

# UNIVERSITE DE SARH

**INSTITUT UNIVERSITAIRE DES SCIENCES AGRONOMIQUES ET  
DE L'ENVIRONNEMENT (UDS/IUSAE)**



## ***COURS DE CONSERVATION ET TRANSFORMATION DES PRODUITS***

Chargé de cours : TAMIAL NGARIBAN

# CONSERVATION ET TRANSFORMATION DES PRODUITS

## Introduction

- I. Caractéristiques des fruits et légumes
- II. Processus de maturation des fruits et légumes
- III. Récolte-Conditionnement et Conservation des fruits et légumes
- IV. Méthodes de transformation des fruits et légumes

## Bibliographie :

- Postharvest : Interaction to physiologic and handling of fruits and vegetables
- Uses of tropical grain legums
- Activité enzymatique et technologie des denrées alimentaires

## Introduction

Devant la difficulté de produire en tout temps et en tout lieu des quantités importantes des fruits et légumes, il est indispensable de développer des méthodes permettant de les conserver à l'état ou de les transformer.

La conservation des fruits et légumes requiert des moyens physiques, chimiques et biologiques permettant de diminuer ou d'empêcher leur évolution pendant la conservation vers l'altération précoce. Ces moyens permettent de prolonger la durée d'utilisation des produits qui auront ainsi une durée de vie commerciale plus longue.

Les moyens mis en œuvre permettront par conséquent la distribution des denrées alimentaires dans des régions ou pays dont les conditions climatiques sont défavorables à la production. Par ailleurs, ces méthodes permettront un stockage des produits pendant les périodes de fortes productions.

Les procédés de conservation et transformation par leurs effets sur la limitation de l'évolution des produits vers leur altération permettent la préservation des qualités organo-leptiques des produits. Les méthodes de conservation et de transformation visent également à empêcher la prolifération des germes endogènes ou exogènes pouvant nuire à la santé humaine.

Trois procédés de conservation et transformation peuvent être distingués :

→ **Les procédés physiques** : basés sur l'utilisation de la chaleur pour le séchage et les conserves, sur l'utilisation du froid pour la réfrigération et la congélation ; sur le conditionnement et l'emballage qui sont des procédés accessoires mis en œuvre avant ou après les autres méthodes de conservation et de transformation. Ils s'opposent à l'action de l'oxygène, de la poussière, de la lumière, d'éventuels contaminants exogènes et à l'action mécanique (protection). Le conditionnement consiste à mettre une denrée sous enveloppe tandis que l'emballage vise à assembler les portions unitaires dans un contenant ;

→ **Les procédés chimiques** : ce sont les traitements antibiotiques, les traitements par les acides, des sels, de sucre, la fumée, l'huile ;

→ **Les procédés biologiques** : c'est le cas de la fermentation.

# I. CARACTERISTIQUES DES FRUITS ET LEGUMES

1. **Définition :** les fruits sont des organes issus de l'évolution des pièces florales après la fécondation. L'ovaire donne naissance au fruit tandis que l'ovule évolue en graine.

On distingue plusieurs types de fruits suivant leur nature :

- **Les fruits secs** : qui sont sans pulpe parmi lesquels on distingue les fruits déhiscents et les fruits indéhiscents ;
- **Les fruits charnus** : dont la chaire est molle. Les graines qu'ils renferment sont libérées par destruction ou putréfaction de la chaire. Parmi ces fruits, on distingue **les baies** (tomate/pépin) et **les drupes** (mangue/noyau).

Les légumes renferment divers organes végétaux présentés sous forme de fruits de graines immatures, des feuilles, des tubercules, des racines ou des fleurs. Au contraire des fruits, la maturité des légumes n'optimise pas nécessairement la qualité organo-leptique du produit.

En effet, les légumes synthétisent de l'amidon et de la lignine avant ou après la récolte au détriment des sucres. Cette synthèse marque le vieillissement des légumes qui perdent leur saveur et se durcissent.

Dans le cas des fruits charnus, la teneur en sucre et l'acidité sont élevés. A maturité, le parfum est prononcé et un équilibre optimal des caractéristiques organo-leptiques est obtenu. Si les légumes sont faiblement acides, faiblement sucrés et riches en amidon, ils sont caractérisés par une forte teneur en eau tout comme les fruits. Cette forte composition en eau explique leur très grande périssabilité.

## 2. Les valeurs nutritionnelles des fruits et légumes

Elles sont fonction de leur composition et de la quantité consommée. Les fruits et légumes ne représentent qu'une faible portion de la ration alimentaire. Comparativement aux produits animaux, la proportion d'éléments nutritifs apportés par les fruits et légumes est quantitativement faible. Cependant, ils jouent un rôle important dans l'alimentation humaine. Ils interviennent dans le métabolisme grâce à leur richesse en vitamines (provitamine A, vitamine B, C, D), en sels minéraux tels que le sodium Na, le Phosphore P, le Potassium K, le fer F, le calcium Ca, etc. ; en acides organiques et en huiles essentielles. Les fruits et légumes apportent une partie de l'énergie calorifique de la ration alimentaire grâce à leur sucre et à leur amidon.

### Valeurs nutritives de quelques fruits et légumes (pour 100 g de produit)

L/F	Protides (g)	Lipides (g)	Glucides (g)	Ca (mg)	P (mg)	Fe (mg)	Na (mg)	K (mg)	M(mg)	Carotène (mg)	B1 (mg)	B2 (mg)	B6 (mg)	C (mg)
Laitue	2	-	1	30	40	0,4	15	300	-	0,45	0,05	0,08	0,07	10
Pomme de terre	2	-	19	10	60	0,5	100	600	-	-	0,1	0,04	0,35	15
Oignon	1	0,5	10	30	40	0,5	10	200	-	-	0,03	0,02	0,12	10
Chou	3	0,5	4	50	30	0,5	10	300	-	-	0,04	0,04	0,10	60
Haricot vert	2	0,5	5	40	50	0,6	0,5	250	-	0,2	0,07	0,09	0,07	10
Tomate	1	0	3	10	20	0,2	10	300	-	0,65	0,05	0,02	0,08	15
Mangue mure	0,6	0,1	11,8	0,01	0,02	0,3	-	-	-	0,48	0,04	0,05	-	-
Citron	1,2	0,3	10,7	61	15	0,7	3	145	-	0,30	0,05	0,04	-	77
<b>Feuilles sèches de Baobab</b>	<b>25,4</b>	<b>2,4</b>	<b>38,8</b>	<b>27,5</b>	-	<b>19</b>	-	-	-	-	-	-	-	<b>70</b>

### Teneurs en éléments nutritifs

Éléments nutritifs	Fruits frais	Légumes frais	Pomme de terre
Eau	80-95%	90% et <90% pr feuilles	~80%
Glucides : sucres simples	<10% : agrumes 10-15% : drupes et certaines baies	1-6% : organes aériens 10% : bulbes	19% essentiellement de l'amidon
Fibres alimentaires	1-4%	3-6%	~1%
Lipides	Nuls sauf avocats et olives	Presque nuls	Idem
Protéines	Presque nuls	0,5-2%	2%
Sels minéraux	K +important, Ca (agrumes), Mg (banane)	K>P>Ca>Na>Fe Ca + important dans chou	P, K + importants, Ca, Na et Fe faibles
Vitamines	Riches en vit. Liposolubles, bcp vit. B, C dans fruits acides ; carotène dans fruits colorés	Riches en vit. Liposolubles ; bcp de vit C dans chou ; carotène dans carotte	Bonne teneur en vit C au moment de la récolte mais forte en conservation
Autres constituants	Acides nitriques, maliques, tanins et arômes	Acide nitrique, malique et arômes	-
Valeurs énergétiques	En fonction de la teneur en glucides : 100g de produit ~ 50 Kcal	100g produit~10-50 Kcal	100g de produit~84 Kcal

### 3. Les propriétés physiques et chimiques des fruits et légumes

→ **La couleur** : des fruits et légumes est le fait de pigments localisés dans les vacuoles et dans les cellules épidermiques. Parmi ces pigments, on peut citer :

- *Les chlorophylles* qui sont des pigments verts liposolubles. Elles sont sensibles à la chaleur, aux acides et aux bases ;
  - *Les pigments endocyaniques* qui apparaissent chez les fruits et légumes murissant après la dégradation de la chlorophylle. Ils sont bleu, rouge ou violet et sont liposolubles, peu stables et résistent mal aux divers traitements technologiques ;
  - *Les pigments caroténoïdes* : ce sont des pigments jaunes, oranges, rouges liposolubles résistants à la chaleur mais sensibles à l'oxydation.
- **La saveur** : des fruits et légumes est fonction du rapport teneur en sucre/teneur en acide. Son évolution au cours de la maturation des produits est due pour une grande part aux transformations des glucides.
- **Les arômes** : des fruits et légumes dépendent de la présence des produits organiques volatiles tels que les alcools, les aldéhydes, les esthers, les cétones, ....
- **La texture** : résulte de la nature des cellules parenchymateuses et de divers éléments structuraux ;
- **La turgescence** : est liée à l'engorgement en eau des fruits et légumes. La teneur en eau détermine la fermeté, la fraîcheur et la succulence.
- **La rigidité** : elle résulte des micro-fibrilles de celluloses, d'hémicelluloses et de xylènes. Au cours de leur vieillissement, les légumes peuvent synthétiser des fibrilles à partir des hydrates de carbone solubles.

## II. PROCESSUS DE MATURATION DES FRUITS ET LEGUMES

### 1. Introduction

La vie des fruits et légumes peut être subdivisée en 3 stades physiologiques : la croissance, la maturité et la senescence. Cependant une distinction claire entre les différents stades est difficile à matérialiser. La croissance correspond à la différenciation cellulaire et l'augmentation de la taille des cellules aboutissant à la taille optimale du produit.

La maturation commence toujours avant la fin de la croissance et implique diverses activités. La croissance et la maturation caractérisent la phase de développement du produit.

La senescence est la période pendant laquelle les processus anaboliques laissent place aux processus cataboliques conduisant au vieillissement et à la mort des tissus.

Le murissement, terme qui s'applique aux fruits seulement, débute à la fin de la maturation et constitue le 1<sup>er</sup> stade de la senescence.

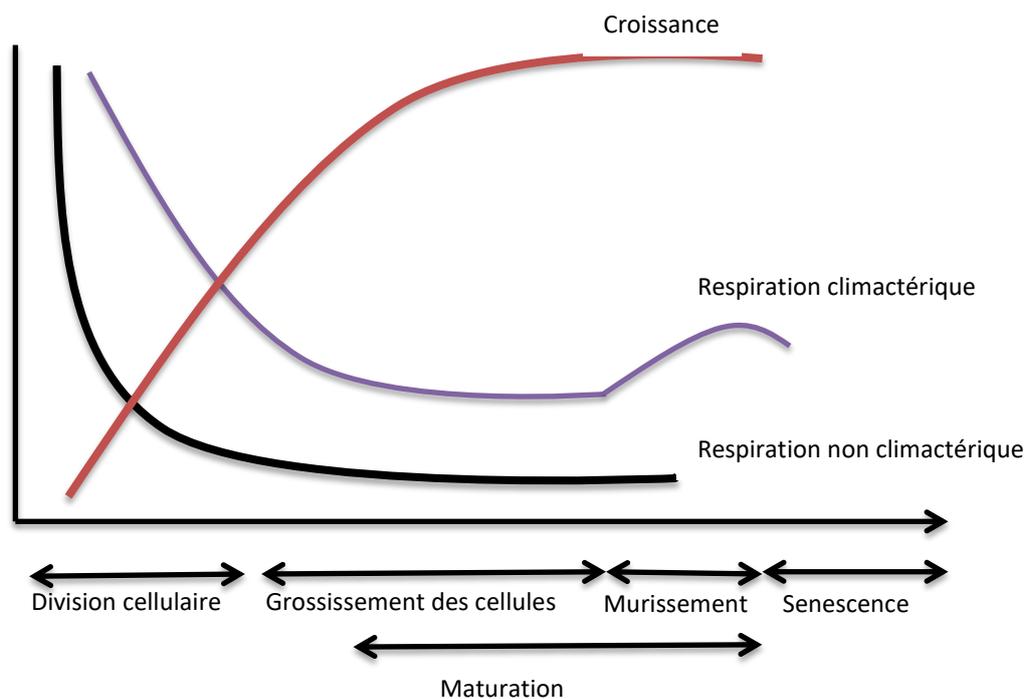


Figure 1: Croissance et Respiration des fruits pendant le développement

La maturation correspond à l'ensemble des phénomènes se succédant à la période de grandes croissances tissulaires. En effet, après la fécondation, le jeune plant subit une multiplication cellulaire importante lui permettant d'évoluer vers sa taille normale. Lorsque cette taille normale est atteinte, le fruit est le siège de modification métabolique visant à transformer le fruit vert inodore et de saveur peu agréable en fruit vivement coloré et parfumé. D'un point de vue pratique, la maturation s'accompagne principalement du métabolisme des pigments, des composés pectiques, des glucides,

des acides aminés et des constituants organiques volatiles. De ces modifications résulte le changement de couleur, de texture, de saveur, de flaveur, etc.

Si le phénomène de dégradation chez les fruits sont importants pendant cette période de la vie des fruits, il faut retenir que l'apparition de certains constituants dans les cellules est très caractéristique de la maturation. Il s'agit de l'éthylène, des pigments, du saccharose, des produits volatiles odorants. La maturation est en outre caractérisée par les oxydations cellulaires intenses. Les phénomènes les plus caractéristiques de la maturation sont la respiration et la fermentation, l'appauvrissement et la formation des composés caractéristiques des fruits mûrs et enfin les processus d'oxydation.

## **2. Respiration-Fermentation**

La respiration est le processus par lequel les cellules acquièrent l'énergie nécessaire pour leur fonction. C'est un processus de dégradation des constituants glucidiques. L'un des phénomènes les plus marquants concernant la maturation de nombreuses espèces végétales est celui de la crise respiratoire de maturation dite ***climactérique***. On distingue de par leur activité respiratoire, ***des fruits climactériques*** et ***des fruits non climactériques***.

Pour les fruits climactériques, l'intensité respiratoire (IR) passe par un minimum à la fin de la croissance du fruit. Pendant le murissement, cette IR augmente plus ou moins lentement pour atteindre un niveau maximal quand le fruit est mûr. Elle amorce ensuite une baisse au cours de la senescence. Beaucoup de fruits peuvent murir convenablement sur la plante ; cependant pour des raisons économiques, les fruits sont cueillis immatures et devront compléter leur maturation au cours du transport ou pendant l'entreposage. Seuls les fruits présentant une crise respiratoire peuvent subir ce traitement. C'est au cours de la crise climactérique qu'intervient la synthèse d'enzymes qui vont catalyser les réactions biochimiques responsables du murissement. Lorsque le fruit a atteint sa croissance optimale, la crise climactérique peut intervenir soit sur le pied ou après la récolte chez les fruits climactériques. Ces derniers sont capables de poursuivre leur processus de maturation après la récolte à condition que leur croissance soit maximale au moment de la récolte.

Une récolte précoce présente le risque d'une mauvaise maturation par contre une récolte tardive pourrait faciliter une évolution rapide des fruits vers le pourrissement. En effet, après que le fruit ait été récolté, il continue d'assurer ses processus vitaux en puisant les constituants et l'énergie nécessaire dans leurs réserves ; ceux-ci n'étant plus assurés par la plante. Si les réserves sont insuffisantes parce que la récolte est précoce ou bien qu'elles sont épuisées, les fruits et légumes vieillissent et ce vieillissement est la conséquence du déséquilibre entre la synthèse de nouveaux constituants et la dégradation de la chlorophylle.

Les principaux processus physiologiques à l'origine du vieillissement sont la respiration et la transpiration. La respiration conduit à une perte de matière ( $\text{glucose} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). en l'absence

d'O<sub>2</sub>, le processus de fermentation se réalise. Les sucres se décomposent en alcool et en CO<sub>2</sub>. L'alcool ainsi produit dégage une odeur désagréable et facilite le vieillissement.

Les fruits non climactériques (agrumes, fraise, cerise, raisin, légumes pour la plupart) ne présentent pas de crise climactérique au cours de leur maturation.

### **III. RECOLTE-CONDITIONNEMENT ET CONSERVATION DES FRUITS ET LEGUMES**

#### **I. Introduction**

La commercialisation des fruits et légumes pose quelque fois un certain nombre de problèmes aux producteurs. Ces problèmes se situent à plusieurs niveaux qui peuvent être :

- Faire face à des surproductions temporaires en stockant une partie des produits pour la remettre sur le marché à une période économiquement plus favorable ;
- Pouvoir étaler la mise en marché des produits tout en assurant une bonne qualité des produits récoltés ;
- Permettre de diversifier les débouchés en touchant les marchés éloignés.

Les techniques de récolte, de conditionnement, de conservation et de transport doivent viser à préserver les qualités physiques (forme, coloration, et l'état sanitaire du produit) et organo-leptiques des produits afin qu'ils puissent répondre aux besoins qualitatifs et quantitatifs des consommateurs et surtout aux attentes des producteurs sur le plan économique.

#### **II. La récolte**

C'est la dernière opération culturale dont dépendront le rendement et la qualité des produits destinés à la conservation, à la transformation ou à la commercialisation en frais. Par conséquent, il convient de s'entourer de maximum de précautions tant pendant la récolte, le conditionnement, le transport que pendant la conservation. Ces précautions visent à minimiser les traumatismes, les déchets et les déclassements des produits destinés à l'exportation par exemple. La réussite de la conservation des produits dépend en grande partie des soins accordés à la récolte et durant la période de récolte.

##### **2.1 Notion de maturité**

Le moment de la récolte est fonction des facteurs intrinsèques aux produits et les exigences du marché. Lorsque le produit est récolté quand il a atteint la plénitude de sa croissance, on dit qu'il a atteint sa maturité physiologique qui est distincte de la maturité commerciale. La maturité physiologique est un stade de développement de l'organe alors que la maturité commerciale correspond à un moment de récolte déterminé par la destination du produit et les exigences du marché.

En d'autres termes, la maturité physiologique fait référence à un stade au cours du développement de l'organe correspondant à une croissance et une maturation maximales. Elle est souvent associée à un murissement du fruit. L'intensité respiratoire, la production d'éthylène et l'appréciation du rapport teneur en sucre/teneur en acide peuvent donner une appréciation du degré de maturité du produit. Quant à la maturité commerciale, elle est fonction de la demande du marché et peut intervenir quel que soit le stade de développement.

Un fruit est mûr lorsqu'il a développé toutes les qualités organo-leptiques désirées. Les stades de maturité commerciale (immaturité, maturité optimale, maturité excessive) et murissement (non-mûr, mûr, trop mûr) sont des appréciations subjectives qui varient en fonction des consommateurs et ne peuvent être clairement définis physiologiquement.

### **2.2 Mesure de la maturité commerciale**

La détermination du moment de la récolte est fonction de l'expérience du producteur et des exigences du marché. Parmi les critères pour déterminer la maturité, on peut citer : la couleur de la peau et de la pulpe, la fermeté de la pulpe, la composition chimique (*teneur en sucre, acide*), la grosseur, les phénomènes respiratoires et le moment du murissement.

### **2.3 Méthodes de récolte**

Le choix du moment de la récolte doit tenir compte des éléments développés ci-dessus et de la période de la journée. Il est mieux d'indiquer de récolter par temps frais et sec. Toute manutention qui aurait pour conséquences, les blessures, chocs ou autres traumatismes est à proscrire. On se gardera d'utiliser des récipients mal aérés, sales et humides.

La récolte manuelle est la meilleure méthode pour préserver les fruits et légumes des dommages liés à la mécanisation. Elle est mieux indiquée pour les fruits et légumes dont la maturité est échelonnée dans le temps.

Dans le cas des fruits, on distingue ceux dont le fruit-mûr reste attaché par le pédoncule à la plante-mère et ceux dont le pédoncule présente un point de rupture naturelle. Ce point de rupture correspond aux assises du tissu liégeux qui arrêtent complètement les apports de sève lorsque le point a atteint sa maturité optimale. Dans ce cas, les fruits mûrs tombent d'eux-mêmes et commencent la phase de déclin qui se caractérise par le brunissement de la chair.

Pour les besoins d'entreposage, les fruits seront cueillis avant leur chute naturelle. Les fruits cueillis avant la fin de la période climactérique peuvent se rider parce que les pertes ne sont pas compensées par les apports de sève. En retardant la période de récolte, on diminue la durée de conservation car plus le fruit est mûr, plus il est fragile. Les fruits peuvent être cueillis manuellement en tordant le pédoncule ou au moyen d'un couteau. Certains fruits situés au-delà de la hauteur d'un homme sont récoltés en utilisant les cueille-fruits qui ressemblent à un filet à papillon.



Le pédoncule est coupé à environ 1 cm du fruit pour éviter toute contamination par des germes pendant la conservation. Pour les fruits dont le pédoncule est charnu (papaye, gombo, banane...), on peut utiliser une échelle pour être à la portée des fruits et les cueillir au moyen d'un couteau ou d'un sécateur.

Après la récolte, les produits sont rassemblés dans les caisses en bois, plastique ou dans des cartons disposés à l'ombre. Ces récipients sont conçus de façon à permettre la respiration des produits. Pendant la récolte, les fruits et légumes sont disposés dans ces différents récipients de manière à éviter les chocs (surtout les fruits et légumes dont la chaire est très légère : tomate, fraise), les talures (*meurtrissure d'un fruit : endommagé par un choc*), les blessures qui entraîneraient des pertes par transpiration et respiration et rendraient difficile la conservation.

### III. Conditionnement et Emballage

#### 3.1 Conditionnement

Les opérations de conditionnement commencent au magasin de stockage ou à l'usine. Elles débutent par le triage. Pendant la récolte, il est opéré un 1<sup>er</sup> tri grossier des fruits visiblement défectueux ; mais ce tri est nécessairement complété par un tri strict visant à garder les fruits sains intacts et de calibre désiré. Dans certains cas, il s'en suit un lavage pour enlever les salissures et les résidus de pesticides. Certains fruits comme les agrumes sont brossés pour enlever les impuretés. Il convient ensuite de bien sécher les produits après le lavage, en les laissant ressuyer, ou en les essuyant ou encore en les passant à l'air sec.

Malgré le tri des produits visiblement malades ou blessés, des germes pathogènes peuvent se développer au cours de la conservation ou pendant le transport. Aussi, des traitements antifongiques par trempage dans l'eau chaude ou dans une solution contenant des fongicides sont réalisés au cours du conditionnement et avant l'emballage. L'enrobage des fruits avec une émulsion cireuse (cirage : *substance végétale grasse imperméabilisant les Fet L*) n'est pas en soi un traitement antifongique mais permet de réduire les échanges gazeux (réduit la transpiration), donc les pertes de poids pendant la conservation. La couche de cire ne doit pas être épaisse au risque d'empêcher la respiration (*cela peut conduire à la fermentation*).

#### 3.2 Traitement des produits

Certains fruits climactériques sont récoltés avant qu'ils ne soient complètement mûrs. Ils sont ensuite mis à mûrir dans des conditions contrôlées de température et d'humidité et quelques fois sous l'action de vapeurs gazeuses. Ce traitement vise à obtenir un mûrissement uniforme des fruits. Par contre les fruits non climactériques subissent très peu ou pas de changement dans leur composition après la récolte et devraient être récoltés sur pied. Si le traitement à l'éthylène permet d'accélérer le mûrissement, les fruits climactériques tels que la banane, l'avocat, etc. ; il favorise également la dégradation de la chlorophylle de la plupart des citrus. Ce procédé est connu sous le nom de **déverdissement**.

### **3.3 Emballage**

Les emballages qu'utilisent les producteurs sont de divers types tant par leur dimension que par le matériau utilisé pour leur fabrication (bois, plastique, carton...). Deux principales fonctions soutiennent la fabrication des emballages :

- Assembler les produits en unités faciles à manipuler et à transporter ;
- Protéger les produits pendant toutes les opérations d'entreposage et de commercialisation.

Pour remplir ces fonctions, les emballages doivent avoir les propriétés suivantes :

- Il doit être suffisamment solide pour protéger les produits pendant la manutention et quel que soit l'intempérie ;
- Le matériel ne doit pas contenir les produits chimiques toxiques pour les produits et l'homme ;
- Il doit présenter des orifices d'aération ;
- Il doit répondre aux normes du marché ;
- Il doit permettre le refroidissement rapide des produits et empêcher leur déshydratation.

Les fruits et légumes varient énormément pour leur sensibilité aux dommages mécaniques qui peuvent être les blessures, les talures, les compressions, les chocs, les vibrations, etc. l'emballage des produits périssables doit répondre aux principes suivants :

- Emballer de telle sorte que les produits ne se frottent pas énormément pendant la manutention et le transport ;
- Remplir l'emballage sans excès et sans tasser ; ce qui pourrait augmenter la compression et les meurtrissures ;
- *Ine fine*, l'emballage doit porter le nom du propriétaire ou de la coopérative, le pays d'origine, la variété, le poids et le calibre.

Pendant le transport et à la réception des produits exportés, ils sont entreposés dans les conditions permettant de préserver leur qualité.

#### **IV. Conservation des produits frais**

La conservation des fruits et légumes répond à trois principes de base :

- Ils sont préservés par le froid ;
- Endommagés par la congélation ;
- Flétrissent lorsqu'ils sont exposés à l'air sec et à la température ambiante.

Sur la base de ces connaissances, des méthodes de conservation sont développées et sont basées pour la plupart sur la maîtrise de la température, de la composition et de l'humidité de l'air environnant les produits. Elles sont de plus en plus sophistiquées et passent de la réfrigération aux atmosphères contrôlées et aux irradiations.

#### **4.1 L'entreposage à température ambiante**

Les produits périssables peuvent être entreposés dans des celliers (endroits frais) et dans des caves qui sont des endroits plus frais où les produits sont également protégés des différentes intempéries. L'entreposage dans des fosses ou bien en tas est encore pratiqué dans nos pays. Les légumes comme la pomme de terre étaient autrefois stockés dans des fosses réalisées sur un terrain bien drainé dont le fond est tapissé de foin ou de paille. Le tas est ensuite recouvert de paille, surmonté d'herbes fines et de terre pour le protéger contre les pluies et le gèle. La ventilation du tas à l'aide d'un tuyau perforé permet de réduire les processus de fermentation et l'intensité de la chaleur due aux phénomènes respiratoires. Le stockage en tas à même le sol a été expérimenté pour la conservation des produits tropicaux comme le manioc pendant plus de mois. Les celliers constituent une forme plus moderne de la conservation des produits. Dans ce cas aussi, la protection contre les eaux de pluie est essentielle. Les celliers peuvent être améliorés par une ventilation contrôlée de l'entrée de l'air froid et de la sortie de l'air chaud par convection. Même si les températures optimales de conservation ne peuvent être obtenues, un bon cellier peut aussi assurer de bonnes conditions de conservation de certains fruits et légumes.

#### **4.2 Entreposage dans une enceinte réfrigérée**

L'atmosphère réfrigérée permet d'augmenter les durées de conservation des produits en ralentissant les phénomènes de maturation et de déclin. Si la température n'est pas basse, le ralentissement de la maturation est insuffisant, les produits transpirent et perdent du poids. Si la température est en dessous de la normale, les produits prennent un coup de froid ; la maturation est alors perturbée et des décolorations et nécroses peuvent apparaître.

##### **4.2.1 Principe de la réfrigération**

La réfrigération suppose une perte de calories, c'est-à-dire un apport de frigories. La frigorie est l'unité de mesure de la quantité de chaleur perdue. Elle est donc une calorie négative et équivaut à 1 Kcal négative.

Les frigories sont engendrées par des fluides frigorigènes, soit directement au contact du produit, soit indirectement par des appareils frigorifiques. Ces frigorigènes solides ou liquides peuvent être de

la glace, de l'azote liquide, de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) ou de la glace carbonée. Ils permettent de refroidir les produits directement au contact ou indirectement en refroidissant une chambre isotherme.

#### *4.2.2 Produits tropicaux et leurs températures de réfrigération*

Les phénomènes de maturation et vieillissement des produits frais sont ralentis par l'entreposage dans des chambres réfrigérées. L'effet de la réfrigération est d'autant plus efficace que la maturation du produit n'est pas avancée. Pour certains fruits fragiles comme les fraises, il est recommandé de les entreposer immédiatement en chambres réfrigérées pour les protéger contre la dessiccation, le vieillissement et les attaques parasitaires.

L'entreposage pendant longtemps aux basses températures peut causer des dégâts sur les produits qui sont essentiellement le brunissement enzymatique. En dehors de la basse température, la forte hygrométrie maintenue au cours de l'entreposage est un facteur favorisant le développement des champignons. Cependant, elle permet d'éviter la dessiccation par conséquent, la perte du poids. Une bonne ventilation des produits entreposés évite l'échauffement favorable aux maladies fongiques et permet d'homogénéiser l'atmosphère, la température et l'humidité autour des produits et même la concentration en éthylène.

Pour préserver les produits des attaques fongiques, les locaux d'entreposage peuvent être traités au moyen d'hypochlorite de sodium (eau de javel). Les fruits malades doivent être enlevés avant l'entreposage et même au cours de la conservation. Des traitements post-récoltes par trempage dans un fongicide peuvent être efficaces. Pendant l'entreposage, les fruits qui n'ont pas atteints la maturité subissent une maturation complémentaire à température élevée de 18-21°C et en présence d'éthylène dans certains cas. Les températures suivantes sont appliquées pour l'entreposage :

Banane : 12-14°C ; Citron : 13-15°C ; Mangue : 10-13°C ; Papaye et orange : 7°C ; Gombo : 15°C ; Tomate-Melon : 7-10°C ; Pomme de terre : 8-10°C ; Haricot vert : 7°C.

#### *4.3 Entreposage en atmosphère contrôlée*

La composition en gaz de l'atmosphère de l'entrepôt peut affecter la durée de conservation des produits. L'atmosphère contrôlée est toujours appliquée en conjonction avec la réfrigération. Elle suppose une addition ou une soustraction des gaz d'une atmosphère donnée. Elle se réfère généralement à une diminution de la concentration en oxygène et une augmentation de celle en CO<sub>2</sub> et implique un contrôle précis de ces gaz pour une longue conservation des produits. Il est bon donc de rappeler qu'en présence d'oxygène, le glucose est oxydé pour donner du CO<sub>2</sub> et de l'eau. Cela signifie que les phénomènes de respiration peuvent être ralentis en limitant l'oxygène ou en augmentant la concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère de l'entrepôt.

#### *4.3.1 Effet de la faible concentration en O<sub>2</sub> sur les produits stockés*

D'une manière générale, la concentration en oxygène doit se situer en dessous de 10% pour ralentir la respiration et par conséquent la réaction d'oxydation du glucose. Cependant, il faut assurer une concentration minimale d'oxygène en deçà de laquelle la fermentation peut être déclenchée. La réduction de la concentration en oxygène en vue de retarder au maximum la respiration est fonction de la température et ne doit en aucun cas dépasser 2%. La diminution de la concentration en oxygène limite la synthèse de l'éthylène.

#### *4.3.2 Effet de la forte concentration en CO<sub>2</sub> sur les produits stockés*

Les fortes concentrations limitent la perte des substances leptiques et préservent par conséquent la fermeté des produits. Elles s'opposent aux effets de l'éthylène. L'activité de plusieurs micro-organismes peut être retardée en atmosphère contrôlée contenant du CO<sub>2</sub> à concentration  $\geq 10$ . Cependant, certains produits ne peuvent tolérer de fortes en CO<sub>2</sub> et manifestent des brunissements profonds ou superficiels, des altérations de la peau, etc. Des phénomènes de fermentation peuvent être déclenchés en atmosphère contrôlée contenant de trop fortes concentration en CO<sub>2</sub>.

#### *4.3.3 Effets conjugués de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> sur les produits stockés*

Le dosage de la teneur en O<sub>2</sub> et en CO<sub>2</sub> dans une atmosphère contrôlée tient compte des éléments suivants :

- Les agents pathogènes sont sensibles aux fortes concentrations en CO<sub>2</sub> et aux faibles concentrations en O<sub>2</sub> ;
- Les risques de fermentation en atmosphère contrôlée très pauvre en O<sub>2</sub> augmentent avec la teneur en CO<sub>2</sub>.

Le mélange de ces deux gaz doit reposer sur une raréfaction de l'O<sub>2</sub> associé à une teneur modérée de CO<sub>2</sub>. Compte tenu du fait que les produits n'ont pas tous les mêmes exigences et que les repousses peuvent variées entre les variétés d'une même espèce végétale, les combinaisons idéales doivent être déterminées expérimentalement pour chaque produit. Par exemple pour la banane, il faut 3% d'O<sub>2</sub>, 5% de CO<sub>2</sub> et 92% d'N à 12°C.

En général, on peut retenir les teneurs de 2-3% pour l'O<sub>2</sub> et de 2-5% pour le CO<sub>2</sub> comme combinaison efficace pour la conservation des produits végétaux. Toutefois, les précautions doivent être prises pour contrôler soigneusement la concentration en O<sub>2</sub> afin d'éviter la fermentation dans ce type d'atmosphère contrôlée.

L'efficacité et la durée de conservation dans les différentes conditions d'entreposage suscitées sont fonction de l'état physique et sanitaire des produits stockés. En effet, les fruits et légumes blessés ou pourrissants produisent de l'éthylène pouvant nuire des micro-organismes et insectes présents sur les produits. Les irradiations sont également appliquées sur les tubercules comme la pomme de terre en vue d'inhiber la germination.

## **IV. METHODES DE TRANSFORMATION DES FRUITS ET LEGUMES**

Des produits séchés au soleil, aux boîtes de conserve, l'homme s'est ingénié à développer des méthodes lui permettant de mettre ses denrées alimentaires dans des conditions particulières en vue de les conserver plus longtemps. Ces méthodes de transformation sont diverses et variées et passent du séchage traditionnel à la mise en boîte des conserves des fruits et légumes.

### **I. Les traitements préliminaires**

#### **1.1 Le Nettoyage et le lavage**

Ils visent à éliminer des fruits et légumes destinés à la transformation, les résidus des pesticides pouvant dénaturés la couleur et la saveur des produits transformés.

#### **1.2 Le triage**

Cette opération permet d'éliminer de la chaîne de conservation tous les produits non conformes aux normes de fabrication à savoir les fruits trop mûrs, pas assez mûrs, les fruits présentant des meurtrissures, etc.. Le triage peut se faire manuellement sur une table dite table de triage.

#### **1.3 Le calibrage**

Il se peut se faire avant ou après le triage. Il vise à supprimer les produits hors calibre ou bien à les répartir par groupe de calibres. Il est exigé quelque fois par norme de fabrication bien précise. Cette opération est indispensable pour la régularité des opérations suivantes.

#### **1.4 Le parage**

Il consiste à supprimer les parties indésirables d'un produit. C'est le cas de l'axe central de l'ananas ou de chou ou du noyau de la mangue.....

#### **1.5 Le pelage**

Il consiste à enlever la peau des fruits. Il peut se faire manuellement ou au moyen d'eau chaude ou de vapeur d'eau (tomate, poivron...). Des variations brusques de température sont utilisées pour peler certains fruits à peau fine. La tomate congelée à -30°C à -40°C perd facilement sa peau après une décongélation rapide.

#### **1.6 Le blanchissement des fruits et légumes (permet de ramollir les F et L pour occuper plus d'espace dans 1 volume ; permet de dégazer, ce qui peut entraîner l'oxydation des parois)**

C'est la dernière étape avant la transformation. Il consiste à passer très rapidement les fruits et légumes à l'eau chaude ou à la vapeur d'eau chaude. La durée du passage est très courte et dépend en général de la nature du produit. Elle varie de quelques secondes à 5 minutes à une température de 70-100°C.

Pour les légumes destinés à la conserverie, le blanchiment joue un rôle de dégazage et d'assouplissement des tissus végétaux. Il est indispensable pour éviter les oxydations ultérieures en réduisant les gaz intercellulaires et l'O<sub>2</sub>. Il facilite le remplissage des boîtes de conserve en réduisant

le volume apparent. Pour la déshydratation, le blanchiment visera la destruction des enzymes et d'une partie de la flore microbienne. Il permettra aussi d'augmenter la perméabilité de la paroi cellulaire qui facilitera la déshydratation ultérieure ou bien la réhydratation.

La réhydratation est obtenue par rajout de produits tels que le sulfite ou le chlorure de sodium. Le chlorure de sodium permet le raffermissement des tissus des fruits et légumes (tomate, haricot vert...) tandis que le sulfite empêche le brunissement non enzymatique de la pomme de terre ou du chou observé pendant la déshydratation.

Si le produit blanchi est prêt à suivre les processus classiques de traitement des légumes, il n'en demeure pas moins que ce procédé ne préserve pas totalement les vitamines et les sels minéraux.

Le blanchiment à la vapeur d'eau ou aux micro-ondes suivi immédiatement d'un refroidissement à l'eau sera préféré à celui réalisé à l'eau chaude.

## **II. Traitement des produits par le séchage**

### **2.1. Introduction**

L'eau est un élément central indispensable à la vie. Sa présence fait naître la vie et son absence la conserve. La déshydratation est un procédé très ancien destiné à conserver aussi bien les produits animaux que végétaux. L'eau joue un rôle important dans la dynamique de la vie. Elle a une activité de par sa fonction de solvant permettant le transport et les mouvements ; elle a en plus une activité chimique. L'activité de l'eau est une valeur qui permet d'estimer la force des liaisons plus ou moins fortes que l'eau lie avec les supports sur lesquels elle se trouve et avec les molécules libres en solution qu'elle dissout. Elle est égale à l'humidité relative d'équilibre entre l'eau adsorbée sur le produit et l'air. Elle est égale à 1 ou 100% pour l'eau libre, et diminue jusqu'à 0 ou 0% avec l'indisponibilité croissante de l'eau.

En d'autres termes, l'activité de l'eau traduit le degré de fixation de l'eau sur les cellules du produit.

L'eau existe sous plusieurs formes dans le produit :

- L'eau libre : les forces qui retiennent cette eau sont de nature capillaire ou osmotique. L'activité de l'eau est  $> 0,5$ .
- L'eau faiblement liée : c'est l'eau qui est disponible comme solvant ou réactif. Son activité est comprise entre 0,3-0,5.
- L'eau fortement liée : c'est l'eau qui est très peu disponible comme solvant ou réactif. Son activité est  $\leq 0,3$ .

Le séchage vise à abaisser la teneur en eau des produits jusqu'à une teneur limite. En effet, si le séchage est total, le produit risque de perdre ses qualités organo-leptiques. Et le processus de réhydratation de certains fruits séchés peut être compromis.

La teneur en eau résiduelle des produits séchés doit être comprise entre 5 et 15% pour permettre une bonne conservation. Pour éviter la dépréciation des produits séchés par les micro-organismes,

l'activité de l'eau doit être  $<0,65$ . Les champignons tels que les moisissures et les levures se développent lorsque l'activité de l'eau est comprise entre 0,8 et 0,9. Quant aux bactéries, elles se satisfont d'une activité dont les valeurs se situent aux environs de 0,9.

D'autres facteurs de dépréciation comme les réactions chimiques et enzymatiques conduisant au brunissement peuvent se manifester lorsque l'activité de l'eau est  $< 0,65$ . Il convient alors de sécher les produits en dessous de 0,2 afin d'éviter toute réaction chimique. Le séchage, outre la bonne conservation, permet d'améliorer les produits destinés à être transportés et permet également de concentrer les principes actifs, les arômes, les féculents, les protéines, les vitamines fortement diluées dans les produits frais du fait de la teneur élevée en eau. Toute fois le séchage peut endommager certaines molécules ou simplement les éliminer par volatilisation. Par conséquent, la technique du séchage a une importance capitale. Enfin le séchage peut être considéré comme un moyen de créer un nouveau produit avec ses caractéristiques et ses utilisations spécifiques. Il permet alors de diversifier les débouchés des produits.

## **2.2 Le principe du séchage**

Lorsqu'un produit est exposé à un courant d'air chaud, il y'a échange d'énergie : la chaleur de l'air est transférée au produit et l'humidité du produit est entraînée par l'air.

### **2.2.1 Le transfert de la chaleur**

Le mouvement de la chaleur d'un corps chaud vers un autre corps froid peut se faire de 3 manières :

- Par conduction : la chaleur se transmet par contact ;
- Par convection : le transfert de chaleur se fait à partir d'un corps qui en se chauffant, se dilate ; il se crée alors des couches de fluides plus chaudes transportant la chaleur à d'autres couches de fluides moins chaudes ;
- Par radiation : la chaleur du soleil est transmise par ce mode. Les radiations qui parviennent à la terre sont absorbées en quantité variable par les corps solides et liquides.

La quantité de l'énergie calorifique solaire accumulée par les objets est fonction de leur couleur, de leur inclinaison par rapport au rayonnement et de leur densité.

Les objets de couleur noire absorbent beaucoup plus la radiation calorifique que les objets blancs qui, au contraire, réfléchissent la majorité de ces radiations. Plus un objet reçoit perpendiculairement le rayonnement solaire, plus il s'échauffe vite.

### **2.2.2 Le Séchage par évaporation**

La vitesse de séchage d'un produit est la quantité d'eau perdue par unité de temps et par unité de poids du produit. Cette vitesse varie énormément en fonction de nombreux paramètres liés à la technique de séchage et au produit lui-même.

On distingue 2 phases principales au cours du séchage du produit :

→ La phase stationnaire correspond à l'élimination de l'eau libre du produit. Pour une même température, l'élimination de l'eau se fait à vitesse constante. La vitesse est fonction :

- Du pouvoir évaporatoire de l'air qui dépend lui-même de l'humidité relative de l'air, de sa température et de sa pression ;
- De l'épaisseur de la couche d'air, elle-même fonction de la vitesse et du temps d'écoulement de l'air ;
- Des caractéristiques du produit telles que la vitesse de migration de l'eau dans le produit, la diffusion.

→ La phase décroissante correspond à l'évaporation de l'eau de plus en plus liée. Elle est fonction du pouvoir évaporatoire du produit qui dépend lui-même de la force de liaison entre l'eau et le produit, ou entre l'eau et les molécules.

L'eau contenue dans les aliments exposés au soleil se réchauffe et passe de l'état liquide à l'état gazeux sous forme de vapeurs d'eau qui s'échappent par les pores des aliments.

La vitesse d'évaporation est fonction de :

- a) *La température* : plus la température est élevée, plus l'évaporation est rapide. L'eau contenue dans les tissus se réchauffe et se vaporise au fur et à mesure que les tissus se réchauffent ;
- b) *La nature de la surface* : l'importance de la surface de contact du produit avec l'air chaud influe sur la vitesse de séchage. En effet, plus il y'a des pores par lesquels l'eau va s'évaporer, plus le produit séchera vite ;
- c) *Du déplacement ou de l'agitation de l'air ambiant* : la quantité de vapeur d'eau qu'un volume d'air peut retenir est fonction de la température de l'air ;
- d) *Du déplacement ou de l'agitation de l'air ambiant* : les couches d'air chaud absorbant la vapeur d'eau dans l'environnement immédiat du produit humide, atteignent une humidité relativement plus élevée que les couches éloignées du produit. De ce fait, en présence d'un système de ventilation, les couches d'air chargé de vapeurs d'eau seront remplacées par des couches d'air sec pouvant absorber de nouveau la vapeur d'eau. La vitesse d'évaporation sera alors plus importante.
- e) *L'état de l'eau dans le produit* : l'eau libre des produits découpés et exposés à l'air ambiant sera très vite évaporée. L'eau de plus en plus liée pourra s'évaporer si on augmente davantage.

### **2.3 Le séchage solaire traditionnel**

Il consiste à exposer directement les produits aux radiations solaires en les étalant sur une surface horizontale pendant plusieurs jours. Les produits sont étalés en début de journée et retournés plusieurs fois tout en les protégeant des intempéries. Le soir, les produits sont ramassés et

entreposés sous abri afin d'éviter la réhydratation au contact de la rosée. Des repères tactiles sont utilisés pour juger du niveau de déshydratation des produits qui sont ensuite stockés dans des récipients divers (canaris, greniers...).

#### **2.4 Conduite du séchage des fruits dans les séchoirs élaborés**

Un ensemble d'opération technologique avant et après le séchage permet d'assurer une bonne qualité microbiologique des produits finis, de protéger la pigmentation et les colorants naturels contenus dans les produits, de préserver les vitamines et les arômes et enfin de favoriser un séchage aussi homogène que possible.

Le séchage solaire amélioré nécessite l'acquisition d'outils améliorés et d'un savoir-faire dans le choix des produits, leur préparation, les traitements de pré-séchage, le séchage aux séchoirs solaires, la technologie de post-séchage.

a) *Le choix des fruits* : la qualité d'un fruit séché (gout, saveur, odeur, flaveur) dépend de son degré de maturité. Un fruit trop mûr aura tendance à fermenter rapidement et aura une teinte plus foncée, tandis que les fruits non-mûrs seront moins sucrés et auront moins de couleur ;

b) *Préparation des fruits* : le lavage doit précéder toutes les opérations de séchage des fruits. Après le lavage, il faut les laisser égoutter ou les essuyer avant les opérations suivantes, à savoir l'épulsage, le parage ou dénoyautage. Les fruits sont ensuite découpés en tranches fines de dimensions faciles à manipuler et à sécher.

c) *La mise sur les claies (tamis)* : les tranches de fruits doivent être placées régulièrement sur les claies de sorte qu'elles ne se touchent pas au risque de ralentir l'évaporation. Une distance de 0,5 cm environ entre les tranches est recommandée.

d) *Les traitements de pré-séchage* : ils visent à éviter les altérations de couleur, d'arômes ou de texture susceptibles d'être engendrées par une longue exposition à des températures élevées. Pour stabiliser ces caractéristiques des fruits, ces derniers sont traités au soufre (soufrage). Le traitement peut se faire au sulfite de 2 manières à savoir par immersion ou par exposition à des vapeurs sulfureuses. Les tranches de fruits sont alors trempées pendant 5-10 mn dans une solution contenant 2 cuillerées à soupe de métrasulfite de potassium dans 1 litre d'eau. Le traitement par exposition aux vapeurs sulfureuses consiste à disposer dans un local étanche dans lequel on consomme du dioxyde de soufre. Les vapeurs de SO<sub>2</sub> dégagées tuent les parasites, améliorent la conservation et l'apparence des fruits et évitent le brunissement. Le soufrage permet également de réduire les pertes en vitamines lors du séchage.

e) *Le séchage* : les claies sont introduites dans le séchoir solaire le plus rapidement possible. Les fruits ne doivent pas prendre plus de 2 jours à sécher. Le fruit trop séché, jaunit, brunit et son goût est altéré. Cependant, d'une façon générale, la durée de séchage dépend de la forme et de

l'épaisseur des tranches des fruits, de leur degré d'humidité, du traitement de pré-séchage, de la charge du séchoir, de la ventilation et du temps d'ensoleillement.

f) *Vérification du degré de siccité (séchage)* : d'une manière générale, les fruits bien séchés ont une humidité résiduelle <20%, sont pliables et ne présentent pas e trace d'humidité. Pour vérifier la siccité des fruits, on peut utiliser 3 méthodes :

- La méthode sachet plastique du bidon étanche : cette méthode consiste à placer des tranches de fruit dans un de ces récipients bien fermés et disposer dans un endroit frais et sec. Au bout de 24 heures, on peut vérifier la présence de condensation dans le sachet ;
- La méthode du toucher : consiste à presser dans la main les tranches du fruit : si les fruits sont bien secs, ils reprennent leur forme initiale. Aucune humidité n'est observée dans la main après le pressage. Dans le cas de certains fruits comme la banane et la noix de coco, ils sont cassants si bien secs ;
- La méthode du poids : elle consiste à peser les produits avant et après le séchage. Les mangues et les papayes pèsent 80% de moins après le séchage. Les bananes et les noix de coco, 4% de moins.

g) *Le conditionnement* : après refroidissement, les fruits séchés sont mis sans tasser dans des contenants en plastique remplis au 2/3 environ puis fermés hermétiquement. Ces contenants doivent être étanches à l'humidité, aux poussières, aux insectes, etc. ils peuvent également être des bocal, des pots en terre cuite...

Pour la commercialisation, les contenants doivent être étiquettes pour fournir des informations suivantes : la nature du produit (mangue séchée, noix de coco séché...), la date de séchage, la date limite de consommation, le coût, le pays d'origine, le nom et l'adresse du producteur, le poids, les ingrédients utilisés, la marque de commerce.

h) *L'entreposage* : les fruits séchés seront entreposés dans un endroit sec, sombre, frais et à l'abri des rongeurs. Il faut éviter de les exposer à la lumière au risque d'altérer la couleur et les vitamines A et C.

## **2.5 Conduite du séchage des légumes**

a) *Choix et récolte des légumes* : les légumes immatures présentent une saveur fade et une couleur inadéquate. Trop mûrs, ils deviennent fibreux ;

b) *Lavage des légumes* : ils demandent beaucoup de munités car les légumes sont très fragiles. Il faut utiliser de l'eau fraîche pour garder la fraîcheur des légumes. Il ne faut pas laisser tremper longtemps au risque de perdre certains éléments minéraux et certaines vitamines ;

c) *Traitement de pré-séchage* : tout comme les fruits, les légumes sont le siège de détérioration des réactions enzymatiques intenses qui en font des produits plus périssables que les fruits. Pour empêcher ces réactions enzymatiques, les légumes sont blanchis à l'eau chaude, à la vapeur d'eau

chaude avant le séchage. Pour les légumes, le blanchiment permettra de ramollir les fibres ; ce ramollissement va permettre à l'eau de s'échapper plus facilement des tissus mais facilitera aussi la réhydratation ;

d) *Le séchage* : le principe et le mode de séchage se présentent de la même manière que dans le cas des fruits. La différence réside au niveau de quelques opérations technologiques compte tenu de la nature et de la consistance des légumes.

e) *Vérification du degré de siccité*

f) *Conditionnement*

g) *Entreposage*



***Idem comme chez les fruits***

## **2.6 Modes de séchage**

Le séchage consiste à éliminer par évaporation progressive et partielle l'eau de constitution des produits. La baisse de la teneur en eau permet une meilleure conservation car elle empêche la prolifération des micro-organismes.

Le mode de séchage qui convient le mieux aux fruits et légumes est le séchage par radiation et convection. Le fluide caloporteur sec au départ se charge d'humidité en passant au travers du produit ou au contact de celui-ci.

Le moyen le plus simple et le plus traditionnel consiste à exposer les produits au soleil sur des claies ou à même le sol. Bien que le matériel utilisé soit de conception et d'utilisation facile que le coût de fonctionnement soit presque nul et que le goût des produits soit souvent meilleur, ce système présente des inconvénients. Il entraîne une perte importante de vitamines par photo-oxydation, une coloration des produits, des phénomènes de brunissement, une grande lenteur dans le séchage due à une mauvaise aération et enfin un risque de pollution (par les poussières, insectes, micro-organismes...).

a) *Le séchage naturel amélioré* : ce système allie le séchage par exposition directe au rayonnement solaire au séchage à l'ombre. Il permet d'éviter les phénomènes de brunissement et les pertes en vitamines préservant ainsi la valeur des produits. Le mode de séchage est évidemment fonction des conditions climatiques locales (humidité de l'air, vitesse du vent...).

b) *Le séchage solaire* : il assure une protection et une hygiène meilleure des produits et permet de diminuer le temps de séchage. Ce mode de séchage comprend un dispositif de captage de l'énergie permettant un réchauffement de l'air plus rapide ; ce qui assure un séchage homogène du produit.

c) *Le séchage par combustion* : le combustible utilisé peut être le bois, le plus souvent du gaz et a pour rôle :

- *de chauffer l'air qui, au contact du produit, assurera le séchage ;*

- de chauffer une surface qui transmettra la chaleur emmagasinée du produit. Ce mode n'est pas recommandé pour le séchage des produits à cause du problème de surchauffe localisée.

Il existe d'autres méthodes de séchage à savoir : la lyophilisation (*séchage par passage de l'état solide à l'état gazeux*) et le séchage sous vide poussé (*par aspiration*).

### **2.7 Typologie des séchoirs**

a) *Les séchoirs Box, tunnel et banco* : l'air pénètre dans le séchoir par les ouvertures basses. En s'échauffant sous l'action du soleil, cet air devient sec et léger, s'élève et absorbe l'humidité des produits avant de s'échapper.

b) *Les séchoirs à gaz* : le principe de fonctionnement est le même que celui des séchoirs à solaires à la différence que c'est un gaz qui est utilisé pour chauffer l'air.

c) *Les séchoirs mixtes solaire-gaz* : composé d'un séchoir solaire du type tunnel ou séchoir à gaz. Ce type de séchoir permet un préchauffement de l'air qui est ensuite ajusté grâce à un brûleur à gaz situé en bas du séchoir à gaz. Le séchoir solaire ou capteur solaire peut être utilisé pour sécher les produits à faible valeur ajoutée.

### **2.8 Utilisation des produits séchés**

Les produits séchés peuvent servir à la préparation de diverses recettes qui peuvent être consommées comme casse-croûtes ou amuse-gueules ou servir d'ingrédients à la préparation d'aliments pour nourrissons. Les denrées séchées peuvent être consommées aux périodes où les produits frais ne sont pas disponibles sur le marché. Ces produits peuvent être consommés secs ou cuits. La plupart des fruits séchés sont utilisés en desserts ou dans la fabrication de ceux-ci.

## **III. Autres méthodes de transformation**

### **3.1 Le jus de fruit**

On distingue différents types de jus de fruits :

- **Les jus clairs** : présentant une certaine limpidité après avoir subis une dégradation enzymatique, une centrifugation ou une filtration ;
- **Les jus concentrés** : leur fabrication comprend 4 étapes à savoir, la préparation des fruits, l'extraction du jus, la stabilisation colloïdale du jus et la correction du jus.
  - a) Préparation des fruits : elle concerne les opérations de lavage, triage, de réduction en pulpe à l'aide des broyeurs adaptés à la nature du fruit.
  - b) Extraction du jus : après le broyage du fruit, le jus peut être extrait de diverses façons à savoir :
    - Par pressage : c'est la méthode la plus utilisée. Il est réalisé au moyen de presses hydrauliques ou de presses à vice.
    - Par centrifugation en utilisant les centrifugeuses filtrantes ;

- Par macération : la pulpe est trempée dans l'eau chaude ou froide et le jus est obtenu après décantation.

c) Stabilisation colloïdale : cette opération vise à éliminer du jus, les parties indésirables et à assurer la stabilité physique du jus et ses caractéristiques définitives ;

- Décantation-Tamisage : cette opération est réalisée lorsque le jus renferme trop de pulpes en suspension ou trop de particules grossières. Elle peut être couplée à l'extraction car certains appareils de pressage permettent de tamiser.

- La clarification : le jus peut contenir des substances pectiques et mucilagineuses. Cette opération vise à faire précipiter ces pratiques. La désintégration des substances est nécessaire pour obtenir un jus clair. Plusieurs méthodes sont possibles :

- Clarification enzymatique : les enzymes d'origine fongique (*Aspergillus*) hydrolysent les substances pectiques du jus qui perd ainsi sa viscosité. Il s'en suit un dépôt de suspension et un jus clair. Cette opération peut se faire à froid ou à chaud et la dose d'enzyme à utiliser est de l'ordre de 0,7-2g/litre. Après le traitement enzymatique, il est nécessaire de procéder à une inactivation des enzymes au moyen d'un traitement thermique de l'ordre de 80-90°C.

- Clarification par centrifugation : c'est la séparation sous l'action de forces centrifuges ;

- Clarification par collage : ce procédé utilise la gélatine ou du tanin qui forme des réseaux agglomérés qui vont entraîner des suspensions dans leur chute.

d) Correction et conservation des jus : le jus après sa fabrication peut avoir un goût un peu différent de celui du fruit frais du fait d'un excès d'acidité ou de la présence de tanin. Il est alors corrigé par ajout de sucre. Les jus sont ensuite conservés par pasteurisation, congélation ou ajout de CO<sub>2</sub>.

La pasteurisation est la méthode la plus utilisée et peut intervenir avant ou après le conditionnement. Elle consiste à stériliser à une haute température les jus suivi d'un refroidissement brusque. Les opérations de remplissage et de fermeture de récipient sont conduites en milieu totalement aseptique. Les jus destinés à la congélation sont désaérés, conditionnés et congelés à -30, -20°C.

La conservation par le CO<sub>2</sub> consiste à imprégner le CO<sub>2</sub> au jus sous pression et à froid et le CO<sub>2</sub> inhibe l'activité des micro-organismes. La concentration en CO<sub>2</sub> ne doit pas dépasser 1,5%.

### **3.2 Jus concentrés**

Les jus des fruits en général contiennent entre 10 et 20% de sucre et peuvent être concentrés au-delà d'une teneur en matière sèche de 65%. La concentration se fait dans les évaporateurs à basse température et sous pression. Le jus est ensuite pasteurisé afin de détruire les micro-organismes. La

concentration peut se faire également dans les évaporateurs à haute température mais le temps de traitement doit être très bref.

### 3.2.1 *Les étapes de fabrication de quelques jus*

Choix du fruit-Lavage-Triage-Parage (pelage-séchage)-Broyage-Extraction du jus-Clarification-Filtration-Pasteurisation-Embouteillage-Etiquetage-Emballage et Stockage

**Jus de tamarin** : Trempage-Macération-Extraction-Décantation-Filtration.Correction-Désaération-Embouteillage Pasteurisation-Emballage et Stockage.

**Jus de mangue** : Triage Lavage-Charge Parage-Extraction-Correction Désaération-Embouteillage Pasteurisation-Emballage Stockage.

## 3.3 *Les confitures et les Sirops*

### 3.3.1 *Les confitures*

La fabrication de la confiture nécessite des fruits imparfaitement mûrs afin d'obtenir une acidité suffisante. Dans le cas des fruits pas assez mûrs, la protopeptine se transforme en une peptine gélifiante au cours de la cuisson.

La confiture est fabriquée par cuisson de la pulpe du fruit additionnée de sucre ou sans ajout de peptine jusqu'à l'obtention d'un degré de concentration convenable pour une bonne conservation du produit. Au cours du refroidissement, il y'a gélification qui est fonction de la peptine, du pH et de la quantité de sucre utilisée. La peptine conditionnée sous forme liquide ou en poudre peut être fabriquée industriellement à partir des agrumes, des mangues, des pommes qui en sont riches.

Certains acides organiques tels que l'acide citrique, malique sont également utilisés dans la fabrication des confitures.

Le jus de citron peut être également utilisé. Un pH voisin de 4 est recherché pour favoriser la gélification de la confiture. Le sucre est ajouté à la pulpe à hauteur de 50% et le mélange est cuit à haute température. Au cours de la cuisson, le mélange est régulièrement remué et la confiture est conditionnée à une température  $\geq 85^{\circ}\text{C}$  pour éviter la gélification. Le conditionnement se fait dans des bocaux à fermeture Twist Off qui sont ensuite pasteurisés à  $90-100^{\circ}\text{C}$  pendant une demie heure puis refroidie.

## TRAVAUX PRATIQUES/VISITE SUR LE TERRAIN

### Les points qui doivent retenir l'attention du producteur :

- Demande du marché pour le produit qu'il a l'intention de cultiver ; il doit bien connaître son marché et ses acheteurs ;
- La culture ;
- La récolte et la manutention au champ ;
- L'emballage et le conditionnement ;
- Le transport ;
- La vente aux consommateurs, aux grossistes ou agents à la commission ;
- La périssabilité du produit.

### Les principales causes de pertes

**1. La détérioration physique :** la détérioration naturelle entraînée par une température élevée, une faible humidité atmosphérique et des lésions physiques. Cela entraîne une saveur désagréable, le murissement et d'autres modifications des processus vitaux du produit qui le rendront impropres à la consommation ;

**2. Les dommages mécaniques :** une manutention sans précaution des produits frais cause des meurtrissures à l'intérieur et provoque des modifications physiologiques anormales ou des éclatements ou ruptures de la peau. Cela entraîne une augmentation de la déperdition de l'eau et l'accélération de la décomposition physiologique normale et les ruptures de la peau qui sont le siège d'infection provoquée par les micro-organismes ;

**3. Les causes de ces dommages sont :** cueillette ou récolte peu soigneuses ; récipients et caisses de récolte inadaptés pour la récolte ; remplissage excessif ou insuffisant des récipients utilisés ; manutention sans précaution des produits.

#### **4. Les dommages dus à la température :**

- Congélation : tous les produits doivent être soumis à des températures comprises entre 0 et -2°C. les produits congelés se décomposent rapidement.
- Réfrigération : les produits mûrs sont moins sensibles au froid.
- Températures élevées : cela entraîne une intense activité respiratoire et donc une détérioration, déperdition d'eau.

#### **5. Maladies et ravageurs**

- Maladies : perte en quantité et en qualité (la maladie affecte la surface du produit, et cela conduit à une imperfection de la peau). Les causes sont : caisses contaminées, eau de lavage contaminée, pourriture à côté des locaux d'emballage.
- Ravageurs : pertes minimales

## 6. Dommages subis par les produits emballés

### → *Dommages par lésions :*

- **Coupures ou percements :** Causes : emballages percés par des objets pointus ; agrafes ou clous en saillie. Effets : produit percé, perte d'eau et décomposition rapide.
- **Chocs :** Causes : caisses tombées et jetées ; démarrage ou arrêt brutal du véhicule de transport ; rouler à grande vitesse sur de mauvaises routes. Effets : meurtrissures du contenu du fait que les emballages cèdent.
- **Compression :** Causes : récipients trop légers, trop remplis. Effets : contenu écrasé.
- **Vibration :** Causes : secousses des véhicules (état de la route). Effets : disjonction des caisses, produit endommagé.

### → *Dommages causés par l'environnement :*

- **Chaleur :** Causes : exposition à la lumière ; défaut de ventilation à l'intérieur des emballages. Effets : m murissement du produit et ramollissement ; dessèchement des produits et perte d'arôme ; abime du produit.
- **L'eau et l'humidité :** Causes : exposition à la pluie ; emballage des produits humides. Effets : écrasement du produit et abime rapide.
- **Lumière et refroidissement :** effets négatifs sur le produit.

### → *Autres causes :*

- **Contamination chimique :** Causes : récipients stockés à proximité des produits chimiques ; récipients traités ; caisses présentant des moisissures. Effets : dommages artificiels : saveur, odeur, moisissures sur le produit.
- **Hommes et animaux :** Causes : produits mangés et contaminés par les oiseaux et rongeurs ; vols des produits par les hommes. Effets : produit refusé et perte de revenu.

**1. Votre ami Monsieur NOUBA est un grand producteur de fruits dans le bassin fruitier de Doba. Il rencontre assez régulièrement des problèmes de surproduction d'une variété de mangue. Cette variété est très appréciée à BEBEDJIA dont il parvient aisément à satisfaire la demande. Il demande votre avis de technicien pour l'aider à trouver des solutions à ce problème crucial de mévente. Quelles solutions allez-vous lui conseiller ? (10 points)**

**2. En visitant le local où la production est stockée, vous êtes accueilli par une forte odeur de mangues pourries. M. NOUBA ignore tout de la physiologie de la mangue et vous demande de l'éclairer dans sa lanterne. (5 points)**

**3. Avant de prendre congés de votre cher ami, vous lui proposez une solution pour améliorer les conditions d'entreposage de sa production. Argumentez votre choix. (5 points)**