

***INSTITUT SUPÉRIEUR D'ENSEIGNEMENT TECHNOLOGIQUE***

***Département des Sciences et technologies des aliments***

***Quatrième semestre (S4)***

***Résumé du module :***

***Sciences et technologies des fruits et légumes***

***Enseignant : Ould El moustapha Abdellahi***

***Biotechnologue***

**E-Mail: [amhr77@yahoo.fr](mailto:amhr77@yahoo.fr)**

# Sciences et technologies des fruits et légumes

## **I- Introduction :**

- Les fruits et les légumes transportent les vitamines, les minéraux essentiels, les fibres alimentaires, les antioxydants phénoliques et autres substances bioactives.

Outre ces éléments, ils fournissent également des hydrates de carbone, des protéines et des calories en assez grande quantité.

- Les fruits et les légumes sont des denrées extrêmement périssables.

Actuellement, jusqu'à 23 pour cent de ceux parmi les plus périssables sont perdus pendant leur parcours de la chaîne agroalimentaire parce qu'ils se détériorent : pourrissement, dessèchement, blessures dues à la mécanisation pendant le ramassage, le conditionnement et le transport, ou à cause des moyens de transport.

- Des pertes se produisent également au cours de leur durée de conservation et de leur préparation à la maison ou dans les services de restauration.
- Pour limiter ces pertes élevées, il est nécessaire d'adopter diverses mesures qui permettront de les réduire au minimum pendant la récolte, le stockage, le conditionnement et la transformation des fruits et légumes frais en produits adaptés à une meilleure conservation.

## Chapitre I : généralités sur les fruits et légumes :



### A- Les caractéristiques des fruits et légumes :







Les fruits et légumes sont des parties de végétaux, des produits vivants, riches en eau et émetteurs d'éthylène : ces caractéristiques permettent de mieux comprendre le rôle des facteurs de l'environnement sur l'évolution des fruits et légumes.

- Les fruits et légumes : des parties distinctes de végétaux

Les fruits et légumes recouvrent des produits très variés, correspondant à différents types d'organes de la plante : les graines, les bourgeons, les tiges, les feuilles, les fleurs, les fruits au sens botanique strict (organes issus de la fleur fécondée et contenant des graines) parmi lesquels les « légumes fruits » ; les bulbes, les tubercules (tiges souterraines) et les racines, auxquels s'ajoute la famille des champignons. En culture, il s'agit d'organes aériens ou souterrains.

Dans le langage courant des professionnels et des consommateurs, le terme « légumes » correspond à toutes ces parties de végétaux, destinées à être consommées crues ou cuites, mais plutôt en version salée ; le terme « fruits » correspond à des fruits, au sens botanique, mais consommés le plus souvent en dessert, en version sucrée.

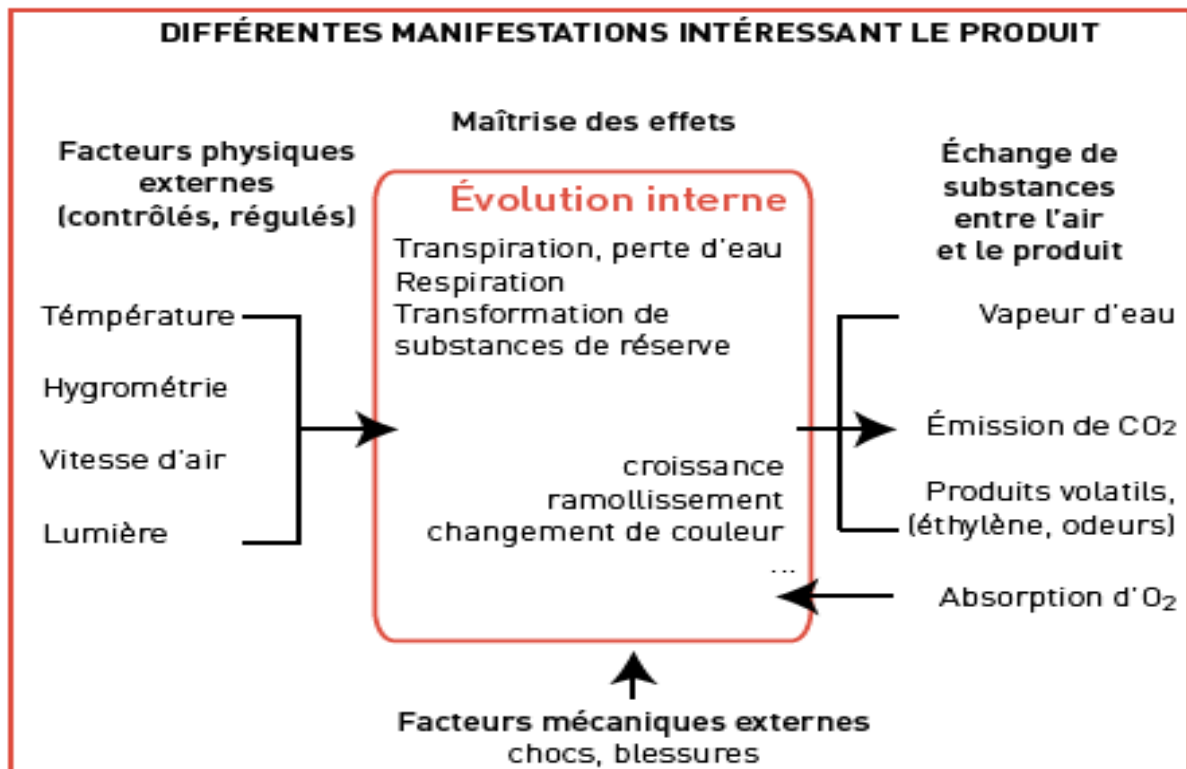
Fruits métropolitains (à noyaux ou pépins)	Fruits exotiques	Agrumes	Fraise et Fruits rouges	Fruits à coque	Châtaigne et marron
					
Abricot Cerise Kiwi Pêche/nectarine Poire Pomme Prune Raisin de table ...	Ananas Banane Mangue Litchi ...	Citron jaune Clémentine Mandarine Orange Pomelo ...	Fraise Framboise Myrtille Cassis Groseille ...	Amande Noix Noisette ...	Châtaigne Marron ...

Légumes-fruits	Graines	Légumes-bourgeon / tige	Légumes-feuilles (pétiole et limbe) / légumes en bottes	Légumes-fleurs (en boutons)	Champignons
					
Avocat Aubergine Concombre Courges Courgette Haricot vert Melon Pastèque Poivron Tomate ...	Petit pois, Haricot à écosser ...	Endive ... / Asperge ...	Salades Choux pommés Herbes fraîches Épinard Poireaux Céleri branche Fenouil ... / Radis Carotte fanes...	Artichaut Chou fleur Brocoli ...	Champignons de couche Champignons sylvestres

Racines et légumes tubérisés	Tubercules	Bulbes
		
Carotte Navet Céleri rave ...	Pomme de terre ...	Ail Oignon Echalote ...

- **Les fruits et légumes : des produits vivants**

Après récolte, les fruits et légumes restent vivants : ils respirent, réalisent des échanges gazeux avec le milieu environnant et continuent d'évoluer tout au long du circuit de commercialisation.



Ces évolutions se traduisent par des phénomènes tels que la croissance (axe de l'endive), le développement (bourgeonnement des pommes de terre ou des bulbes), le ramollissement de la chair (pêche, poire...), le changement de couleur (rougissement de la tomate) ...

Ceci vient impacter la qualité visuelle (et donc commerciale) des fruits et légumes, mais aussi leurs qualités nutritionnelle et gustative, soit de façon positive (pêche souple) soit de façon dommageable pour la commercialisation (pomme de terre « germée »).

- **Des produits qui respirent**

L'intensité de ces phénomènes dépend de l'espèce concernée (selon son métabolisme propre) car tous les produits n'ont pas le même niveau de respiration : plus le niveau de respiration initial sera élevé, plus la durée de vie potentielle du produit sera courte (cas des champignons, des endives...) ; en revanche, les produits qui présentent une activité respiratoire moindre (pomme, raisin, pomme de terre...) seront globalement moins périssables.

Le niveau de respiration dépend également de la température, qui accélère les réactions.

- **Des produits riches en eau**

Les fruits et légumes sont composés de 80 à 95 % d'eau, et de 5 à 20 % de matière sèche (sucres, fibres...). Le produit vivant respire et donc perd de l'eau, mais c'est surtout par transpiration que les pertes sont les plus importantes : elles se traduisent par une perte de poids, qui, selon son importance modifie l'aspect, voire la texture.

- **Des produits qui émettent de l'éthylène**

Les fruits et légumes émettent de l'éthylène, comme tous les végétaux ; ce gaz incolore et inodore agit – même en très petite quantité – sur la maturation du produit (évolution de la fermeté, de la coloration...), sur la dégradation de la chlorophylle (pigment vert des végétaux) et peut aussi provoquer des désordres physiologiques (amertume, lignification...). Le dégagement d'éthylène et son action varient d'un produit à l'autre.

## **B- Mécanismes de maturation des fruits**

La maturation des fruits correspond à un ensemble de modifications biochimiques, physiologiques et structurales qui confèrent au fruit ses qualités organoleptiques et le rendent consommable.

On classe les fruits en deux catégories, climactériques et non climactériques.

Le classement dans l'une ou l'autre de ces deux catégories dépend de la présence ou non d'une crise respiratoire et d'un pic de synthèse d'éthylène au moment de la maturation.

L'augmentation brutale de synthèse d'éthylène observée chez les fruits climactériques est considérée comme responsable des modifications de couleur, d'arômes, de texture, de saveur et d'autres paramètres biochimiques et physiologiques.

A l'inverse, chez les fruits non-climactériques, on considère que les modifications survenant au cours de la maturation ne sont pas dépendantes de l'éthylène

### Fruits non climactériques:



FRUIT VERT

FRUIT MURE

### Fruits climactériques



FRUIT VERT

FRUIT MURE

Fruits climactériques	Fruits non climactériques
Abricot Avocat Banane Figue Fruit de la passion Goyave Kaki Kiwi Mangue Melon Nectarine Papaye Pêche Poire Pomme Prune Tomate	Ananas Cerise Citron Concombre Fraise Framboise Litchi Mandarine Myrtille Olive Orange Pamplemousse Pastèque

tpe-maturation-fruits

### C- Les facteurs d'évolution des F&L

Les facteurs externes, qu'ils soient physiques (température, hygrométrie, lumière,) ou mécaniques (chocs), influent sur l'évolution naturelle des fruits et légumes tout au long de leur circuit de commercialisation.

#### La température : chaleur/froid et chocs thermiques

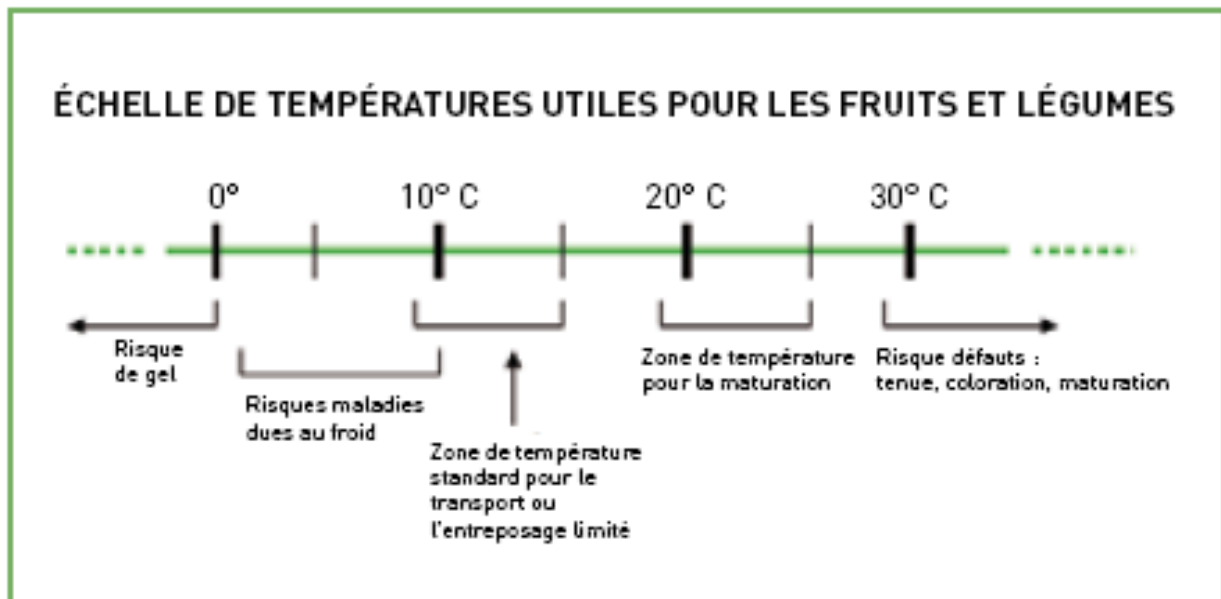
- des températures basses ralentissent le métabolisme du fruit ou du légume pour permettre le maintien de la qualité du produit,
- des températures trop basses risquent de générer des défauts souvent irréversibles (maladies dues au froid).

Ces dégâts peuvent apparaître ultérieurement, ou s'amplifier, lors de la remise à température ambiante et/ ou de dégâts internes (brunissements de l'avocat...);



parfois, les dégâts ne sont pas visibles (sucrage de la pomme de terre, diminution des arômes de la tomate...).

- en dessous de 0 °C, il y a risque de gel (formation de cristaux de glace et éclatement des cellules) ; un produit riche en eau sera plus sensible qu'un produit à plus forte teneur en matière sèche (taux de sucres élevé notamment);
- des températures élevées ou très élevées (supérieures à 20 °C-25 °C) vont, le plus souvent, provoquer une évolution accélérée, et l'apparition de défauts.



### L'hygrométrie

L'hygrométrie (teneur en eau, à l'état de gaz) de l'air environnant le fruit ou le légume va influencer sur la qualité du produit.

Un air sec (HR basse) dessèche la surface des F & L les plus sensibles.

Les systèmes actuels d'humidification permettent d'humidifier l'air.

À l'opposé, un air trop humide (> 95 - 98 %), risque de conduire à des dégradations de certains F & L liées au développement de pourritures.

Dans le cas de chambres froides trop humides, l'utilisation de déshumidificateurs d'air peut être envisagée.

### La ventilation et le renouvellement d'air

Un minimum de ventilation est nécessaire pour assurer une bonne homogénéité de la température dans le local et pour éliminer la chaleur émise par les F & L.

Elle ne doit pas être trop forte, pour ne pas accélérer les pertes d'eau des produits les plus sensibles (ou non protégés par un emballage).

Si l'air est trop froid (cas des échangeurs thermiques dans les camions) il peut dégrader les produits les plus proches du système de ventilation (cas des salades).

L'éthylène émis par les fruits se dissipe alors rapidement et son impact est limité, sauf si la chambre contient des produits fortement émetteurs d'éthylène (pommes, poires...) et reste fermée plusieurs heures ou jours : l'évolution des produits sensibles (kiwis, légumes feuilles...) peut alors être rapide.

### **La lumière**

La lumière peut avoir un effet, principalement sur les légumes, en particulier sur les organes souterrains (racines, tubercules, bulbes) ou ceux qui poussent à l'obscurité (asperges...).

Sur les organes végétaux chlorophylliens, la lumière favorise la synthèse de ce pigment vert : la pomme de terre verdis à la lumière de façon irréversible.

### **Les chocs mécaniques**

Les zones choquées (meurtrissures ou blessures) constituent des voies d'entrée aux champignons présents sur l'épiderme ou dans l'air ambiant.

Tout choc stimule la synthèse d'éthylène par le F & L ce qui accélère son évolution (sa maturation notamment).

### **L'état sanitaire des chambres froides**

L'environnement microbien en entrepôt ou en chambre froide (parois, évaporateurs, emballages...) peut être source de contamination des F & L ; en fonction de la nature du produit, de la température et du temps de stockage, des pourritures se développent plus ou moins rapidement.

L'entretien régulier des locaux de stockage (dans le cadre d'un plan de nettoyage approprié) permet de limiter ces contaminations.

## **Chapitre II : Stockage des fruits et légumes**

### ***A- Stockage en chambre froide***

La réfrigération retarde et ralentit la maturation et plus spécialement les réactions liées à la respiration.

Elle limite également le développement de microorganismes et de maladies. Il est nécessaire de maintenir une humidité relative élevée (85-95 %) afin de réduire les pertes d'eau qui entraînent la dessiccation des fruits et légumes.

Cela favorise toutefois la croissance des moisissures d'où l'emploi de fongicides.

Ce type d'entreposage est principalement adapté aux fruits et aux légumes non climactériques. La température à appliquer dépend de la durée de conservation désirée et de la sensibilité au froid des produits.

Notons que si la température est supérieure de 1 à 2 degrés à celle conseillée, la durée de conservation sera réduite de 50 à 75 %.

L'intolérance au froid peut se traduire par différents symptômes physiologiques tels que des brunissements (superficiels ou internes), l'amollissement de la chair et des tâches, d'où la nécessité d'appliquer certains traitements.

### ***B- Stockage en atmosphère contrôlée:***

Cette technique consiste à créer, à l'intérieur d'un emballage, une atmosphère différente de celle de l'air :

En général on tend à élever le taux de CO<sub>2</sub>, et à baisser celui de l'oxygène ; mais on peut rencontrer des mélanges gazeux associant aussi des gaz rares comme l'argon à de l'oxyde nitreux et à de l'oxygène.

L'objectif est ainsi d'abaisser le métabolisme respiratoire et biochimique des fruits ou légumes (ralentir leur processus de mûrissement).

Cette méthode, généralement associée au froid, renforce l'effet de la réfrigération sur le ralentissement de la maturation.

Le procédé consiste à envelopper les denrées alimentaires avec un mélange gazeux présentant certaines propriétés protectrices et réactives susceptible de modifier son métabolisme, et à maintenir ce mélange gazeux grâce à un emballage de type film, plus ou moins perméable :

- film étirables en PVC, films PE basse densité, films PP orienté ou complexes
- films micro-perforés, films sélectifs, ou films hydrophiles (bio-films, films polymères)
- la base de l'emballage est constituée d'une barquette (thermoformable ou préformée) sauf dans le cas des sachets souples, dits flow pack.

L'atmosphère modifiée repose donc sur un équilibre subtil entre :

- l'intensité respiratoire et la quantité conditionnée produit frais.
- la perméabilité et la surface d'échange du film.
- la température ambiante.

## **C-Conditionnement des fruits et légumes**

Le conditionnement permet de préparer les fruits et légumes à la vente et peut être réalisé sur:

- l'exploitation agricole,
- dans des stations fruitières et légumières,
- au sein de coopératives ou dans des centrales d'achats.

Le conditionnement des fruits et légumes comprend trois opérations de base :

- le triage,
- le calibrage
- et l'emballage

### ***1 Triage***

Il consiste à sélectionner les fruits et légumes selon leur aspect et se réalise en deux temps : élimination des fruits et légumes ne répondant pas aux caractéristiques minimales de qualité puis classement des produits restants par catégories :

- extra,
- I,
- II
- III.

En général, les fruits et légumes appartenant aux catégories extra et I sont destinés à la vente en frais alors que ceux des catégories II et III trouvent plutôt leurs débouchés en industries de transformation.

Les techniques de triage ont considérablement évolué et actuellement un tri optique permet de séparer les produits selon des critères de longueur, diamètre et coloration. Une prochaine innovation pourrait être le tri électronique en fonction des défauts et du taux de sucre.

## ***2 Calibrage***

Le calibrage permet de classer les produits selon leur dimension (circonférence ou poids).

Les normes prévoient un calibre minimum pour l'admission en catégories extra et 1. Depuis 1980, la pesée électronique, qui consiste à diriger les fruits et légumes vers différentes sorties de calibreuses selon le poids mesuré, s'est généralisée.

## ***3 Emballage***

Les emballages assurent cinq fonctions : la protection du produit, son transport, son stockage, sa traçabilité et une fonction publicitaire.

Une étiquette sur l'emballage doit indiquer l'origine et la nature du produit, l'identification de l'emballer et de l'expéditeur ainsi que les caractéristiques commerciales (calibre, catégorie).

Les emballages, qui peuvent être des caisses, plateaux, cagettes, films, sont répartis en trois familles : bois, carton, plastique.

Dans certains cas, par exemple pour les fruits fragiles (pêches, abricots.. ), le calibrage manuel peut même être encore pratiqué.

## **Chapitre III : *Les transformations des fruits et légumes :***

Certains fruits et légumes sont traités en usine sans subir de véritables transformations, mais simplement pour être soumis à des conditionnements qui facilitent leur commercialisation.

En revanche, de nombreux produits sont profondément transformés par des traitements physiques, chimiques ou encore biologiques dont le plus élaboré est la fermentation.

Les procédés industriels reposent sur l'une ou l'autre des opérations élémentaires ou sur une combinaison de plusieurs de l'une d'entre elles.

### **I- Traitements des fruits et légumes avant conservation industrielle :**

Les matières premières destinées à l'appertisation, à la congélation ou à la déshydratation sont toujours soumises à une préparation en vue des traitements ultérieurs.

Les opérations de préparation et l'ordre dans lequel elles interviennent varient selon la nature de la matière première et le produit que l'on veut obtenir.

On décrit ici que les principales d'entre elles.

#### ***1 Le nettoyage et le lavage***

Ces opérations sont pratiquées sur la plupart des fruits et légumes ; elles sont d'autant plus importantes que les végétaux sont couverts de terre ou de sable et donc de charge microbienne élevée.

Le nettoyage permet d'éliminer les matières étrangères légères et les poussières.

Celles-ci sont éliminées par une soufflerie.

Le lavage consiste à éliminer les résidus de produits antiparasitaires éventuellement présents sur les denrées ; ces produits présentent une certaine toxicité pour le consommateur mais peuvent aussi altérer les qualités organoleptiques des aliments.

Il existe deux modes de lavage :

*Le lavage par aspersion soit:*

- ✓ par des laveurs à jet.
- ✓ ou des laveurs à tambour rotatif.

*Le lavage par immersion*

## **2 Le triage**

Il a pour but d'éliminer les produits défectueux (pourris, pas assez mûrs ou écrasés) et les matières étrangères au produit.

Le triage selon la couleur est un important indice de maturité des fruits.

Cependant certaines teintes sont des signes d'altération ou sont simplement rejetées par le consommateur.

Le triage est généralement effectué à l'œil nu.

L'emploi d'appareils automatiques munis de cellules photoélectriques est relativement rare ; en revanche le travail des ouvriers est souvent facilité par l'installation de transporteurs à rouleaux et un éclairage approprié ; les produits sont ainsi facilement visualisés de tous les côtés.

## **3 Le calibrage**

Le calibrage consiste à trier les légumes selon leur taille pour les répartir en lots homogènes ; il est souvent nécessaire pour préparer le produit aux opérations ultérieures (pelage, découpage, tranchage, pressage des agrumes...).

Il existe différents types de calibreuses adaptés aux différents produits : calibreuses à vibration, pour les produits les plus fragiles ou calibreuses à tambour rotatif, pour les plus résistants.

Les appareils de calibrage fonctionnent selon le même principe : les fruits ou légumes passent au travers des trous ou fentes de calibre déterminé, afin de constituer des lots homogènes.

#### ***4 Le pelage***

Il est rare qu'un végétal soit utilisé tel qu'il est récolté ; le plus souvent on n'en retient que certaines parties : on enlève les éléments non comestibles ou indésirables.

C'est l'exemple de l'écosage des petits pois, de l'éboutage des haricots verts, de l'enlèvement des pédoncules de cerises, des noyaux de pêches, des calices de fraises ...

Dans la majorité des cas, on emploie des appareils automatiques, conçus pour une opération déterminée, des variétés appropriées et des éléments de taille uniforme. Les méthodes employées pour le pelage des fruits et légumes sont diverses :

- ✓ ***Le pelage mécanique*** : par couteaux mobiles (asperge) ou par abrasifs: bol dont les parois sont recouvertes d'arborandum

- ✓ ***Le pelage à la vapeur*** : le produit est mis en contact avec la vapeur sous pression.

Le produit est ramolli en périphérie par effet de cuisson. La remise brusque à pression atmosphérique fait éclater la peau. Les peaux sont ensuite éliminées par des jets d'eau ou par brossage.

- ✓ ***Le pelage chimique*** : immersion dans une solution alcaline chauffée à 80°C (salsifis, pêche, poire, pomme).

Le produit est ensuite rincé à l'eau courante dans de l'eau légèrement acidifiée par de l'acide citrique.

- ✓ ***L'éboutage*** : opération spécifique au haricot vert. Elle consiste à enlever les deux extrémités du haricot.

#### ***5 La découpe***

Pour certaines présentations des fruits et légumes, ceux ci doivent être découpés en moitié, en quartiers, en tranches, en lamelles, en cubes ... Chaque type de découpe possède son propre appareil.



Le découpage a pour but de réduire la taille des fruits et légumes de façon à réduire la durée des traitements de conservation : il facilite la migration de l'eau au cours du séchage, le transfert de chaleur à l'appertisation ...

## ***6 Le blanchiment***

Le blanchiment consiste à porter rapidement les légumes à haute température (environ 100°C) puis à les refroidir rapidement pour éviter une surcuisson des produits.

### ***Les techniques du blanchiment :***

On distingue le blanchiment à l'eau bouillante et le blanchiment à la vapeur.

- ***Dans le cas du blanchiment à l'eau :*** on immerge les légumes dans de l'eau bouillante de façon à ce qu'il soit totalement recouvert.

- ***Pour le blanchiment à la vapeur :*** les légumes sont plongés dans une atmosphère de vapeur créée par l'ébullition d'un certain volume d'eau au fond du récipient.

Le blanchiment à l'eau bouillante entraîne des pertes nutritionnelles par dissolution et apporte au produit une quantité non négligeable d'eau libre.

Le blanchiment à la vapeur permet une meilleure rétention des nutriments et procure une meilleure qualité hygiénique du produit par un apport plus faible d'eau libre au produit.

Les fruits ne sont généralement pas blanchis, hormis ceux qui seront transformés après décongélation (pêches, abricots, pommes) : fruits au sirop, confiture ... en raison de leur aspect peu appétissant.

## **II- Les procédés physiques**

### ***II.1 Par la chaleur***

#### ***II.1.1 La conserve appertisée :***

Cette technique consiste à enfermer les aliments dans des récipients hermétiquement clos et à les soumettre à un chauffage assurant la destruction ou l'inactivation des microorganismes et des enzymes susceptibles de les altérer.

La technologie de l'appertisation des fruits et légumes permet une conservation longue des denrées à température ambiante.

Les principales étapes de l'élaboration des fruits et légumes appertisés sont les suivantes :

- *La préparation*
- *Le blanchiment*
- *L'emboîtage*
- *Le traitement thermique*

Chaque étape entraîne des choix technologiques différents en fonction du produit traité.

Les deux premières étapes (préparation et blanchiment) ont été étudiées

### ***L'emboîtage :***

L'opération d'emboîtage ou de remplissage des récipients consiste à distribuer dans chaque récipient une masse constante de légumes.

*Trois types d'emboîtage sont utilisés selon le produit traité :*

#### **✓ *L'emboîtage volumétrique :***

Pour les produits dont la densité peut être considérée comme uniforme.

Le système le plus utilisé est le remplissage ou l'emboîtage à poche. A partir d'un tamis, le produit est distribué dans des poches de volume connu entraînées par un barillet.

Le volume de la poche est ajustable grâce à l'utilisation de deux plateaux coulissants.

Ce système est utilisé pour les petits pois, les haricots en grains et les légumineuses.

#### **✓ *L'emboîtage par les machines Sobern ou Nico***

Ces machines ont été conçues pour emboîter des produits difficiles à distribuer dans des emboîteuses volumétriques.

L'emboîteuse Sobern distribue le produit en nappe au-dessus des boîtes à l'aide d'un cylindre équipé de barrettes.

Le produit retombe dans les boîtes qui sont agitées en permanence pendant leur trajet dans le tambour. La machine Nico utilise un tapis vibrant pour répartir le produit au-dessus des boîtes à la place du cylindre de la Sobern.

Ce type d'emboîteuse est utilisé pour des produits comme les haricots verts.

#### **✓ *L'emboîtage par pesée***

Pour certains légumes qui n'adhèrent pas trop aux parois des trémies, l'utilisation des peseuses associatives est possible. Le développement de leur utilisation dans les conserveries est limité par leur faible vitesse d'emboîtement et par leur coût.

### ***Le jutage :***

La plupart des conserves appertisées reçoivent un liquide de couverture. Ce liquide a pour fonction :

- de faciliter les échanges thermiques pendant la stérilisation
- d'amortir les chocs mécaniques au cours du transport
- d'incorporer de façon homogène les ingrédients (arômes, épices) et additifs (acidifiants).

L'opération de jutage peut s'effectuer à reflux, mécaniquement ou sous vide. La température du liquide doit être la plus près possible de la température d'ébullition.

Pour les légumes, le liquide de couverture est distribué par des rampes jusqu'à un débordement des récipients : on parle de jutage à reflux.

En ce qui concerne les conserves de fruits, le jutage est très souvent réalisé sous vide. En effet, les produits de faible densité ou contenant beaucoup d'air occlus ont tendance à flotter.

### ***Le sertissage***

La durée de conservation est liée à la qualité de fermeture des boîtes. Le sertissage a lieu juste avant le passage des boîtes à l'autoclave.

Le traitement thermique

Le traitement thermique doit assurer la stabilité biologique du produit à température ambiante par la destruction ou l'inhibition de toutes formes microbiennes, y compris les formes sporulées et plus particulièrement *Clostridium botulinum*.

L'établissement des paramètres du traitement thermique (temps-température), dépend à la fois de la nature du légume (forme, structure), des caractéristiques du liquide de couverture et du type d'emballage.

Dans le procédé d'appertisation, la chaleur du fluide chauffant, permettant la destruction des microorganismes, est transmise au contenu à travers la paroi du récipient et pénètre plus ou moins rapidement à l'intérieur du produit, en fonction de sa conductivité thermique.

Les denrées appertisées, constituées de morceaux dans un liquide de couverture, s'échauffent par convection. C'est le cas des petits pois et des champignons par exemple.

Pour ces produits s'échauffant rapidement, des barèmes de stérilisation à haute température temps courts appelés HTST (High Temperature Short Time) sont souvent utilisés ; ils évitent une surcuisson des fruits et légumes.

Les denrées denses ou compactes, comme les purées de légumes, s'échauffent par conduction. La chaleur se propage de molécule en molécule. La pénétration de chaleur est plus lente. Les barèmes HTST ne peuvent pas s'appliquer.

Voici quelques exemples de barème de stérilisation pour des produits conditionnés en boîtes métalliques de 850 ml stérilisées dans des autoclaves automatiques (température initiale 60°C) :

Légumes	Barème de stérilisation	
	Durée en minutes	Température en °C
Champignons de couche	15	125
Endives	25	125
Epinards en branches	76	125
Haricots verts entiers ou coupés	13	125
Petits pois	12	125

Certains légumes sensibles à l'oxydation, comme le maïs doux, sont conditionnés sous-  
vide sans liquide de couverture. Ce vide est obtenu mécaniquement.

Les boîtes remplies avec le produit sont fermées dans une enceinte sous-vide.

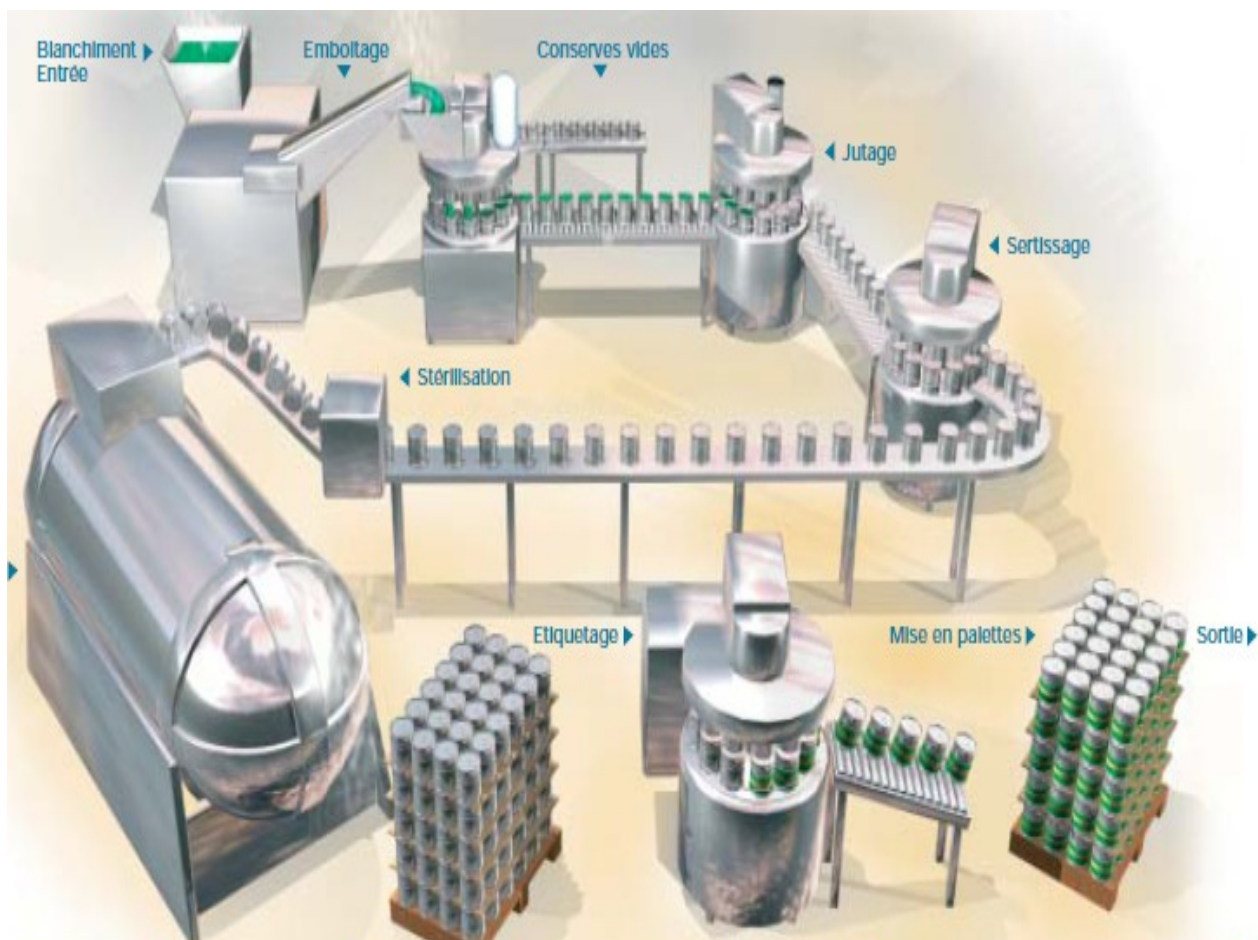
### ***Le choix des emballages***

Le choix des emballages des produits stérilisés est de type métallique ou de verre.

Les spécifications des emballages métalliques sont fonction de l'agressivité du produit (pH, teneur en nitrate) par rapport au métal (aluminium ou acier).

Les pots industriels en verre sont généralement choisis avec une large ouverture de façon à faciliter le remplissage et permettre un dégazage plus aisé.

Le choix des revêtements des capsules métalliques (vernis simple ou renforcé) est fonction de l'agressivité du produit.



### **II.1.2 La pasteurisation :**

Cette technologie est appliquée lorsque les caractères physico-chimiques du produit permettent de se débarrasser facilement de nombreuses catégories de microorganismes et empêchent la prolifération des espèces les plus thermorésistantes. C'est souvent le cas pour les fruits et les jus de fruits

La pasteurisation est souvent associée à d'autres mesures telles que l'emploi d'emballages clos hermétiquement et parfois sous vide ; la réfrigération ; l'addition d'acides

(légumes au vinaigre ou acidifiés par fermentation lactique), de sucres (confitures) etc  
...

## ***II.2 Par le froid :***

### ***La congélation et la surgélation :***

La congélation est un procédé de préservation d'une denrée par refroidissement au-dessous de son point de congélation et par maintien ensuite à la température de  $-18^{\circ}\text{C}$  à cœur du produit.

La surgélation consiste à congeler les denrées le plus rapidement possible à une température inférieure à  $-18^{\circ}\text{C}$  et à les entreposer au dessous de cette température.

La conservation est assurée par l'élimination de l'eau liquide transformée en glace bloquant l'activité microbienne et ralentissant fortement les activités enzymatiques.

Par la surgélation, les qualités organoleptiques et nutritionnelles sont mieux préservées et mieux stabilisées que par toute autre méthode.

La technologie des fruits et légumes surgelés permet une conservation longue des produits.

Les principales étapes de l'élaboration des produits surgelés sont les suivantes :

- ✓ ***La préparation*** : Elle regroupe les opérations de nettoyage-lavage, calibrage, pelage et découpe. La charge bactérienne devant être la plus faible possible pour obtenir une bonne qualité microbiologique des produits, des précautions particulières doivent être prises lors de ces opérations pour éviter les contaminations et les développements microbiens ultérieurs.
- ✓ ***Le blanchiment*** : Le blanchiment à l'eau entraîne des pertes nutritionnelles par dissolution et apporte au produit une quantité non négligeable d'eau libre qui, lors de la surgélation, cristallise en endommageant les tissus. Cette altération augmente le risque de développement de la flore thermophile lors de l'utilisation des fruits et légumes surgelés. Le blanchiment à la vapeur permet une meilleure rétention des nutriments, limite le phénomène de cristallisation et procure une meilleure qualité hygiénique du produit.

### ***La surgélation : ses avantages***

Comme elles surviennent quelques heures après la récolte, les opérations de surgélation traitent au mieux les valeurs nutritives des fruits et légumes : protides, lipides, glucides et minéraux demeurent intacts. Les déperditions en matière de vitamines sont égales et même souvent inférieures à celles subies par les produits frais après cuisson. A titre d'exemple, les observations ont révélé que 90 % de la vitamine C des haricots verts étaient préservés après 300 jours de conservation à -18°C!

### **Techniques de congélation**

#### ✓ ***Soufflage d'air froid***

Cette technique est la plus couramment utilisée et la plus performante pour les légumes car elle permet la congélation de produits de formes très diverses. Le fluide frigorigène est de l'air pulsé sur des batteries d'évaporateurs. Les surgélateurs à air sont de deux types : discontinus (chambres froides où les produits sont introduits sur des chariots) ou continus (tunnels à bandes transporteuses, tunnels à lit fluidisé).

#### ✓ ***Contact avec des surfaces métalliques refroidies***

Les congélateurs par contact sont constitués d'une série de plaques horizontales ou verticales. Ces plaques, refroidies à -30°C ou -40°C sont pressées par des vérins lorsque l'appareil est chargé. Cette méthode convient particulièrement bien à des paquets rectangulaires ou à des produits malléables (purée de légumes).

#### ✓ ***Aspersion***

Ce procédé ne fait appel à aucune installation frigorifique. Il met en jeu un contact direct entre un gaz liquide (azote ou gaz carbonique) et le produit. Les surgélateurs sont constitués d'un tunnel où le gaz est vaporisé par des buses d'aspersion munies d'électrovannes, commandées par thermostat. Un ventilateur permet d'homogénéiser la distribution du fluide. Les produits doivent être stockés et transportés dans des enceintes frigorifiques dans des conditions telles que la température à cœur des denrées soit toujours inférieure ou au plus égale à -18°C.

### **La décongélation**

La décongélation est une étape critique sur le plan microbiologique. Pour limiter la reprise du développement microbien, il convient de décongeler à basse température et rapidement. Ces deux impératifs sont incompatibles, il faut donc adopter un compromis pour décongeler le moins lentement possible, sans pour autant favoriser le développement microbien par des températures trop douces.

De plus, plus la congélation aura été rapide, et plus les cristaux de glace formés seront petits. Dans ce cas, l'exsudation de jus est très réduite lors de la décongélation et l'état du produit est meilleur.

La décongélation est possible dans le réfrigérateur, à l'air ambiant ou encore dans l'eau courante, si les produits sont bien enveloppés.

Le procédé le plus sûr est la décongélation à l'air froid à température de + 4°C. Une telle méthode nécessite des temps de décongélation extrêmement longs qui peuvent atteindre plusieurs jours. D'autre part, le taux d'exsudat du produit décongelé est relativement élevé (0,5 à 3 %).

### ***II.3 Par déshydratation :***

Procédé permet d'éliminer par vaporisation, la majeure partie de l'eau libre des aliments.

Du fait d'une faible activité de l'eau, les microorganismes ne peuvent pas proliférer et la plupart des réactions chimiques et enzymatiques sont ralenties.

L'élimination d'eau permet de réduire considérablement la masse et le volume des aliments, entraînant ainsi de substantielles économies d'encombrement et de transport.



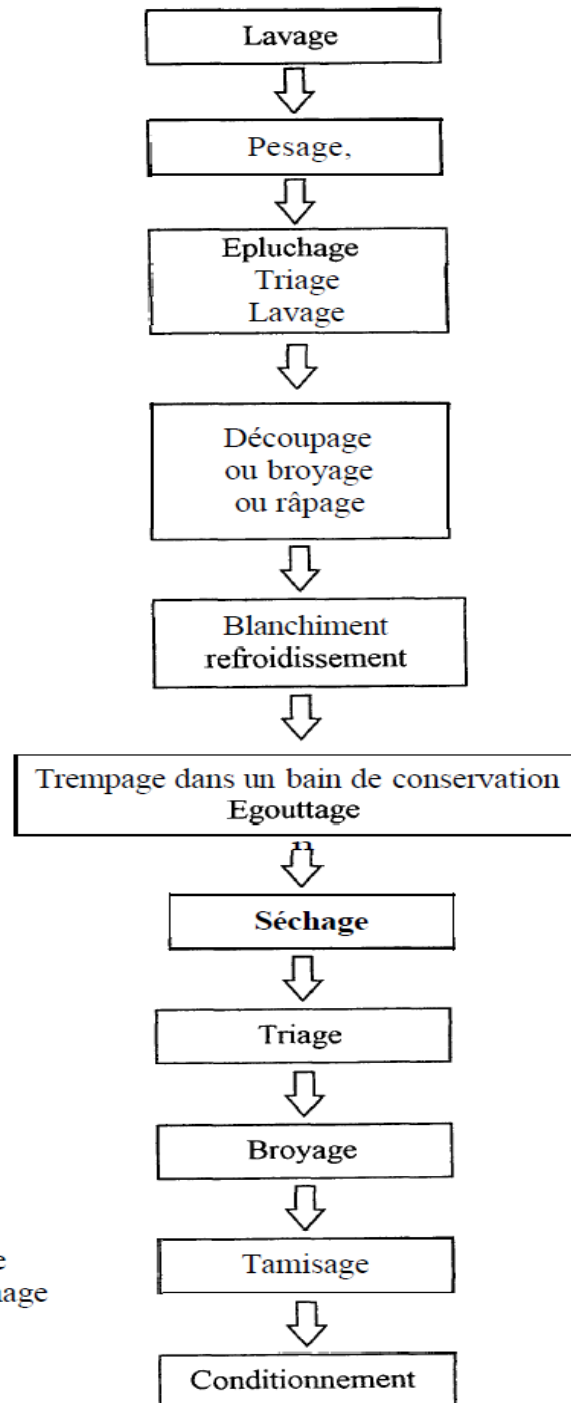


Schéma général de conservation par séchage

### Problèmes techniques liés à l'élimination de l'eau

#### Risque d'altération de la qualité du produit

Comme tout traitement thermique, le séchage peut entraîner des pertes de vitamines, des réactions de brunissement, une insolubilisation plus ou moins marquée des protéines ...

Cependant, l'élimination de l'eau peut avoir un effet plus spécifique par défaut de sélectivité : en particulier, les arômes plus volatils que l'eau, tendent à être éliminés, surtout si le séchage a lieu sous-vide.

Cet effet appauvrit la richesse aromatique de produits tels que les jus de fruits, les moût de pomme, les extraits de café ... On peut limiter ces pertes d'arômes en privilégiant des techniques mettant en oeuvre des températures basses (lyophilisation par exemple) ou de faibles temps de séjour (atomisation). Malheureusement, ces techniques sont précisément les plus coûteuses.

Le séchage est aussi une technique qui consomment beaucoup d'énergie ; les techniques les moins énergétiques sont aussi celles qui altèrent le plus la qualité du produit.

L'élimination d'eau d'un produit peut être obtenue soit par voie mécanique soit par voie thermique.

Les techniques d'élimination de l'eau par voie mécanique sont regroupées dans le tableau ci-après :

Opération	Technique	Mécanisme	Application
<u>Concentration</u>	centrifugation <sup>*</sup> Filtration <sup>*</sup> Ultrafiltration	Sédimentation forcée Tamisage <sup>*</sup> Tamisage moléculaire	Jus de tomate
<u>Séchage</u>	Egouttage Essorage centrifuge Pressage	Gravité Tamisage Expression <sup>*</sup>	

**L'élimination d'eau par voie mécanique :**

Elle se caractérise essentiellement par trois points l'opposant nettement aux techniques faisant appel aux transferts de chaleur :

- ✓ **Caractère limité** : les techniques citées ci-dessus ne permettent d'éliminer qu'une partie de l'eau libre des produits traités. Aucun procédé mécanique ne permet d'abaisser l'humidité d'un produit au-delà de 60 %.
- ✓ **Faible sélectivité** : la phase éliminée n'est pas de l'eau pure mais est constituée par une dispersion ou une solution plus ou moins riche en extrait sec.

- ✓ **Faible consommation d'énergie** : le fait que seule la fraction aqueuse non liée soit éliminée implique une consommation moindre d'énergie.

### **L'élimination d'eau par voie thermique :**

L'une des façons de procéder à l'élimination de l'eau du produit consiste à provoquer son évaporation grâce à un apport de chaleur qui peut être réalisé :

- ✓ **Par rayonnement** : les rayons solaires, dans ce cas-ci, provoquent un réchauffement direct du produit ;
- ✓ **Par convection** : l'air entourant le produit se trouve à une température plus élevée que le produit ;
- ✓ **Par conduction** : le produit est réchauffé par un contact direct avec une surface chaude.

Il existe une grande diversité d'évaporateurs, adaptés à chaque type de produit traité.

### **La lyophilisation**

La lyophilisation est une technique particulière de déshydratation. Aussi appelée cryodessiccation, la lyophilisation est un traitement qui associe deux techniques physiques : le froid et le vide. Elle consiste à sublimer l'eau contenue dans les denrées alimentaires préalablement congelées.

On distingue trois étapes principales dans ce procédé de conservation :

#### **La congélation rapide du produit à -20°C :**

Qui doit être entièrement solide, associée à une mise sous vide et une atmosphère sèche .

#### **Le séchage, réalisé en deux temps :**

##### ***La dessiccation primaire***

Elle consiste à sublimer toute l'eau congelée ou glace « libre » de l'aliment qui s'évapore ; le produit reste congelé durant cette phase (température inférieure à 0°C).

##### ***La dessiccation secondaire (ou désorption)***

Elle consiste à éliminer l'humidité résiduelle, correspondant à de l'eau fortement liée, incongelable, lorsque toute la glace s'est sublimée.

**Le lyophilisateur** est composé des éléments suivants :

*Une chambre de séchage* dans laquelle le produit est disposé sur une série de plateaux parallèles et horizontaux,

*Une source de chaleur* (plateaux à circulation de fluides, résistances électriques, rayonnements infrarouges ou micro-ondes),

*Un piège à glace,*

*Une pompe à vide.*

Les appareils existant diffèrent entre eux par les variantes et les options choisies pour chacun des éléments du lyophilisateur.

#### **Avantages et inconvénients**

Cette technique n'expose à aucun moment le produit à des températures élevées : il conserve donc toutes ses qualités nutritionnelles et organoleptiques.

D'autre part, les produits traités gardent leur structure (fraises) puisque l'eau est congelée sous forme de cristaux qui se subliment en laissant en place des pores très fins. La réhydratation du produit est aisée et permet de retrouver l'aspect originel du produit.

Les aliments lyophilisés sont très hygroscopiques et poreux, ce qui impose un emballage adéquat : rigoureusement étanche, sous vide ou atmosphère d'azote, protecteur contre les diverses oxydations auxquelles ces aliments sont particulièrement sensibles.

## ***II.4 Par les rayonnements :***

### ***L'ionisation :***

L'ionisation est un traitement physique par l'action d'un rayonnement ionisant.

L'ionisation industrielle des aliments a été proposée vers 1950 : c'est une méthode de stérilisation à froid.

### ***Principe du traitement :***

L'aliment transite par une unité d'irradiation, où il est soumis à des rayonnements.

Selon les cas, il s'agit de rayonnements gamma (photons), émis par une source radioactive de cobalt 60, ou de rayonnements bêta, électrons issus d'un accélérateur de particules.

La quantité d'énergie des radiations, encore appelée « dose » est mesurée en kilo-gray (kGy). Ces rayons ou électrons arrachent aux atomes qui constituent le produit, certains des électrons qui gravitent autour du noyau et provoquent ainsi des ruptures de liaisons chimiques entre atomes.

Les conséquences de la dégradation des molécules sont multiples, on observe :  
Un ralentissement des processus naturels d'évolution de l'aliment (maturation, fermentation ...) : par exemple, la destruction de l'ADN empêche la division cellulaire et par suite inhibe la germination du végétal.

La destruction de microorganismes éventuellement toxiques : les rayonnements entraînent la stérilisation des cellules sexuelles des insectes parasites, ce qui empêche leur reproduction, et par suite leur disparition.

### ***Rôle et conditions de l'ionisation***

L'ionisation des aliments est essentiellement utilisée pour améliorer leur conservation, souvent en remplacement de conservateurs chimiques. Les effets recherchés sont divers: arrêt de la germination, élimination d'insectes parasites ou de microorganismes pathogènes, prolongation de la conservation.

PRODUIT	DOSES (kGy)	CHAMPS D'APPLICATION	DATES DES ARRETES
Pommes de terre	0,075 - 0,15	Inhibition de la germination	08/11/72 valable 5 ans JO 12/12/72
Oignons, aulx, échalottes	0,075 - 0,15	Inhibition de la germination	09/08/77 valable 5 ans JO 31/08/77 2110611984 JO 06/07/84
Légumes deshydratés	10 maximum	Décontamination microbienne	1710511985 JO 16/06/85
Légumes secs et fruits secs	1 maximum	Désinsectisation	06/01/1988 JO 13/01/88
Fraises	3 maximum	Prolonger la conservation	29/12/1988 JO 06/01/89
Fruits secs	6 maximum	Décontamination microbienne	1710711991

Effet de traitements ionisations appliqués après récolte sur le maintien qualitatif des fruits et légumes

### ***Ionisation et réfrigération***

Ces traitements, combinant des doses moyennes à une conservation entre 0 et 50°C procurent un effet synergique ; ils sont très intéressants pour les fruits et légumes frais. Ici, l'ionisation seule ne serait pas efficace dans la mesure où la dégradation du produit n'est pas uniquement d'origine bactérienne mais aussi due à l'autolyse ou encore l'oxydation : la combinaison avec le froid réduit l'activité des radicaux libres.

### ***Ionisation et emballage***

Un emballage sous vide est parfois nécessaire pour la conservation de denrées dans la mesure où certains microorganismes ont besoin d'oxygène pour leur développement.

L'ionisation intensifie les oxydations des constituants de la matière, en particulier les graisses, provoquant des odeurs désagréables. La combinaison avec le conditionnement sous vide ou sous atmosphère modifiée diminue les phénomènes oxydatifs et l'activité de certaines microflores.

### ***Ionisation et déshydratation***

La réduction de l'activité de l'eau est un procédé ancien d'inhibition du développement microbien.

De fortes concentrations en sel ou en sucre sont ainsi utilisées pour conserver certains fruits.

L'ionisation peut être combinée à ces procédés afin de réduire la teneur en sel ou en sucre et améliorer, de cette façon, la qualité de l'aliment tout en réduisant son coût de production.

### III- Production industrielle des jus de fruits

Les jus de fruits sont classés en trois catégories : jus de fruits, jus de fruits à base de .concentré et nectar

#### ***Jus de fruits 1.1***

Le jus de fruits est le liquide non fermenté, mais fermentescible, tiré de la partie comestible de fruits sains, parvenus au degré de maturation approprié et frais ou .conservés dans des conditions saines

Certains jus peuvent être obtenus à partir de fruits comprenant des pépins, graines et .peaux qui ne sont habituellement pas incorporés dans le jus

Le jus est obtenu par des procédés adaptés qui conservent les caractéristiques physiques, chimiques, organoleptiques et nutritionnelles essentielles du fruit dont il .provient

Le jus peut être trouble ou clair et peut contenir des substances aromatiques et des composés volatils restitués, à condition qu'ils proviennent des mêmes espèces de .fruits et soient obtenus par des moyens physiques adaptés

#### ***Jus de fruits obtenus à partir d'un concentré 1.2***

Le jus de fruits obtenu à partir d'un concentré est le produit obtenu en remettant dans le jus de fruits concentré l'eau extraite du jus lors de la concentration, ainsi qu'en restituant les arômes et, le cas échéant, les pulpes et les cellules que le jus a perdues mais qui ont été récupérées lors du processus de production du jus de fruits dont il .s'agit ou de jus de fruits de la même espèce

L'eau ajoutée doit présenter des caractéristiques appropriées, notamment du point de vue chimique, microbiologique et organoleptique, de façon à garantir les qualités .essentiels du jus

#### ***Jus de fruits concentrés et déshydratés 1.3***

Le jus de fruits concentré est le produit obtenu à partir de jus de fruits d'une ou plusieurs espèces par l'élimination physique d'une partie déterminée de l'eau de



constitution. Lorsque le produit est destiné à la consommation directe, cette  
. % élimination est au moins de 50

Le jus de fruits déshydraté est le produit obtenu à partir de jus de fruits d'une ou  
plusieurs espèces par l'élimination physique de la quasi-totalité de l'eau de  
. constitution

#### ***Nectars de fruits 1.4***

:Le nectar de fruits est

a) le produit fermentescible mais non fermenté, obtenu en ajoutant de l'eau et des  
sucres et/ou du miel aux produits définis aux points 1.1 ; 1.2 ; 1.3, à de la purée de  
. fruits ou à un mélange de ces produits

L'addition de sucres et/ou de miel est autorisée dans une quantité non supérieure à 20  
. % en poids par rapport au poids total du produit fini

Dans le cas de la fabrication de nectars de fruits sans addition de sucres ou à faible  
valeur énergétique, les sucres peuvent être remplacés totalement ou partiellement par  
. des édulcorants

b) par dérogation au point a), les fruits comme la banane, papaye, goyave, grenade  
ainsi que l'abricot peuvent servir, individuellement ou en mélange, à la fabrication de  
. nectars sans addition de sucres, de miel et/ou d'édulcorants

#### ***Ingrédients autorisés 1.5***

L'addition de vitamines et de minéraux peut être autorisée au cours de la fabrication  
. du jus de fruits

L'addition de sucres et citron est autorisée dans les jus de fruits selon des normes bien  
. précises

Par exemple, pour corriger le goût acide d'un jus de fruits, la quantité de sucres  
ajoutée ne peut pas dépasser (en matière sèche) 15 g.L<sup>-1</sup> de jus ; à des fins  
. d'édulcoration, la concentration en sucres ne doit pas excéder 150 g.L<sup>-1</sup>

Le dioxyde de carbone en tant qu'ingrédient est autorisé. Autre exemple, l'acide  
ascorbique est un additif très utilisé dans la production de jus à cause de ses propriétés  
. antioxydantes. Cette vitamine donne une valeur ajoutée et protège la couleur des jus

### Traitements autorisés 1.6

Les procédés mécaniques d'extraction, les procédés physiques (tel le chauffage microonde) et les procédés d'extraction à l'eau sont autorisés pour la fabrication des jus de fruits

L'ajout d'enzymes pectolytiques, protéolytiques, d'hémicellulases ou enzymes amylolytiques est autorisé dans le but de faciliter le procédé d'extraction

L'utilisation des enzymes cellulolytiques (cellulases) n'est pas autorisée dans la réglementation européenne (2009/106/CE, 2009)

Des adjuvants inertes de filtration, de précipitation et d'adsorption sont également tolérés en respect avec les directives communautaires concernant les matériaux destinés à entrer en contact avec les denrées alimentaires

Le tableau I présente les données établies par les professionnels des jus de fruits concernant la spécificité de chaque dénomination des jus

Dénomination	Où	Teneur en fruits	Autres ingrédients	Pasteurisation	Durée de conservation
Pur jus 100%	Frais	Rayon frais	100%	Non	1 semaine
	Réfrigéré	Rayon frais	100%	Non	4 à 5 semaines
	Ambiant	Rayon liquide	100%	Non	12 mois
Jus de fruits à base de concentré	Réfrigéré	Rayon frais	100%	Eau de reconstitution : oui Sucre : rarement utilisé, autorisé avec mention obligatoire	Oui 4 à 5 semaines
	Ambiant	Rayon liquide	100%	Eau de reconstitution : oui Sucre : rarement utilisé, autorisé avec mention obligatoire	Oui 12 mois
Nectar	Réfrigéré	Rayon frais	25 à 50 % minimum	Eau : oui Sucre : autorisé avec mention obligatoire	Oui 3 à 4 semaines
	Ambiant	Rayon liquide	25 à 50 % minimum	Eau : oui Sucre : autorisé avec mention obligatoire	Oui 12 mois

## *Fabrication de jus de fruits 2*

La préservation des qualités organoleptiques et nutritionnelles des jus au cours de leur élaboration et de leur distribution implique une adaptation permanente de l'outil de production.

L'obtention de jus de fruits prêts à consommer nécessite une succession d'opérations unitaires qui doivent être optimisées pour assurer un niveau de production suffisant sans nuire ni à la qualité, ni à la sécurité.

### *: Préparation des fruits : sélection, lavage, calibrage 2.1*

**Voir le chapitre précédent**

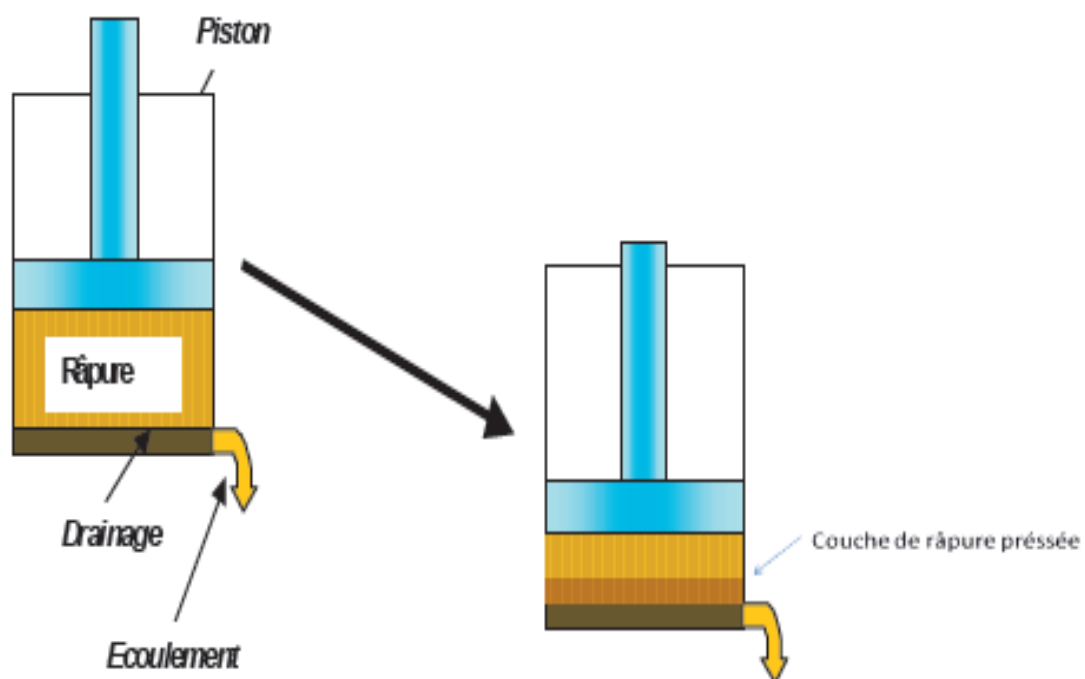
### *Extraction des jus 2.2*

Pour extraire le jus, il faut ainsi désorganiser les tissus pour obtenir une pulpe composée de cellules séparées, de fragments de paroi baignant dans le liquide issu des vacuoles. Une fois obtenu, le jus est séparé des particules solides.

: De nombreux paramètres sont à prendre en compte dans le pressurage des fruits.

L'épaisseur de pulpe, sa porosité, sa résistance mécanique, la viscosité et la densité du jus, la pression exercée.

Il est nécessaire de limiter le pressurage trop rapide afin de limiter l'épaisseur de la couche de râpure.



### **2.2.2 Pressoirs et extracteurs**

Actuellement, deux grands types de pressoirs sont utilisés pour le traitement industriel des pulpes de fruits :

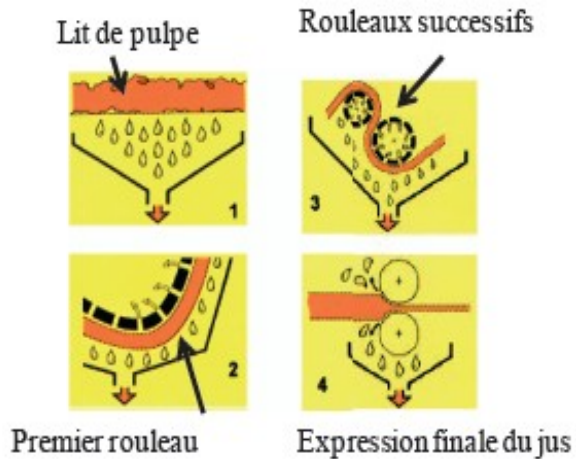
#### **2.2.2.1 Pressoirs discontinus**

Les pressoirs à paquets sont encore utilisés à l'échelle de production artisanale comme par exemple pour le jus de pomme. Ils ont cependant disparu des usines des pays occidentaux en raison de leur faible productivité. Ils permettent d'extraire le jus sur des fruits préalablement broyés sous l'action de pistons hydrauliques



#### **2.2.2.2 Pressoirs continus**

Les pressoirs à bande dérivent des techniques des pressoirs à paquets. Le lit de pulpe (étape 1) est entraîné entre deux toiles sans fin à travers un train de rouleaux et de contre-rouleaux (étapes 2 et 3) dont l'écart en se réduisant exerce une pression progressivement croissante sur la pulpe. Le jus s'écoule à travers la toile inférieure dans un bac collecteur (étape 4). A la fin du dispositif, les toiles s'écartent et permettent le relargage des résidus dans une trémie d'évacuation. Le nettoyage des toiles est assuré par des batteurs et des jets d'aspersion.



a)

b)

### 2.2.3 Cas particulier des agrumes

Dans les agrumes, la présence d'huile essentielle dans l'épiderme interdit le pressurage de la totalité du fruit. La fabrication de jus d'agrumes présente une contrainte qualitative. Les normes imposent une teneur en huile essentielle inférieure à 0,02% en volume du jus final.

Le jus des agrumes est extrait selon deux types d'extraction principaux : les extracteurs Brown et FMC. Ce second procédé représente 55% à 60% de la production mondiale de jus d'orange (Brat et Cuq, 2007).

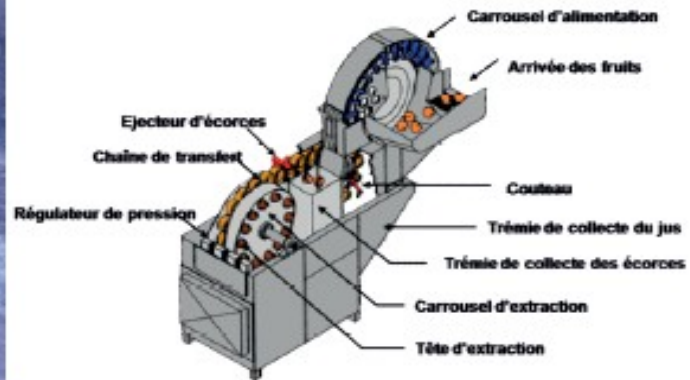
Les extracteurs Brown permettent l'extraction préalable des huiles essentielles. Les fruits sont placés dans des alvéoles semi-sphériques et sont conduits sur un couteau permettant leur séparation.

Chaque demi-fruit, restant dans son alvéole, se place devant une tête d'extraction, qui par un double mouvement de translation et rotation, permet le pressurage des carpelles, sans risquer l'éclatement des pépins contenant des composés amers. Le contrôle de la pression et de la vitesse de déplacement des têtes d'extraction permet de s'adapter à l'épaisseur de l'écorce (Baron, 2002).

Afin d'éviter l'extraction des huiles essentielles de l'épiderme lors de la montée en pression, les fruits sont passés au préalable dans un extracteur d'huile permettant la perforation des cellules sécrétrices de l'épiderme. Les huiles sont recueillies dans de l'eau circulant en sens inverse.



a)



b)

a) *Extracteur d'huiles essentielles* b) *Schéma explicatif des différents constituants de l'extracteur Brown (Baron, 2002).*

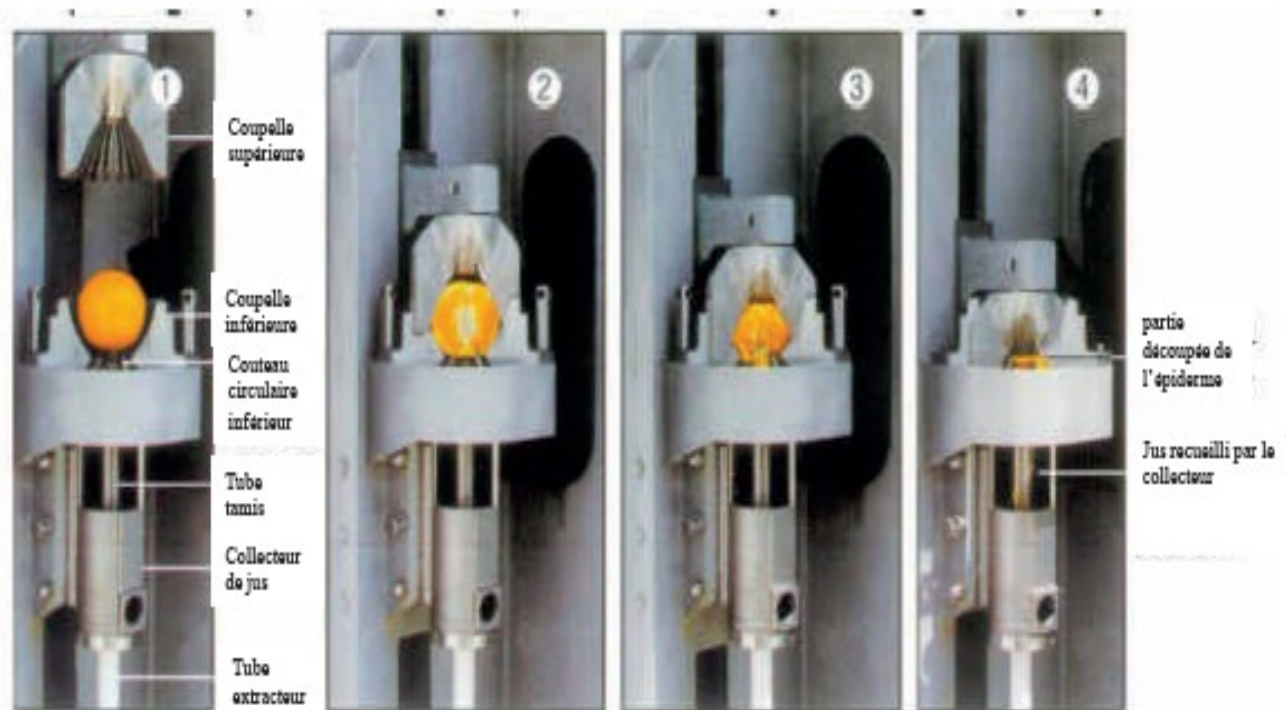
Le système « *inline* » développé par FMC permet une séparation instantanée des huiles essentielles et des jus par un procédé d'aspiration du jus au moyen de canules. Le jus ne sera jamais en contact avec les huiles essentielles.

La légende de la figure présente le principe de fonctionnement (Figure suivante). La coupelle supérieure descend et pousse le fruit sur le couteau circulaire inférieur, les coupelles maintiennent le fruit (2).

Les constituants intérieurs du fruit sont aspirés dans le tube tamis (*strainer tube*) par le mouvement descendant du piston. La coupelle supérieure descend de façon synchronisée (3).

Le mésocarpe est dilacéré et évacué à travers les griffes de la coupelle inférieure. La coupelle supérieure obture le tube. Le piston remonte et presse la pulpe, le jus s'écoule à travers le tamis et est recueilli par le collecteur (4).

Les particules trop grosses (fragments du mésocarpe, pépins, parties découpées de l'épiderme) sont éliminées par le centre creux du piston.



### ***Technologies d'aide au pressurage***

Dans le milieu des années 1930, la technologie du jus de fruits tend à se développer et avec elle apparaissent les difficultés de clarification et de rendement. Le pressurage seul ne permet pas une extraction maximale des jus, ce qui représente une perte financière pour les industriels.

Le développement des recherches a permis la première application d'enzymes pectolytiques dans cette technologie pour la clarification des jus de pomme en 1930. Pour l'extraction des jus, il est nécessaire d'agir en amont du pressurage par des actions physiques et/ou enzymatiques afin d'augmenter le rendement en facilitant l'extraction par une déstructuration augmentée du fruit, et/ou en aval pour supprimer le trouble et obtenir des jus clarifiés.

#### ***1 Traitements physiques d'aide au pressurage***

##### ***1.1 Action mécanique et physique***

La flash détente est une technique initialement mise en place pour le traitement préfermentaire des vins et qui a fait l'objet d'un brevet (Escudier, Moutonet *et al.*, 1993).

Son principe est d'assurer en continu, dans un temps minimum, un thermotraitement, et un refroidissement rapide.

Cette technique permet une extraction améliorée des composés pelliculaires (anthocyanes et tannins) par une déstructuration plus efficace de la pellicule de raisin en comparaison à un traitement pré-fermentaire classique.

### ***1.2 Combinaison de procédés, aide aux pressurages***

Des procédés comme les champs électriques pulsés (CEP) ou les microondes peuvent être appliqués pendant la macération. Schilling, Toepfl *et al.* (2008) ont montré une efficacité des champs électriques pulsés (3 kV.cm<sup>-1</sup>) sur la pulpe de pomme destinée au pressurage.

Le rendement d'extraction des polyphénols et des composés antioxydants est augmenté.

Les micro-ondes ont aussi été utilisées en prétraitement des fruits. Il permet une augmentation du rendement d'extraction par rapport à une macération sans traitement micro-onde avec un meilleur transfert des polyphénols.

L'analyse sensorielle ne montre aucune différence entre ces deux jus (Gerard et Roberts, 2004).

### ***2 Enzymes d'aide au pressurage***

Le principal traitement permettant d'aider le pressurage des fruits consiste à utiliser des enzymes de dégradation des parois.

Avec des intensités et des spécificités d'actions différentes, il est distingué : les enzymes d'aide au pressurage, les enzymes de clarification, les enzymes d'aide à la macération permettant l'obtention essentiellement de nectar, et les enzymes de liquéfaction.

La macération et la liquéfaction de la pulpe ont pour but de dilacérer et déchirer les fruits et améliorer l'écoulement des jus.

Chaque fruit a une quantité spécifique de pectine, hémicellulose et cellulose.

Le ratio de ces polysaccharides va être important dans le choix de la concentration et le temps d'incubation de l'enzyme exogène à utiliser (Grassin et Fauquembergue, 1996).

Le conseil européen ne permet pas le traitement de liquéfaction ou semi-liquéfaction (2009/106/CE, 2009).



## ***2.1 Enzymes utilisées pour ces traitements***

Les pectines sont la principale source de rétention des liquides dans le fruit. Sans l'utilisation d'enzyme, les pectines insolubles présentent un pouvoir de gélification et causent la rétention du jus durant le pressurage.

Pour cette raison, les enzymes commerciales utilisées dans la fabrication de jus sont essentiellement pectolytiques.

L'utilisation des pectinases concerne deux problèmes principaux : la dissolution de la protopectine et la dégradation de la pectine soluble.

Les enzymes les plus utilisées dans la production des jus de fruits sont les pectinases issues du microorganisme *Aspergillus niger*. En effet, *Aspergillus niger* peut synthétiser à la fois des Pectine Estérases (PE), dénommée aussi Pectine Méthyl-Estérase (PME), des Polygalacturonase (PG) et des Pectine Lyases (PL) (Pilnik et Voragen, 1993) .

Les enzymes pectinolytiques sont divisées en deux groupes : les enzymes déestérifiantes (enzymes saponifiantes) représentées par les pectine méthyl-estérases (PME), qui libèrent du méthanol et ainsi modifient le degré d'estérification, et des enzymes dépolymérisantes endo ou exo, PG agissant par hydrolyse et PL ou PAL (pectate lyase) agissant par  $\beta$ -élimination permettant de diminuer le degré de polymérisation.

Les enzymes dites « endo » attaquent le polymère au hasard alors que les enzymes dites « exos » ont une action récurrente à partir de l'extrémité du polymère (Voragen, Thibault *et al.*, 1995) (Massiot, 1988).

Les enzymes d'extraction sont utilisées pour augmenter le rendement des jus obtenus à partir des pressurages des pulpes.

Les préparations enzymatiques mises en oeuvre contiennent essentiellement les enzymes pectinolytiques : PME, PG et PL.

Le tableau IV présente la localisation d'action de ces enzymes sur la paroi cellulaire.

Tableau IV : Modification enzymatique des parois cellulaires (Baron, 1990).

Traitement	Enzymes utilisées	Action	Type de jus
Macération	PG	Lamelle moyenne	Nectar
Solubilisation partielle	PME-PG	Lamelle moyenne Paroi primaire (pectines)	Aide au pressurage
Liquéfaction	PME-PG-Cellulase	Lamelle moyenne Paroi primaire	Extraction du jus brut

- ✓ Les enzymes de macération sont utilisées principalement pour la fabrication de nectars. Leur rôle est d'hydrolyser partiellement les pectines de la lamelle moyenne afin de dissocier les cellules tout en conservant les parois intactes. Le jus obtenu est visqueux et contient une suspension de cellules.
- ✓ Les enzymes liquéfiantes vont permettre l'hydrolyse de la paroi pour permettre l'éclatement des cellules et la libération des sucres vacuolaires et cytoplasmiques. Tous les niveaux de la paroi sont attaqués, la paroi disparaît physiquement.
- ✓ La libération de méthanol est positivement associée à la présence et l'utilisation de la PME. En effet, la PME entraîne la libération de méthanol par l'hydrolyse des méthyl-esters des pectines.

Lors de la production de jus de fruits, il est important de noter que le méthanol est indésirable et très réglementé à cause de son effet néfaste sur la santé. Les teneurs en méthanol pour les jus fraîchement pressés varient de 1,14 à 6,67 mg.100 mL<sup>-1</sup>. Après 3 h de stockage cette teneur est augmentée et varie de 1,13 à 14,82 mg.100mL<sup>-1</sup> pour les jus de raisin et de citron

La dose létale de méthanol pur est estimée à 1–2 mL.kg<sup>-1</sup>

Le traitement thermique permet de réduire significativement la libération de méthanol par inactivation de la PME

## ✓ 2.2 *Choix des enzymes et activités combinées*

Dans la pulpe, l'utilisation de ces enzymes va permettre de renforcer l'activité faible des pectinases endogènes. Les cocktails enzymatiques utilisés en industrie sont nombreux.

Leur spécificité d'action dépendra du choix des enzymes et des paramètres inclus dans le procédé comme la concentration, la température et le temps d'incubation.

Ces paramètres permettront une déstructuration plus ou moins élevée de la paroi et/ou des pectines. Il est donc nécessaire de choisir la préparation enzymatique en rapport au fruit initial et au jus désiré.

Dans le cas de fruits riches en pectines (cassis, framboise...), le travail mécanique de la pulpe produit un jus très visqueux. La pulpe forme une structure semi-gélifiée dont il est difficile d'extraire le jus. L'action des enzymes pectinolytiques sera de dégrader cette structure afin de faciliter l'écoulement du jus.

Dans le cas du traitement par liquéfaction, il est important de considérer le degré de méthylation des fruits initiaux. Par exemple, les pectines de pomme sont à environ 90% méthylées, les préparations commerciales d'enzymes les plus efficaces seront ainsi constituées de PME associées aux PG. Ces enzymes sont incorporées à la pulpe avec des concentrations variant de 40 à 200 g.t-1 pendant une durée comprise entre 30 et 60 min à température optimale de l'enzyme (30-50°C) (Grassin, 1997).

### ***Stabilisation du trouble 2.3***

Dans les jus troubles, il est nécessaire que le trouble ou l'opalescence reste homogène pour préserver les qualités organoleptiques de ce type de jus, comme la couleur et la sensation du jus en bouche. Le trouble est attribué à une suspension de particules composée de pectines, protéines, lipides, hémicellulose, cellulose et d'autres composants mineurs

Le risque majeur de déstabilisation du trouble est la clarification spontanée du jus au cours du stockage. En effet, si les enzymes endogènes ne sont pas inactivées, sous l'action de la PME endogène, les pectines solubles gélifient sous forme de pectinate de calcium emprisonnant les particules en suspension

La rétraction du gel par synérèse expulse un sérum limpide donnant un aspect biphasique au jus

Des actions peuvent être menées à plusieurs niveaux afin de prévenir la déstabilisation  
.des jus

Il est nécessaire d'agir au cours du procédé de transformation en inactivant la PME ou  
.en dégradant les pectines solubles

Dans le jus de carottes, l'inactivation totale de la PME nécessite un traitement  
.thermique de 10 min à 70°C ou 5 min à 80°C (Reiter, Stuparic et al., 2003)

L'utilisation des champs électriques pulsés à haute intensité permet une inactivation  
de la PME et une diminution de la viscosité comparable à un traitement thermique  
(90°C, 30 s) dans le jus de pastèque (Aguilo-Aguayo, Soliva-Fortuny et al., 2010)

L'utilisation des ultra-sons dans le jus d'orange (1500 W, alternation des pulsations  
toutes les 5s) permet l'inactivation totale de la PME et une stabilité du jus augmentée  
(Tiwari, Muthukumarappan et al., 2009)

#### ***Clarification 2.4***

La clarification consiste à déstabiliser le trouble dans les jus dû à la fois à  
l'opalescence des colloïdes pectiques en pseudo-solution (diamètre inférieur à 0,1 µm)  
et aux particules en suspensions stabilisées par les pectines insolubles qui jouent le  
.rôle de colloïdes protecteurs (diamètre entre 0,5 µm et 10 µm)

Les éléments plus gros, constitués de débris cellulaires ou d'amas de cellules, sont  
.considérés comme « les pulpes » et ne participent pas aux troubles (Baron, 2002)  
Seulement, sans l'utilisation de pectinases, des problèmes de colmatage apparaissent.  
Après ces traitements enzymatiques, il est nécessaire de filtrer les jus afin de retenir  
.les particules précipitées (Drilleau, 1988)

Après ces traitements, le jus est limpide, mais les conditions de rendement et de débit  
dépendent du type de filtration, de la composition macromoléculaire du jus ainsi que  
.de la technique d'extraction enzymatique des jus

#### ***Enzymes utilisées pour l'aide à la clarification***

L'utilisation d'enzymes de clarification des jus se fait après pressurage sur les jus  
.bruts

La clarification permet d'obtenir des jus limpides, « brillants » et plus stables. Les jus  
riches en pectines sont visqueux et présentent un aspect plus ou moins opalescent en  
.raison de la présence des colloïdes

Le rôle des enzymes clarifiantes est de déstabiliser l'équilibre colloïdal en dégradant  
les macromolécules de pectines solubles. La fraction pectique recouvrant les

particules en suspension est également solubilisée par l'action des enzymes  
.clarifiantes

Les enzymes clarifiantes sont constituées d'un mélange de PME et PG. La PME dégrade les liaisons esters, la PG peut alors couper les liaisons  $\alpha$  (1- 4) entre les acides  
.galacturoniques

Les particules peuvent ensuite flocculer par interactions électrostatiques avec les  
.protéines chargées positivement et sédimenter

Dans les jus pauvres en protéines, la floculation est favorisée par l'adjonction de protéines exogènes, le plus souvent de la gélatine (Bannach, 1984). Des tests  
.préalables doivent être réalisés afin de ne pas être en excès

L'excès de protéines peut provoquer l'effet inverse de celui initialement désiré et entraîner un trouble au cours de la pasteurisation (lié à une thermo-coagulation) ou du stockage (réaction des protéines avec les polyphénols (Le Bourvellec et Renard, 2010))

L'excès de protéines peut être corrigé par collage à la bentonite (silicate d'alumine hydraté)

Des techniques innovantes permettent la clarification des jus de citron en séparant les  
.particules par application d'un champ électrique pulsé à 500V.m-1