (Fig 36).

La perte de l'acide ascorbique n'affecte pas seulement la qualité nutritionnelle mais induit également des odeurs et des saveurs et intervient dans les phénomènes de brunissement. A cet effet, MOORE et ses collaborateurs (117) ont signalé une liaison entre la destruction de l'acide ascorbique et le brunissement du jus d'orange.

TABLEAU XXII: Teneurs (ppm), et pertes (%) en acide ascorbique des conserves de mangue au cours du stockage

Lots d'échantillons	Mangue fraîche	Conserves en fin de fabrication		CONSERVES EN STOCKAGE (Durée de stockage en mois)					
				3		6		12	
				Teneurs	Pertes	Teneurs	Pertes	Teneurs	Pertes
1		176,0	68,4	120,0	31,8	98,7	43,9	66,0	62,5
2		138,6	75,1	93,5	32,7	78,8	43,5	50,0	63,9
3	557,1 ± 26,9	159,8	71,3	114,4	28,4	95,1	40,5	61,2	61,7
4		123,1	77,9	85,9	30,2	75,9	38,3	46,9	61,9
5		220,5	60,4	173,0	21,5	151,4	31,1	91,9	58,3
6		158,7	71,5	121,2	23,6	103,4	34,8	68,0	57,1
7		142,8	70,6	103,1	27,8	85,1	40,3	51,6	63,8
8		98,1	79,8	67,0	31,7	56,6	42,3	37,6	61,6
9	486,5 ± 56,0	94,7	80,7	64,2	32,2	53,0	43,8	35,7	62,2
10		196,8	59,5	153,1	22,2	135,9	30,9	87,3	55,6
11		163,7	66,3	125,5	23,3	110,6	32,4	71,7	56,2
12		110,8	77,2	82,6	25,4	73,0	34,1	46,1	58,4
13		137,8	68,1	97,0	29,6	85,0	38,3	55,3	59,8
14		112,7	73,9	76,8	31,8	63,6	43,5	44,4	60,6
15	432,8 ± 47,3	139,5	67,7	100,0	28,2	83,1	40,4	52,7	62,2
16		105,4	75,6	74,3	29,5	63,3	39,9	40,7	61,3
17		171,9	60,2	131,1	23,7	117,5	31,6	72,8	57,6
18		153,7	64,4	118,5	22,9	100,3	34,7	63,0	59,0

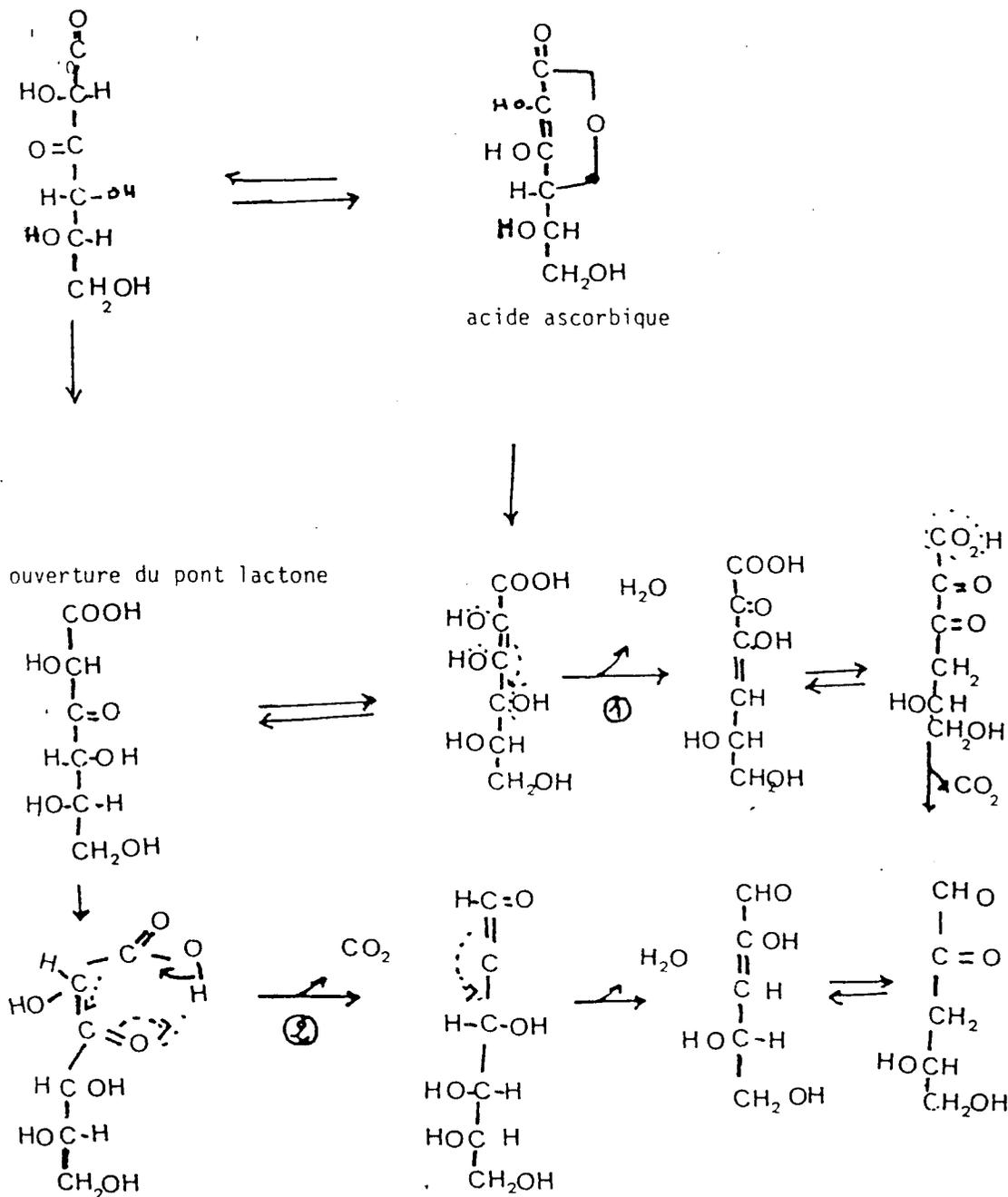
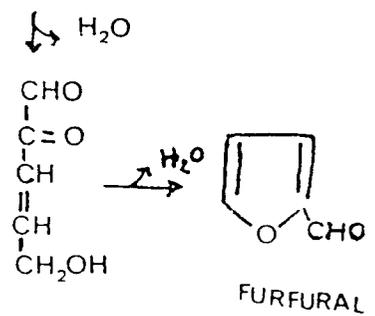


fig 36: Schéma de dégradation non oxydative de l'acide ascorbique.



II.2.3 Influence du stockage sur les autres paramètres physico-chimiques.

a) *Matière sèche soluble ou Brix*

Les résultats sont présentés sur le tableau XXIII (Annexe 16). Le sirop de saccharose, fraîchement préparé est de 42-44° Brix ; celui-ci est dilué par la forte teneur en eau des tranches de mangue, de sorte que, le sirop des conserves fraîchement fabriquées est de 25-32° Brix pour l'ensemble des échantillons analysés. Durant le stockage, on n'observe pas de variation significative (Tableau XXIII)

b) *pH et acidité titrable*

Les résultats sont inscrits sur le tableau XXIV (Annexe 17). Pour la plupart des échantillons, on observe une légère augmentation du pH jusqu'au 9^e mois de stockage et par conséquent une légère diminution de l'acidité titrable (Annexe Tableau XXIV); au delà, il n'y a pas de changement significatif. Nos résultats se rapprochent de ceux de PALANISWAMY et ses collaborateurs (130a) qui indiquent une légère augmentation du pH de conserves de mangue (variété Tamil Nedu) obtenues et stockées dans des conditions similaires aux nôtres. Par ailleurs, les études de ABDALLAH et ZAKI (1) sur le jus de mangue pasteurisé ont montré une stabilité relative du pH et de l'acidité titrable durant le stockage. Divers auteurs ont signalé qu'il n'y a pas de changement significatif du pH et de l'acidité titrable durant le stockage de produits dérivés de fruits (purée, jus, concentré...) (106, 62b, 77).

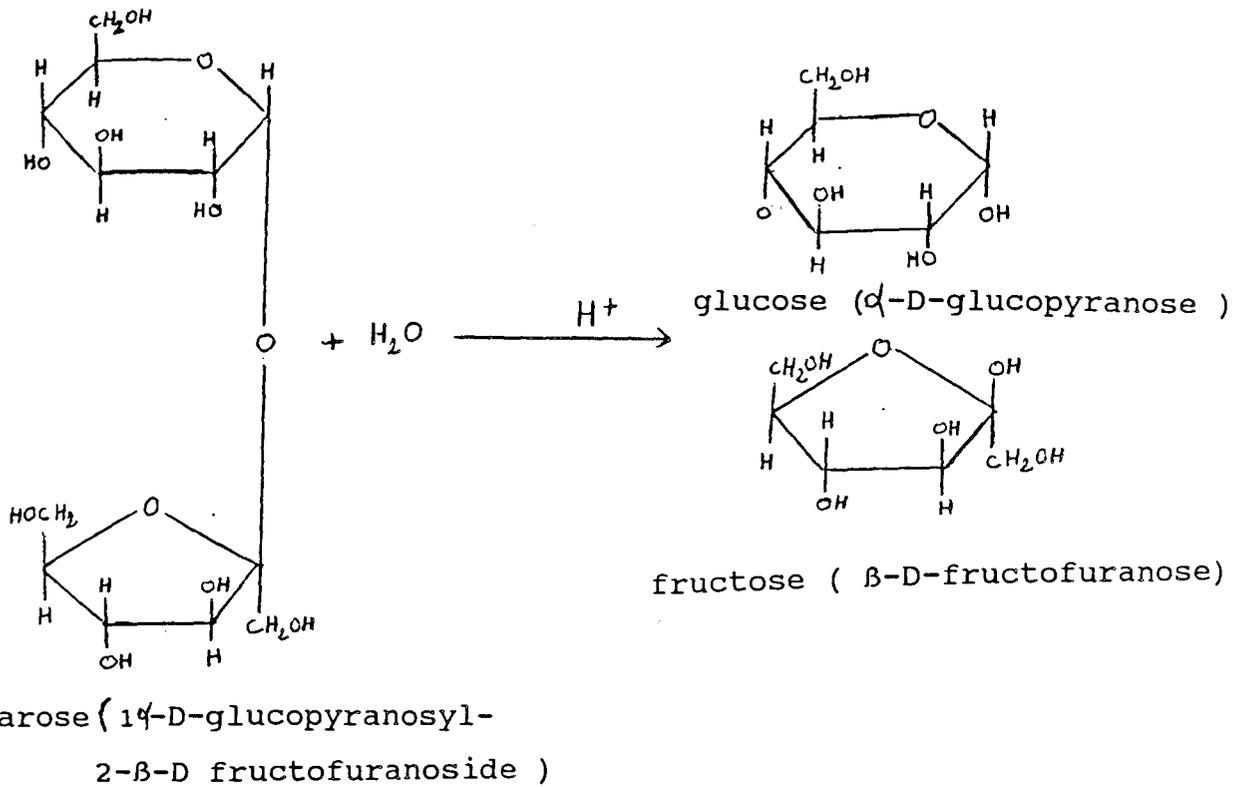
c) *Sucres totaux et sucres réducteurs*

Il n'y a pas de changement quantitatif notable concernant les sucres totaux durant le stockage (cf Annexe 18, Tableau XXV).

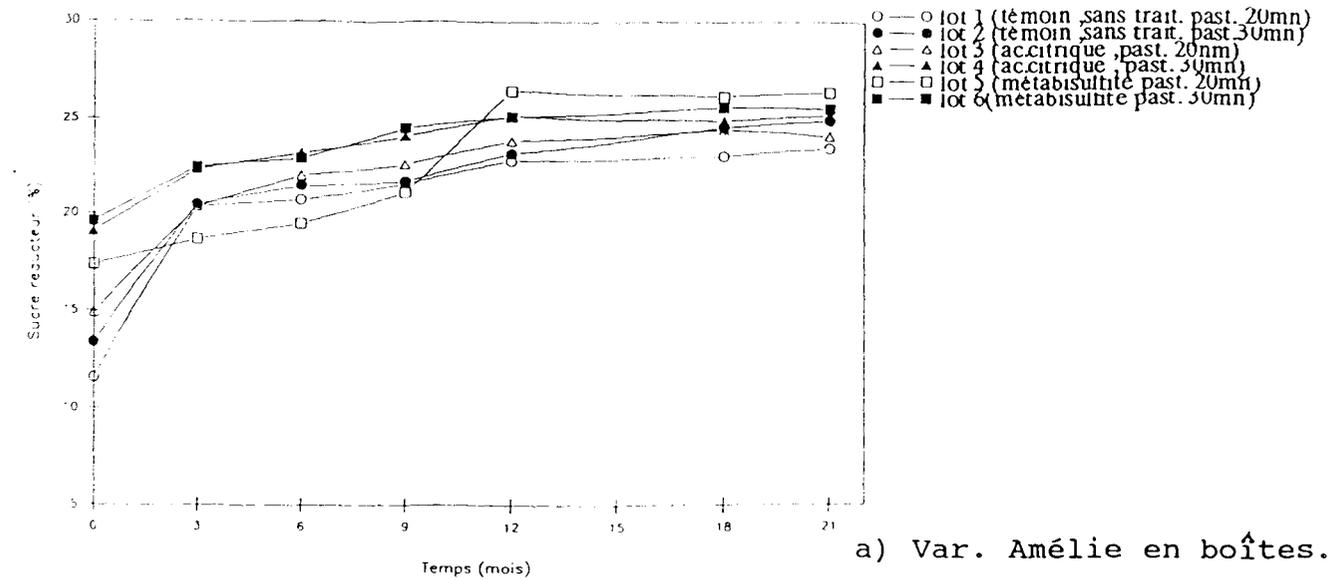
Les teneurs en sucres réducteurs des conserves de la variété Amélie augmentent régulièrement de 11-19 % en début de stockage à 23-27 % après douze mois d'entreposage ; au-delà les teneurs restent relativement constantes jusqu'à la fin de l'expérience (fig 37a et 37c). On observe d'ailleurs en ce moment une égalité apparente entre les taux de sucres totaux et ceux des sucres réducteurs pour un même échantillon. Le temps de pasteurisation influence la concentration en sucres réducteurs : les échantillons pasteurisés pendant 30 mn par exemple, sont plus riches en ces sucres que ceux pasteurisés pendant 20 mn. Les sucres réducteurs proviennent certainement du saccharose par hydrolyse. L'hydrolyse totale du saccharose du sirop survient donc au bout de 12 mois de stockage pour la variété Amélie. Concernant la variété lippens l'élévation des taux de sucres réducteurs est observée durant tout le processus de stockage. Pour l'ensemble de ces échantillons, les valeurs vont de 9-13 % en début de stockage à 22-25 % en fin de stockage (fig 37b). On n'observe pas de plateau comme dans le cas de la variété Amélie. L'hydrolyse se fait donc plus lentement dans ce cas et ceci à cause de la différence d'acidité des deux variétés. La variété lippens est moins acide (pH = 3,95 - 4,20) par rapport à la variété Amélie (pH = 3,5 - 3,8) et il est bien établi que l'acidité catalyse les réactions d'hydrolyse des dissaccharides et que le taux d'hydrolyse du saccharose est acide dépendant (66, 26). En fait, le saccharose sous forme de granule ou dissout dans l'eau est chimiquement stable; mais en acidifiant le milieu, l'hydrolyse est vite entamée. L'effet thermique (pasteurisation) permet pour sa part, une inversion partielle du saccharose (30 à 50 % du poids) qui empêcherait sa recristallisation durant le stockage (21, 35a).

L'hydrolyse du saccharose dépend aussi de la température de stockage ; les températures élevées favorisent le processus notamment les conditions ambiantes des régions chaudes (25-33°C) comme les nôtres. A ce propos KANANE et ses collaborateurs (73) ont montré qu'un stockage de 9 semaines de jus d'orange à 35°C engendre une hydrolyse du saccharose de 65 %, à 4°C, l'hydrolyse est pratiquement inexistante.

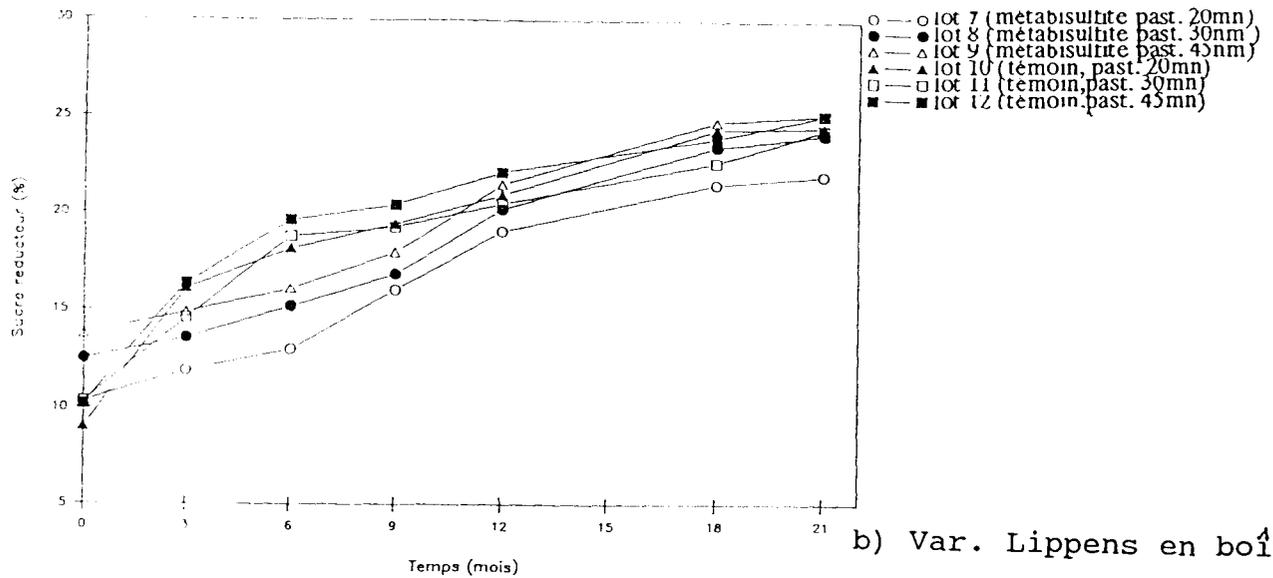
Nos observations sur l'évolution pendant le stockage des sucres réducteurs sont similaires à celles faites par ABDALLAH et ZAKI (1) qui ont travaillé sur des conserves de mangue au sirop.



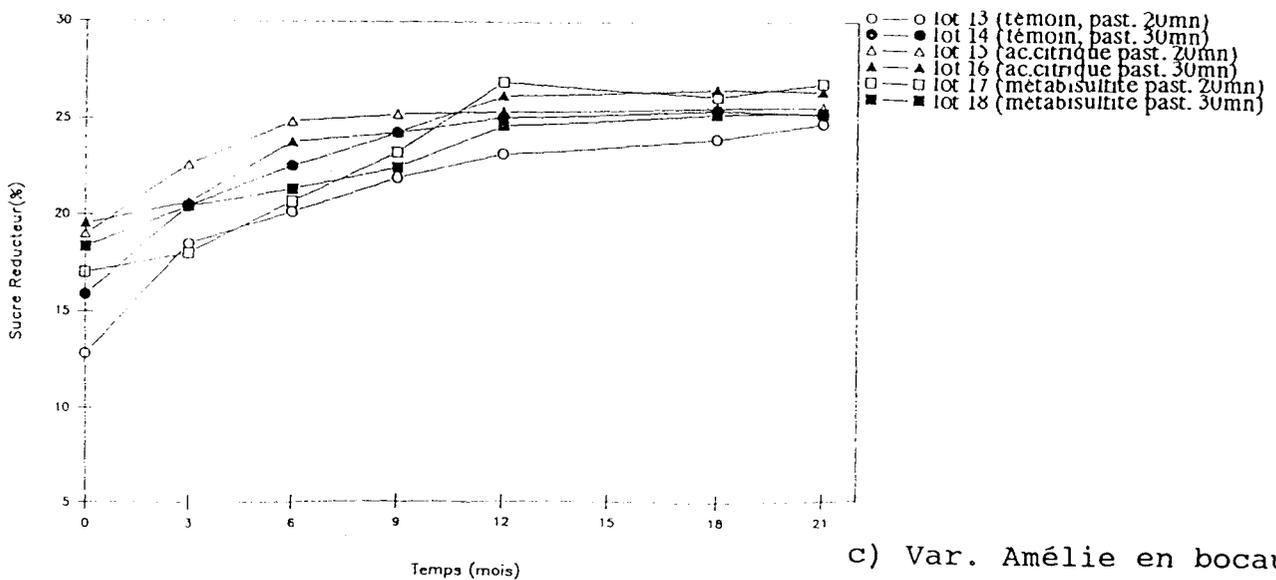
Hydrolyse du saccharose en milieu acide



a) Var. Amélie en boîtes.



b) Var. Lippens en boîtes.



c) Var. Amélie en bocaux.

fig 37: Variation de la teneur en sucres réducteurs du sirop des conserves de mangue au cours du stockage à la température ambiante.

d) *Le brunissement*

L'évolution de l'état de brunissement du sirop recouvrant les tranches de mangue pendant le stockage, est illustrée par les figures 38, 39 et 40.

L'évaluation de ce paramètre par la mesure de l'absorbance dans le visible à 400 et 420 nm, permet les observations suivantes (figures 38 et 39) :

- jusqu'au 12^e mois de stockage, le phénomène de brunissement n'est pas observé sur l'ensemble des échantillons ; au delà, ce phénomène est perçu et se traduit par une légère augmentation des absorbances. Les échantillons traités au métabisulfite de sodium sont moins affectés par le brunissement ; ceci est clairement mis en évidence avec la variété lippens (figures 38) : les courbes issues de ces échantillons sont en dessous de celles issues des échantillons témoins.

Nos résultats rejoignent quelque peu ceux de CORNWELL et WROLSTAD (38), puis de WONG et SANTON (175) qui, étudiant le phénomène de brunissement dans les jus de fruits concentrés, ont observé une augmentation de l'absorbance à 420 nm durant le stockage.

Les mesures des absorbances à 282 nm ont donné les résultats représentés par les figures 40 . L'évolution des absorbances à 282 nm met en évidence la présence de dérivés furanniques issus des réactions de brunissement non enzymatiques des sucres et d'autres composés. L'allure des courbes est assez caractéristique et peut être subdivisée en trois étapes pour la plupart des échantillons : l'évolution est d'abord lente (6 premiers mois), puis plus ou moins accélérée (6^e au 12^e mois) ; ensuite, on note un ralentissement progressif au cours des derniers mois de stockage. Avec la variété Amélie, il n'y a pas de différence notable entre échantillons témoins et échantillons traités, sauf en dernière phase du stockage, où une action inhibitrice du métabisulfite sur le brunissement est révélée (cf. figures 40 a et b éch.5 et 6). Par contre avec la variété lippens, cette différence est nette et la

phase d'accélération est plus atténuée (cf figures 40c).

L'allure de ces courbes traduit la production et l'accumulation des dérivés furanniques (furfural, 5-H.M.F.). A ce propos, l'équipe de BABSKY (18) à travers une étude sur du jus de pomme clarifié concentré, a précisé que l'accumulation du 5-H.M.F pendant le stockage, peut être divisée en 3 périodes similaires aux nôtres dont la première, lente, correspondrait à une période d'induction. La formation et l'accumulation de ces composés sont favorisées par les températures élevées de stockage (96, 77, 73). Ces dérivés furanniques sont les précurseurs des mélanoidines, pigments du brunissement non enzymatique (105, 31). Cette dernière équipe a même rapporté que la formation du furfural et des mélanoidines est plus importante dans les milieux où le pH et le rapport amino-acide/sucre sont faibles ; conditions que présente la plupart des produits dérivés des fruits comme le nôtre. La formation de ces intermédiaires résulte de la dégradation des sucres, de l'acide ascorbique et des réactions entre amino-acides et sucres (122b, 174, 155, 166, 54). Le traitement thermique puis les températures élevées de stockage (25-33°C) sont les facteurs favorables à la formation de ces composés furanniques dans nos conserves de mangue.

Ce travail a permis de mettre en évidence le rôle des sulfites dans les réactions de brunissement non enzymatique. En effet, que ce soit la mangue séchée ou la mangue en conserve, le rôle des sulfites n'est pas décelable en début de stockage ; mais, pour de longues durées de stockage, une inhibition des réactions de MAILLARD par ces composés est nettement perçue : ceci est illustré par les différentes figures puis par le tableau XXVI qui donne les absorbances à 282 nm après 12 mois de stockage pour les mangues séchées et 21 mois pour les conserves au sirop.

Selon CHEFTEL et coll (35a), cet effet inhibiteur est dû au fait que les sulfites réagissent avec les composés carbonylés, les bases de Schiff, les composés carbonylés insaturés et donnent des sulfonates relativement stables.

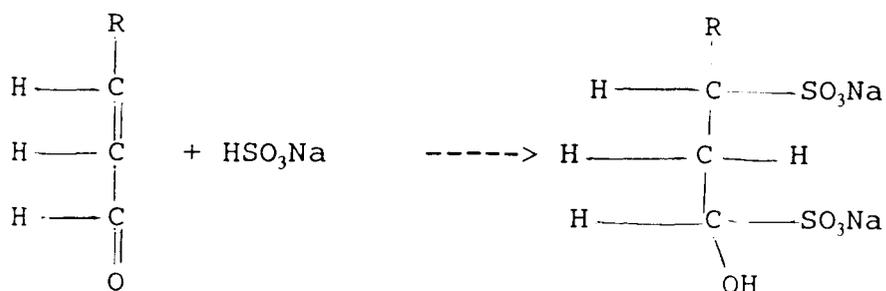
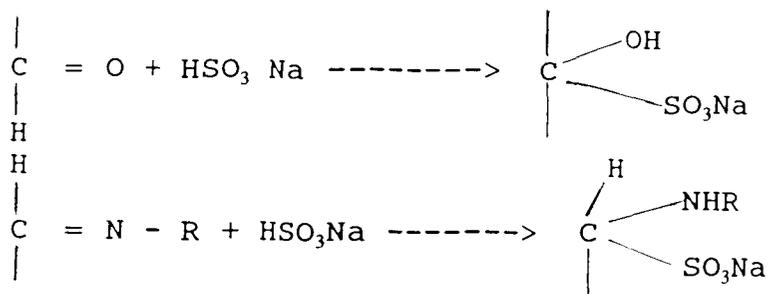
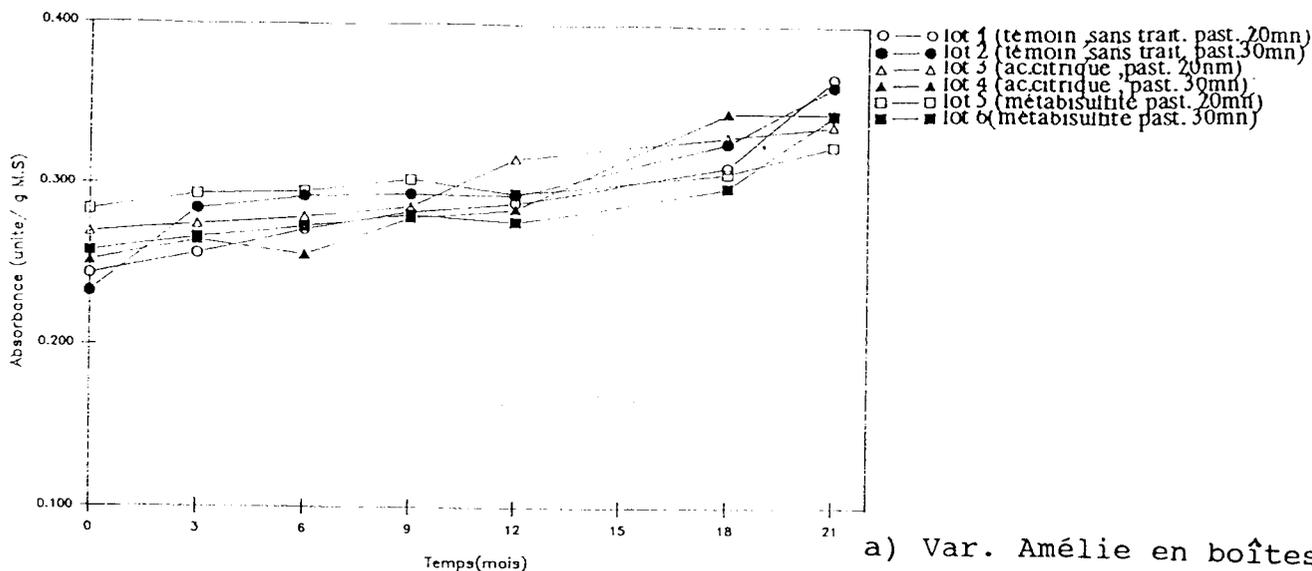
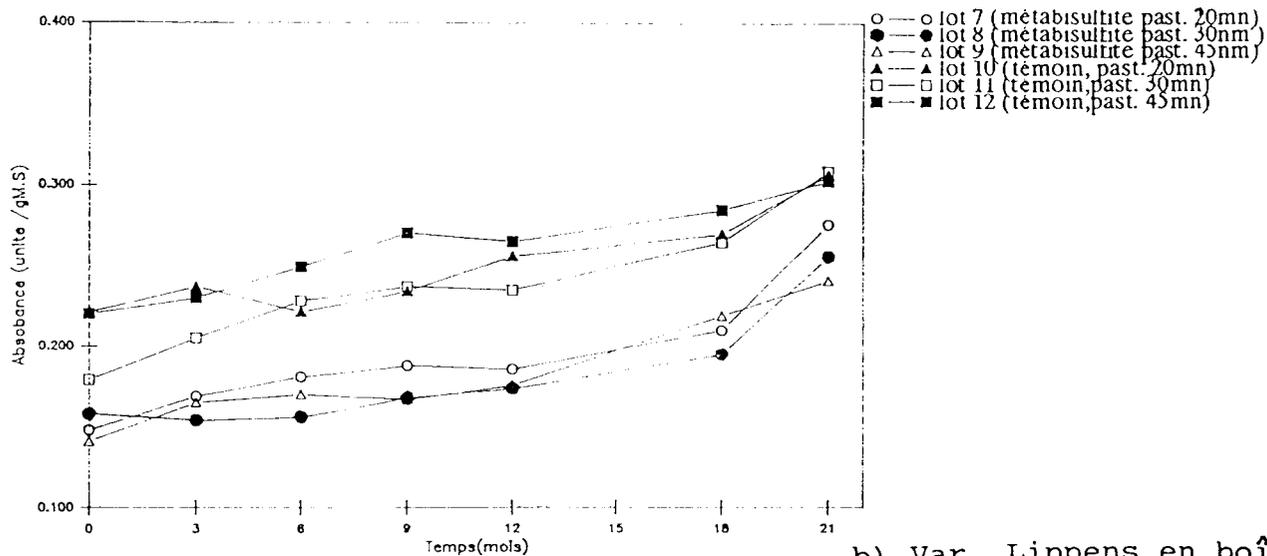


TABLEAU XXVI : Comparaison des absorbances à 282 nm de lots non traités (témoins) et de lots traités aux sulfites en fin de stockage.

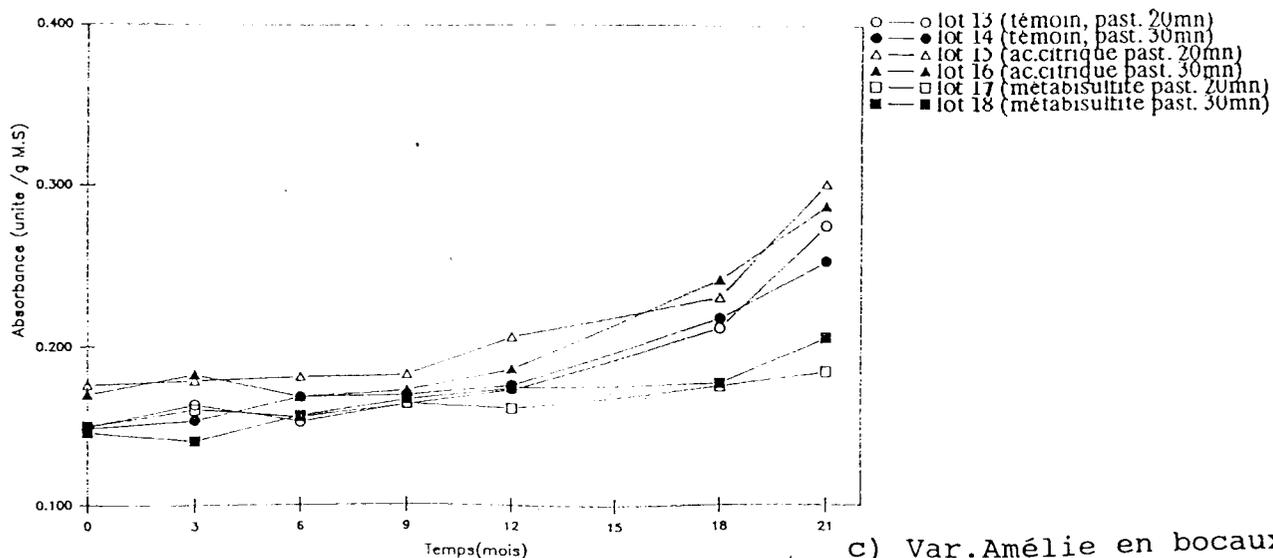
		Lots témoins (non traités)	Lots traités aux sulfites
Mangues en conserves (après 21 mois de stockage)	Amélie en boîtes	15,091	11,414
		15,017	11,063
	Amélie en bocaux	10,511 10,19	8,053 9,043
Mangues séchées (après 12 mois de stockage)	Lippens en boîtes	8,017	6,435
		8,971	6,175
		8,945	6,625
		4,43	3,329 (SO ₂ , 45 mn) 3,101 (SO ₂ , 90 mn)



a) Var. Amélie en boîtes.



b) Var. Lippens en boîtes.



c) Var. Amélie en bocaux.

fig 38: Variation de l'absorbance, à 400 nm, du sirop des conserves de mangue au cours du stockage à la température ambiante.

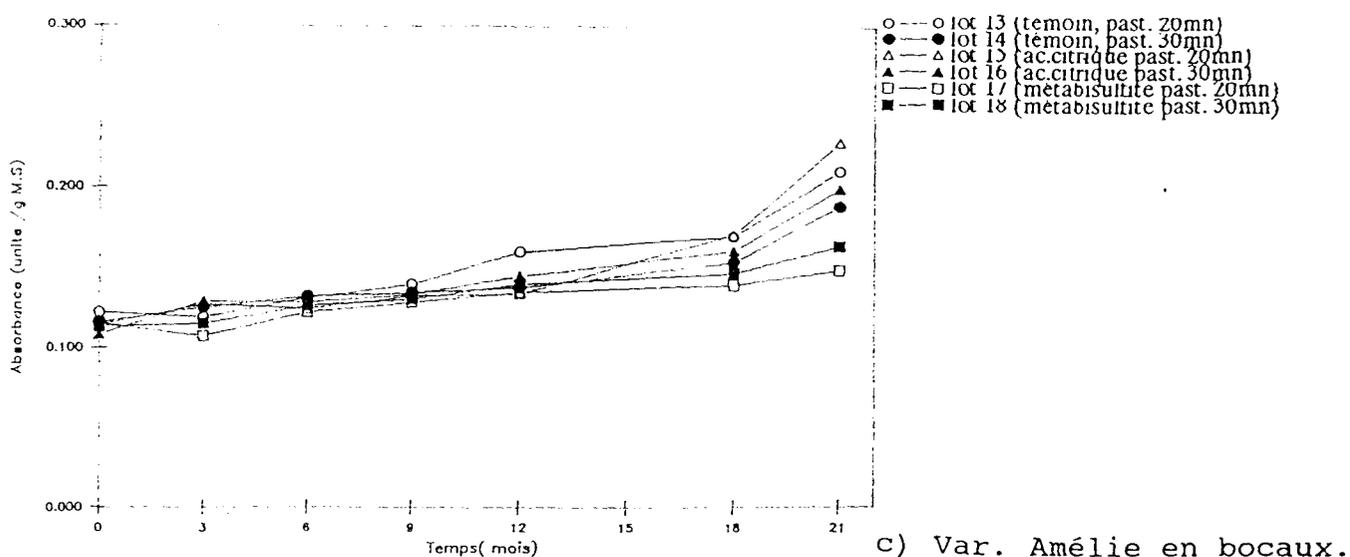
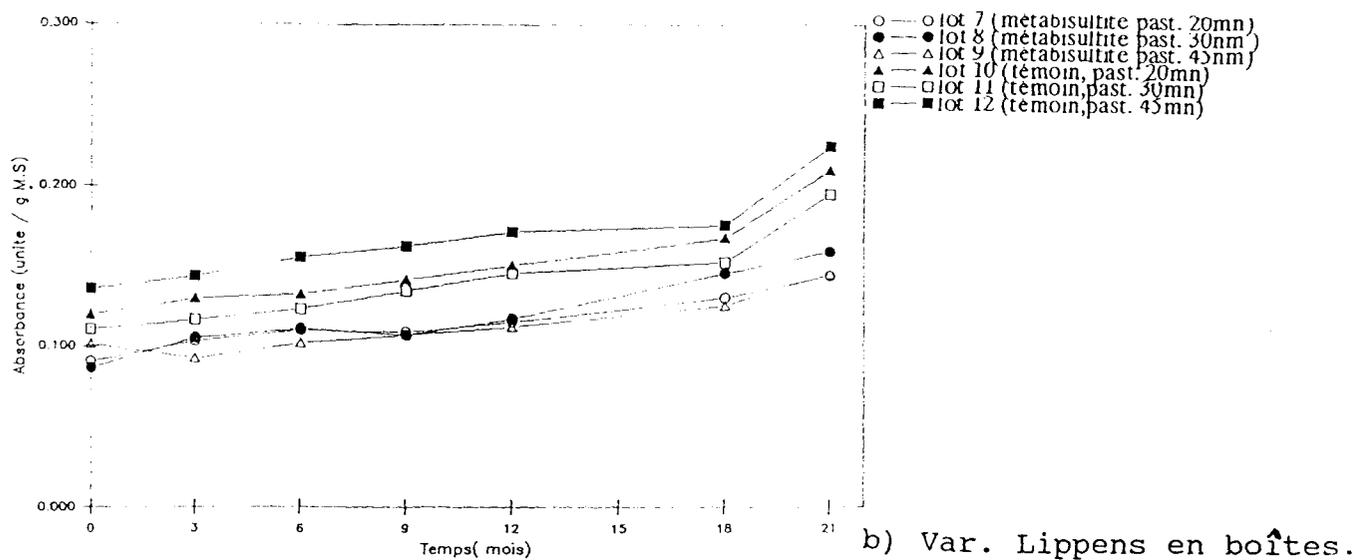
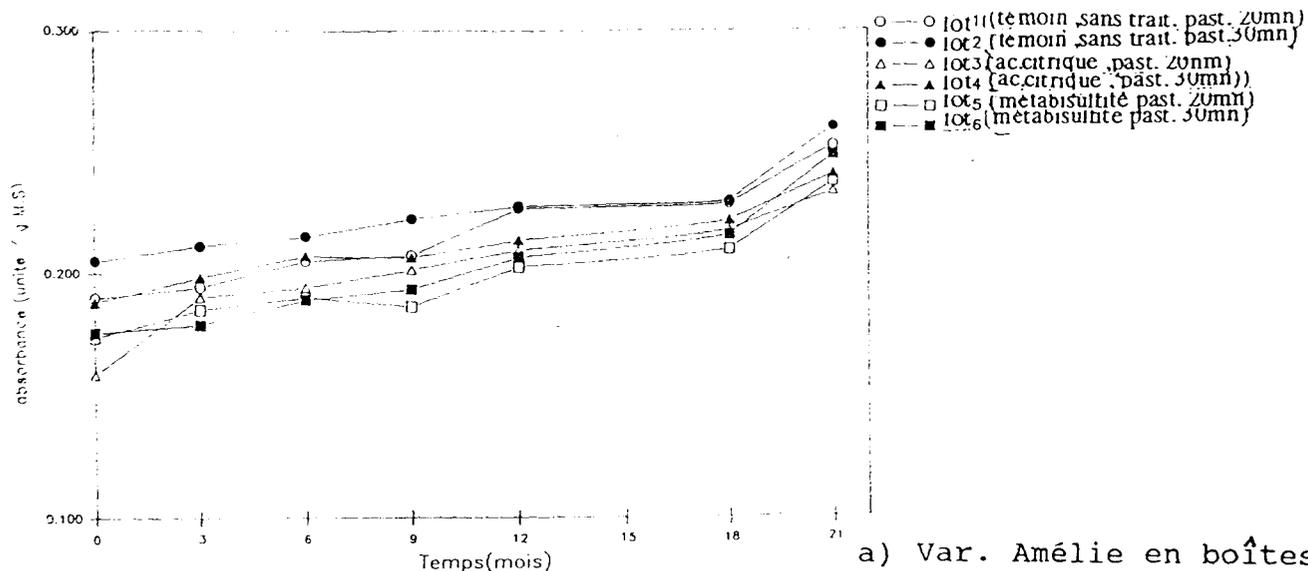
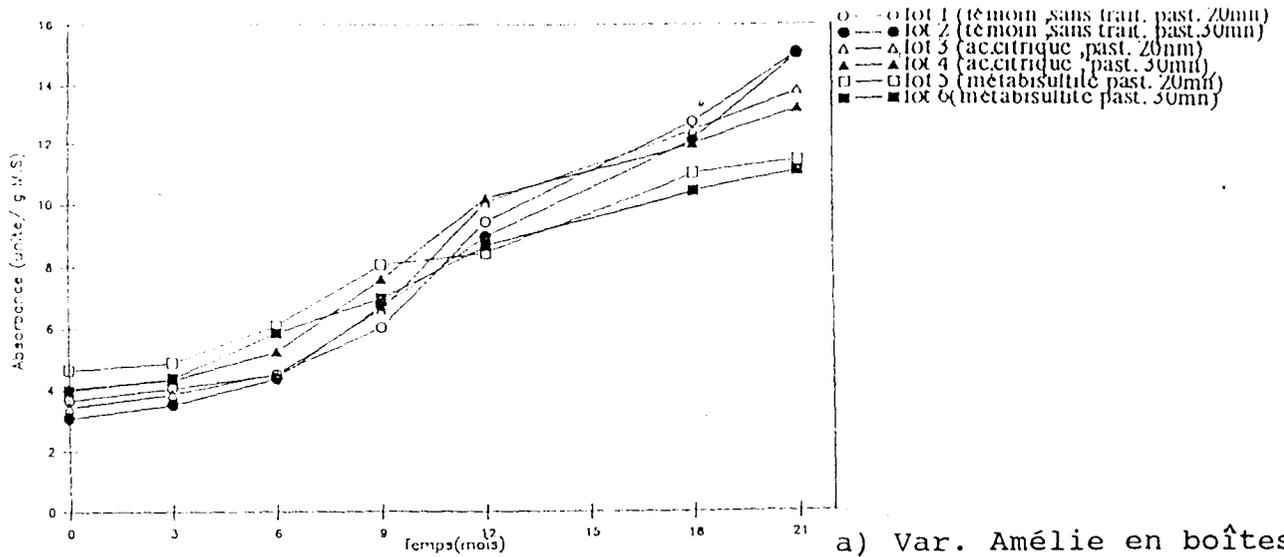
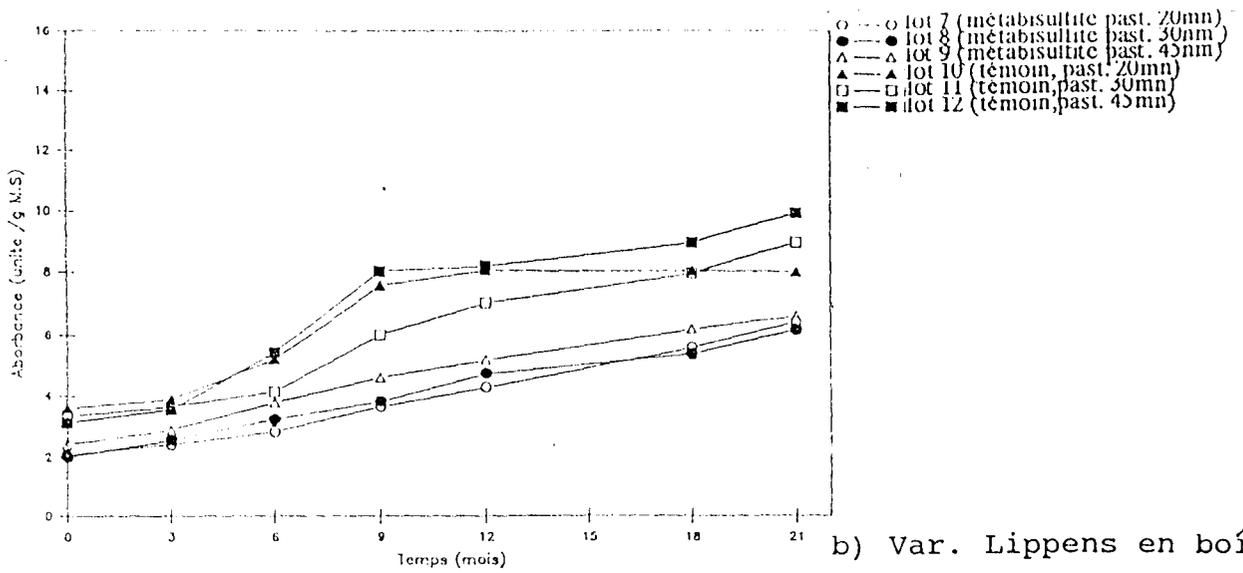


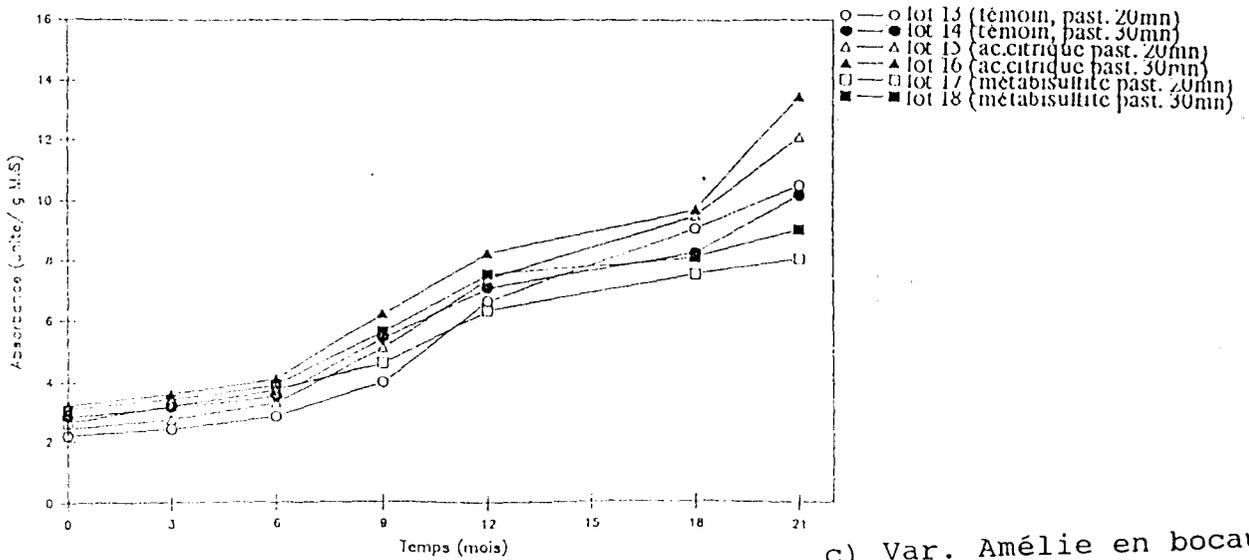
fig 39: Variation de l'absorbance , à 420 nm, du sirop des conserves de mangu au cours du stockage à la température ambiante.



a) Var. Amélie en boîtes.



b) Var. Lippens en boîtes.



c) Var. Amélie en bocaux.

fig 40: Variation de l'absorbance, à 282 nm, du sirop des conserves de mangue au cours du stockage à la température ambiante.

CONCLUSIONS et PERSPECTIVES

L'évolution de la mangue Amélie sur l'arbre est marquée par deux phases: la phase de croissance du fruit qui est caractérisée par l'augmentation de la matière sèche, des sucres totaux, de l'acide ascorbique et de l'amidon ; la phase de maturation principalement marquée par une diminution de l'acidité et du taux d'amidon : l'évolution de ces deux constituants pendant cette période est telle que le rapport Amidon/Acidité peut être utilisé comme indice pour l'évaluation du degré de maturité et par conséquent de la période favorable à la récolte. Ainsi, la récolte peut survenir entre la 11^e et la 14^e semaine après la période de marquage des échantillons située dans la 3^e semaine de Février. Les sucres réducteurs et le saccharose augmentent sensiblement pendant la phase de maturation.

Protéines, matières grasses et cendres totales, en faible quantité restent relativement constantes durant tout le développement du fruit.

L'activité des déshydrogénases et des amylases est intense dans la mangue mûre et pendant l'entreposage à la température ambiante.

La mangue est un fruit de grande qualité nutritionnelle :

- elle contient une gamme variée d'éléments minéraux, notamment le potassium, les chlorures, le phosphore, le magnésium, le sodium, le calcium, le fer et le soufre; le manganèse, le cuivre et le zinc sont à l'état de traces.

- fruit essentiellement glucidique, sa valeur énergétique est d'environ 52 kcal/100g M.F.

La variété Amélie est riche en vitamine C et en β -carotène (provitamine A).

Le séchage solaire est un procédé de conservation applicable à la mangue Amélie. Pour des tranches de 8-10 mm

d'épaisseur, la durée de l'opération est en moyenne de 48-72 heures pour l'obtention des tranches séchées de teneur en eau résiduelle de 14-20 %. Le rendement en produit séché est de l'ordre de 12-18 %. Ce procédé dégrade l'acide ascorbique (vitamine C), les carotènes et les xanthophylles, puis affecte la couleur de la mangue en induisant des réactions de brunissement. Les taux de rétention en acide ascorbique (52-74 %) et en carotènes (58-78 %) sont acceptables. Durant le stockage de la mangue séchée conditionnée en bocaux, les teneurs en acide ascorbique et en carotènes diminuent, l'état de brunissement augmente. Qualitativement le séchage solaire modifie le spectre des pigments caroténoïdes de la mangue Amélie par l'apparition de nouveaux pics ; le stockage à la température ambiante n'a pas d'influence notable.

Concernant la mise en conserve, la variété lippens, à chaire plus ferme que la variété Amélie, s'adapte mieux à cette technologie. La mangue au sirop pasteurisée pendant 20 mn et 30 mn a une bonne qualité biologique, mais il faudra craindre une prolifération de levures et de moisissures pendant une longue durée de stockage. Les boîtes métalliques intérieurement vernies, peuvent, compte tenu du caractère acide du produit, induire des phénomènes de corrosion ; des risques de perte de conserves par perforation ou bombage chimique sont donc à craindre au bout d'un temps plus ou moins long de stockage. Les mangues au sirop sont pauvres en vitamine C : la chaleur ayant détruit plus de la moitié de la teneur du produit frais (52-74 %). Pendant le stockage, l'acide ascorbique est dégradé, le saccharose du sirop hydrolysé en sucres réducteurs et le sirop brunit ; les sucres totaux, le brix et le pH n'indiquent pas de changement notable. Les sulfites (anhydride sulfureux gazeux, métabisulfite de sodium) utilisés comme agents de conservation ont révélé leur efficacité ; ce sont de bons antimicrobiens et de bons stabilisateurs : ils préservent la qualité sanitaire, la vitamine C, les carotènes et inhibent le brunissement non enzymatique lors des procédés de transformation et du stockage. Cependant, les sulfites présentent certains inconvénients : ils donnent aux produits un arrière goût indésirable décelable et possèdent un

pouvoir corrosif. L'acide citrique peut être utilisé comme conservateur.

Le traitement déshydratant, offre des produits de meilleures qualités nutritionnelles et organoleptiques et de faible coût par rapport à la conservation par la chaleur. La chaleur est bien connue comme un agent destructeur des vitamines et des substances aromatiques qui sont pour la plupart thermolabiles. Mais le traitement thermique donne des produits de meilleures qualités microbiologiques.

Dans tous les cas, que ce soit les mangues séchées ou les conserves au sirop, un stockage en conditions favorables, températures notamment, permettra de prolonger la durée de conservation en limitant la prolifération microbienne et la détérioration des qualités nutritionnelles et organoleptiques (vitamines, carotènes, brunissement).

Ce travail n'est qu'une première approche d'un domaine d'étude vaste qu'est la technologie de la mangue. Ce n'est qu'une contribution à une étude, qui, pour être complète pourrait se poursuivre sur divers aspects:

- l'étude des constituants aromatiques et l'influence du séchage solaire sur ces derniers. La production d'arôme de mangue est une possibilité envisageable, laquelle permettrait entre autres, de relever l'arôme des confitures de mangues produites dans les unités de transformation de la place.

- une étude est à entreprendre sur différentes doses de sulfites (SO_2 , métabisulfite de Na) afin de déterminer les doses minimales efficaces et non décelables au goût pour une bonne conservation de la mangue séchée et au sirop. D'autres agents de conservation (benzoates, sorbates par exemple) peuvent être testés afin de rechercher celui qui convient le mieux, surtout pour le produit séché dont le problème majeur est le brunissement.

- une étude microbiologique sur les tranches de mangues séchées en fonction du conditionnement et du conservateur utilisé. Cet aspect mérite une attention particulière car, le séchage solaire utilisant l'air ambiant comme fluide séchant, le degré de pollution du produit séché est probablement élevé. Cette

étude permettra de savoir dans quelles conditions pourrait-on obtenir des tranches de mangues séchées de haute qualité sanitaire et de longues durées de conservation ; ce qui inciterait à une exploitation industrielle.

- L'existence de nombreuses variétés de mangues au Burkina Faso, nécessite l'application de la mise en conserve sur d'autres variétés afin de détecter celles qui s'y adaptent mieux comme la variété lippens. Celles-ci pourront faire l'objet d'une exploitation industrielle qui absorbera une grande partie de la production de mangue et limitera les pertes par pourriture. Pour la variété Amélie, une combinaison du séchage et de la mise en conserve est une possibilité envisageable; des essais de fabrication de conserves de mangue à partir de tranches séchées sont donc à entreprendre afin d'améliorer la texture du produit fini.

Des études similaires peuvent être faites sur d'autres fruits locaux (banane, goyave, papaye...) afin de connaître leurs potentialités nutritionnelles et industrielles et par conséquent leur utilisation rationnelle et leur valorisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 - **ABDALLAH, M.A.; ZAKI, M.S.A., 1974** - Preservation of mango juice by freezing and canning. *Nahrung* **18** (2) : 207 - 216
Fac. Agric. Food Sci. dept., Air-Shames Univ. Cairo - United Arab repub.
- 2 - **ACKERMAN L.G.J.; TORLINE P.A., 1984** - Volatile components in the headspace of hight mango cultivars. *Lebensmittel wissenschaft U. Technologie (CHE)* **17** (6) : 339 - 341
- 3 - **ADRIAN, J., 1974** - Nutritionnal and physiological consequences of the Maillard reaction.
World rev. Nutri. Diet. **19** : 71
- 4 - **ADSULE, P.G. ROY, S.K., 1974** - Studies on the physico-chemical characteristics of some important commercial varieties of mango of North India In relation to canning and freezing of slices.
J. food Sci. Tech. **11** (6): 269 - 273
- 5 - **Association française de normalisation (AFNOR), 1986** - Recueils de normes françaises. Produits dérivés de fruits et légumes - jus de fruit.
- 6 - **AKAMINE, E.K.; GOO, T., 1979** - Effect of ionizing energy on Haden mangoes . *Hawaiï Agric. Exp. stu. Rep.* **205** :1
- 7 - **ALBRECHT, J. A.; SCHAFER, H.W.; ZOTTOLA, E.A., 1990** -
Relation ship of total sulfur to initial and retained ascorbic acide in selected cruciferous and non cruciferous vegetables.
J. food Sci. **55** (1): 181 - 183

- 8 - ALIAGA, T.J.; LUH, B.S., 1975 - Quality and storage stability of freeze-dried mangoes. Depart. food Sci. technol. University of California, Davis USA.
- 9 - AMMU, K., 1976 - Poudre de mangue Food Technology in Australia 28 : 9
- 10 - AMORIGGI G., 1988 - Techniques de transformation et de conservation de fruits et légumes. FAO
- 11 - ANDREW, J.J.; CHRISTOPHER, J.R.; PAMELA, A.W., 1988 - Effect of gamma irradiation combined with hot dipping on quality of " Kensington Pride " mangoes.
J. food Sci. 53 (5): 1486-1489
- 12 - ANGARA, F.S.; WANG, J.K.; AGENA, V., 1969 - Development and performance of equipment for removal of papaya fresh. Trans. Am. Soc. Agric. Engineering 12 (6): 745
- 13 - ARRIOLA, M.C. de; MADRID, M.C DE; MENCHU, J.F.; ROLZ, C., 1974
Development and cold storage of mango var. Mamey.
IV° International congress of food science and Technology
1a : 77 - 78
- 14 - ARTZ, W.E, 1983 - Vitamin C retention of potato blanched in water. J. food sci. 48 (1) : 272 - 273
- 15 - ARYA, S.S.; NATESAN, V.; PARIHAR, D.B.; VIJARAGHAVAW, P.K., 1979 - Stability of carotenoids in dehydrated carrots.
J. food. Technol. 14: 579
- 16 - ASKAR, A.; EL TAMANI, A.; RAOUF, M., 1972 - Constituents of mango fruit and their behaviour during growth and ripening.
Mitteilungen: Rebe, wein, obstban and fruchterverwertring 22 (2) : 120 - 125. Germany

- 17 - AVENA, R.J.; LUH, B.S., 1983 - Sweetened mango purees preserved by canning and freezing .
J. food Sci. 48 (2) : 406 - 410

- 18 - BABSKY, N.E.; TORIBIO, T.L.; LOZANO, J.E., 1986 - Influence of storage on the composition of clarified apple juice concentrate.
J. Food Sci. 51: 564.

- 19 - BENERO, J.R.; RODRIGUEZ, A.J., 1971 - Mangoe pulpe extraction methode . J. Agric. Univ. Puerto-Rico, 455 (4) : 513.

- 20 - BHULLAR, J.S.; DHILLON, B.S.; RANDHAWA, J.S., 1984 - Ambient storage of Langra and Dusheri mangoes.
J. Food Rearch, Punjab Agricultural University 21(1):33-38

- 21 - BIDAULT, B.; GATTEGNO, I., 1984 - La transformation des fruits tropicaux . ALTTERSIAL - GRET - 59 pages.

- 22 - BIMBENET J.J., 1978 - Le séchage dans les industries agricoles et alimentaires . 4^e cahier du génie industriel alimentaire.

- 23 - BISSET, U.W.; BERRY, R.E., 1975 - Ascorbic acid retention in orange juice as related to container type.
J. Food Sci. 40: 178

- 24 - BIT (Bureau International du Travail)/ Programme des Nations Unies pour l'environnement, 1990. - Conservation des légumes à petite échelle. Dossier technique n°13, Série Technologie 1ère éd.

- 25 - BLOCHER, J.C.; BUSTA, F.F., 1983 - Bacterial spore resistance to acid. Food Technol. 37: 87.

- 26 - BOLIN, H. HUXSOLL, C.C.; JACKSON, R.; NG, K.G., 1983 - Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality.
J. Food Sci. 48(1) : 202-205
- 27 - BOWDEN, R.P., 1986 - Technologie de la mangue
Fruits, 41(12) : p763.
- 28 - BREKKE, J.E; CAVALETTO, C.G.; STAFFORD, A.E., 1968 - Mango puree processing
Hawii Agri. exp. Station tech. Progress report 167.
- 29 - BRISSOU, J., 1971- Techniques d'enzymologie bactérienne. 20-23 ed.MASSON et C^{ie} Paris 6^e
- 30 - BUREAU, G.; MULTON, J.L., 1989 - L'emballage des denrées alimentaires de grandes consommation. Technique et documentation, Lavoisier
- 31 - BURTON, H.S.; MCWEENY, D.J., 1964 - Noenzymatic browning: Rates of the production of melanoidins from aldose and amino compound.
chem. ind. March 14
- 32 - CAMPBELLE, C. L.; LIN T. Y.; PROCTOR B.E., 1958 - Micro-wave and conventional cooking: reduced total ascorbic acid in vegetables.
J. Amer. diet. Assoc., 34 : 365.
- 33 - CEGARRA, B.J.R., 1968 - Estudio comparativo al alguno indices quimicos et fisicos en variedad de mangos (*Mangifera indica* L.). Injertado importantes des de el punto devista de su appove chiamento industrial.
Revista de la Facultad de Agronomica, Navacay 4(4) : 5-23
- 34 - CHAN, H.T.; KWOK, S.C.M., 1975 - Identification and

determination of sugars in tropical fruits products.

J. Food Sci. 40(2) : 419 - 420

- 35a - CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H.; BESANCON, P., 1990 - Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Vol.1, 6^èéd. Technique et documentation
- 35b - CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H.; BESANCON, P., 1990 - Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Vol.2, 6^èéd. Technique et documentation
- 36 - CHEN, T.S.; GEOGE, W.L., 1981 - Ascorbic Acid retention in retord ponched green beans.
J. Food Sci. 46(2): 642 - 643
- 37 - COLEAPCP, 1989 - Huitième rencontre interprofessionnelle ACP/CEE. Lomé
- 38 - CORWELL, C.J.; WROLSTAD, R.E., 1981 - Cause of browning in pear juice concentrate during storage.
J. Food Sci. 46(2): 515 - 518
- 39 - COSTE, C., 1965 - Recherche sur la biosynthèse et le métabolisme des caroténoïdes dans les feuilles.
Thèse de Doctorat d'Etat SC. Nat. Paris, ORSAY, 157 p.
- 40 - COULIBALY, Y., 1977 - Influence des traitements et des conditions de stockage sur les composés volatils de la tomate et des produits dérivés.
Thèse, Montpellier
- 41 - CZYHRINCIW, N., 1969 - Tropical fruit technology
Adv. Food Res. 17 : 153
- 42 - DARRE, J.M.; MARSAL, P., 1978 - Influence des produits phytosanitaires sur la corrosion des boîtes en fer blanc.

Bull. centre Rech du fer-blanc 30 - 40

- 43 - DEYNIE, B.; MUTTON, J.L.; SIMON, D., 1981 - Techniques d'analyses et de contrôle dans les industries Agro-alimentaires
Vol. 4 Analyse des constituants alimentaires
- 44 - DIAZDELGADO, D.; VILLATOBOS, C.M., 1974 - Preservation of tropical fruit pulp by a chemical additive.
Revista del Instituto de Investigaciones Tecnológicas 16(88) 7-12.
- 45 - DRAUDT, H.N.; HUANG, I.Y., 1966 - Browning in freeze - dried fruits. Effect of moisture content of freeze - dried peaches and banana on changes during storage related to oxydative and carbonyl-amino browning.
Agr. Food Chem. 14(3) 170.
- 46 - DUNLOP, A.P.; PETERS, F.N., 1953 - " The furans " P. 639
Reinhold, New York
- 47 - EICHNER, K.; KAREL, M., 1975 - The influence of water content and water activity on the sugar. Amino browning reaction in model system under various conditions
J. Agr. Food Chem. 20(2) : 218
- 48 - EISON - PERCHONOK, M.; DOWNES, T.W., 1982 - Kinetics of ascorbic acid autooxydation as a function of dissolve oxygen concentration and temperature.
J. Food Sci. 47: 767
- 49 - ELAHI, M.; KHAN, N., 1973 - Physico chemical changes in some pakistani mango varieties during ripening and storage.
J. Agr. Food Chem. 21(2) : 229 - 231

- 50 - FAO / SIDA., 1982 - Les espèces fruitières forestières.
Fiches techniques
- 51 - FIDLER J.C.; COURSEY D.G., 1969 - Low temperature injury of
tropical fruit.
Trop. - subtrop. fruit p.103.
- 52 - FONSECA, H.; NORGUEIRA J.N.; MARCONDES A.M.S., 1969 - Ascorbic
acid and β carotene contents of brazilian fruits a n d
végétales.
Archivos latino americanos de Nutricion 19(1) : 9 - 16
- 53 - FOYER, C.H.; HALLIWELLE, B., 1976 - The presence of
glutathione and glutathione reductase in chloroplasts : A
proposed role in ascorbic acid métabolism.
Planta 133 : 21
- 54 - GARDELLE, J.; RICHARD, J.P., 1970 - Le 5 - hydroxyméthyl-
furfural dans le jus de fruit et concentré.
Indust. Alim. Agr. 87 : 543
- 55 - GHOLAP, A.S.; BANDYOPADHYAY, C.; NAIR, P.M., 1990 - Lipid
composition and Flavor changes in irradiated mango var.
Alphonso.
J. Food Sci. 55(6) : 1579 - 1580
- 56 - GOGUEY T., 1990 - 3è symposium international sur le manguier
DARWIN, Australie 25 - 29 Sept. 1989.
Fruits, 45(1) : 61 - 69.
- 57 - GOLDMAN, M.; HOREV, B.; SAGUY, I., 1983 - Decolorization of β
carotene in model systeme simulating dehydrated food: mecanism
and kinetic principles.
J. Food Sci. 48(3) : 751 - 754

- 58 - GOMEZ M.I., 1981 - Les effets du séchage sur la valeur nutritive des produits alimentaires au Kenya. IN " le sechage des produits alimentaires : compte rendu du colloque tenu à Edmonton, Alberta du 6-9 Juillet 1981 31 - 35
- 59 - GRANDALL, P.G.; KESTERSON, J.W.; DENNIS, S., 1983 - Storage stability of carotenoids in orange oil.
J. Food Sci. 48(3) : 924 - 927
- 60 - GRET (Groupe de Recherche et d'échange technologique); GERES (Groupe d'Energies Renouvelables), 1986
Le séchage solaire des produits alimentaires.
Dossier n°8; 215 pages
- 61 - HARALAMPU S.G.; KAREL, M., 1983 - Kinetic model for moisture dependance of ascorbic acid and β carotene degradation in dehydrated sweet potatoes.
J. Food Sci. 48(6) : 1872 - 1873
- 62a - HARVEY, T.; CHAN J.; CAVALETTO, C.G., 1978 - Dehydration and storage stability of papaya leather.
J. Food Sci. 43(6) : 1723 - 1725
- 62b - HARVEY, T.; CHAN J.; CAVALETTO, C.G., 1982 - Aseptically packaged papaya and guava puree: changes in chemical and sensory quality during processing and storage.
J. Food Sc. 47(4) : 1164 - 1174
- 63 - HEIKAL, H.A.; EL SANAFIRI N.Y.; SHOOMAN M.A., 1972 - Some factors affecting the quality of dried mango sheets.
Agric. Res. Rev. 50(4) : 194-195
- 64 - HENDEL, C.E.; SILVEIRA V.G.; HARRINTON W.O., 1955 - Rates of nonenzymatic browning of white potato during dehydration.
Food Technol. 9 : 433

- 65 - HODGE, J.E., 1953 - Dehydrated foods. Chemistry of browning reactions in model systems.
J. Agr. Food Chem. 1 : 928
- 66 - HOYNAK, P.X.; BOLLEN BACK G.N., 1966 - This is liquid sugar; Refined syrups and sugar p 240
- 67 - HUELIN, F.E., 1953 - Studies on the anaerobic decomposition of ascorbic acid.
Food Res. 18 : 633
- 68 - HUNTER G.L.L.; BUCEK W.A.; RADFORD, T., 1974 - Volatile components of canned Alphonso mango.
J. Food Sci. 39 : 900-903
- 69a - HUSSEIN M.A.; YOUSSEF K.E., 1972 - Evaluation of physical and chemical criteria of maturity in Hendi and Taymour mango fruits.
Food Sci. Technol. Abst. 5(8)
- 69b - HUSSEIN M.A.; YOUSSEF K.E., 1973 - Physico-chemical parameters as an index of optimum maturity in egyptian mango fruit, *Mangifera indica* L.
Food Sci. Technol. Abst. 6(7).
- 70 - IGUINA DE GEORGE L.M.; COLLAZO DE RIVERA A.L.. BENERO J.R.; PENNOCK, W., 1969 - Provitamin A and vitamin C contein of several varieties of mango (*Mangifera indica* L.) grown in Puerto Rico.
J. Agr. University of Puerto Rico. 53(2) : 100-105
- 71 - IKAWA, J.Y., 1991 - *Clostridium botulinum* growth and toxigenesis in self stable woodles.
J. Food Sci. 56(1) : 264-265.

- 72 - JAUHARI, O.S.; TRIPATHI, R.S., 1972 - Studies on maturity standard for *Mangifera indica* L. var. Bombay yellow. Food Sci. Technol. Abst. 4(1) : 1.
- 73 - KANANANE, A.; KANE, D.; LABUZA, T.P., 1988 - Time and temperature effects on stability of Moroccan processed orange juice during storage. J. Food Sci. 53(5) : 1470 - 1489
- 74a - KALRA, S.K.; TANDON, D.K., 1983 - Regulation of ripening of mango var. mallika Indian j. Hort. 40(3 & 4) : 155-159
- 74b - KALRA, S.K.; TANDON, D.K., 1985 - Physico-chemical changes in mango pulpe during ambient storage in glass containers. J. Food Sci. Technol. 22(5) : 350-353
- 75 - KANE, O.; BOULET, M.; CASTAIGNE F., 1982 - Effect of chilling-injury on texture and fungal rot of mango (*Mangifera indica* L.). J. Food Sci. 47(3) : 992-995.
- 76 - KANNER, J. MENDEL, H.; BUDOWSK, P., 1978 - Carotene oxidizing factors in red pepper fruit (*Capsicum annuum* L.): oleoresin-cellulose wolid model. J. Food Sci. 43: 709
- 77 - KANNER, J.; FISHBEIN, J.; SHALOM, P., 1982 - Storage stability of orange juice concentrate package aseptically. J. Food Sci. 47(2) : 429-431
- 78 - KAREL, M.; NICKERSON, J.T.R., 1964 - Effects of relative humidity, air and vacuum on browning of dehydrated orange juice.
- 79 - KAPLOW, M., 1970 - Commercial development of intermediate

moisture foods.

Food technol. 24 : 889

- 80 - KAPUR, K.L., 1983 - Volatile components of Dashehari mango
J. Food Sci. 20(5) : 242-243
- 81 - KEITH A.I.; CHEN J.K.; SEEGER, M.L.; UNVERFERTH, J.A.;
KIMBALL, R.N., 1978 - Effect of pH on the growth of
clostridium botulinum in canned figs.
J. Food Sci. 43(5): 1634-1635.
- 82 - KHADER S.E.S.A., 1989 - Orchard application of paclobutrazol
on ripening quality and storage of mango fruits.
Fruit 45(1): 61-69.
- 83 - KHAN, I.; SATTAR, A.; ALI, M.; MUHAMMED, A., 1974 - Some
physiological and biochemical changes in irradiated mangoes.
Lebensmittel-Wissenschaft-Technologie 7(1) : 25-28
- 84 - KANE O., 1977 - Recherche sur l'évolution normale ou
pathologique de mangues (*Mangifera indica* L.) conservées au
froid dans l'air ou en atmosphère contrôlé.
Thèse Université P et M CURIE, Paris IV. 96 Pages
- 85 - KLEIN, B. P.; PERRY, A.K., 1982 - Ascorbic acid and vitamin A
activity in selected vegetables from different geographical
areas of the United States.
J. Food Sci. 47(2): 941-945.
- 86 - KLEIN, B.P.; KUO, C.H.Y.; BOYD, G., 1981 - Folacin and
ascorbic acid retention in fresh raw, microwave and
conventionally cooked spinach.
J. Food Sci. 46(2): 640-641.
- 87 - KOCH, F.C.; HANKE, M.G., 1943 - Practical Methodes in

biochemistry 5^e ed : 293

- 88 - KOUASSI, B. 1985 - Contribution à l'étude biochimique de l'igname.
Thèse d'état, Côte d'Ivoire n°92 : 30 -34
- 89 - KRISHNAMURTHY, S.; SUBRAMANYAM H., 1973 - Pre and post harvest physiology of the mango fruit. Trop. sci. 15(2): 167-193.
- 90 - KROCHTA, J.M.; FEINBERG, B., 1975 - Effect of harvesting and handling on fruits and vegetables in nutritional evaluation of food processing. 2^e ed The AVI Publishing company INC 98-118
- 91 - KURATA, T.; SAKURAI, Y., 1967 - Ag. Biol. chem. 31 : 170
- 92a - LABUZA, T.P., 1972 - Nutrient losses during drying and storage of dehydrated foods.
CRC. crit. Rev. Food Technol. 3 : 217
- 92b - LABUZA, T.P.. 1975 - Sorption phenomenon in foods: theoretical and practical Aspects in "theory determination and control of physical properties of food materials."
C.K.RHA ed; p. 197, Reidel, Dordrecht
- 92c - LABUZA, T.P., 1981 - The monenzymatic browning reactions as affected by water in foods.
IN " Water Activity: Influences on food quality" P. 605
Academic Press, New-York
- 93 - LAFON LAFOURCADE, S.; PEYNAND, E., 1974 - The antibacterial action of sulphur dioxide in free and bound forms.
Connaissance de la vigne et du vin 8(2): 187-202

- 94 - LAKSHMINARAYANA, S.; SUBRAMANYAM, H., 1971 - Control of micro climate in cold storage for tropical fruits with reference to mango. climate control 4: 37.
- 95 - DE LAROUSSILHE, F., 1980 - Le manguier 191-291 éd. G.P. MAISONNEUVE et LAROSE
- 96 - LEE, H.S.; NAGY, S., 1988 - Quality changes and noenzymatic browning intermediates in grappefruit juice during storage. J. Food Sci. 53(1): 168-180
- 97 - LEON S.Y DE; LIMA L.S DE., 1970 - Post harvest change in source physical and chemical properties of pico mangoes. Philippine Journal of Science 97(4): 337-347
- 98a - LERAILLEZ, P., 1952 - Conservation Industrielle des fruits. éd. Baillièrè, Paris
- 98b - LERAILLEZ, P., 1954 - Conservation Industrielle des légumes. éd. Baillièrè, Paris
- 99 - LINDEN, G. 1981 - Technique d'analyse et de contrôle dans les industries agroalimentaires. T2. Principes des techniques d'analyse P. 414
- 100 - LIVINGSTON, G.E.; ESSELEN, W.B.; FELLERS, C.R., 1954 - Storage changes in processed apple sauces. Food Technol. 8 : 116.
- 101 - LOUISOT, P., 1982 - Biochimie - 3 - organisation cellulaire, enzymologie générale et médicale, catabolisme : 479-553.
- 102 - MACLEOD, A.J.; SNYDER, C.H. 1985 - Volatils components of two cultivars of mango from florida. J. Agr. Food Chem. USA 33(3): 380-384

- 103 - MALONEY, J.F.; LABUZA, T.P.; WALLACE, D.H.; KAREL, M., 1966 - Autooxidation of methyl lioleate in freeze dried model system 1-effect of water on the autocatalysed oxidation.
J. Food Sci. 31 : 878
- 104 - MANLAN, M.; MATTHEWS, R.F.; BATES, R.P.; O4HAIR, S.K., 1985 - Drum drying of tropical sweet potatoes.
J. Food Sc. 50(3): 764-768
- 105 - MARAUIJA, M.D.; BLAIR, J.S.; OLSEN, R.W.; WENZEL F.W., 1973 - Furfural as an indication of flavor deterioration in canned citrus juices.
Proc. Fla. State. Hort. Soc. 86 : 270
- 106 - MARCY, J.E.; GRAUMLICH, T.R.; GRANDALL, P.G.; MARSHALL, M.R., 1984 - Factors affecting storage of orange concentrate.
J. Food Sci. 49. 1628 - 1629
- 107 - MARSHAL, P., 1987 - Aspect physico-chimique de l'expertise des conserves.
Ann. Fals. Exp. chim. 80(855): 71_84
- 108 - MATTOO, A.K.; MODI V.V., 1970 - Partial purification and properties of enzyme inhibitors from un ripe mangoes.
Enzymologia 39(4): 237-247
- 109 - MAURON, J., 1981 - Maillard reaction in food: A critical review from the nutritional stand point.
Prog. Food Nutr. Sci. 5 : 5
- 110 - MICH, J.C. 1974 - Conservation des aliments: composition, qualité, biodégradation. 199 pages éd. Presses Universitaires de France
- 111 - Ministère du commerce et de l'approvisionnement du peuple.

Burkina Faso. 1989 - Rapport d'activités du Service des Statistiques.

- 112 - MINISTERE de l'AGRICULTURE et de l'ELEVAGE de HAUTE-VOLTA
Direction des Services Agricoles. 1974 - la politique des fruits et légumes. 3 : 21.
- 113 - MIZRAHI, S.; LABUZA, T.P.; KAREL, M., 1970 - Computer aided predictions of extent of browning in dehydrated cabbage.
J. Food Sci. 35 : 799
- 114 - MOLLAH, S.; SIDDIQUE M.A., 1973 - Studies on some mango varieties of Bangladesh.
Bangladesh hort. 1(2): 16-24.
- 115 - MONERGER, R. 1968 - Contribution à l'étude de l'influence exercée par la lumière sur la biosynthèse des caroténoïdes chez *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden.
Physiol veg. 6(2): 165-202
- 116 - MONTREUIL, J.; SPIK, G., 1969 - Microdosage des glucides. I/ Methode colorimétrique de dosage des glucides totaux.
Monographe du labo-chimie-biol. Fac. Sc. LILLE
- 117 - MOORE, E.L.; ESSELEN, W.F.; FELLERS, C.R., 1942 - Causes of darkening of packaged orange juice. The canner 95 : 13
- 118 - MOSSEL D. A.A., 1975 - Activités de l'eau, teneurs en eau et altération microbienne de quelques aliments in R. DUCWORTH ed "water relation of food".
Academic P.; London
- 119 - MURKHERJEE, P.K., 1958 - Cold storage of mango.
Hort. Adv. 2 : 44

- 120 - MUSA, S.K. 1974 - Preliminary investigations on the storage and ripening of "Totapwi" mangoes in the Sudan.
Trop. Sci. 16(2): 65
- 121 - MUSTARD M.J.; LYNCH S.J., 1945 - Effect of various factors upon the ascorbic acid content of some Florida grown mangoes.
Florida Agr. Exp. Stal. Bull. 406 : 1
- 122a - NAGY, S.; DINSMORE, H.L., 1974 - Relation of furfural to temperature abuse and flavor change in commercially canned single strength orange juice.
J. Food Sci. 39 : 1116
- 122b - NAGY, S.; DINSMORE, H.L., 1974 - Improved colorimetric determination for furfural in citrus juices.
AOAC 57 : 332
- 123 - NAGY, S.; SMOTT, J.M., 1977 - Temperature and storage effects on percent retention and percent U.S recommended dietary allowance of vitamin C in canned single Strength Orange juice.
J. Agr. Food Chem. 25 : 135
- 124 - NANJUNDASWAMY, A.M.; SAROJA, S.; RANGANNA, S., 1973 - Determination of thermal process for canned mango products.
Indian Food Packer 27(6): 5-13
- 125 - NORDLEE, J.A.; MARTIN, L.B. TAYLOR, S.L., 1985 - Sulfite Residues in Maraschino cherries.
J. Food Sci. 50(1): 256-257
- 126 - OBAM, E.Z.B., 1985 - Contribution à l'étude du séchage de la mangue: Essai de fabrication de cuir de mangue.
Archives-Recherches n°15- 216; 1-35
- 127 - OKOMBI, G. 1979 - Les pigments de la cerise, *Prunus ovium*

(L.), variété "BIGARREAU NAPOLEON": Variation au cours de la croissance de la maturation et de la conservation.

Thèse, Université d'Orléans 105 pages

- 128 - OTENG _ GYANG K., 1984 - Introduction à la microbiologie alimentaire dans les pays chauds.
Technique et documentation - Lavoisier 253 pages
- 129 - PADMININAGARAJ, K.V.R.; RAMANA, B.; ARAVINDAPRASAD, S.; MALLIKARJUNARADHYA, M.V.; PATWARDHAN, S.M.; ANANANTHAKRISHNA, N.C.R.; SUBRAMANYAN, 1984 - Effect of calcium carbide on Ripening and quality of Alphonso Mangoes.
J. Food Sci. Technol. 21 : 278-282.
- 130a- PALANISWAMY, K.P.; MUTHUKRISHMAN, C.R.; SHANMUGAVELU K.G., 1973 - Studies on the evaluation of certain mangoes varieties of tonnil Nadu for canning.
Indian Food Packer 27(3) : 9-14
- 130b - PALANISWAMY, K.P.; MUTHUKRISHMAN, C.R.; SHANMUGAVELU K.G., 1974 - Physio-chemical characteristic of some varieties mangoes
Indian Food packer, Bombay 288(5): 12-19
- 131 - PATHAK S.R.; SARADA R., 1974 - Lipids of mango (*Mangifera indica* L.). Current Sci. 43(22) : 716-717.
- 132 - PASSERA, C.; SOETTOLI, P., 1981 - Effect of benzylaminopurine on mango fruit ripening.
Food Chem. 7(3) : 195-201
- 133 - PASSY, N.; MANNHEIM, C.H.; 1979 - The effect of deaeration on quality of concentrated grape fruit juice.
Trop. Foods chem. Nutr. 1: 141
- 134 - PETERSON, W.H.; SKINNER, J.T.; STRONG, F.M., 1943 - Elements

of Food biochemistry. p.18 PRENTICE- HALL, INC- NEW-YORK

- 135 - POPENOE, J., 1956 - Storage of the Keitt mango at different temperatures. Fla. Mango Forum Proc. 13
- 136 - PRUVOST, O.; COUTEAR A.; LUISETTI, J., 1989 - Efficacité de différentes formulations chimiques pour lutter contre la maladie des tâches noires de la mangue (*Xanthomonas campestris* pv *Mangifera indicae*).
Fruits, 44(8) : 343-350
- 137 - RANDOIN L., 1978 - IN "Inventaire et état actuel des travaux de recherches entrepris par l'IRFA sur différentes espèces fruitières arbustives: Industrialisation et technologie
Fruits, 33(9): 643-661
- 138 - RAO, P.V.S.; GIRIDHAR N.; PRASAD, P.S.R.K.; RAO, G.N., 1972 - Optimum maturity and harvesting time of mango var. Baneshan.
Indian J. Hort. 29(2): 126-134
- 139 - REFAI M.K., 1981 - Manuel sur le contrôle de la qualité des produits alimentaires.
4 - Analyse microbiologique; FAO
- 140 - RENDINA G., 1971 - Experimental in Modern biochemistry. 277-292
- 141 - RESNIK, S.; CHIRIFE, J., 1979 - Effect of moisture content and temperature on some aspects of non enzymatic browning in dehydrated apple.
J. food Sci. 44(2): 601-605
- 142 - RIGNEY, C.J. AND WILLS, P.A., 1983 - Efficacy of gamma irradiation as a quarantine treatment against queenland fruit fly processings. International conference on radiation

desinfectation of food and agricultural products. Honolulu, Hawaiï, 14-18 Nov

- 143 - RIZZI, P.G., 1974 - Formation of N-alkyl-2 acylpyrrole and aliphatic aldimines in nodel noenzymatic browning reaction. J. Agr. Food Chem. 25 : 135.
- 144 - ROY, B.N.; BISWAS, S., 1981 - Studie on maturity standard of mango (*Mangifera indica* L) var. Bombai. Orissa J. Hort. 9(1): 7-9
- 145 - SADARIVAM, R.; MUTHUSWAMY, S.; SUNDARARAJ, J.S.; VASUDEVAN, V.. 1971 - Note on chilling Injury in Mango (*Mangifera indica* L.) fruit in refrigerated storage. Indian J. Agr. Sci. 41(8): 715
- 146 - SAGUY, I.; MIZRAHI, S.; VILLOTA, R. KAREL, M., 1978 - Accelerated method for determining the kinetic model of ascorbic acid loss during dehydration. J. Food Sci. 43(6) : 1861-1864.
- 147 - SAGUY, I.; KOPELMAN, I.J.; MIZRAHI, S.; 1978 - Simulation of ascorbic acid stability during heat processing and concentration of grape fruit juice. J. Food Process. Eng. 2 : 213
- 148 - SAGUY, I. GOLDMAN, M.; KAREL, M., 1985 - Prediction of β -carotene decolorization in model system under static and dynamic condition of reduced oxygen environment. J. Food Sci. 50(2): 526-530
- 149 - SAKHO, M.; CROUSET, J.; SECK, S., 1984 - Evolution des constituants volatils de la mangue au cours du chauffage. Lebenw. S. technol. 48(2): 89-93

- 150 - **SALGADO CERVANTES, M.A., 1988** - Etude d'une expérimentation et modelisation de séchage à l'air chaud de la pulpe de betterave et du manioc.
Thèse , Ecole nationale Supérieure des Industries Agricoles et alimentaires Toulouse.
- 151 - **SANCHER-NIEVA, F.; RODRIGUEZ, A.J.; BENERO, J.R., 1959** - Processing and canning mango nectars.
Puerto Rico Agr. Expt. Sta. Bull. 148 : 23
- 152 - **SANDERSON, G.W.; CO, H.; GONZALEZ, J.G., 1971** - Biochemistry of tea fermentation: the role of carotene in black tea aroma formation.
J. Food Sci. 36 : 231 - 236
- 153 - **SCHALLER, D. R., 1969** - The pigment and polyphenolic compounds of Montmorency cherries.
Thèse de Doct. of physiology. Univ. of Wisconsin 70 pages
- 154 - **SCHNICKELS, R.A.; WARMBIER, H.C.; LABUZA T.R., 1976** - Effect of protein substitution on non enzymatic browning in an intermediate moisture food.
J. Agr. Food Chem. n°24: 209.
- 155 - **SINGH, B.; DEAN, G.R.; CANTOR, S.M., 1948** - The role of 5-H.M.F in the discoloration of sugar solutions.
J. Am. chem. Soc. 70 : 517
- 156 - **SINGH, R.K.; LUND, D.B.; BUELOW, F.H., 1983** - Storage stability of Intermediate moisture apples: kinetics of quality change.
J. Food Sci. 48(3): 839-944
- 157 - **SMITH, M.C.; ASHBY, W.T., 1969** - Intermediate moisture foods for manned space flight.

Presented at the 29th annual meeting of the Institute of food technologist, Chicago.

- 158 - SMOOT, J.M.; NAGY, S., 1980 - Effect of storage temperature and duration on total vitamin C concent of canned single strength grape fruit juice.
J. Agr. Food Chem. 28 : 417
- 159 - SNELL, F.D.; SNELL, C., 1956 - Colorimetric methods of analysis T₃.
- 160 - SPADARO, J.J.; WADSWORTH, J.I. ZIEGLER, G.M.; GALLO A.S.; KOLLUN, S.P., 1976 - Instants sweet potatoes flakes; Processing modification necessitated by varietal difference.
Food Technol. 21 : 326
- 161 - SRIVASTAVA H.C., 1967 - Grading, storage and marketing. The mango, a hand book.
Indian concnil of Agricultural Research. 99-149
- 162 - STEVENSON, D.D.; SIMON, R.A., 1981 - Sensitivity to ingested métabisulfites in asthmatic sujetos.
Allergy clin. Immunol. 68 : 97
- 163 - SUBRAMANYAM H.; NARAYNAMURTHY, N.V. LAKSHMI NARAYANA S.; KRISHNAMURTHY , S., 1972 - Studies on harvesting, transport and storage of mango.
Acta Horticultural, Intern. Soc. for Hort. n°24: 206-264
- 164 - SUBRAMANYAM, H.; KRISHNAMURTHY , S.; PARPIA H.A.B., 1975 - Physiology and biochemistry of mango fruit.
Adv. Fd. Res. 21: 223-305
- 165 - TATUM, H.J.; SHAW, P.E.; BERRY, R.E., 1969 - Degradation

products from ascorbic acid.

J. Agr. Food chem. 17 : 38

- 166 - TATUM, J.H. NAGY, S.; BERRY, R.E., 1975 - Degradation products formed in canned single Strength orange juice during storage.

J. Food Sci. 40 : 707

- 167 - THOMAS, P.; OKE, M.S., 1983 - Improvement in quality and storage of alphonso mangoes by cold adaptation.

Biochemistry and Food Technology- Div Bhabha Atomic research center. Bombay, India Scientia Horticulturae. (Netherland) 19(3-4): 257-263

- 168 - THOMAS, P., 1986 - Radiation preservation of food of plant origin III. tropical fruits, bananas, mangoes, and papaya. IN "CRC critical Reviews in food Science and Nutrition; 53(2):147

- 169 - TRAORE S.A; TRAORE, A.; KASSAMBA, B., 1991 - Gestion de la commercialisation et de la transformation des mangues au Burkina Faso.

Univ. de Ouagadougou - Labo. Biotechnol. technol. alim. Projet RAF 87/029; PNUD/CESAG; Dakar-Sénégal 53 pages

- 170 - VALERO, E.; VARON, R.; GARLIA-CARMONA, F., 1988 - Characterization of polyphenol oxydase from Airen grapes.

J. Food Sci. 53(5): 1482-1485

- 171 - VELOZ, C. S.; TORRES, F.E.; LAKSHMINARAYANA, S., 1977 - Effect of refrigerated temperature on the incidence of chilling injury and ripening quality of mango fruit.

Proc. Fla. State Hort. Soc. 90: 202

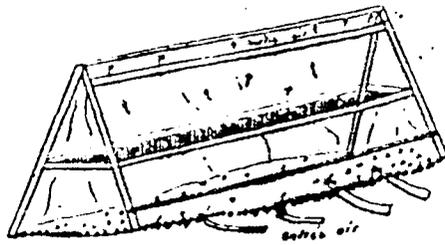
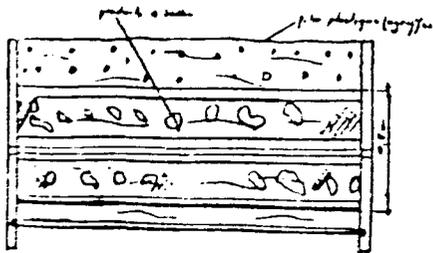
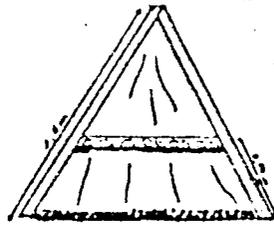
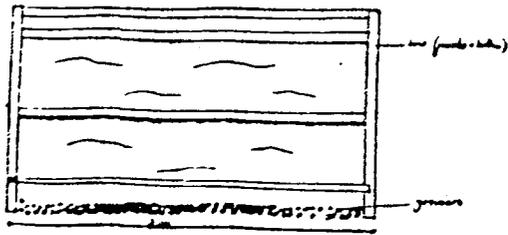
- 172 - WARDLAW, C.W.; LEONARD, E.R., 1936 - The storage of west indian mangoes.

Imp. coll. Trop. Agr. (Trinidad) Low-Temp-Res-Sta. mem-3.

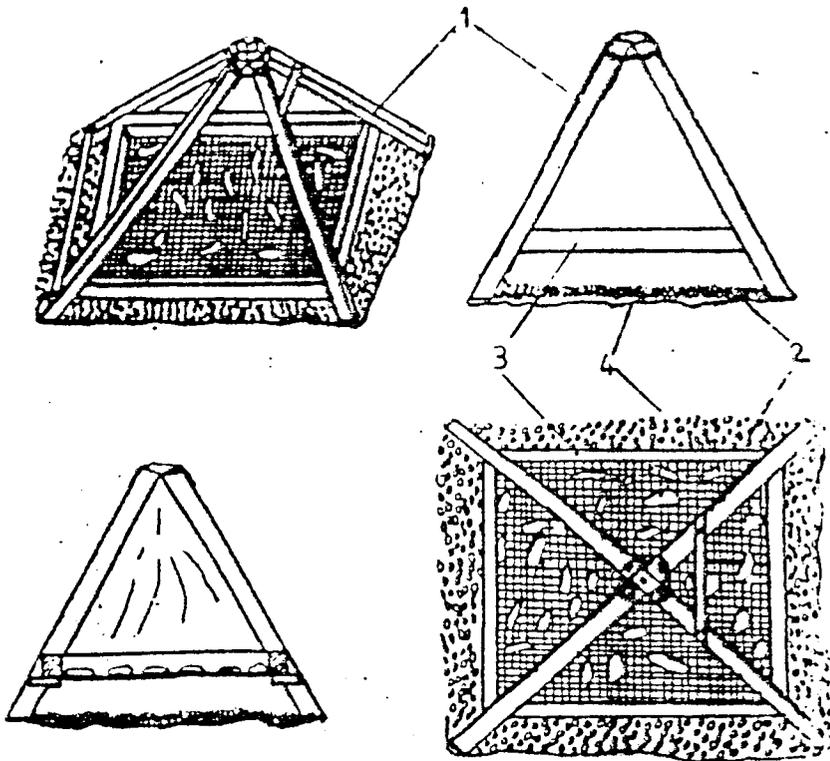
- 173 - WILSON, K.; GOULDING, K.H., 1989 - A Biologist's guide to principles and Techniques of practical biochemistry 3^e ed
20 - 115
- 174 - WOLFROM, M.L.; SCHUETZ, R.D.; CAVALIERI., 1948 - Chemical interactions of amino compounds and sugars. 3- The conversion of D-glucose to 5-H.M.F.
J. Am. chem. Soc. 70 : 514
- 175 - WONG, M.; STANTON, D.W., 1989 - No enzymatic browning in kiwi fruit juice concentrate system during storage.
J. Food Sci. 54(3): 669-673.
- 176 - GARANGO, T.; THIOMBIANO, G.; WEREM, A., 1990 - Etude Comparative de trois séchoirs solaires directs à partir du séchage de la tomate.
Sci. tech. 19 (3) CNRS

ANNEXES

Annexe 1



INSTITUT BURKINABE DE
L'ENERGIE Swissair
Uganda
SECHOIR TENTE



4	Couverture plastique		
3	claire		
2	gravier		
1	bois		
Rechb	Designation	Matiere	obs
I BE	Echelle 1/15	G. Clement	
SECHOIR PYRAMIDE			

Annexe 2

- **Dosage des sucres totaux : Réactif à l'orcinol sulfurique**

1,5 g d'orcinol sont dissouts dans une solution aqueuse d'acide sulfurique à 30 % (V/V).

- **Dosage des sucres réducteurs : Réactif au DNS**

Solution A : 2 g de DNS dans 40 ml d'eau distillée

Solution B : 3,2 g de soude en pastille dans 30 ml d'eau distillée

Après dissolution, on mélange les solutions A et B et on y ajoute 60 g de tartrate sodico-potassique. Le volume est ajusté à 200 ml avec de l'eau distillée après dissolution complète.

- **Recherche de coliformes : Milieu gelose lactosée à 1 % de désoxycholate**

Composition :

Peptone bactériologique	10 g
Chlorure de Sodium	5 g
Phosphate dipotassique	2 g
Citrate de Sodium	1 g
Citrate ferrique	1 g
Lactose	10 g
Desoxycholate de Sodium	1 g
Rouge Neutre	0,03 g
Agar	15 g
H ₂ O distillée	qsp 1000 ml

pH 7,3

Les différents ingrédients sont dissouts dans l'eau distillée préalablement portée à ébullition pendant 10 mn et refroidie à 50°C. On mélange soigneusement et on laisse reposer 5 mn. La solution est ensuite portée à ébullition pendant 1 mn sous agitation, refroidie aux environs de 50°C et utilisée aussitôt.

Ensemencement : Le produit à analyser est incorporé au milieu; pour cela, on dépose de façon stérile 1 ml d'inoculum dans les boîtes de pétri stériles, puis on verse rapidement une quantité suffisante du milieu (15 - 20 ml). Après refroidissement, on

Annexe 3

recouvre d'une mince couche de milieu stérile.

- Recherche de staphylocoques : Milieu de Chapman

Composition :

Peptone	11 g
Extrait de viande	1 g
Chlorure de Sodium	75 g
Mannitol	10 g
Agar	15 g
Rouge de phénol	0,025 g
H ₂ O distillée	qsp 1000 ml

Après dissolution du NaCl dans la solution de peptone et d'extrait de viande chauffée à 80°C, le pH est ajusté à 7,6 - 7,8 (après refroidissement). La solution est chauffée à 100°C pour y dissoudre l'agar puis autoclavée à 115 °C pendant 30 mn. On ajoute la mannitol et le rouge de phénol puis on stérilise à 110°C pendant 30 mn. La répartition du milieu se fait dans des boîtes de pétri stériles.

- Recherche des Clostridies : Milieu de Mc Clung

Composition :

Peptone de protéose	40 g
Glucose	2 g
Chlorure de Sodium	2 g
Sulfate de Magnésium	0,1 g
Hydrogène phosphate dissodique	5 g
Dihydrogénophosphate de Potassium	1 g
Agar	15 g
H ₂ O distillée	qsp 1000 ml

pH 7,6

On prépare dans un litre d'eau distillée une suspension que l'on laisse reposer pendant 15 mn. La suspension est ensuite chauffée jusqu'à dissolution complète puis stériliser à 120 °C pendant 15 mn. Avant l'emploi, on y ajoute en mélangeant 10 % d'une

Annexe 4

émulsion stérile de jaune d'oeuf (diluer stérilement au 1/2 du jaune d'oeuf avec de l'eau distillée stérile). On laisse refroidir à environ 50°C puis le milieu est distribué dans des boîtes de pétri stérile contenant déjà l'inoculum (ensemencement dans la masse). Les boîtes sont incubées à 37 °C pendant 24 à 96 heures.

- **Dénombrement de la Flore totale : Milieu gélose nutritive**

Composition :

Nutrient broth	16 g
NaCl	5 g
Agar	15 g
H ₂ O distillée	qsp 1000 ml

pH 7,6 - 7,8

Le milieu est stérilisé à 120 °C pendant 20 mn.

- **Recherche des levures et moisissures : Milieu de Sabouraud**

Composition :

Extrait de levure	5 g
Bactopeptone	5 g
Glucose	20 g
(NH ₄) ₂ SO ₄	1 g
K ₂ HPO ₄	0,5 g
Agar	20 g
H ₂ O distillée	qsp 1000 ml

pH 5,5

Le milieu est stérilisé à 115°C pendant 15 mn.

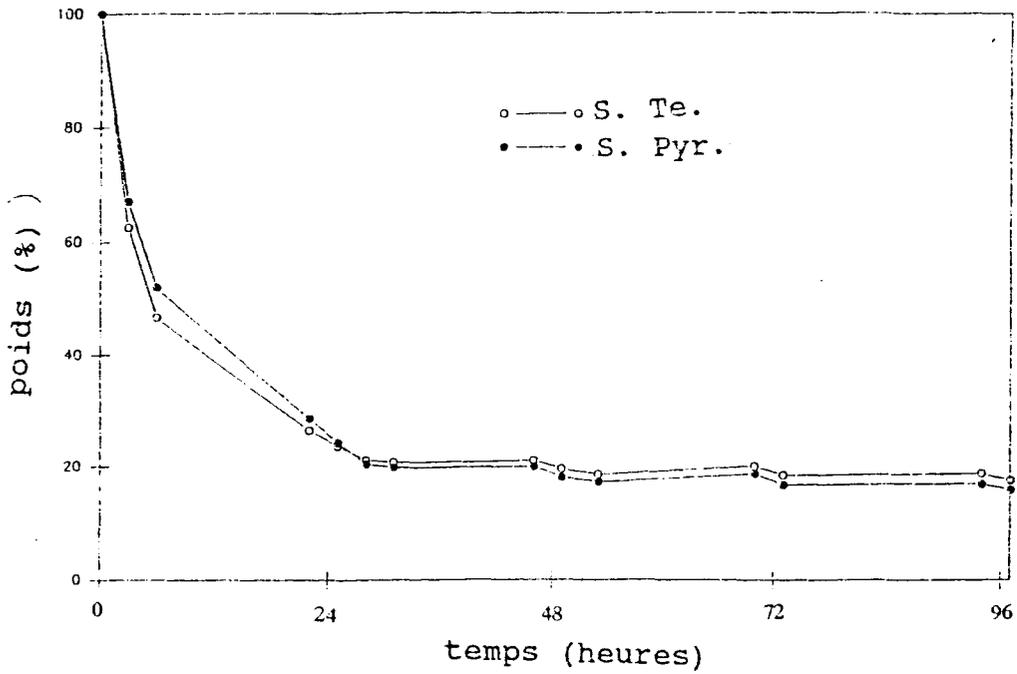


fig 13a: Variation du poids des tranches de mangue en fonction du temps de séchage (Ech. non traité - Expérience zéro (0)).

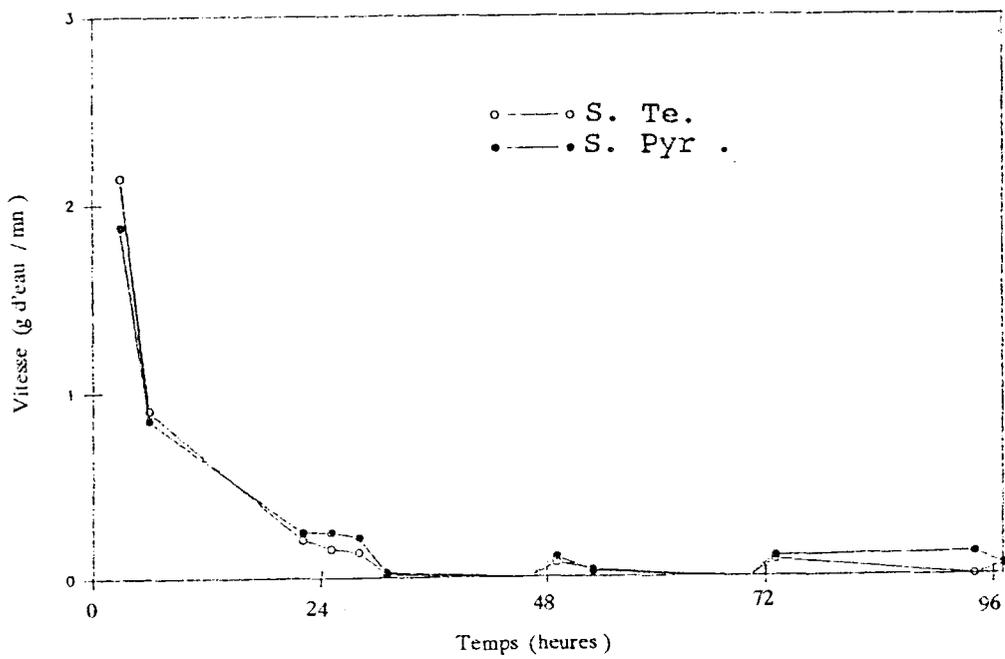


fig 13b: Vitesse de séchage en fonction du temps. (Ech. non traité - Expérience zéro (0)).

Annexe 6

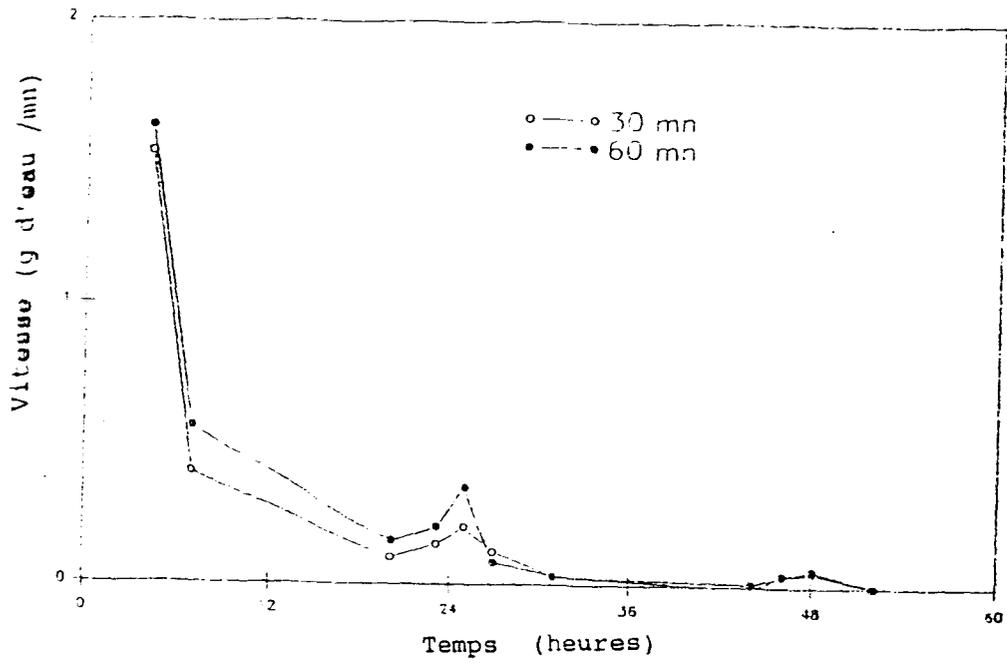


fig 15d: Vitesse de séchage en fonction du temps.
(trait.sucre 10% -S.Te).

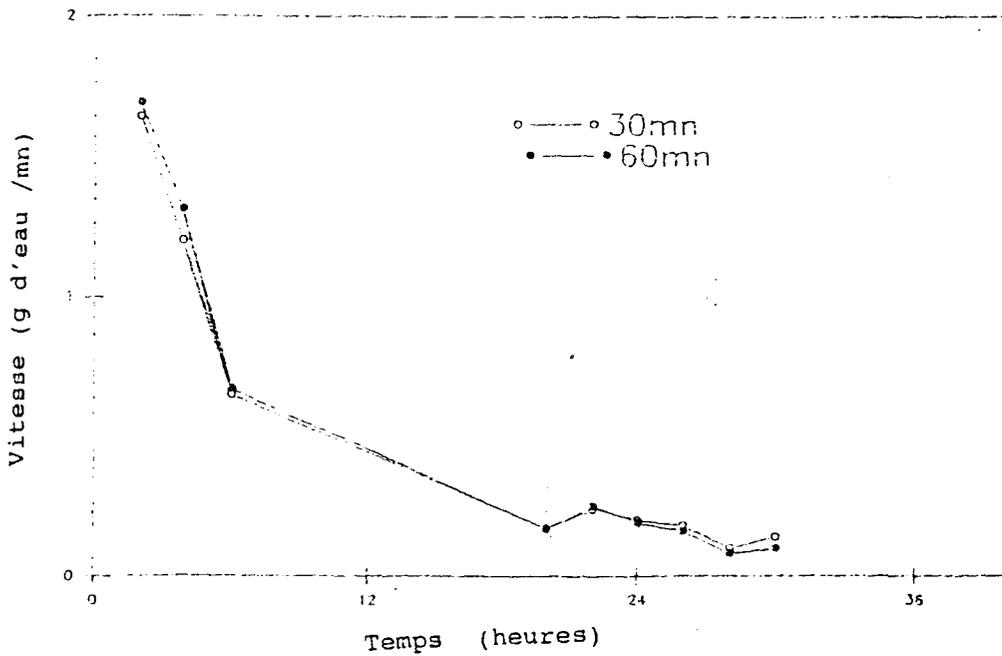


fig 16d: Vitesse de séchage en fonction du temps
(trait.métabisulfite de Na - S.Te.).

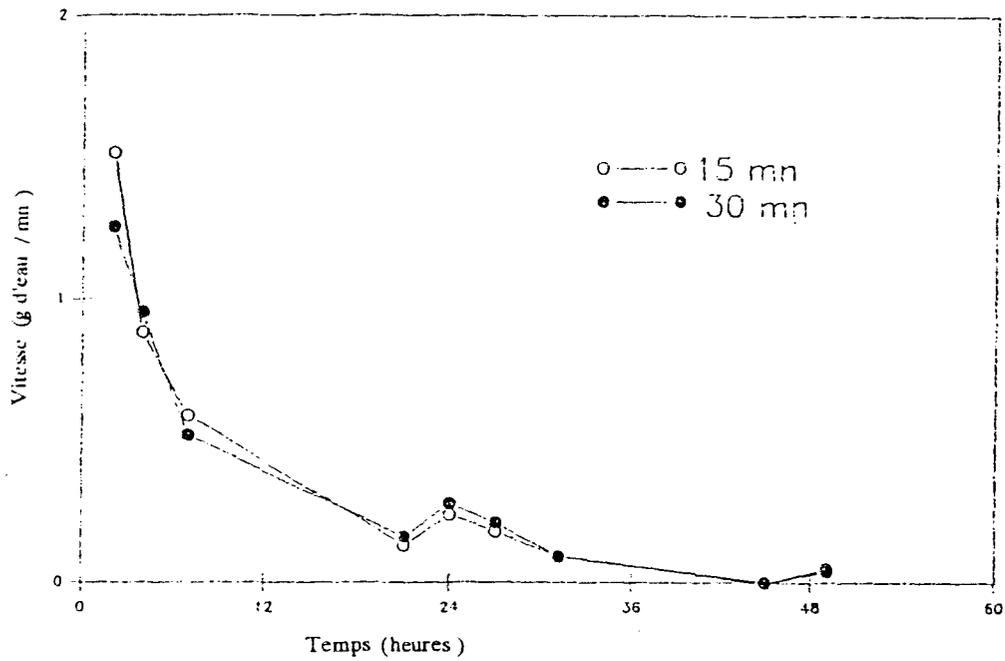


fig 17c: Vitesse de séchage en fonction du temps (trait. acide citrique - S.Te.).

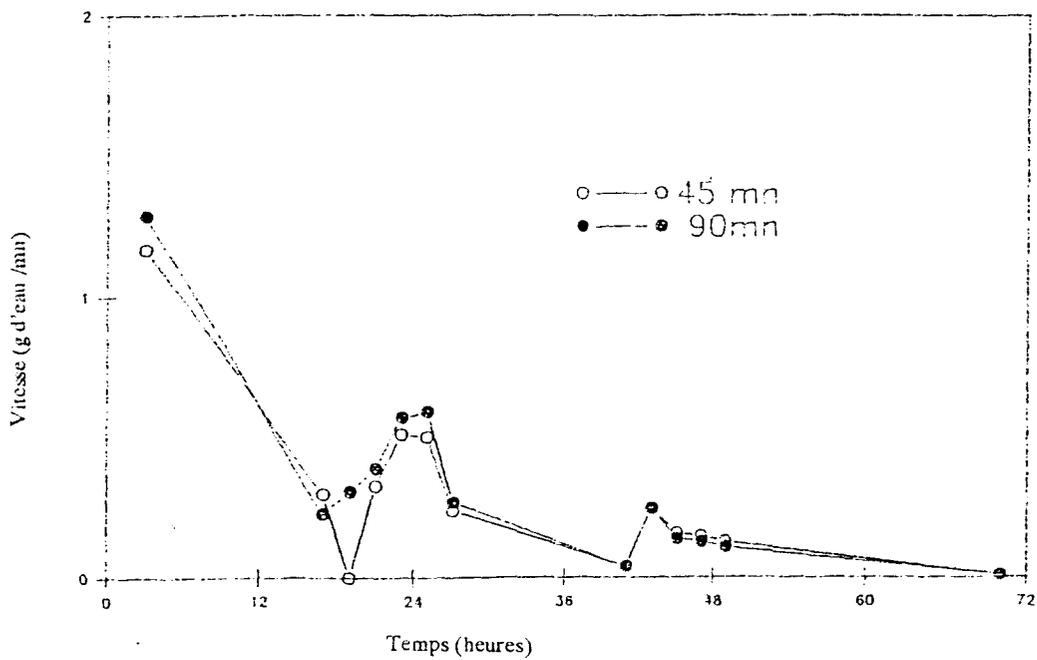


fig 18c: Vitesse de séchage en fonction du temps de séchage (trait. SO2 - S.Te.).

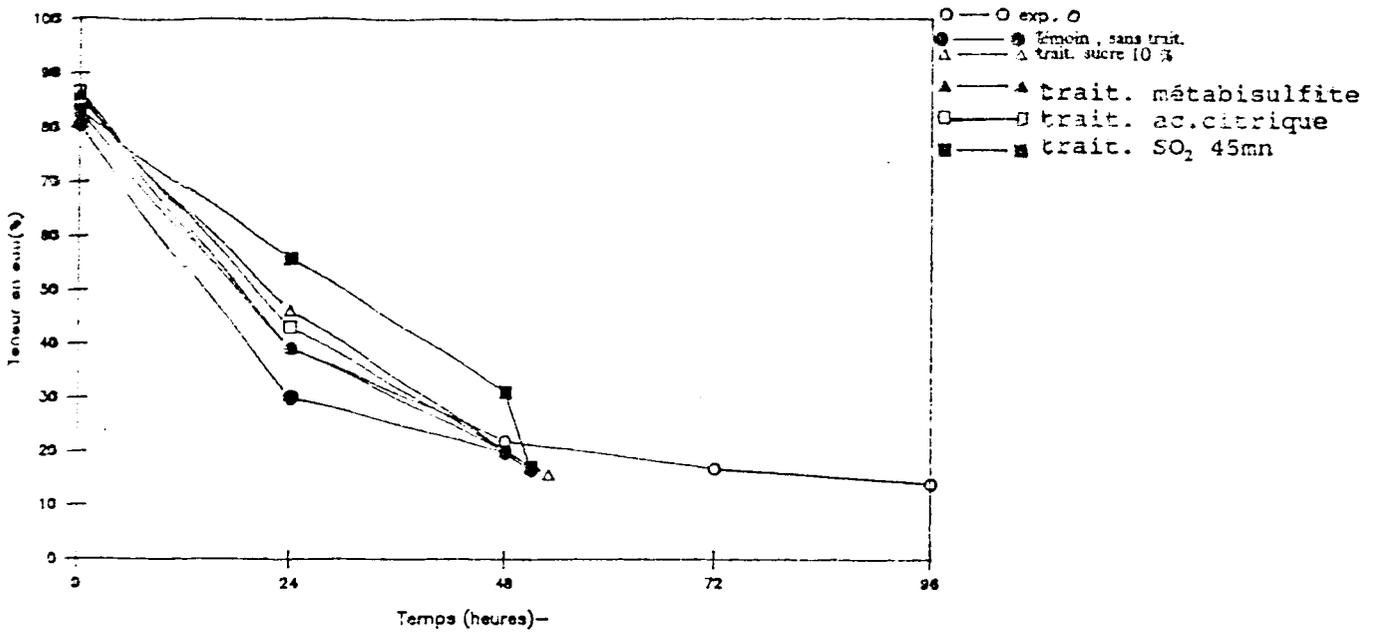


fig 19: Teneur en eau des tranches de mangue en fonction du temps de séchage.

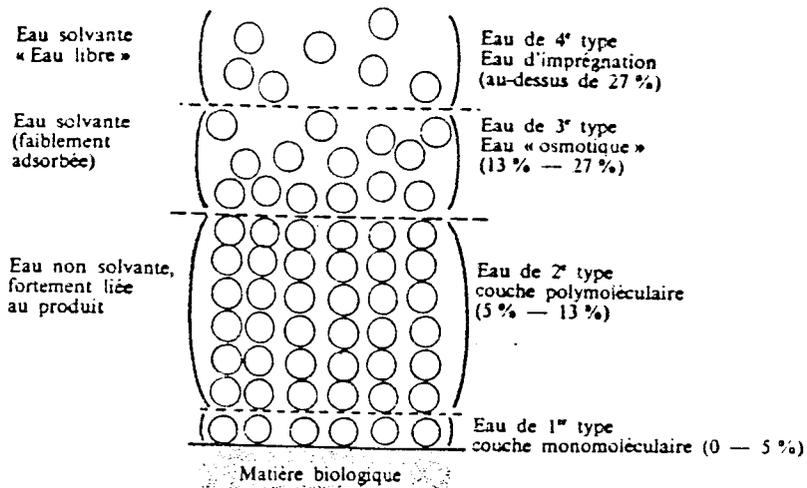


fig 20: Schéma de fixation de l'eau dans la matière biologique (60).

Annexe 9

Tableau II : Quantités de mangues exportées par quelques entreprises (tonnes)

Entreprises	Flex-Faso	UCOBAM	URCABO	FIMEX
Cargagne				
1987	671	254,8		
1988	730	133		
1989	700	177		
1990	600	131,8	67,4	2,5
1991	787	10,7	194,5	12

Tableau III: Quantités de mangues exportées par le Burkina Faso vers la C.E.E

Années	1984	1985	1986	1987	1988
Quantités (tonnes)	1136	1333	1627	1015	732

TABLEAU VI : pH et acidité titrable au cours du développement de la mangue

Temps (semaines après la date d'inspection et de marquage: 21/02/1989)	pH	Acidité titrable (% acide citrique)
2	3,35 ± 0,05	2,15 ± 0,17
4	3,21 ± 0,06	2,55 ± 0,15
5	3,40 ± 0,10	2,03 ± 0,16
6	3,55 ± 0,10	1,85 ± 0,12
7	3,50 ± 0,05	1,97 ± 0,08
8	3,63 ± 0,13	1,72 ± 0,07
9	3,55 ± 0,10	1,86 ± 0,17
10	3,70 ± 0,05	1,43 ± 0,11
11	3,80 ± 0,05	1,32 ± 0,10
12	3,85 ± 0,10	1,17 ± 0,16
13	3,92 ± 0,10	1,07 ± 0,05
14 (Cueillette)	3,90 ± 0,10	1,05 ± 0,05
14,5 (mûrissement)	4,24 ± 0,12	0,64 ± 0,03
15,5	5,16 ± 0,10	0,12 ± 0,07
16	5,53 ± 0,10	0,09 ± 0,05

Tableau IX : Valeur des rapports Sucres totaux/Acidité,
Amidon/Acidité durant le développement de la mangue

Temps (semaines après la date d'inspection et de marquage 21/02/1989)	Sucres totaux/Acidité	Amidon/Acidité
2	2,27	0,22
4	2,13	0,17
5	2,84	0,46
6	3,31	0,60
7	3,41	0,95
8	4,27	1,46
9	4,88	1,58
10	7,09	2,14
11	8,23	2,13
12	9,49	2,08
13	10,92	1,95
14 (cueillette)	12,59	1,70
14,5 (mûrissement)	19,03	0,43
15,5	91,83	1,41
16	101,55	1,33

Tableau XII : Paramètres physiques à l'intérieur des séchoirs pendant les essais de séchage (8 h à 18 h)

N° des expériences (lot d'échantillon correspondants)	Sechoirs	Température °C			Humidité relative %			Vitesse moyenne de l'air (m/s)
		Mini	Maxi	Moyenne	Mini	Maxi	Moyenne	
Exp. 0	Tente	39	56	50,13±7,41	50	74	62,00±6,11	1,8
	Pyramide	42	65	56,47±6,07	46	70	57,08±7,41	
Exp. 1 (lot I)	Tente	40	60	49,90±7,09	55	71	61,45±5,83	1,5
	Pyramide	42	68	55,81±8,66	50	65	57,68±4,82	
Exp. 2 (lot II)	Tente	36	61	48,18±8,41	36	69	51,45±13,11	1,9
	Pyramide	40	69	55,00±9,68	39	71	53,82±10,23	
Exp. 3 (lot III et IV)	Tente	35	58	47,08±8,20	52	72	62,00±7,15	2,0
	Pyramide	39	64	51,54±8,89	51	75	57,63±10,11	
Exp. 4 (lot V et VI)	Tente	39	62	51,15±7,43	40	78	55,81±12,14	1,9
	Pyramide	41	66	54,72±8,22	38	65	48,20±9,39	
Exp. 5 (lot VII et VIII)	Tente	34	57	45,90±8,26	49	78	60,90±9,28	1,7
	Pyramide	37	63	51,58±9,01	47	75	59,04±8,87	

Exp. = Expérience

Annexe 12

Tableau XV : Taux d'humidité des échantillons de mangue séchés au cours du stockage

Durée de stockage (mois)	0	3	6	9	12
Echantillons					
1	15,64	17,02	16,83	16,94	15,55
2	13,95	14,49	15,10	14,61	15,27
3	17,53	16,63	18,11	18,03	16,14
4	16,22	18,65	17,69	17,45	15,88
5	20,08	19,65	18,14	18,71	17,59
6	19,15	18,77	20,05	18,49	17,12
7	18,03	18,20	19,10	16,83	16,85
8	17,36	15,27	16,05	16,13	16,83
9	19,81	20,06	18,43	18,65	17,63
10	19,26	18,57	17,93	17,05	16,78
11	20,04	19,20	20,17	19,86	19,05
12	18,74	20,09	20,18	17,11	18,25
13	20,13	20,21	19,42	20,08	19,36
14	19,93	20,00	20,15	19,43	19,67

Tableau XVI: Taux d'acidité (en équivalent acide citrique) des échantillons de mangue séchés durant le stockage (% M.S)

Durée de stockage (mois)	0	3	6	9	12
Echantillons					
1	3,63	3,39	2,96	3,45	3,71
2	3,61	3,42	3,94	3,68	3,78
3	3,67	3,45	3,54	4,05	3,47
4	3,44	3,30	3,85	3,70	3,92
5	3,39	2,95	3,16	3,05	3,03
6	3,27	3,52	3,41	3,18	3,31
7	2,29	2,41	2,57	2,32	2,53
8	2,16	1,97	2,51	2,62	2,58
9	4,26	4,46	4,53	4,48	4,12
10	4,71	4,76	4,73	4,66	4,83
11	3,87	3,52	3,82	3,71	3,93
12	4,02	3,92	4,04	3,47	4,11
13	3,54	3,45	3,78	3,75	3,64
14	3,90	3,80	3,84	3,91	3,90

Annexe 13

TABLEAU XVII : Teneurs en caroténoïdes totaux, carotènes et xanthophylles des échantillons de mangues (µg/g M.S)

N° des lots		Variété Amélie (nos résultats)								Autres fruits et légumes
		1	2	3	4	5	6	7	8	
CAROTE - NOÏDES TOTAUX	Frais	168±5	166±10	128±4	128±4	171±8	171±8	155±11	155±11	Goyave : 44 Papaye : 24 Carotte : 73-111 (62b)
	Séchés	90±6	83±7	110±3	116±10	96±8	90±7	105±6	109±13	
	6 mois	60±4	54±8	72±6	79±4	59±8	57±9	84±3	91±7	
	12 mois	46±5	43±9	68±7	63±10	50±6	46±6	61±5	70±8	
CAROTE - NES	Frais	111±9	103±7	115±8	115±8	120±5	120±5	103±7	105±7	var.brés. 922-2970(52) var.ind. 3,5-420(95)
	Séchés	64±9	67±10	75±5	77±6	77±10	75±12	79±11	82±8	
	6 mois	45±7	45±7	47±10	52±9	46±5	46±8	54±12	63±8	
	12 mois	30±10	36±9	35±10	39±6	38±9	37±8	47±2	58±6	
XANTHO - PHYLL S	Frais	49±8	46±11	55±14	55±14	41±7	41±7	39±8	39±8	Var. mango du Sénégal: 26 (149)
	Séchés	20±10	21±13	26±3	27±7	18±9	15±5	21±3	23±9	
	6 mois	13±7	14±2	16±8	16±4	11±6	9±2	16±4	17±3	
	12 mois	10±3	11±1	14±2	14±6	9±4	8±1	12±2	14±3	

N.B: var. = variété
brés. = brésilienne
ind. = indienne

Tableau XVIII : Pourcentage de carotènes et de xanthophylles par rapport aux caroténoïdes totaux de la mangue Amélie fraîche

Série d'échantillons	1	2	3	4	5	Pourcentage moyen
Carotènes	66,18	61,98	61,56	70,10	68,00	65,56±3,33
Xanthophylles	29,05	28,00	29,63	24,17	25,55	27,29±2,10

TABLEAU XX: Résultat du contrôle microbiologique des conserves de mangue apparemment saines (10^3 germes/g de produit)

lots d'échantillons	durée de stockage (mois)														
	0			6			12			18			21		
	F.T	L.	M.	F.T	L.	M.	F.T	L.	M.	F.T	L.	M.	F.T	L.	M.
1	0,045	0,000	0,025	0,000	0,045	0,020	0,160	0,070	0,035	1,650	1,100	0,300	1,350	0,900	0,110
2	0,000	0,030	0,015	0,100	0,050	0,040	0,066	0,014	0,420	0,750	0,900	0,225	0,635	0,450	0,220
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025	0,030	0,012	0,450	0,300	0,000	1,250	0,960	0,330
4	0,000	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,045	0,030	0,010	0,666	0,533	0,100	0,740	0,580	0,240
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	0,010	0,000	0,000	0,050	0,020	0,000	0,266	0,100	0,100
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,010	0,000	0,033	0,030	0,010	0,330	0,260	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,070	0,040	0,015	0,035	0,035	0,010	1,750	0,933	0,200	4,350	0,900	0,000
8	0,060	0,045	0,000	0,055	0,020	0,040	0,055	0,035	0,020	0,102	0,055	0,033	1,750	1,130	0,350
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,100	0,100	0,000	0,400	0,255	0,266
10	0,025	0,020	0,010	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,086	0,071	0,023	0,800	0,330	0,450
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,020	0,010
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040	0,035	0,000	0,280	0,210	0,000
13	0,000	0,000	0,000	0,105	0,070	0,020	0,013	0,010	0,000	0,850	0,630	0,225	2,680	1,566	0,730
14	0,085	0,020	0,050	0,040	0,020	0,000	0,013	0,010	0,000	1,350	0,800	0,300	3,750	1,900	0,700
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,033	0,016	0,200	0,185	0,000	1,200	0,730	0,450
16	0,000	0,000	0,000	0,020	0,025	0,010	0,000	0,000	0,000	0,465	0,210	0,180	0,350	0,230	0,133
17	0,010	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,035	0,020	0,000	0,100	0,044	0,053	0,130	0,070	0,045
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,035	0,030	0,000	0,085	0,060	0,020

TABLEAU XXI: Résultats du contrôle bactériologique des boîtes avariées

durée du stockage (mois)	N° des échantillons	Provenance des échantillons	F.T. X 10 ¹ germes/g	L.	M.
				X 10 ¹ germes/g	
9	1	lot 1: éch témoin past 20 mn	7,2	5,7	1,3
12	2	lot 2: éch témoin past 30 mn	7,8	6,3	0,9
	3	lot 2: éch témoin past 30 mn	11,2	9,7	2
	4	lot 3: éch traité Acide citrique past 20 mn	3,4	3,1	0,6
	5	lot 6: éch traité au métabisulfite past 30 mn	0,8	0,7	0
	6	lot 1	15,9	11,3	3,5
18	7	lot 1	27	24,7	1,3
	8	lot 1	5,8	4,6	1,9
	9	lot 2	36,7	28,6	9
	10	lot 3	17,1	16,7	1,1
	11	lot 4: éch traité acide citrique past 30 mn	2,3	1,8	0,2
	12	lot 5: éch traité métabisulfite de Na 20 mn	0,9	0,7	0,1
21	13	lot 1	111,8	98,3	11,2
	14	lot 1	18	14,7	2,3
	15	lot 2	47,6	39,3	7,2
	16	lot 2	52,4	40,7	10,6
	17	lot 3	23,7	17,9	5,6
	18	lot 4	3,1	3	0,3
	19	lot 4	87	74,1	12,6
	20	lot 5	0,05	0,045	0
	21	lot 5	0,02	0,018	0

Annexe 16

TABLEAU XXIII: Taux de matière sèche soluble (Brix) du sirop des
conserves de mangue au cours du stockage (% p/p
de saccharose)

N° lots d'éch	Durée de stockage (mois)						
	0	3	6	9	12	18	21
1	25,0	26,5	27,0	28,5	27,0	25,0	27,0
2	27,0	27,0	26,0	27,5	29,5	27,0	27,0
3	27,0	28,5	28,5	28,5	27,5	27,0	27,5
4	26,0	27,0	27,0	27,5	28,0	28,0	28,0
5	26,5	26,5	27,5	27,5	27,0	28,5	28,5
6	28,0	28,0	29,5	29,5	29,0	28,0	27,5
7	31,5	31,0	31,0	30,5	31,0	31,0	31,5
8	32,0	32,5	32,0	31,5	32,5	30,0	30,5
9	30,5	31,0	30,5	30,0	30,0	29,5	29,5
10	30,0	29,0	31,0	29,5	29,5	29,5	30,0
11	28,5	28,0	30,0	30,0	27,0	30,0	30,0
12	28,5	28,0	30,0	30,0	27,0	30,0	30,0
13	26,0	26,5	28,0	27,5	28,5	27,5	27,5
14	29,5	30,0	29,5	28,0	30,0	27,5	28,0
15	26,5	29,5	30,0	30,0	25,5	28,0	27,5
16	29,0	25,5	30,0	29,5	31,5	29,5	29,5
17	26,5	28,0	25,5	26,5	27,5	27,0	28,0
18	26,5	27,5	27,5	27,0	28,5	27,0	27,0

TABLEAU XXIV : Evolution du pH et de l'acidité titrable (A.T.)
 (% acide citrique) du sirop des conserves de mangue
 pendant le stockage

N° des lots	Temps de stockage (mois)													
	0		3		6		9		12		18		21	
	pH	A.T	pH	A.T	pH	A.T	pH	A.T	pH	A.T	pH	A.T	pH	A.T
1	3,40	0,915	3,50	0,875	3,60	0,801	3,85	0,707	3,80	0,717	3,85	0,708	3,75	0,711
2	3,40	0,905	3,60	0,788	3,70	0,742	3,75	0,717	0,80	0,720	3,80	0,719	3,75	0,704
3	3,50	0,874	3,55	0,792	3,55	0,789	3,70	0,736	3,60	0,805	3,60	0,798	3,60	0,801
4	3,45	0,909	3,45	0,911	3,55	0,785	3,70	0,741	3,65	0,768	3,60	0,795	3,60	0,793
5	3,50	0,871	3,60	0,807	3,80	0,723	3,85	0,707	3,80	0,718	3,80	0,716	3,85	0,707
6	3,45	0,912	3,50	0,871	3,65	0,774	3,85	0,707	3,90	0,696	3,80	0,721	3,80	0,724
7	3,90	0,408	4,00	0,393	4,00	0,388	4,10	0,313	4,00	0,383	4,10	0,308	4,10	0,312
8	4,00	0,385	4,05	0,378	4,00	0,387	4,10	0,319	4,15	0,304	4,10	0,314	4,10	0,309
9	4,00	0,400	4,00	0,389	4,05	0,375	4,15	0,300	4,15	0,303	4,10	0,310	4,10	0,313
10	4,00	0,383	4,10	0,315	4,20	0,270	4,20	0,258	4,20	0,268	4,10	0,312	4,10	0,313
11	4,00	0,383	4,10	0,315	4,20	0,280	4,20	0,261	4,20	0,285	4,10	0,313	4,10	0,317
12	4,00	0,380	4,10	0,313	4,15	0,301	4,20	0,278	4,20	0,282	4,15	0,300	4,15	0,305
13	3,70	0,740	3,70	0,729	3,65	0,795	3,80	0,715	3,95	0,671	3,85	0,708	3,80	0,723
14	3,60	0,801	3,70	0,760	3,70	0,789	3,80	0,722	3,90	0,689	3,80	0,720	3,75	0,711
15	3,60	0,819	3,60	0,803	3,60	0,807	3,80	0,727	3,90	0,694	3,85	0,705	3,80	0,718
16	3,60	0,800	3,70	0,732	3,70	0,725	3,85	0,703	3,80	0,722	3,75	0,715	3,75	0,713
17	3,55	0,795	3,75	0,716	3,65	0,765	3,95	0,674	3,90	0,690	3,90	0,688	3,70	0,728
18	3,60	0,806	3,70	0,745	3,70	0,728	3,90	0,694	3,85	0,701	3,90	0,692	3,75	0,712

TABLEAU XXV: Teneurs en glucides totaux du sirop des conserves de mangue durant le stockage (%)

N°des lots	Durée de stockage (mois)						
	0	3	6	9	12	18	21
1	24,19	23,35	23,98	23,15	22,88	24,05	23,65
2	24,70	26,41	26,03	23,43	24,37	25,09	26,37
3	25,43	24,72	25,44	25,29	26,71	24,84	25,56
4	22,94	23,27	26,61	27,15	27,41	25,14	26,73
5	25,31	26,96	25,56	24,46	26,15	25,70	26,11
6	24,94	27,56	28,94	26,13	25,46	26,83	27,12
7	30,91	28,93	30,89	29,14	27,43	28,97	30,06
8	26,21	26,69	28,95	30,44	26,93	29,13	30,18
9	31,17	28,57	27,88	29,16	25,59	28,41	29,09
10	26,56	25,21	30,09	27,91	29,32	25,96	28,17
11	26,96	26,67	29,76	25,64	27,53	25,51	25,87
12	31,15	28,38	28,45	25,61	25,94	27,14	26,62
13	24,42	25,68	24,89	23,79	24,96	25,91	25,64
14	25,81	27,50	28,68	24,52	26,21	24,89	26,08
15	25,45	27,43	24,50	25,69	26,36	25,21	27,14
16	29,11	29,27	26,31	26,30	26,41	26,67	28,51
17	25,07	28,84	28,72	25,39	28,61	26,17	27,22
18	26,80	24,15	28,11	24,02	28,21	27,14	5,12

RESUME

La production des mangues est importante au Burkina Faso, mais celle-ci se trouve confrontée à des problèmes de conservation, entraînant d'énormes pertes post-récoltes. Ce travail s'inscrit dans le cadre de la technologie de la mangue ; il est entrepris dans l'objectif d'une connaissance de la mangue Amélie, variété largement répandue et commercialisée dans ce pays, et des possibilités d'adaptation de cette variété à deux procédés de conservation.

La détermination quantitative des caractéristiques physico-chimiques et biochimiques de ce fruit au cours de son développement sur l'arbre ont indiqué une évolution significative des rapports sucres totaux/acidité, amidon/acidité, pouvant permettre d'apprécier le degré de maturité et par conséquent, la période favorable à la récolte. On note également une intensification de l'activité des amylases et des déshydrogénases à la maturité complète.

L'évaluation de la valeur nutritionnelle a révélé que la mangue Amélie mûre est riche en vitamine C, en β carotène (pro-vitamine A), en éléments minéraux (K, Cl, P, Mg, Na, Ca) et en glucides.

Le séchage solaire et l'appertisation ont été pratiqués avec et sans adjonction d'agents chimiques de conservation ; l'influence de ces traitements et des conditions de stockage (12 mois pour le produit séché et 21 mois pour le produit appertisé) a été étudiée :

- le séchage solaire induit des réactions de brunissement non enzymatique, dégrade la vitamine C et les caroténoïdes ; ces détériorations se poursuivent pendant le stockage du produit séché.

- les conserves de mangues au sirop (produit appertisé) ont une bonne qualité microbiologique toutefois, les pertes en vitamine C sont élevées. Le conditionnement en boîtes métalliques induit des phénomènes de corrosion dont l'ultime étape est la perforation ou le bombage de l'emballage. Au cours du stockage, la vitamine C se dégrade, le sirop brunit, le taux de sucres réducteurs augmente suite à l'hydrolyse du saccharose du sirop. La variété de mangue Lippens, associée à la mise en conserve, s'adapte mieux que la variété Amélie.

- les sulfites utilisés sous forme de sels et de gaz, préservent les qualités nutritionnelle (vitamine C, carotènes), microbiologique et organoleptique des produits transformés ; ils donnent cependant à ces derniers un arrière goût et ont un pouvoir corrosif.

Mots clés : Mangue Amélie, degré de maturité, vitamine C, caroténoïdes, glucides, acidité, valeur énergétique, éléments minéraux, séchage solaire, appertisation, agents chimiques de conservation, brunissement, corrosion, qualité microbiologique.