

L'agroalimentaire ; *agro-food sector* ; c'est le secteur d'activité allant de la production agricole aux denrées alimentaires élaborées à partir de ressources naturelles et de techniques industrielles. Ce domaine englobe les phases de transformation, conservation et de commercialisation des produits se situant entre le stade agricole et celui de la consommation.

Qu'est-ce que le génie des procédés alimentaires ?

Nous appelons procédé l'association d'actions appliquées à des produits pour leur conférer des propriétés. La figure 1 montre les principales actions mises en œuvre. Les propriétés que l'on recherche sont : les propriétés organoleptiques (aspect, goût, arôme), l'innocuité, la praticité, l'aptitude à la conservation, la conformité aux règlements.

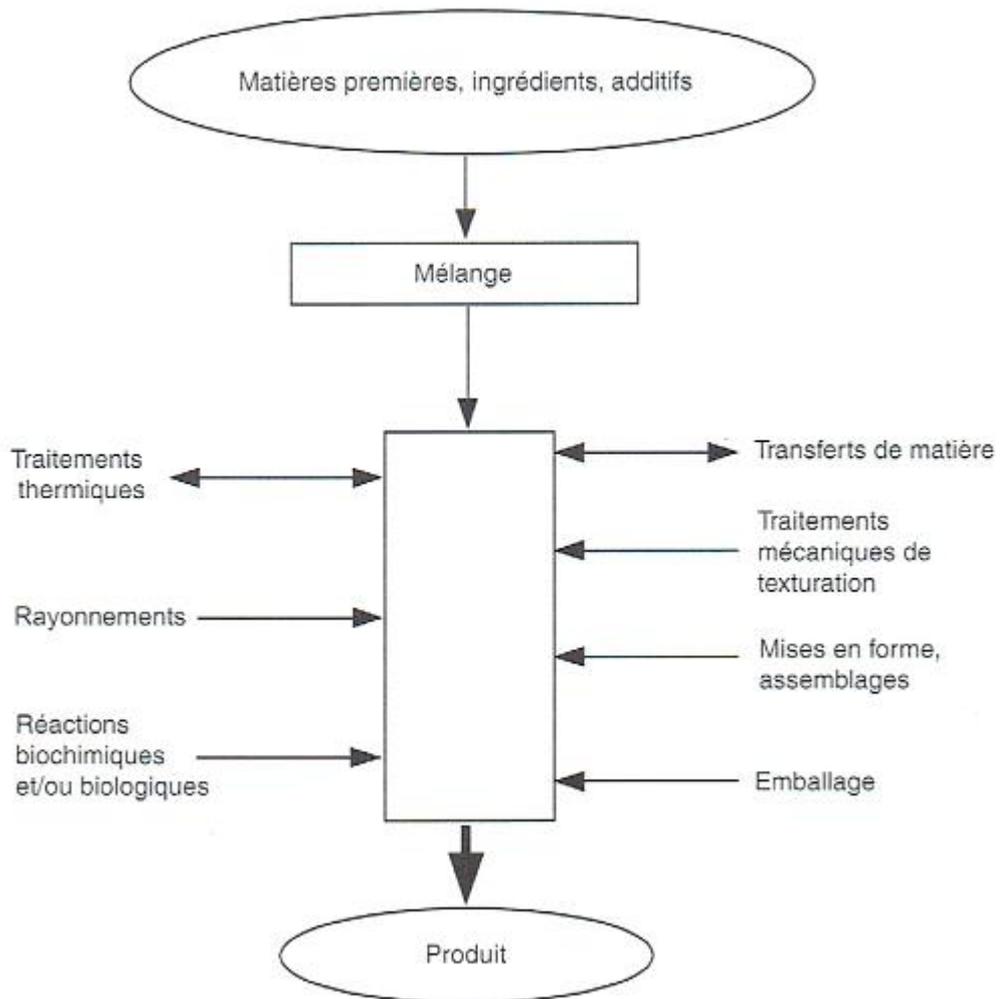


Image 1 : Représentation synthétique d'un procédé alimentaire



Tableau 1 : Principales opérations unitaires des Industries agro-alimentaires (IAA) portant sur les produits vrac

Classement		Opérations unitaires	Milieu		
Opérations mécaniques		Manutention, pesée, broyage, triage, etc.	Solides particuliers, poudres		
Transferts de quantité mouvement		Agitation, malaxage	Liquides, pâtes		
		Émulsification, foisonnement			
		Décantation	Solide-liquide, liquide-liquide, solide-gaz		
		Centrifugation			
		Filtration, séparations par membranes			
Transferts de chaleur		Essorage centrifuge	Solide-liquide		
		Extraction par pression	Divers		
Transferts de quantité de mouvement couplés		Chauffage, refroidissement			
		Réfrigération, congélation, surgélation			
		Pasteurisation, stérilisation			
		Transferts de chaleur et de matière		Évaporation	Liquides
				Séchage, friture, cuisson, cuisson-extrusion	Solides, liquides
Transferts de matière		Distillation	Liquides		
		Réactions biochimiques et microbiologiques	Divers		
		Extraction par solvant	Solide-liquide, liquide-liquide		
		Techniques chromatographiques			
		Déshydratation-imprégnation			

I. Optimisation des procédés thermiques

Le traitement des aliments par la chaleur (ou traitement thermique) est aujourd’hui la plus importante technique de conservation de longue durée. Il a pour objectif de détruire ou d’inhiber totalement ou partiellement les enzymes et les microorganismes, dont la présence ou la prolifération pourrait altérer la denrée considérée ou la rendre impropre à l’alimentation humaine.

I.1. Pasteurisation

Le terme pasteurisation vient de **Louis Pasteur** (1822-1895) qui a d’abord élaboré le procédé pour le vin et la bière.

Par définition, la pasteurisation est un traitement thermique qui vise à stabiliser temporairement un aliment au regard de développement des micro-organismes. La pasteurisation ne vise pas la destruction totale des micro-organismes mais la destruction de la flore pathogène et de la plus grande

partie des autres micro-organismes, sans toutefois modifier sensiblement les caractères physico-chimiques du produit traité. La destruction des micro-organismes n'étant pas totale, la pasteurisation est souvent associée avec un autre mode de conservation : réfrigération, acidification....

La pasteurisation désigne **un processus de conservation des aliments par un chauffage** à une température donnée (entre **62** et **88 °C**, en fonction des produits, pour préserver en grande partie ses qualités gustatives et bactériologique) durant une durée déterminée suivi d'un refroidissement brusque. Ce procédé sert à éliminer les micro-organismes et évite la prolifération de ceux qui restent.

La pasteurisation est un traitement thermique relativement moyen et ne provoque que des changements mineurs dans les caractéristiques nutritionnelles et sensorielles de la plupart des aliments. Cependant, la durée de conservation des aliments pasteurisés n'est généralement prolongée que de quelques jours ou semaines, contre plusieurs mois en cas de traitement thermique plus sévère par stérilisation.

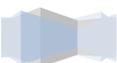
- Barème de pasteurisation :

La pasteurisation est calculée selon un barème qui regroupe dans une même équation le couple température/durée et reste spécifique à chaque type de produit à traiter. Plusieurs méthodes existent pour le calcul de ce barème parmi elles : la méthode de la formule et la méthode générale.

- Exemples de produits à pasteurisés : le lait et ses dérivés ; les jus de fruit ; la confiture..etc
- Les produits peuvent être pasteurisés suivant différents types de traitements :

les traitements en vrac :soit en mode discontinu (batch) dans une cuve agitée thermostatée à double enveloppe contenant le produit pendant un temps de séjour donné avant la vidange de la cuve (mode souvent rencontré à petite et moyenne échelles) ;soit en mode continu dans un pasteurisateur dans lequel le produit s'écoule de manière continue (mode rencontré à l'échelle industrielle) ;

les traitements après conditionnement qui consiste à l'opération unitaire d'appertisation (non traité ici).



- Les appareils utilisés pour la pasteurisation des aliments sont des échangeurs de chaleurs (pasteurisateurs), on peut distinguer :

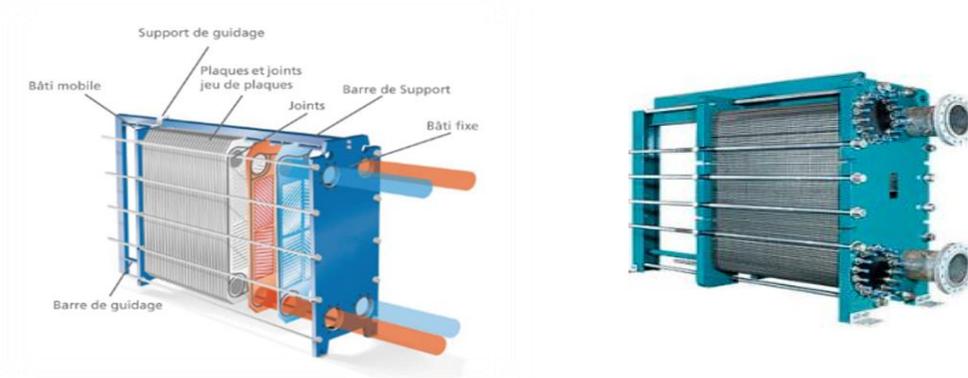


Image 2 : Echangeur de chaleur à plaques (ex ; le lait)

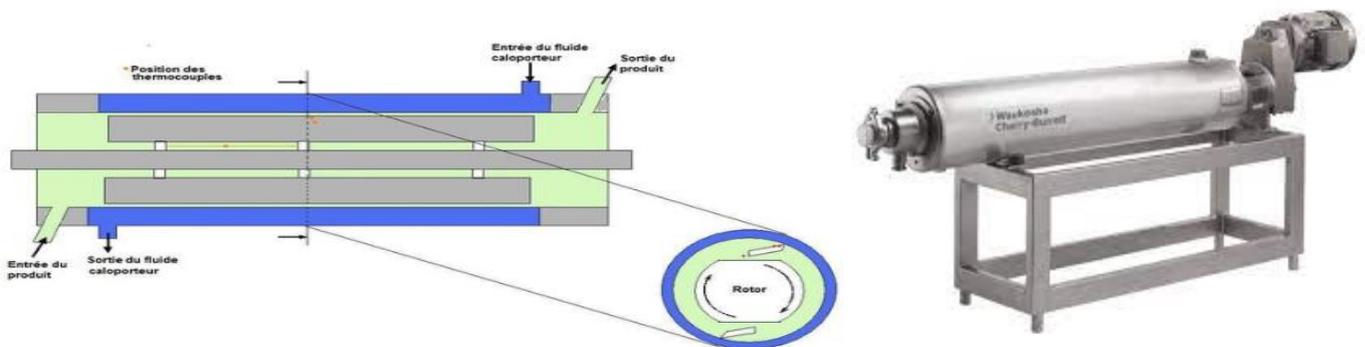


Image 3 : Echangeur de chaleur à surface raclé (chauffage des fluides visqueux)

Tableau 2 :

Exemples de barèmes de pasteurisation.

Produit	Température/Durée		
	Jus de fruit acide (pH<4.5)	65 °C , 30 min	77 °C , 1 min
Lait (pH>4,5)	63 °C , 30 min	72 °C , 15 s	
Crème glacée (pH>4,5)	65 °C , 30 min	71 °C ,10 min	80 °C , 15 s

I.2. Appertisation

C'est un procédé de conservation de longue durée, à température ambiante, des denrées alimentaires et de leurs qualités nutritionnelles, inventé par Nicolas Appert en 1795, et fondé sur l'association:

- d'un traitement thermique à une température élevée pour assurer une destruction des enzymes, des micro-organismes et de leurs toxines;

- d'un conditionnement dans un emballage étanche aux gaz, aux liquides et aux micro-organismes à toute température inférieure ou égale à 55 °C.

Nicolas Appert enfermera des légumes dans des bouteilles étanches qu'il plonge dans l'eau bouillante. Il observa que ses légumes ne changeaient ni d'aspect, ni de goût, et pouvaient se conserver longtemps. Ce procédé révolutionnaire évolua des boîtes en fer blanc aux marmites autoclaves.

Le procédé consiste en une stérilisation des aliments par un traitement thermique dans un contenant (bocaux en verre ou boîtes métalliques) étanche pour détruire la totalité des microorganismes. L'étanchéité du contenant fait intervenir le couple pression/température ce qui conserve la nature et le goût des produits traités.

- **Aliments concernés**

Ce procédé de conservation est surtout utilisé pour les fruits, les légumes, les viandes, les poissons et les plats cuisinés. Pour chaque type de produit, les étapes de préparation diffèrent.

- **pH du produit**

Les produits dont le pH est supérieur ou égal à 4,5 sont traités à des températures supérieures à 100°C (stérilisation entre 105°C et 140°C) pour garantir une destruction suffisante des spores de Clostridium botulinum et assurer leur stabilité biologique à température ambiante. C'est le cas de la plupart des produits appertisés. La limite de pH fixée supérieure ou égale à 4,5 correspond à la limite de croissance de Clostridium botulinum (germe sporulé pathogène de référence) et aussi de la majorité des autres germes sporulés. Les levures, les moisissures et les bactéries non sporulantes sont, elles, capables de se développer à des pH inférieurs à 4,5 mais leur capacité de résistance à la chaleur est faible.

Les produits acides de pH inférieur à 4,5 sont défavorables au développement des microorganismes pathogènes ; ils peuvent donc être soumis à un traitement thermique plus modéré souvent à une température inférieure à 100°C (pasteurisation). De plus, dans certains cas, lorsque le produit s'y prête, le pH peut être abaissé en dessous de 4,5, par exemple, par addition d'acides organiques, de vinaigre, etc.. Il s'agit, dans ce cas, de produits acidifiés à pH inférieur à 4,5 et il devient alors également possible de stabiliser la denrée par des traitements thermiques inférieurs à 100°C (pasteurisation).

Ce traitement thermique de pasteurisation, associé à un pH inférieur à 4,5 (homogène dans le produit) et à un conditionnement étanche, peut garantir la stabilité biologique à température ambiante des produits.



A noter : l'application d'un traitement thermique de pasteurisation (température inférieure ou égale à 100°C) à une denrée alimentaire dont le **pH est supérieur ou égal à 4,5** doit être associée à une REFRIGERATION du produit fini et à la détermination d'une date limite de consommation (DLC). Il ne s'agit pas d'un produit appertisé mais d'une denrée microbiologiquement très périssable ; on parle d'ailleurs pour ces produits de « **semi conserves** ». Exemple : le foie gras mi-cuit se stocke au réfrigérateur et bénéficie d'une dlc.

La figure suivante nous montre un modèle industriel d'autoclave horizontal discontinu. Le principe de la stérilisation fait intervenir trois paramètres : **la température, la pression et la durée**.

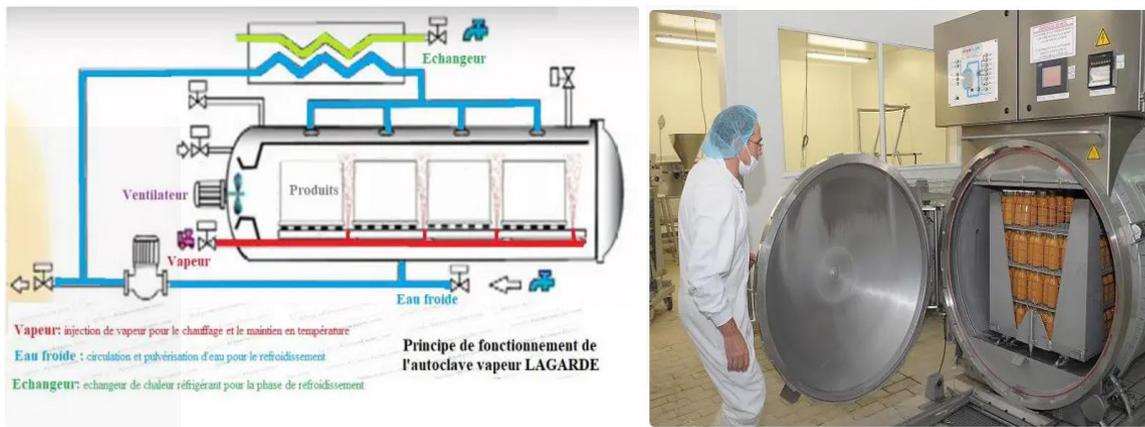


Image 4 : Autoclaves industrielles

I.3. Cuisson

La cuisson (ou action de la chaleur) a pour fonction de transformer les aliments en produits appétissants et nutritifs. Sur le plan industriel elle a des fonctions stabilisantes et hygiéniques.

- **Du point de vue physique** : La cuisson affecte globalement la forme et la texture des aliments à cause de modifications irréversibles des propriétés mécaniques des constituants du produit (perte d'eau, de gaz, changement d'état etc).
- **Du point de vue chimique** : L'élévation de température favorise des réactions chimiques, inhibe d'autres par destruction des systèmes enzymatiques. Les plus connues de ces réactions affectent la couleur (caramélisation des sucres), hydrolyse et oxydation des graisses insaturées et obtention d'arômes caractéristiques, ce qui apporte saveurs et ou odeurs caractéristiques des aliments.



- **Du point de vue biologique** : moyen brutal pour « tuer » les micro-organismes sous leur forme la plus thermorésistante.

Les divers modes de cuisson de produits non emballés :

- Cuissons par contact avec un solide
- Cuisson d'un produit liquide ou pâteux.
- Cas des produits solides ou se solidifiant (viandes œufs etc.)
- Cuissons par contact avec un liquide : bouilli et friture.
- Cuissons par contact avec un gaz : au four et à la vapeur.
- Cuissons par rayonnement infrarouge : grillades

I.4. Procédés Aseptiques

Aseptique : rendre exempt de tout microbe, de tout germe infectieux.

Le but des procédés aseptique : est de stabiliser le produit en l'exposant à des températures élevées durant de courtes périodes suivi d'un refroidissement rapide afin que les vitamines et les qualités des produits frais soient préservées.

Le procédé aseptique augmente la durée de conservation et les produits peuvent être distribués plus facilement.

Grâce à cette technologie, les produits courants (lait, jus de fruits, les crèmes, légumes etc.) peuvent être transformés et emballés tout en conservant leurs qualités organoleptiques et nutritionnelles. Les procédés aseptiques existant tiennent compte de la qualité des produits et de l'acidité. On distingue :

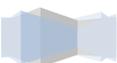
- **Le procédé UHT** (Ultra Haute Température): utilisés pour des produits liquides peu acides dont le pH est supérieur à 4,6 (lait, soja etc.) c'est une stérilisation à haute température (135°C à 150°C) pendant une courte durée (1 à 15 secondes).
- **Pasteurisation** : Pour les produits à acidité élevée dont le pH est inférieur à 4,6 (jus de fruits, légumes etc.)

Les procédés aseptiques comprennent :

- Traitement aseptique : pasteurisation et UHT
- Stockage aseptique.
- Emballage Aseptique en carton, en PET, en sac aseptique.

II. Optimisation des procédés frigorifiques

Ces procédés sont au nombre de trois :



II.1. Réfrigération

Si la réfrigération a pour effet de ralentir les réactions enzymatiques et chimiques, et par conséquent de ralentir aussi la multiplication et le métabolisme des micro-organismes, elle ne permet qu'une conservation relativement courte.

La réfrigération consiste à l'abaissement de la température (4 et 8 °C). Elle permet une conservation de quatre à dix jours.

II.2. Congélation

La congélation consiste à refroidir puis à entreposer les aliments à des températures inférieures au point de congélation, généralement -18°C. Elle est utilisée pour la conservation des aliments à long terme (4 à 24 mois). C'est un processus lent et permet d'obtenir de gros cristaux. La congélation permet une très longue conservation si elle n'est pas ininterrompue.

II.3. Surgélation

Cette technique désigne un refroidissement brutal (-35 à -196 °C) suivi d'une congélation entre -15 et -18 °C.

au cours de laquelle les denrées sont stabilisées par abaissement rapide de la température. Cette technique permet la formation de nombreux et petits cristaux de glace qui ne détériorent pas l'aliment.

II.4. Transport frigorifique

Il consiste à transporter le produit issu du traitement frigorifique dans des conditions similaires au traitement pour ne pas rompre la chaîne froide. Il vise à fournir au consommateur final des produits périssables sûrs et de haute qualité.

III. Déshydratation et procédés combinés

Ce sont des techniques de conservation par séparation et élimination d'eau (déshydratation). L'eau est soit éliminée totalement ou partiellement, ce qui a pour intérêt :

- Inhiber le développement des microorganismes et stopper les réactions enzymatiques.
- la diminution du poids et du volume et une économie importante pour le conditionnement, le transport et le stockage.



Suivant l'intensité de déshydratation, on distingue

III.1. Le Séchage

Qui consiste à enlever l'excès d'humidité par évaporation de l'eau pour aboutir à des produits alimentaires dits secs.

III.2. Le Fumage

Consiste à soumettre un produit à l'action des composés gazeux qui se dégagent lors de la combustion de végétaux. Il est utilisé pour :

- l'aromatisation et la coloration.
- La préservation, conservation par effet antimicrobien et modification de la texture du produit.

III.3. Déshydratation – Imprégnation Immersion

Objectifs.

Transformer les aliments par contact avec une solution concentrée. Il s'agit de réaliser des opérations de: confisage, semi-confisage, marinage, saumurage, salage, etc.

Les aliments (fruits, légumes, poissons, etc.), entiers ou en morceaux de petites dimensions, sont immergés dans une solution concentrée de composition simple ou complexe.

La particularité de l'opération est la réalisation de plusieurs fonctions comme

1. colorer un aliment en faisant pénétrer des molécules colorantes
2. aromatiser
3. texturer en réalisant une structure particulière ou en introduisant des substances ou des molécules.
4. stabiliser en favorisant le départ d'eau ou en imprégnant en éléments dépresseurs de l'activité de l'eau.
5. protection vis-à-vis de l'oxygène par imprégnation d'antioxydants en surface.

Principe de l'opération

La solution aqueuse utilisée est concentrée par rapport à celle de la solution occluse dans le matériau considéré.

À l'interface solide-liquide, il y a, à la fois départ d'eau du produit vers la solution, pénétration de solutés de la solution vers le solide et départ conjoint de solutés propres du produit vers la solution.

Ce dernier peut être l'objectif principal de l'opération, dans les cas où l'on privilégie l'extraction.

Ces phénomènes d'entrée/sortie de soluté et de solvants, permettent de déshydrater et de formuler dans la même opération.



Solution aqueuse concentrée

Départ d'eau

Pénétration du soluté

Solution aqueuse moins concentrée

Paroi aliment

(Interface aliment/solution)

Aliment

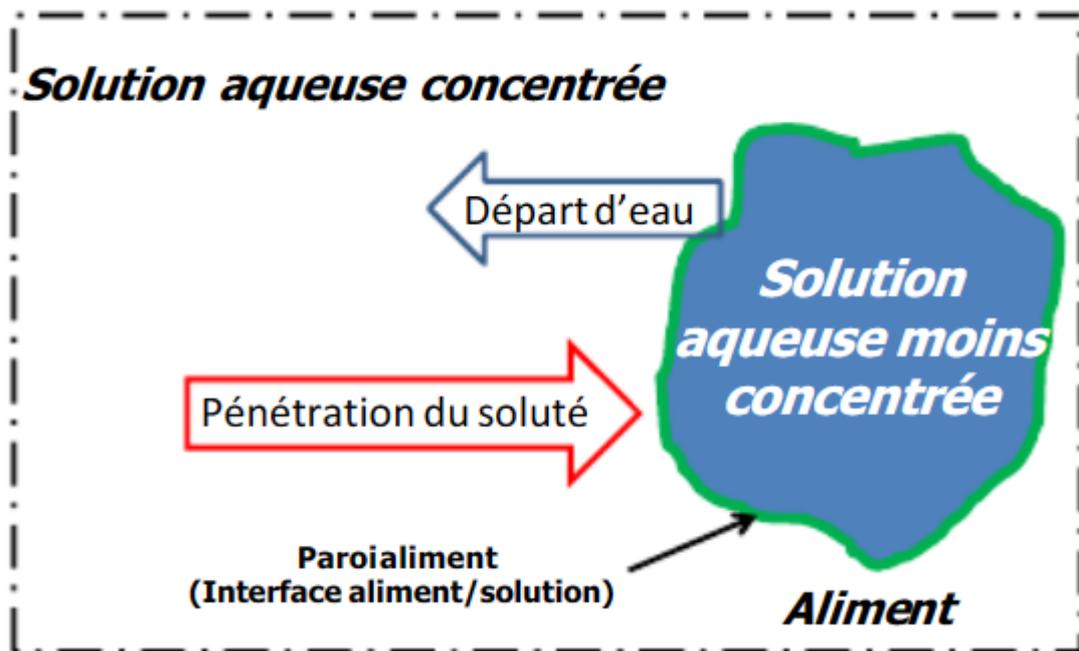


Figure 5 : Principe de l'opération de la déshydratation-Imprégnation-Immersion

La fonction de séchage (extraction d'eau) est réalisée sans changement d'état (pas de vaporisation d'eau) ce qui fait que la structure du produit ne subit pas les mêmes transformations que lors d'autres opérations de séchage (par la chaleur). C'est pour cette raison que cette technologie est dite douce.

Variables opératoires

Les variables considérées sont pour la réussite de cette opération sont :

1. le mode de mise en contact (imprégnation).
2. la température du traitement.
3. la durée du traitement



4. la concentration, la composition et la nature de la solution : binaire (eau/NaCl), ternaire (eau/sucre/NaCl) etc.

