

Chapitre I : Technologie des fruits et légumes

Introduction :

Les fruits et légumes sont souvent indissociables ou complémentaires à plusieurs titres. Dans les deux cas, il s'agit d'un matériel végétal à forte teneur en eau, donc particulièrement biodégradable sous l'action conjuguée des insectes, des moisissures, des multi-systèmes enzymatiques et des températures élevées.

Complémentaires, les fruits et légumes le sont également au plan nutritionnel, car ils constituent un supplément indispensable des régimes de base composés de céréales et féculents relativement pauvres en vitamines et en sels minéraux divers.

Inséparables, les fruits et légumes le sont d'autre part très souvent en matière de transformation, non seulement du fait de la similitude des traitements technologiques qu'ils subissent et des équipements nécessaires à la transformation, mais également par la possibilité qu'offrent leurs calendriers respectifs de récolte de maintenir une conservation en activité durant toute l'année avec les avantages économiques que cela comporte.

I.1.Catégories de fruits et légumes

I.1.1.Catégories de fruits

Le fruit est le produit comestible de certains végétaux, de saveur généralement sucrée, et issu du développement de l'ovaire à la suite de la fécondation des ovules. Les différentes catégories de fruits sont résumées dans le tableau suivant.

I.1.2.Catégories de légumes

Le légume est une plante cultivée dont on consomme, selon les espèces, les feuilles, les tiges, les racines, les tubercules, les fruits, les graines. Les différentes catégories, indiquées dans le tableau 1 et 2, sont définies en fonction de l'organe ou du fragment végétal utilisé comme légumes. Souvent assimilées comme légumes, les légumineuses ont également été traitées dans ce cours.

Tableau 1 : les différentes catégories de fruits

Fruits rouges ou baies	Fraise, framboise, cassis, groseille, mûre et myrtille
Fruits à noyau	Pêche, abricot, cerise, prune et olive
Fruits à pépin	Pomme, poire, raisin et kiwi
Fruits à coque	Noix, amande et noisette
Fruits méditerranéens et tropicaux	Citron, agrumes (pamplemousse, clémentine, orange), avocat, banane, ananas, mangue, papaye, datte, grenade et goyave

Tableau 2 : les différentes catégories de légumes.

Légumes feuilles - entières - bases foliaires - pétioles	Bette, chou, ciboulette, cresson, épinard, laitue, mâche, oseille, persil, pissenlit Poireau Céleri, fenouil, rhubarbe
Légumes tiges	Asperge, chou-rave
Légumes racines	Betterave, carotte, céleri-rave, manioc, navet, panais, patate douce, radis, raitfort, rutabaga, salsifis
Légumes bulbes	Ail, échalote, oignon
Légumes fruits - charnus - secs immatures - secs mûrs	Aubergine, concombre, cornichon, courge, courgette, piment, plantain, poivron, potiron, tomate et melon Gombo, haricot vert Châtaigne, noix, noisette
Plantules entières	Pousse de soja, de radis, de luzerne
Bourgeons	Choux de Bruxelles, endive, pousse de bambou
Inflorescences	Artichaut, brocoli, chou-fleur
Graines	Fève, haricot, lentille, pois
Tubercules	Pomme de terre, taro, topinambour, igname, crosne du Japon
Rhizomes	Gingembre, lotus
Carpophores	Champignon

I.1.3. Présentation des différentes gammes de végétaux

Dans l'industrie, selon le mode de transformation qu'ils ont subi, les fruits et légumes sont classés en six gammes de produits. Cette distinction ne correspond pas à un ordre de qualité, mais plutôt à l'ordre dans lequel ils sont apparus sur le marché. Selon leur présentation, les végétaux peuvent être classés en cinq gammes ou catégories :

1. première gamme = végétaux frais en l'état ;
2. deuxième gamme = végétaux appertisés ;
3. troisième gamme = végétaux surgelés ;
4. quatrième gamme = végétaux conditionnés crus, frais, prêt à l'emploi. C'est-à-dire ayant fait l'objet d'un épluchage, coupage ou toute autre préparation touchant à l'intégrité du produit ;
5. cinquième gamme = végétaux cuits sous vide, prêts à l'emploi : produits pasteurisés voire stérilisés sous atmosphère modifiée.
6. sixième gamme = végétaux lyophilisés.

I.2.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. Nous ne décrivons ici que les principales d'entre elles.

I.2.1. 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 (*Clostridium botulinum* est une bactérie du sol). Le nettoyage permet d'éliminer les matières étrangères légères et les poussières. Celles-ci sont éliminées par une soufflerie. La puissance de la soufflerie doit être réglable pour obtenir une séparation efficace du légume et des débris végétaux pouvant avoir une densité voisine.

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. La maîtrise des résidus de produits antiparasitaires dépend essentiellement du mode cultural : respect des doses, respects des délais réglementaires entre l'application des antiparasitaires et la récolte du végétal.

Il existe deux modes de lavage :

✓ *Le lavage par aspersion* soit :

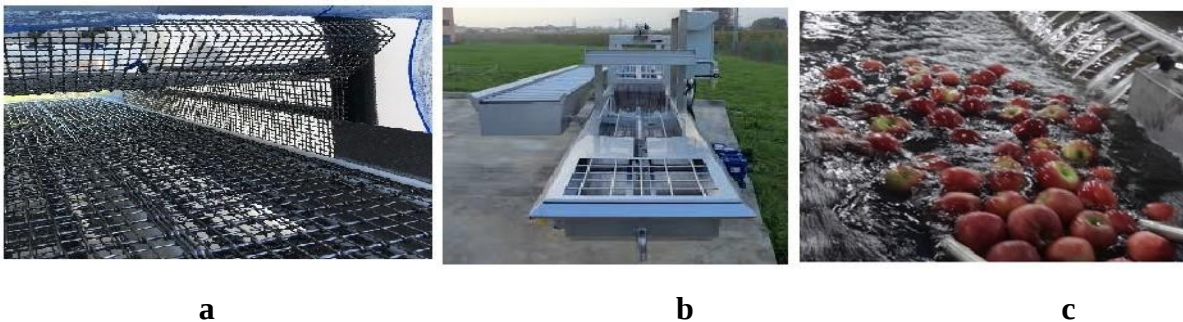
- par des laveurs à jet : les fruits et légumes, déposés sur un tapis perforé ou grillagé, passent sous des jets d'eau sous pression ; ce système permet de nettoyer de grandes quantités de

légumes (**Fig.1**).

- ou des laveurs à tambour rotatif : ce type de lavage correspond à la mise en rotation d'un cylindre dans lequel avance le produit, aspergé par un système de jets (**Fig.1**).

✓ Le lavage par immersion :

Les fruits et légumes de densité plus faible (épinards, champignons ...) ont tendance à flotter. Le produit est alors immergé dans l'eau par des pâles et des guides qui le forcent à entrer dans l'eau. L'agitation est améliorée dans certains laveurs par de l'air comprimé envoyé par des buses. Lorsque le lavage est difficile, l'eau peut être additionnée de chlore, ou encore d'agents mouillants (anti-mousse) pour améliorer l'efficacité de l'opération.



a- Lavage par aspersion b- lavage à jet, c- Lavage par immersion

Figure 1 : Exemples de lavage

I.2.2.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 : c'est pourquoi la décoloration artificielle, par l'acide sulfureux, de fruits et légumes est pratiquée. 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.

I.2.3.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...). Mais l'opération de calibrage est souvent imposée par des normes réglementaires : c'est le cas des petits pois et des haricots verts. Bien souvent, la grosseur des fruits et légumes n'est pas liée à la qualité gustative mais joue surtout du point de vue de la

présentation. 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 (Fig.2).



Figure 2 : Exemples de calibrage des fruits et légumes

I.2.4. 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'écossage 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 dont la plus connue est «la parmentière » : bol dont les parois sont recouvertes de Carborandum (châtaigne, pomme de terre).
- ❖ 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 (Fig.3).



Figure 3 : Eboutage des haricots verts

I.2.5. 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 (**Fig.4**). Il 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 et ainsi assure une meilleure conservation des qualités organoleptiques et nutritionnelles des fruits et légumes.



Figure 4 : Découpage des fruits et légumes

I.2.6. Le blanchiment

Le blanchiment consiste à porter rapidement les légumes à haute température ($\approx 100^{\circ}\text{C}$) puis à les refroidir rapidement pour éviter une surcuisson des produits, souvent associée à une perte importante de vitamines.

❖ Les objectifs du blanchiment sont principalement la destruction des enzymes, la désaération du produit, et la modification de la structure ou de la couleur :

- la destruction des enzymes est la fonction essentielle du blanchiment. Elle permet de bloquer l'activité enzymatique des légumes pour éviter leur dégradation lors des étapes de fabrication ultérieures (bruissement, détérioration des qualités organoleptiques).

- la désaération du légume permet d'éliminer l'air et les autres gaz occlus dans les tissus. La libération de ces gaz peut entraîner le bombage ou le flochage des emballages par pression, ou encore accélérer de la corrosion ultérieure des aciers des boîtes métalliques dans le cas de la stérilisation. Ces gaz peuvent aussi entraîner une oxydation des produits en donnant des colorations anormales lors de la surgélation ou de l'appertisation.
- la modification de la structure : le blanchiment permet d'assouplir le tissu végétal de façon à lui permettre de supporter sans dommage les manipulations ultérieures et à réduire son volume apparent afin de faciliter ou rendre possible le conditionnement dans des emballages.
- la correction de la teneur en eau : la majorité des légumes subissent des pertes en eau plus ou moins importantes au cours de la cuisson (épinards, petits pois, champignons). Les légumineuses au contraire reprennent une certaine quantité d'eau à la cuisson (flageolets, lentilles). Le blanchiment assure une meilleure régularité de ces pertes ou gains de poids et permet un meilleur pilotage des fabrications.

Le blanchiment permet encore d'accroître la perméabilité des parois cellulaires, ce qui augmente la vitesse de déshydratation et facilite la réhydratation ultérieure, de compléter le lavage du produit, en réduisant aussi bien les contaminations d'origine chimique que la charge microbienne et possède également l'avantage de réduire le temps de cuisson lors de la préparation culinaire.

- Les techniques du blanchiment :

On distingue le blanchiment à l'eau bouillante et le blanchiment à la vapeur ; leur utilisation dépend du fluide caloporteur et du légume à transformer.

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. Cependant il entraîne des pertes nutritionnelles par dissolution et apporte au produit une quantité non négligeable d'eau libre (**Fig.5**).

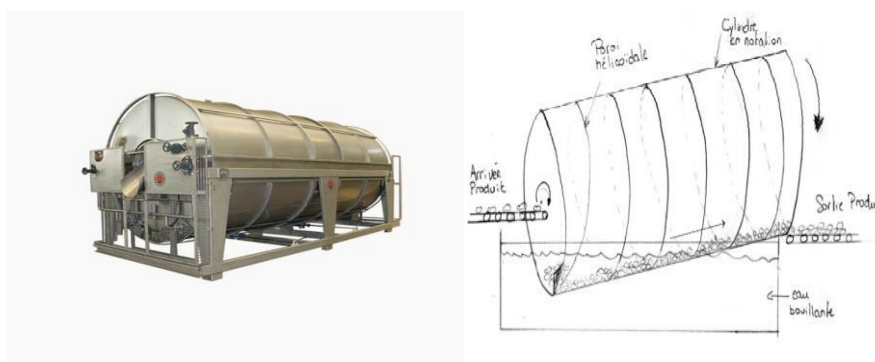


Figure 5 : Machine de blanchiment à l'eau bouillante

▪ 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. Ils sont disposés dans un treillis métallique en couches de faible épaisseur et non tassées de façon à être soumis uniformément à l'action de la vapeur. 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. Néanmoins, pour les denrées de fort diamètre comportant des feuilles (choux de Bruxelles ou cœur de céleri, par exemple), le blanchiment à la vapeur est moins efficace en raison de la pénétration de chaleur plus difficile (**Fig.6**).

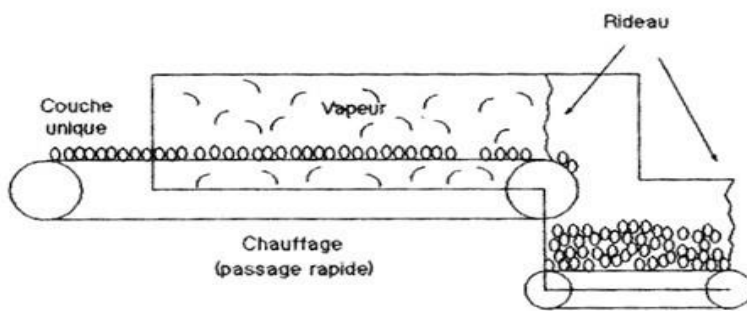


Figure 6 : Machine de blanchiment à la vapeur

- 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.1. Les technologies de conservation industrielle

Les traitements de conservation appliqués aux aliments visent à préserver leur comestibilité et leurs propriétés gustatives et nutritives en empêchant le développement des bactéries, champignons et microorganismes qu'ils contiennent et qui peuvent dans certains cas entraîner une intoxication alimentaire. Les trois méthodes utilisées pour la conservation des aliments reposent sur :

- **La chaleur** : pasteurisation, stérilisation, appertisation, semi-conserves ;
- **Le froid** : surgélation, congélation, réfrigération ;
- **Autres techniques** : conditionnement sous vide ou sous atmosphère modifiée, lyophilisation, déshydratation et séchage, fermentation, salage, confisage, saumurage, fumage ou fumaison, ionisation, etc.

II.1.1 Par la chaleur

II.1.1.1 La conserve appertisée

Inventé vers 1800 par Nicolas APPERT (**Fig.7**), l'appertisation est l'un des procédés de conservation les plus employés. 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.



Figure 7: Apparition des boîtes de conserves

La technologie de l'appertisation des fruits et légumes permet une conservation longue des denrées à température ambiante. Elle permet parallèlement d'offrir au consommateur une présentation du produit qui allie praticité et qualités organoleptiques et nutritionnelles.

► Les semi-conserves :

Les semi-conserves sont des denrées alimentaires périssables, conditionnées en récipients étanches aux liquides, et ayant subi un traitement de conservation (pasteurisation, salage, séchage, etc.) en vue d'en assurer une conservation plus limitée que les conserves. Elles doivent être stockées au froid. Elles comportent le plus souvent une date limite de consommation, mais peuvent comporter, compte tenu de leur durée de conservation (le plus souvent de quelques mois), une date de durabilité minimale.

► L'appertisation (conserves) :

Ce procédé associe deux techniques :

- Un conditionnement dans un récipient étanche.
- Un traitement thermique (en général la stérilisation). Les produits obtenus peuvent se conserver plusieurs années à température ambiante (5 ans maximum). Elles comportent une date de durabilité minimale, la date passée, la denrée perd de ses qualités gustatives ou nutritives sans pour autant constituer un danger pour celui qui la consommerait. Les principales étapes de l'élaboration des fruits et légumes appertisés sont les suivantes :

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

Le schéma général et le diagramme des fruits et légumes appertisés sont présentés dans la figure 8.

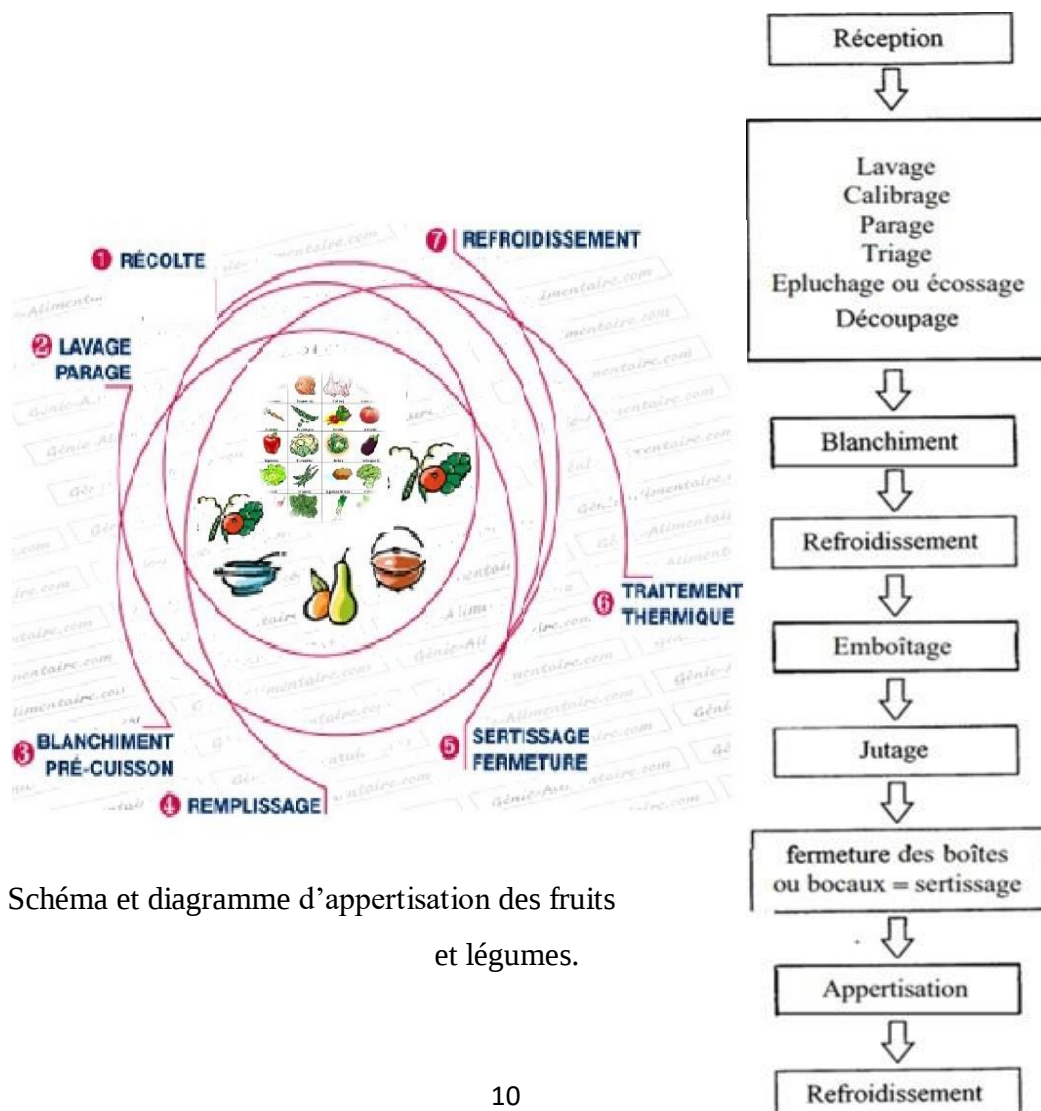


Figure 8 : Schéma et diagramme d'appertisation des fruits et légumes.

- Chaque étape entraîne des choix technologiques différents en fonction du produit traité. Les deux premières étapes (préparation et blanchiment) ont été citées précédemment. Ci-après une liste de produits très couramment disponibles dans les marchés d'alimentation (**Fig.9**).



Figure 9: Exemples de produits appertisés : fruits et légumes, soupes et sauces

II.1.1.1.1. L'emboîtage

L'opération d'emboîtage (**Fig.10**) ou de remplissage des récipients consiste à distribuer dans chaque récipient une masse constante de légumes.



Figure 10 : Quelques exemples d'emballage destinés à l'appertisation

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

a) **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. Un système de cames libère le fond de la poche au-dessus du récipient (**Fig.11**). 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.



Figure 11 : L'emboîtement volumétrique

b) **L'emboîtement par les machines Sobern ou Nico** : Ces machines ont été conçues pour emboîter des produits difficiles à distribuer dans des emboîteuses volumétriques. Le produit est distribué 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. Le produit qui n'est pas entré dans le récipient est repris en bas du cylindre et effectue un nouveau cycle. Le réglage de la quantité distribuée se fait par ajustage de la vitesse de rotation du tambour et de la vitesse d'avancement des récipients. 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.

c) **L'emboîtement par pesée** : Pour certains légumes qui n'adhèrent pas trop aux parois des trémies, l'utilisation des peseuses associatives est possible (**Fig.12**). Le développement de leur utilisation dans les conserveries est limité par leur faible vitesse d'emboîtement et par leur coût.



Figure 12 : Techniques d'emboîtement par pesée et automatique

II.1.1.1.2. 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 jutage est plus délicat pour obtenir une bonne désaération du contenu de l'emballage. Des juteuses sous vide sont alors utilisées, dont le fonctionnement est le suivant :

- Mise sous vide à l'intérieur de la boîte
- Introduction du liquide de couverture par la dépression.

Le jutage possède toutefois l'inconvénient de dissoudre certains éléments nutritifs qui sont perdus lorsque l'on jette le liquide (**Fig.13**).



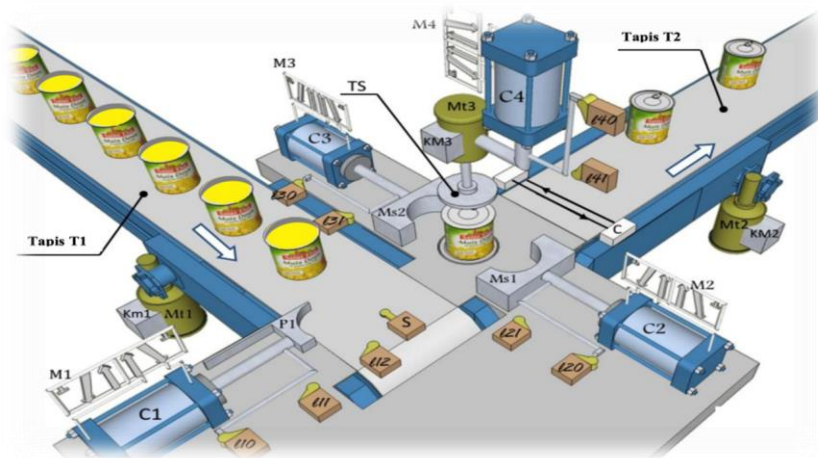
Figure 13 : Juteuse automatique

II.1.1.1.3. Le sertissage

Très rapidement après le jutage, on doit fermer les boîtes en enlevant le maximum d'air : c'est le sertissage pour les boîtes métalliques ou le capsulage pour les bocaux en verre (**Fig.14**). En

enlevant l'air des boîtes et en fermant le tout, on doit s'assurer de la résistance à la surpression ou à la dépression ainsi qu'à l'étanchéité permanente. Les bocaux de verre sont fermés par des capsules « twist-off » en fer-blanc. Pour les bocaux de verre, cette étape se fait sous vide.

L'opération de **sertissage** permet donc la fermeture hermétique des boîtes métalliques. On pose sur la boîte un couvercle sur lequel se trouve un joint. Les deux bords du couvercle et de la boîte sont enroulés ensemble. Puis, par serrage, le tout est comprimé, ce qui permet de fermer la boîte d'une façon parfaitement étanche.



Opération de sertissage

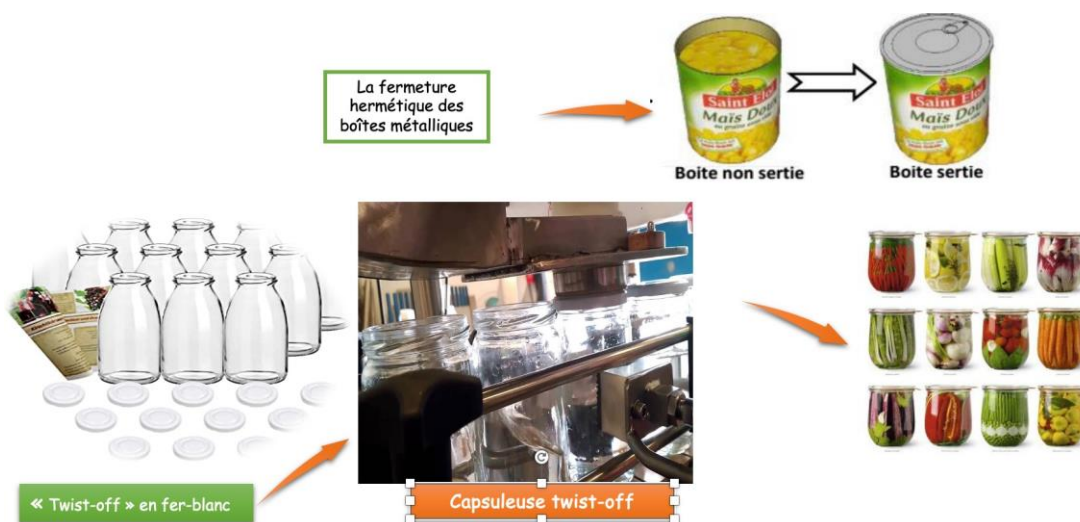


Figure 14 : L'opération de sertissage et technique de fermeture des boîtes

- 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.

II.1.1.1.4. Le traitement thermique ou autoclavage :

C'est l'étape de la stérilisation (ou pasteurisation si le produit est acide ou si le produit est destiné à être conservé au frais comme les semi-conserves). Le chauffage sert à la fois à cuire les aliments appertisés et à détruire les microorganismes et les spores des bactéries. 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 (**Fig.15**), 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 (**Fig.16**), 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.

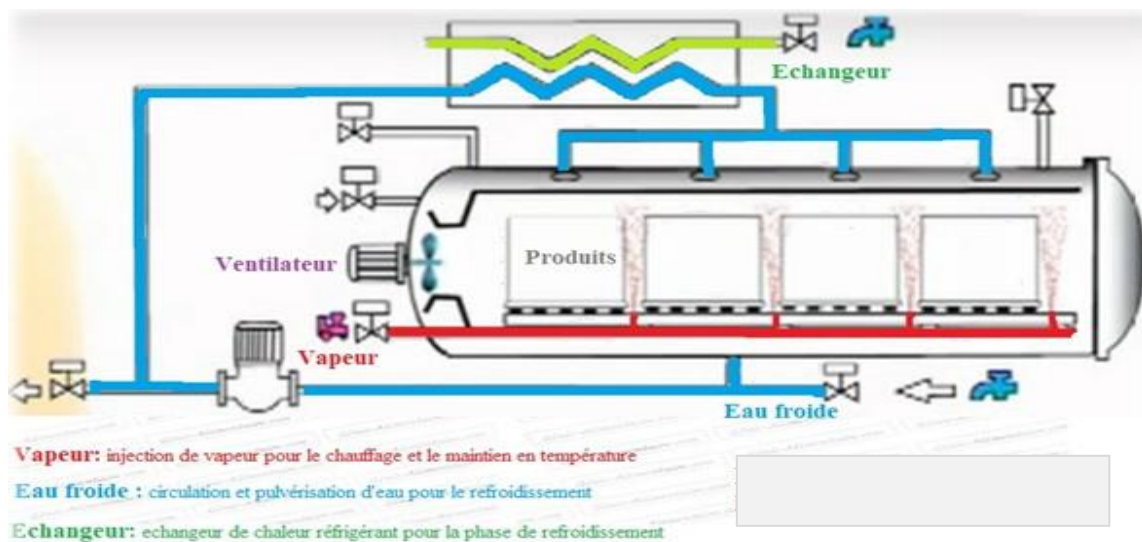


Figure 15 : Principe de fonctionnement de l'autoclave vapeur



Figure 16 : Autoclavage des soupes

- 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)

Tableau 3 : Exemples de barème de stérilisation pour des produits conditionnés en boîtes métalliques.

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

Parmi la grande variété d'appareils qui existent actuellement sur le marché, les stérilisateur les plus couramment utilisés dans les conserveries de fruits et légumes sont les suivants :

- Autoclaves horizontaux et verticaux pour le type d'appareil discontinu,
- Les statiques et les rotatifs pour les appareils continus.

Les autoclaves verticaux sont utilisés pour des fabrications en petites séries. Les autoclaves horizontaux sont bien adaptés pour la stérilisation de produits en bocaux de verre. Les appareils continus sont très couramment utilisés dans les conserveries de légumes pour leur cadence élevée de production.

- 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 système utilisant des sertisseuses sous-

vides est le plus courant mais il existe d'autres procédés permettant l'appertisation des denrées sans liquide de couverture :

- le conditionnement aseptique en emballage continu (selon le procédé Tétrapak ou Combi bloc) est utilisé pour certaines préparations, comme les purées de légumes.
- le conditionnement aseptique sous-vide (selon le procédé Vatech) qui permet d'obtenir les produits sous-vide (cuits à la vapeur).

✓ 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.

- **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. Elle 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.3.2. Les techniques de conservation par le froid

La conservation au froid, pratique très ancienne, s'est répandue au début du XX^{ème} siècle avec le développement des techniques de production du froid artificiel. Le froid arrête ou ralentit l'activité cellulaire, les réactions enzymatiques et le développement des micro-organismes. Il prolonge ainsi la durée de vie des denrées alimentaires en limitant leur altération. Néanmoins, les micro-organismes éventuellement présents ne sont pas détruits et peuvent reprendre leur activité dès le retour à une température favorable.

II.3.2.1. La réfrigération

Cette technique consiste à abaisser la température pour prolonger la durée de conservation des aliments. À l'état réfrigéré, les cellules des tissus animaux et végétaux restent en vie pendant

un temps plus ou moins long, et les métabolismes cellulaires sont seulement ralentis. La température des aliments réfrigérés est comprise entre 0 et + 4° C pour les denrées périssables les plus sensibles. La réfrigération retarde de quelques jours l'évolution d'une denrée périssable et permet d'allonger la durée de distribution des produits frais notamment les fruits et légumes.

- La température optimale de réfrigération varie d'une matrice végétale à une autre : Pomme se conserve 2 fois plus à 4° qu'à 15° (**Tab.4**) :

Tableau 4 : Exemples de fruits et légumes réfrigérés avec leur durée de conservation

Produits	Températures d'entreposage (C°)	Durées de conservation
Carotte	-1 à 1	4 à 6 mois
Artichaut	0	1 mois
Epinard	0	2 à 6 semaines
Pomme de terre	5 à 10	4 à 8 mois
Tomate	0	1 à 3 semaines
Banane	11 à 15	1,5 à 3 semaines
Pomme	-1 à 4	1 à 8 mois
Orange	4 à 6	Jusqu'à 6 mois
Fraise	0	5 jours

II.3.2.2. La congélation

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°C à cœur du produit. Elle permet de cette façon à faire passer à l'état solide l'eau qu'elle contient. Cette cristallisation d'eau contenue dans la denrée permet de réduire l'eau disponible pour des réactions biologiques et donc de ralentir ou d'arrêter l'activité microbienne et enzymatique. Une technique qui est aussi utilisée à grande échelle pour conserver des fruits (pommes, poires) plusieurs mois dans les stations fruitières. Une bonne conservation implique que la charge microbienne soit la plus faible possible. Elle nécessite donc des conditions de fabrication, de préparation et de stockage hautement hygiéniques afin d'éviter les contaminations (*listeria*, *salmonelles*).

II.3.2.3. La surgélation

La surgélation consiste à congeler rapidement une denrée saine et en parfait état de fraîcheur, en abaissant sa température très rapidement inférieure à -18° C en tous points. Grâce à ce procédé, l'eau contenue dans les cellules se cristallise finement limitant ainsi la destruction cellulaire. Les produits ainsi traités conservent leur texture, leur saveur et peuvent être conservés plus longtemps (plusieurs mois, voire une année) sans modification notable des nutriments.

Ce mode de conservation est aujourd'hui très répandu, pour sa praticité et la grande variété de produits disponibles (fruits, légumes, viandes, poissons, plats cuisinés, boulangerie-pâtisserie...). Il implique un strict respect de la chaîne du froid (-18°C de la fabrication à la consommation). 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
- **Le blanchiment** : 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** : elle survient 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. **Exemple** : 90 % de la vitamine C des haricots verts étaient préservés après 300 jours de conservation à -18°C. Ainsi elle stabilise l'aliment dans un état donné, seule de tous les procédés de conservation, elle permet de restituer toutes les qualités organoleptiques des produits saisis dans leur fraîcheur initiale.
- **Les limites de la surgélation** Tous les fruits et légumes ne supportent pas la surgélation : ceux qui resteraient consommables ne seraient plus appétissants lors de la décongélation ; cela (légumes gorgés d'eau) outre le triage préalable et la sélection des produits, les denrées à surgeler doivent être particulièrement très fraîches et saines à l'origine. La plupart des microorganismes ne sont pas détruits par le froid, seule leur multiplication s'arrête et reprend dès la décongélation du produit. [15]

- **Le choix des emballages**, pour optimiser l'entreposage des produits surgelés Le conditionnement doit non seulement protéger son contenu des agressions extérieures : il doit être étanche à la vapeur d'eau afin de limiter la formation d'une couche de matières lyophilisées dues à la perte d'eau du produit lors de l'entreposage ; il doit limiter le phénomène de givrage dû aux variations de température lors de l'entreposage. Les films mis sous-vide ou certains films rétractables sont utilisés. [2]

II.3.2.4. Les techniques de congélation

a- 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 trèsdiverses. 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). Le procédé par « lit fluidisé », dans lequel le produit en vrac est congelé en même temps qu'agité et véhiculé dans un courant d'air froid, permet une congélation plus rapide mais ne s'applique qu'aux petits fruits et fragments de légumes.

b- 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).

c- Aspersión 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. En raison de son coût élevé, ce procédé est surtout utilisé pour des produits fragiles et à forte valeur ajoutée.

- Les différents équipements de conservation des fruits et légumes par le froid sont représentés dans la figure 17.



Chambres froides (1) Surgélateurs à lit fluidisé (2) Surgélateurs à plaques (3) Tunnel de surgélation (4)

Figure 17 : Équipements de conservation des fruits et légumes par le froid

II.3.3. La déshydratation :

Le séchage ou dessiccation est l'un des plus anciens procédés de conservation des aliments. Ce 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 également de réduire considérablement la masse et le volume des aliments (économies d'encombrement et de transport). Le schéma général des fruits et légumes déshydratés est présenté dans la figure 18 :

II.3.3.1. Mécanisme de l'élimination de l'eau

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

- 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 (**Tab.5**) :

- *Caractère limité* : les techniques citées ci-dessous ne permettent d'éliminer qu'une partie de l'eau libre des produits traités

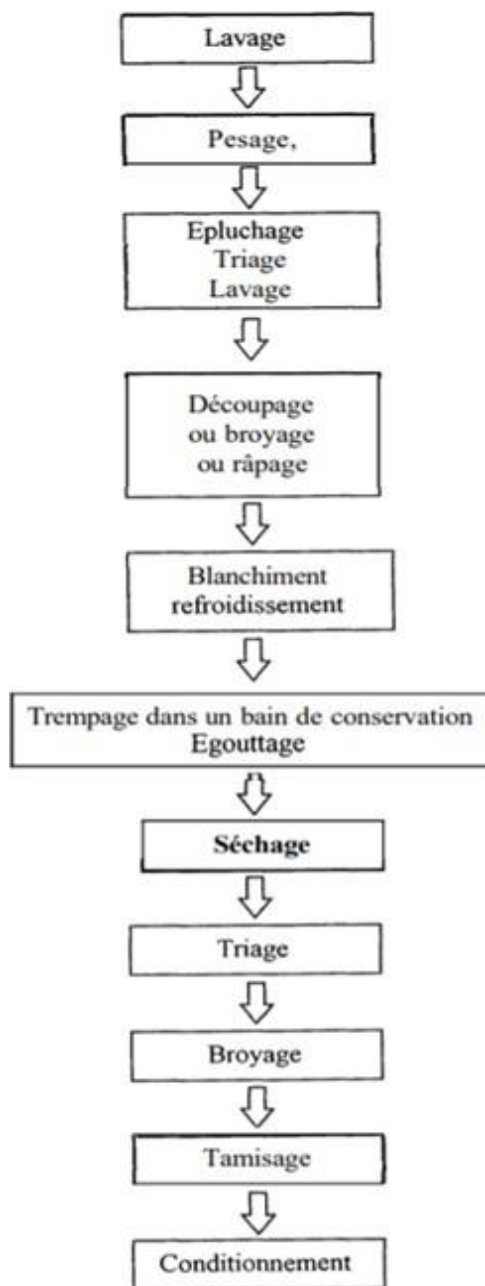


Figure 18 : Diagramme général de conservation par séchage.

- *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. Seule, l'osmose inverse peut être considérée comme pratiquement sélective.
- *Faible consommation d'énergie* : le fait que seule la fraction aqueuse non liée soit éliminée implique une consommation moindre d'énergie.

Tableau 5: Les techniques d'élimination de l'eau par voie mécanique

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

- 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 ;

- **InfraRouge ou MicroOndes** : un rayonnement électromagnétique est appliqué sur le produit. Ce mode de séchage convient aux produits en plaques ou en films, donc de faible épaisseur. L'apport d'énergie s'effectue par ondes électromagnétiques générées soit par des dispositifs électroniques (micro-ondes) soit par élévation de la température d'un émetteur infrarouge. Le chauffage en infrarouge se manifeste sur des épaisseurs très faibles. Avec des micro-ondes on peut sécher à des épaisseurs plus importantes. Le champ électromagnétique véhiculé par ces fréquences excite les molécules d'eau : l'agitation moléculaire qui en résulte provoque des chocs intermoléculaires. Cela entraîne un échauffement du produit et donc la vaporisation des molécules d'eau.

+ **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.

- Les procédés de séchage thermique : soleil, séchoirs et tambour rotatif, sont illustrés dans la figure 19.

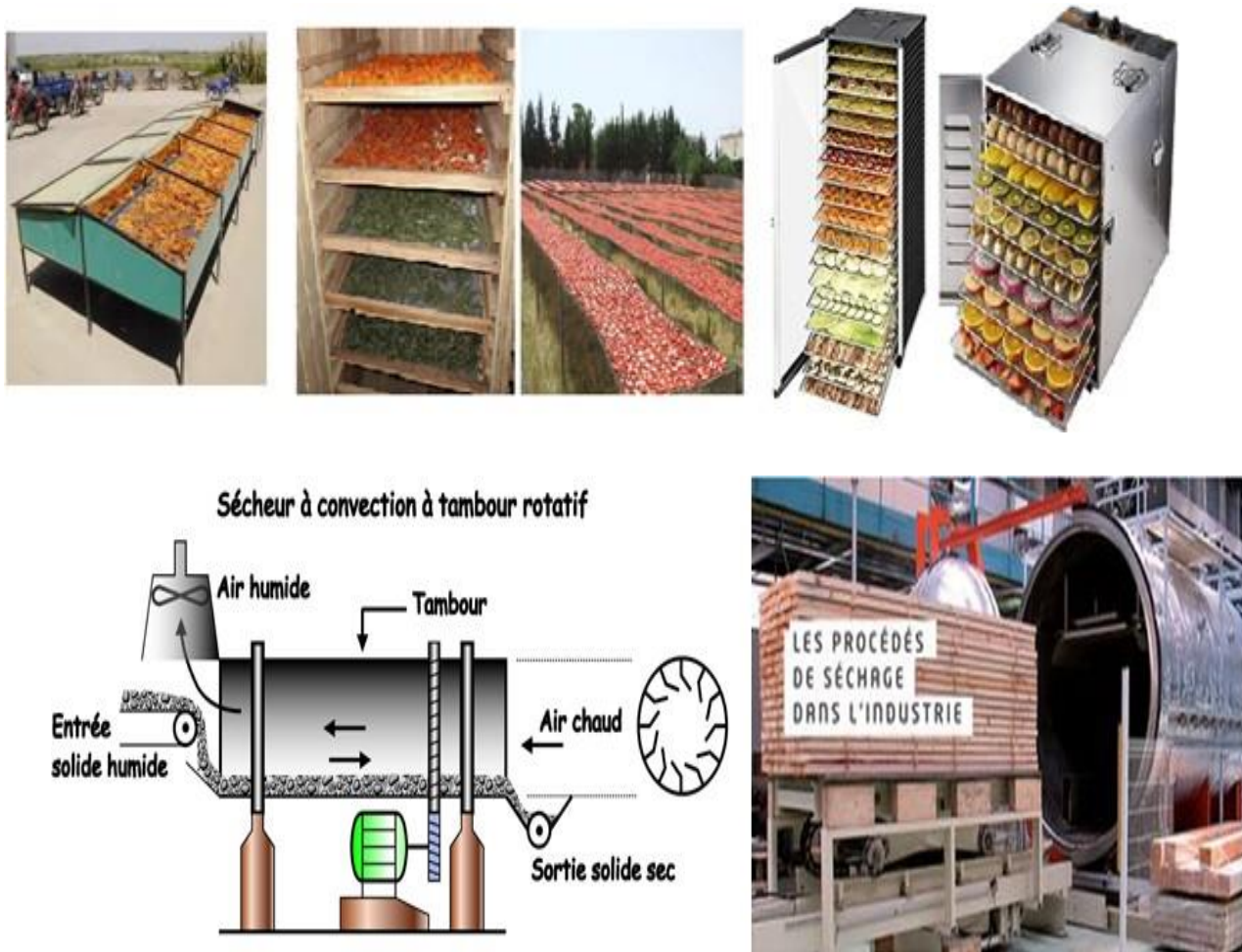


Figure 19 : Procédés de séchage thermique : soleil, séchoirs et tambour rotatif

II.3.4. La lyophilisation

Elle consiste à congeler un aliment puis à le placer sous vide: l'eau passe ainsi directement de l'état solide à celui de vapeur (sublimation).

- 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 $< 0^{\circ}\text{C}$).
- **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. En fin de lyophilisation, le vide est cassé par l'azote (pour récupérer un produit très friable), en

atmosphère très sèche, et on le conditionne immédiatement dans un emballage étanche à l'air et à la vapeur d'eau. [15]

La forme et l'aspect des produits sont bien conservés, leur qualité aromatique est bien supérieure à celle des produits séchés. Du fait de son coût, cette technique est réservée aux fruits et légumes de valeur ajoutée tels que les champignons et certains potages instantanés.

- Le lyophilisateur (**Fig.20**) est composé des éléments suivants :

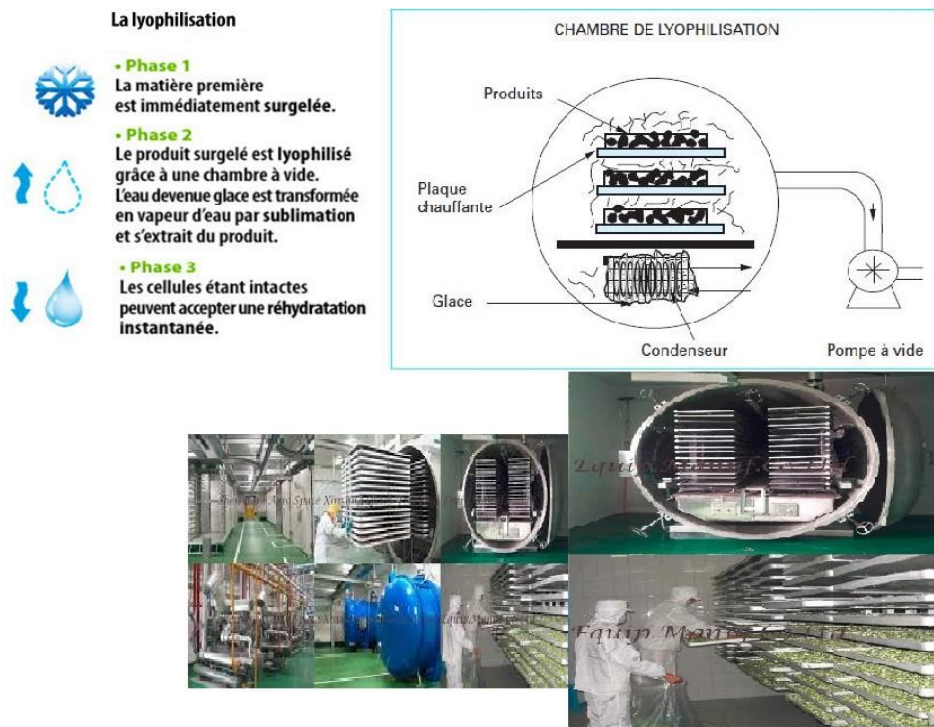


Figure 20 : Le lyophilisateur et la lyophilisation

- D'une chambre de séchage dans laquelle le produit est disposé sur une série de plateaux parallèles et horizontaux, d'une source de chaleur (plateaux à circulation de fluides, résistances électriques, rayonnements infrarouges ou micro-ondes) et d'un piège à glace et une pompe à vide.

II.3.5. Conservation par acidification

La fermentation est la transformation naturelle d'un ou plusieurs ingrédients alimentaires sous l'action de levures, ou de bactéries. Les plus importantes transformations de denrées alimentaires par la fermentation sont au nombre de trois :

- La fermentation alcoolique (vin) ;
- La fermentation lactique (cornichons) ;
- La fermentation acétique (vinaigre).

II.3.6. Autres techniques

II.3.6.1. Modification de l'atmosphère

- Le conditionnement sous vide

Il réduit la quantité d'air autour de la denrée alimentaire et donc l'action de l'oxygène sur celle-ci. Cela permet d'empêcher d'une part le développement des micro-organismes, dont la prolifération est une des causes de l'altération du produit, et d'autre part les réactions d'oxydation également à l'origine de dégradations du produit.

- Le conditionnement sous atmosphère modifiée (*emballage étanche*)

Il permet de remplacer l'air qui entoure la denrée alimentaire par un gaz ou un mélange gazeux (en fonction du type de produit), et de prolonger ainsi la durée de vie de celle-ci. Cette technique de conservation est associée à un stockage à basse température tout au long de vie du produit. Une mention inscrite sur l'étiquetage indique « conditionner sous atmosphère protectrice ».

II.3.6.2. L'ionisation

Elle repose sur l'exposition des denrées alimentaires à l'action de rayonnements ionisants électromagnétiques, qui a pour but d'augmenter la durée de conservation des aliments en éliminant les micro-organismes. Les sources de rayonnements ionisants font l'objet d'une liste exhaustive fixée par la réglementation. La liste des denrées alimentaires pouvant être traitées est limitée et concerne celles qui sont fréquemment contaminées et/ou infestées par des organismes et leurs métabolites, qui sont de nature à nuire à la santé publique (insectes, micro-organismes pathogènes, etc.). Ce traitement de conservation correspond à une technique maîtrisée et encadrée par la réglementation, et n'a aucun rapport avec les contaminations accidentelles pouvant résulter du contact des denrées alimentaires avec des sources radioactives.

D'autres technologies de conservation telles que la microfiltration, le chauffage ohmique, procédé au cours duquel le produit est chauffé directement par un courant alternatif basse tension, les ultrasons, les hautes pressions, les champs magnétiques pulsés ou la lumière pulsée se développent.