

Projet de génie des procédés :



La fabrication de confitures de fruit rouges

Encadré par : K. El Belghiti

Sommaire

Introduction.....	p3
I) La confiture dans l'industrie.....	p4
1) la composition.....	p4
2) la fabrication industrielle de confitures.....	p7
II) Procédés d'amélioration de la cuisson.....	p19
1) la déshydratation osmotique.....	p19
2) le chauffage ohmique.....	p28
3) le couplage de la DO avec le CO.....	p32
4) autres méthodes de chauffage.....	p35
Conclusion.....	p39
Bibliographie.....	p40

Introduction :

Afin de subvenir à la précarité de ses apports alimentaires, l'homme a de tout temps recherché le meilleur moyen de conserver ses aliments, ceci pour répondre à 2 impératifs :

- sur le plan diététique :

Eviter ou réduire les altérations oxydatives, enzymatiques et microbiennes du produit frais et assurer au consommateur la disponibilité d'une denrée à valeur nutritionnelle certaine, durant les 4 saisons.

- sur le plan économique :

Palier aux productions saisonnières ; atteindre les marchés lointains (exportation par voie maritime) et réduire les pertes. Le but de la conservation des denrées alimentaires est de prolonger la vie de l'aliment en produisant des phénomènes d'altération directs ou indirects, aussi bien sur le plan nutritionnel, hygiénique, qu'organoleptique.

Elle peut viser un ou plusieurs des objectifs suivants :

- inhiber les réactions enzymatiques ou les réactions oxydatives ;
- arrêter le métabolisme des micro-organismes (action bactériostatique) ;
- tuer les micro-organismes (action bactéricide)

Il existe plusieurs types de conservation, on peut citer par exemple la conservation par le froid (congélation, surgélation, réfrigération), par la chaleur (pasteurisation, stérilisation...) mais aussi par le sucre.

La conservation des fruits rouges, contrairement aux autres fruits, fait intervenir des procédés particuliers puisque le consommateur recherche des confitures au goût authentique et contenant le plus de fruits entiers possible. Dans la fabrication industrielle classique, la cuisson altère ces paramètres. C'est pourquoi il est nécessaire de développer à l'échelle industrielle des procédés empêchant une dégradation des fruits trop importante.

I) La confiture dans l'industrie

1) La composition [1] [2]

a) Définitions :

La confiture est l'art de conserver par le sucre, fruits, légumes tiges, racines, feuilles ou fleurs. De façon traditionnelle la confiture est obtenue par cuisson de fruits ou d'autres parties de plantes appropriées avec des sucres.

La confiture est le mélange, porté à la consistance gélifiée de sucre, de pulpe, et/ou de une ou plusieurs espèces de fruits et d'eau. Le produit final doit contenir au moins 30% de fruits et 45° Brix (le degré Brix est le poids en grammes de matières sèches contenues dans 100 grammes d'une solution dans l'eau distillée).

La confiture peut être élaborée à partir de différentes préparations du fruit :

Fruit entier: Le fruit frais, sain, exempt de toute altération, privé d'aucun de ses composants essentiels et parvenu au degré de maturité approprié, après nettoyage, parage et émouquetage ;

Pulpe (de fruit) : La partie comestible du fruit entier, éventuellement épluché ou épépiné, cette partie comestible pouvant être coupée en morceaux ou écrasée, mais non réduite en purée.

Purée (de fruit) : La partie comestible du fruit entier, épluché ou épépiné si besoin est, cette partie comestible étant réduite en purée par tamisage ou autre procédé similaire.

Extrait aqueux (de fruits) : L'extrait aqueux de fruits qui, sous réserve des pertes inévitables selon les bonnes pratiques de fabrication, contient tous les constituants solubles dans l'eau des fruits utilisés.

b) Différents types de confitures

La « **confiture** » est le mélange, porté à la consistance gélifiée appropriée de sucres, de pulpe et/ou de purée d'une ou de plusieurs espèces de fruits et d'eau. La quantité de pulpe t/ou purée utilisée pour la fabrication de 1 000 grammes de produit fini n'est pas inférieure à :

350 grammes en général ;

250 grammes dans le cas des groseilles, fruits de l'argousier, cassis et coings ;

La « **confiture extra** » est le mélange, porté à la consistance gélifiée appropriée, de sucres, de pulpe non concentrée d'une ou de plusieurs espèces de fruits et d'eau. Toutefois, la confiture extra sans pépins de framboises, de mûres, de cassis, de myrtilles et de groseilles peut être obtenue entièrement ou partiellement à partir de purée non concentrée de ces fruits. Les fruits suivants ne peuvent être utilisés en mélange avec d'autres fruits pour la fabrication de confiture extra : pommes, poires, prunes à noyau adhérent, melons, pastèques, raisins, citrouilles, concombres et tomates. La quantité de pulpe utilisée pour la fabrication de 1 000 grammes de produit fini n'est pas inférieure à :

450 grammes en général ;

350 grammes dans le cas de groseilles, sorbes, fruit de l'argousier, cassis, cynorhodons et coings ;

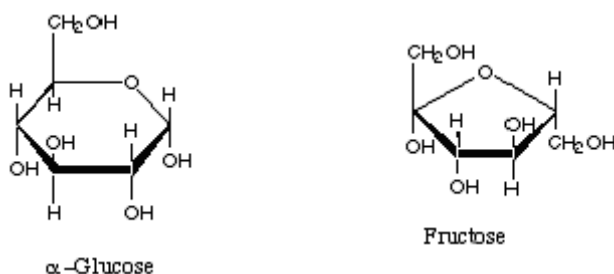
La « **gelée** » est le mélange, suffisamment gélifié, de sucres et du jus et/ou d'extrait aqueux d'une ou de plusieurs espèces de fruits. La quantité de jus et/ou d'extrait aqueux utilisée pour la fabrication de 1 000 grammes de produit fini n'est pas inférieure à celle fixée pour la fabrication de la confiture. Ces quantités sont calculées après déduction du poids de l'eau employée pour la préparation des extraits aqueux.

Toutefois, dans le cas de la « **gelée extra** », la quantité de jus de fruits et/ou d'extrait aqueux utilisée pour la fabrication de 1 000 grammes de produit fini n'est pas inférieure à celle fixée pour la fabrication de la confiture extra. Ces quantités sont calculées après déduction du poids de l'eau employée pour la préparation des extraits aqueux. Les fruits suivants ne peuvent être utilisés en mélange avec d'autres fruits pour la fabrication de la gelée extra : pommes, poires, prunes à noyau adhérent, melons, pastèques, raisins, citrouilles, concombres et tomates.

c) Les produits autorisés dans la fabrication de confitures

➤ Les sucres

Les sucres autorisés sont ceux définis dans la directive 2001/ 111 /CE : le sucre mi-blanc, le sucre blanc, le sucre raffiné, le sucre liquide, le sucre liquide inverti, le sirop de sucre inverti, le sirop de glucose, le sirop de glucose déshydraté, la dextrose mono-hydratée, la dextrose (anhydre), le fructose, le sirop de fructose, le sucre roux/brun et les sucres extraits des fruits.



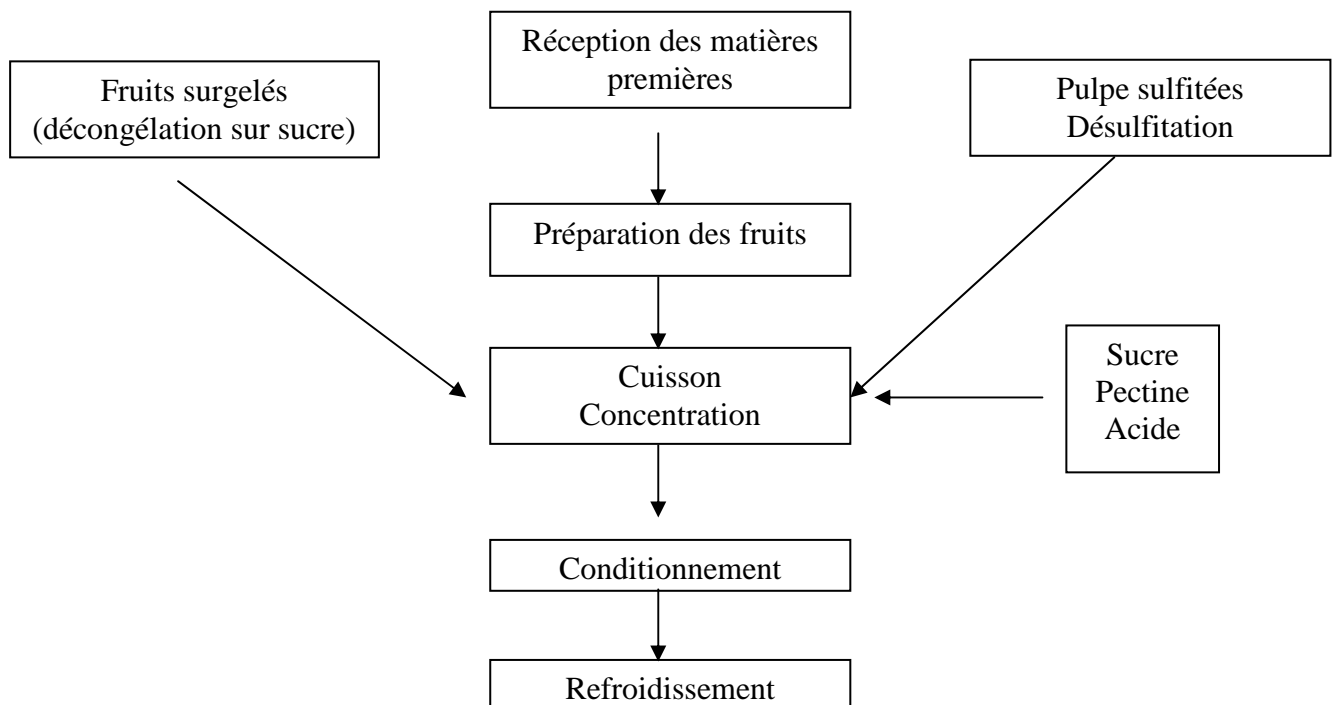
➤ Les additifs

Les additifs autorisés dans l'industrie sont les suivants :

- Les épaississants (pectines E 440) : épaississent les produits et les rendent plus fermes.
- Les acidifiants (acide citrique E 330) : rendent les produits plus sûrs, leur goût plus frais et augmentent parfois leur durée de conservation.
- Les antioxydants (acide ascorbique E 333) : limitent le rancissement des aliments et préviennent la coloration des produits.
- Les colorants : procurent au produit une couleur destinée à le rendre plus attrayant. Le seul colorant autorisé est le jus de betteraves rouge E 162. Cependant, celui-ci n'est permis que pour renforcer la coloration des confitures.
- Les conservateurs (acide lactique E 270) : d'usage de plus en plus rare, ils freinent la croissance des bactéries, champignons et levures. Ceci permet de conserver plus longtemps les aliments.

2) La fabrication industrielle de confiture

La fabrication industrielle de confiture comporte plusieurs étapes qui permettent de traiter le fruit de son acheminement comme produit frais jusqu'au conditionnement du produit fini.



La fabrication des confitures dans l'industrie [3]

a) La préparation

Avant la transformation du fruit, il est nécessaire de préparer les différents ingrédients intervenant dans le processus. Il faudra débarrasser le fruit de ses impuretés, homogénéiser les fruits tout en préparant le sucre avant le mélange.

- Le nettoyage

Les fruits doivent être lavés, débarrassés des matières étrangères. Un lavage à contre courant peut être avantageusement utilisé pour libérer un maximum d'impuretés d'origine organiques ou minérales. Suivant leur fragilité mécanique, les fruits sont lavés par aspersion ou immersion.

- Par aspersion : cette opération est effectuée par passage sous jets d'eau.
- Par immersion : les fruits ayant tendance à flotter, sont immergés dans l'eau par des pales et des guides qui les forcent à entrer dans l'eau. L'agitation est améliorée dans certains laveurs par de l'air comprimée envoyée par des buses.

Les fruits sont généralement repris par un élévateur à bandes ou à rouleaux vers un tapis de visite sur lequel du personnel en poste effectue un premier tri.

- Le calibrage

L'opération de calibrage est souvent nécessaire pour préparer le fruit aux opérations ultérieures. Des contraintes normatives peuvent aussi imposer le calibrage, par exemple, le respect de l'homogénéité des fruits. Pour cela, on peut utiliser :

- Un calibreur à bandes ou fils : utilisé pour des fruits fragiles supportant mal les chocs mécaniques (framboises...).
- Un calibreur à rouleaux : utilisé pour les fruits sphériques et de gros diamètres (fraises...).

- Le parage

Le parage doit être utilisé pour :

- Enlever les noyaux à l'aide d'une dénoyauteuse à aiguille : la machine est composée d'un tambour comportant des rangées d'alvéoles dans lesquelles les fruits viennent se positionner. Ces alvéoles passent sous les aiguilles emportepièce qui transpercent les fruits en éjectant les noyaux.
- enlever la partie non comestible (queue des fraises)
- équeuter

- Préparation des ingrédients

La purée ou les pulpes de fruits sont stockées en tanks puis pompées à la cuve de pesage.

Les solutions de saccharose et de pectines sont préparées dans 2 cuves pourvues d'un agitateur et de chemises chauffées à la vapeur. La quantité exacte d'eau dans la cuve à préparer est déterminée par un régulateur de niveau. La dissolution du sucre et de la pectine est rendue rapide du fait de l'agitation et du chauffage. La solution est alors envoyée du tank de préparation au tank de stationnement pourvu lui aussi d'une chemise chauffante et d'un agitateur. Le secteur de préparation du sucre inversi comporte 2 tanks avec chemise et agitateurs. A l'aide d'un niveau automatique, l'eau est dosée, puis suivant les proportions voulues, le saccharose et l'acide citrique sont ajoutés.

Quand la température préfixée de la solution est atteinte, un timer contrôle le temps de cycle selon le degré d'inversi établi, après quoi, il commande la pompe de transfert au tank de stockage. Ce dernier est muni d'une chemise parcourue par de l'eau froide de manière à donner lieu à un refroidissement rapide de la solution et donc à l'arrêt du procédé d'inversi.

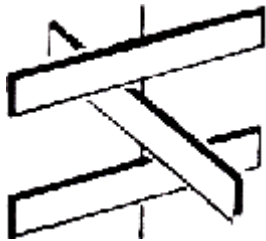
A la place de l'installation de préparation du sucre inversi, il est possible d'avoir un tank de stockage de solution de glucose.

b) La fabrication

Une fois le sucre et les fruits pré-traités, il faut les regrouper pour la cuisson.

- Le mélange

Les procédés diffèrent selon qu'il s'agit de fruits entiers ou de fruits en morceaux. En effet lorsque l'on utilise des fruits entiers tels que les fraises, les framboises, ou des morceaux de fruits c'est dans le but de les retrouver le moins écrasés possible dans la confiture. On utilisera donc des mélangeurs à palettes radiales multiples ou ruban hélicoïdal. [4]



mélangeur à palettes radiales multiples



Mélangeur à ruban hélicoïdal

- La cuisson

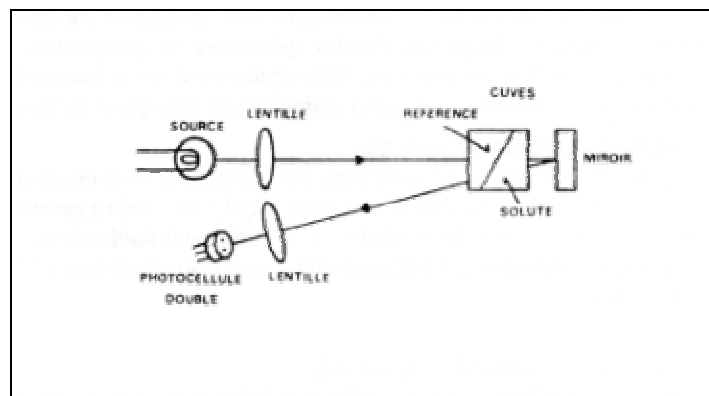
La cuisson atmosphérique : ce mode de cuisson artisanal, bien adapté aux petites séries, s'effectue par chauffage du mélange fruits-sucres dans une bassine de forme hémisphérique à large ouverture pour favoriser l'évaporation de l'eau par ébullition.

La durée d'ébullition doit être la plus courte possible pour atteindre le taux de matière sèche souhaitée car un temps d'ébullition trop important est nuisible et entraîne une dégradation excessive des pectines d'où une mauvaise gélification, une inversion trop importante du saccharose (goût sableux), une perte d'arômes, un brunissement et une désagrégation des fruits et un surcoût énergétique.

La cuisson sous vide : elle s'opère dans des enceintes de cuisson sous vide, à une température de 65 à 75 °C avec 30 à 40 mm de Hg de pression résiduelle. Elle permet de fabriquer des tonnages importants. Les fruits et le sucre sont mélangés dans un bac de pré-mélange puis pompés dans la boule de cuisson. L'eau en excès est évaporée sous vide pendant une dizaine de minutes. Le vide est cassé, le produit est chauffé jusqu'à 90°C environ ; la pectine liquide est ajoutée sous forte agitation ; la solution d'acide est ensuite ajoutée.

On commence par mettre en route la pompe à vide dans la boule de cuisson. Puis les fruits se trouvant dans le bac de pré-mélange (prémise), sont aspirés vers le cuiseur par l'intermédiaire d'une pompe. L'agitateur de la boule se met en route ainsi que le chauffage vapeur. Suivant les réglages du vide, on évapore à 50, 60 ou 70° C. On récupère l'eau provenant des fruits jusqu'à l'obtention de 61° BRIX au niveau du mélange. Le degré BRIX est déterminé par un réfractomètre ou un réflexomètre.

Cet appareil portable est très simple d'utilisation et son prix est abordable (200€ pour un réflexomètre portable).



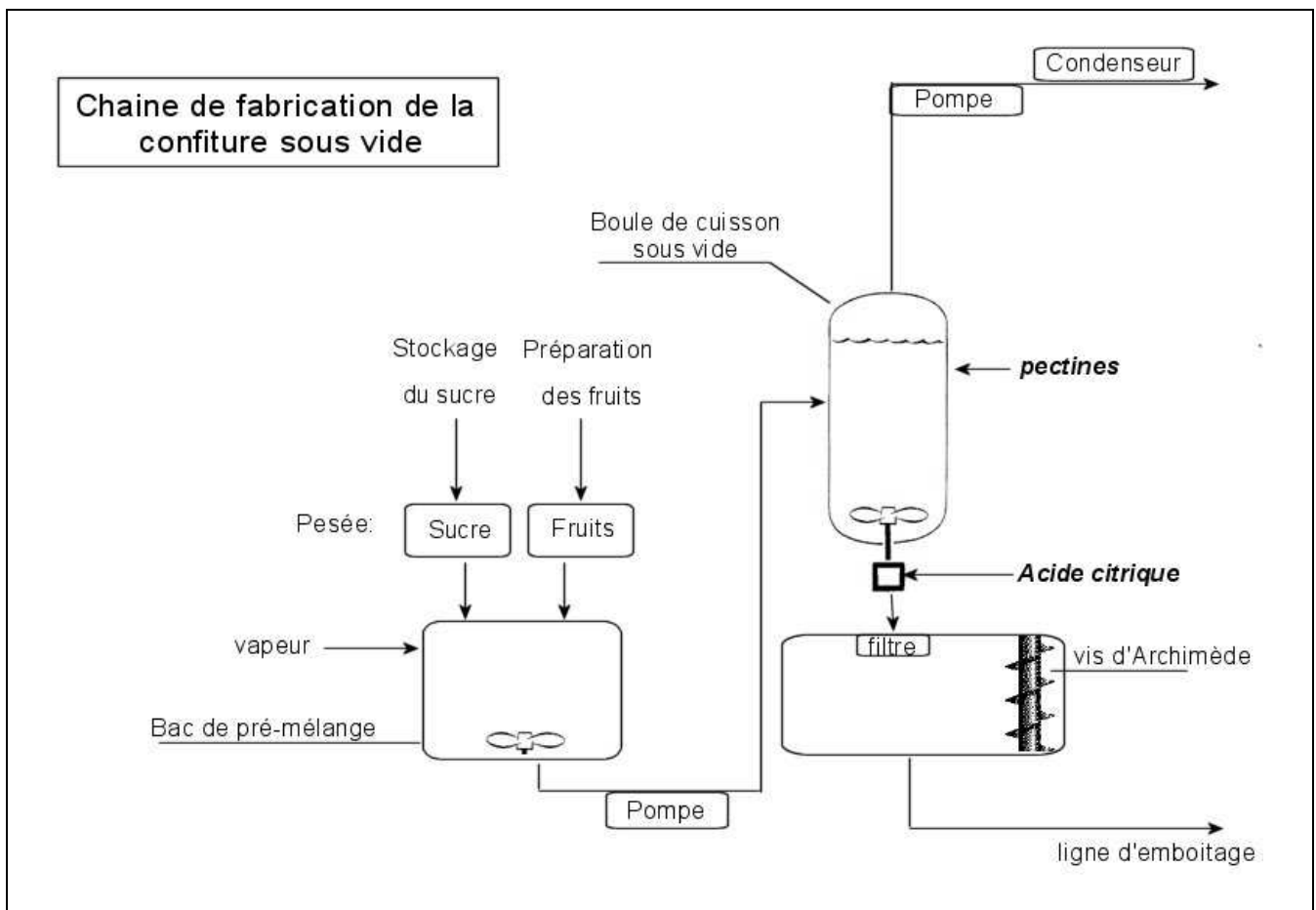
Principe de fonctionnement du réflexomètre [5]

La pectine est ensuite ajoutée suivant la recette .

Puis on casse le vide, la température augmente brutalement à 95-96°C puisque l'on travaille alors à la pression atmosphérique.

Cette étape permet la pasteurisation de la confiture sans manutention. De plus à 95°C, la confiture est liquide et peut descendre par gravité jusqu'au bac d'inspection. Là, elle traverse un filtre appelé « panier » et tombe dans un bac. Un opérateur contrôle sa conformité (pas de zone brûlée, de noyaux, de queues...). Après l'ajout d'acide citrique, on brasse la confiture par l'intermédiaire d'une vis d'Archimède ce qui évite le « floating ».

En effet la densité du jus de fruit étant plus élevée que celle des fruits, les fruits flottent au dessus du liquide. De façon à obtenir un produit fini homogène lors du conditionnement, il sera nécessaire de bien mélanger jusqu'au bout du procédé.



c) La gélification

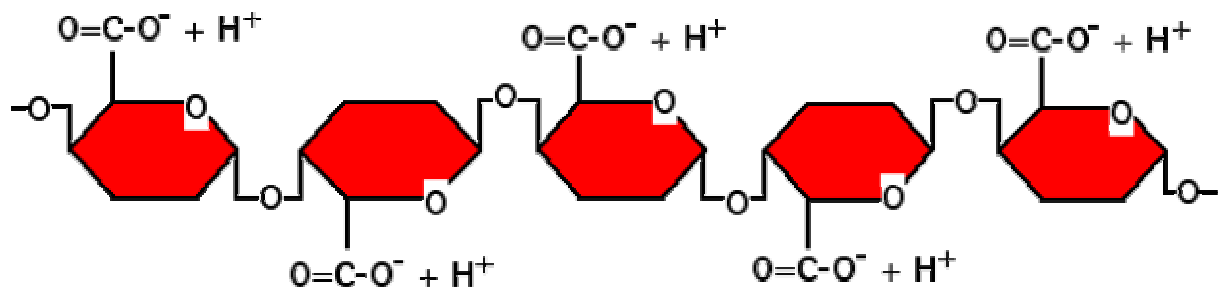
Cette opération fondamentale pour la fabrication de confiture est un phénomène qui doit être parfaitement maîtrisé pour obtenir un produit de qualité loyale et marchande

- Propriétés des gels, pectines, eau, sucres

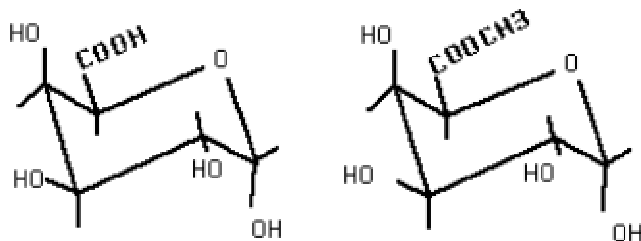
La gélification est nécessaire pour la présentation du produit ainsi que pour la conservation. En effet, le gel limite les possibilités d'échange avec l'extérieur (évite la ré-humidification en surface et freine les migrations à l'intérieur des confitures entre le fruit et le sucre).

- Pectines et gels pectiques [6]

Les substances pectiques sont des polymères linéaires de l'acide galacturonique avec des groupements carbonyles plus ou moins estérifiés par des radicaux méthyle.



Acide polygalacturonique.



Acide galacturonique (-COOH) et acide galacturonique méthylé (COOH-CH3).

La pectine est contenue naturellement dans l'endocarpe (partie entourant la graine) des fruits sous forme de protopectines qui sont libérées sous forme de pectines lors de la cuisson. La teneur en pectines des fruits est variable en fonction de la nature des fruits et de leur maturité.

Teneur en pectines des principaux fruits utilisés pour les confitures [3]

Fruits pauvres	Cerises, pêches, myrtilles, raisin
Fruits moyennement riches	Fraise, framboise, mûres
Fruits riches	Coings, groseilles, prunes, cassis, abricots
Fruits très riches	Citron, pommes, oranges, agrumes

- Formation de gels pectiques

Les molécules d'eau contenues dans la confiture sont fixées par des liaisons hydrogène aux groupements hydroxyle de la chaîne polyméthylgalacturonique. En outre, les molécules pectiques portent des charges électriques négatives ce qui a pour effet, d'une part de les faire s'étirer et par la d'accroître la viscosité de la solution, d'autre part, de les faire se repousser l'une par rapport à l'autre. Ces facteurs concourent à maintenir les molécules à l'état dispersé. Lorsqu'on réduit les charges et l'hydratation, les filaments de pectines tendent à se précipiter. Ils se rapprochent, se lient et forment un réseau tridimensionnel solide qui retient entre ses mailles la phase liquide.

Dans le cas des confitures (pectines fortement méthylées), le degré d'hydratation est réduit grâce à l'addition de sucres et la diminution des charges électriques par l'apport de charges H⁺ fourni par l'acidité du fruit et des acides ajoutés.

Ce sont des liaisons faibles (liaisons hydrogène de type électrostatique) qui donnent un gel d'une grande plasticité.

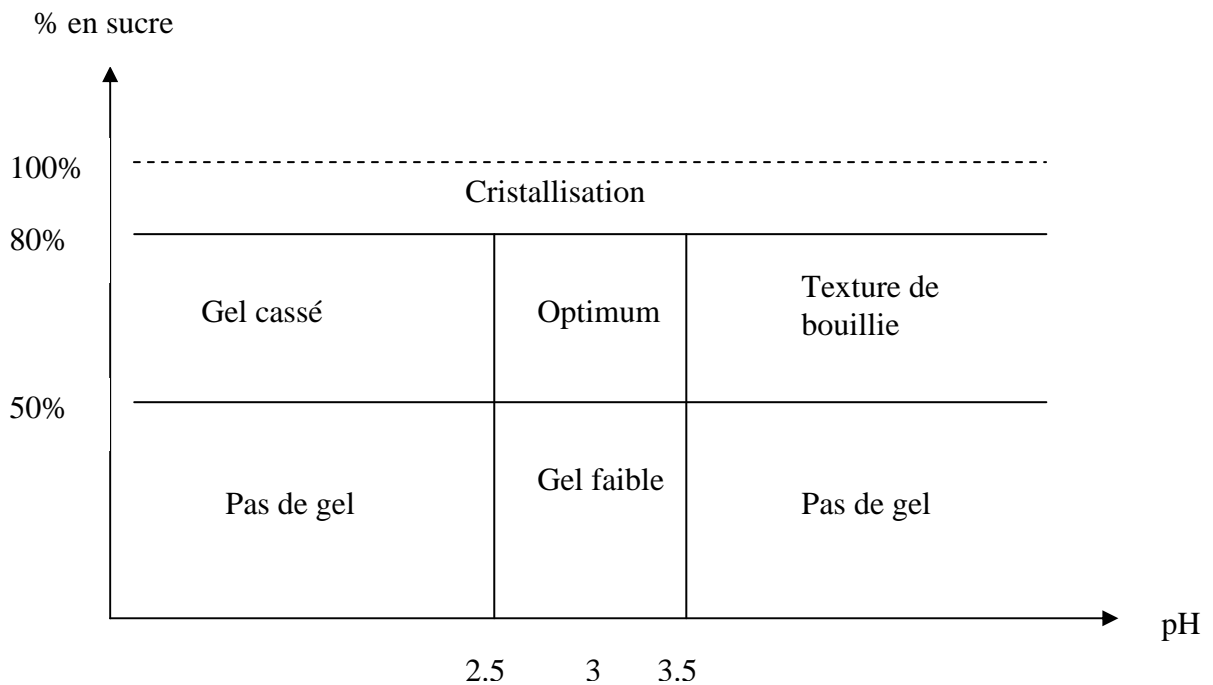
- Conditions optimales de gélification et leur incidence sur le produit final

La gélification dépend de :

- ⇒ de la teneur en pectines
- ⇒ de la teneur en sucres
- ⇒ du pH

Un équilibre entre ces 3 facteurs permet une bonne gélification.

Le pH est un facteur important. En pratique, il doit se situer entre 2.9 et 3.3 mais il dépend de la qualité de la pectine.



La gélification en fonction du pH et de la concentration en sucres [3]

- Pectines du commerce

Pour une production standardisée, il est intéressant d'utiliser des pectines du commerce. Les pectines sont classées en fonction de leur taux de méthylation, qui définit leurs usages par leur vitesse de prise en gelée.

<i>Caractéristiques des pectines du commerce [3]</i>			
<i>Taux de méthylation</i>	<i>Vitesse de gélification</i>	<i>PH</i>	<i>Utilisation</i>
Supérieur à 74	Ultraparapide <3 min	3.1 - 3.5	Fruits entiers non acides
71 - 74	Rapide 3 à 7 minutes	2.9 – 3.3	Confiture artisanale
66 - 69	Médium 15 à 22 min	2.8 - 3.1	Confiture acide
60 – 65	Lente > à 30 min	2.6 - 2.9	Gelée, gelée très acide, confiture sous vide

Le pouvoir gélifiant est défini par le degré Sag : 1 gramme de pectine à 1 degré Sag peut gélifier 1g de sucre en solution à 65 % à pH=3. Les pectines du commerce sont en général standardisées à 150 ° Sag

d) Conditionnement et stockage

Le conditionnement doit intervenir rapidement après cuisson. De cette manière, la confiture chaude (80-90°C) détruit les micro-organismes susceptibles d'être présents dans l'emballage et permet d'assurer une « autopasteurisation » des récipients.

La fermeture des pots peut se faire de différentes manières, par capsulage avec ou non injection de vapeur :

- sans injection de vapeur, les capsules sont placées sur le pot. Celui-ci est fermé et retourné afin que la confiture encore chaude pasteurise la capsule.
- Avec injection de vapeur surchauffée : celle-ci pasteurise les couvercles et crée un vide au dessus de la confiture, ce qui permet d'inhiber le développement éventuel des micro-organismes.

Le refroidissement des pots doit intervenir immédiatement après le conditionnement pour éviter la dégradation des pectines et de la couleur (brunissement, goût de cuit). Il peut être fait par immersion dans l'eau froide ou par aspersion par des jets d'eau froide.

Puis les confitures sont entreposées dans un endroit frais en évitant de les manipuler car la gélification se poursuit pendant quelques jours après la fabrication. Il convient donc d'éviter de trop remuer les pots pour avoir un gel bien pris, translucide et brillant.

L'emballage traditionnellement le plus utilisé est le pot en verre avec une fermeture de type « Twist Off ». Le choix du bocal n'est pas critique, mais il doit avoir une ouverture large pour faciliter le remplissage. Toutefois, dans le cas des fruits rouges, relativement acides, il est déconseillé d'utiliser des boîtes métalliques.

e) Formulation et calcul du rendement industriel

- Formulation

Les formules de fabrication utilisées au niveau artisanal sont très proches des formules familiales. Les quantités de fruits et de sucres mis en œuvre sont généralement égales. Ces formules correspondent à la qualité extra définie par la réglementation.

En milieu industriel on pratique des formulations 50/50, 45/55, 40/60, 35/65 suivant le fruit et la qualité désirée.

Les confitures préparées avec une quantité trop faible de sucre risquent de fermenter ou si la cuisson est trop longue (grande quantité d'eau à évaporer) de n'avoir aucun goût.

Mais trop de sucre édulcore la confiture et masque le goût de fruit. De plus, le risque de cristallisation du sucre est important.

- Calcul de la quantité de pectines à ajouter

Cas d'une confiture de cerise à 65% de résidu sec.

Teneur en pectines naturelles : négligeable.

Utilisation de pectine à 150° Sag.

Pour 1 kg de confiture, on a 650g de sucre à gélifier, il faut donc $650/150 = 4g$ de pectine.

Pour les autres fruits plus riches en pectines, il faut tenir compte de la teneur en pectine naturelle du fruit. Des essais préliminaires permettent de fixer la quantité optimum en fonction de la gélification recherchée.

- Calcul de la quantité d'acide

La quantité d'acide qu'il faut éventuellement ajouter ne peut être déterminée qu'en faisant des mesures de pH.

A titre indicatif, on peut retenir les chiffres suivants pour les fruits peu acides.

Pour 100 kg de confiture	Fruits riches en pectines	Fruits pauvres en pectines
Solution d'acide citrique à 50% (L)	0,175 à 0,230	0,320 à 0,400

- Calcul du rendement

Pour calculer le rendement, il faut connaître le pourcentage de matière sèche soluble (MSS) mesurée au réfractomètre de chaque ingrédient mis en œuvre. Le rendement est calculé en faisant le bilan des quantités de matière sèche apportées dans la formule rapportée au taux de matière sèche à atteindre.

Exemple de calcul de rendement

Ingrédient mis en œuvre	Poids en kg	MSS	MSS apporté à la formule
Fruits ou pulpes	50	10	5
Sucre	50	100	50
Pectines	0,300	100	0,300
Acide citrique à 50%	0,5	50	0,250
<i>Total</i>	100,8		55,550
Rendement à 65% de MSS = $\frac{100 * 55,550}{65} = 86\%$			

Dans cet exemple, il faut cuire jusqu'à l'obtention de 86 kg de confiture.

Le processus de fabrication des confitures comporte de nombreuses étapes durant lesquelles le fruit est altéré. L'étape la plus sensible est la cuisson des fruits avec le sucre. En effet dans le cas d'un chauffage classique, sous atmosphère pressurisée ou non, les membranes cellulaires sont détruites laissant échapper librement les sucres et arômes du fruit.

II) Procédés d'amélioration de la cuisson

1) La déshydratation osmotique

L'étape la plus importante dans le procédé de fabrication des confitures est la cuisson, elle permet l'extraction de la pectine, l'inactivation des enzymes responsables de l'altération des propriétés organoleptiques du produit et la réduction de l'activité de l'eau (par évaporation).

Mais à côté de ces objectifs elle a des effets indésirables liés à la température et à la durée du traitement, ainsi elle peut entraîner un changement de couleur, saveur, texture et une baisse de la qualité nutritionnelle du produit alimentaire.

D'où l'intérêt d'élaborer un traitement (effectué à température modérée) pouvant à la fois améliorer la qualité finale des denrées alimentaires et avoir des produits aux saveurs « authentiques ».

a) Etude théorique [7] [8] [9]

- Définition

Le traitement osmotique, également connu sous le nom de déshydratation osmotique (DO) ou déshydratation – imprégnation par immersion (DII), est une opération simple utilisée dans de nombreuses méthodes de conservation traditionnelles (salage de viande et poisson, fruits confits). Actuellement, le traitement osmotique connaît un regain dans de nombreux laboratoires, pas uniquement comme méthode de conservation, mais comme procédé pour obtenir des produits de meilleure qualité. Le but de cette action concertée est d'acquérir les connaissances nécessaires pour optimiser la qualité des aliments et plus spécialement pour optimiser les qualités nutritionnelles et sensorielles des denrées alimentaires.

C'est une opération qui permet de réduire la teneur en eau du produit sans changement de phase avec une amélioration de sa qualité.

- Principe

La déshydratation osmotique consiste à immerger les produits végétaux ou animaux, parés ou découpés, dans des solutions concentrées contenant un ou plusieurs solutés (sel,

sucré), dans des conditions de température douces et pendant un temps suffisant pour obtenir un transfert de matière optimum. Ceci conduit à une déshydratation du produit, ainsi qu'à son imprégnation par les substances contenues dans la solution.

La DII exploite la double propriété qu'ont les aliments de perdre leur eau libre et d'incorporer des solutés de la solution concentrée dans laquelle ils sont immergés.

- Mécanisme

Le mécanisme qui régit ce transfert osmotique est une différence de concentration entre la solution et le produit à traiter. Il s'agit de transferts de matière simultanés à contre courant. Ces transferts se déroulent à travers les parois et membranes cellulaires du produit.

A l'intérieur de celui-ci, les espaces intercellulaires servent de lieux d'accumulation ou de passage de substances échangées.

Sur la figure suivante, on considère un système contenant un matériau biologique et une solution osmotique de saccharose, illustré par deux compartiments. La pseudo membrane, généralement la cellule membranaire des matériaux alimentaires, sépare la solution intérieure du compartiment (I) de la solution extérieure du compartiment (II). Il apparaît deux flux, le flux de l'eau J_w et le flux de saccharose J_{su} qui diffusent dans deux sens contraires. Le transfert de masse observé entre le compartiment (I) et (II) est alors une fonction de la différence des potentiels chimiques ($\Delta\mu_w$ et $\Delta\mu_{su}$ sont les potentiels chimiques de l'eau et du sucre respectivement) avec :

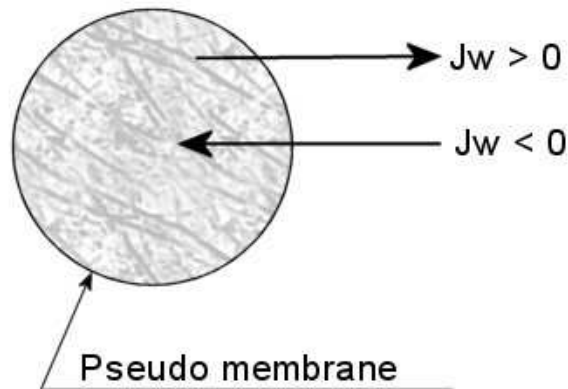
$$\Delta\mu_w = \mu_w^s - \mu_w^m \text{ et } \Delta\mu_s = \mu_{su}^m - \mu_{su}^s$$

μ_w^m : potentiel chimique de l'eau dans le matériau biologique

μ_{su}^m : potentiel chimique du sucre dans le matériau biologique

μ_w^s : potentiel chimique de l'eau dans la solution osmotique

μ_{su}^s : potentiel chimique du sucre dans la solution osmotique



Modèle de transfert de matière durant la déshydratation osmotique

Le potentiel chimique de l'eau est plus élevé dans le matériau biologique et le potentiel chimique du sucre est plus élevé dans la solution osmotique. L'eau diffuse vers l'intérieur de ce dernier. Le transfert global dépend du temps de contact et de la taille de la membrane.

La différence de potentiel chimique à travers la membrane semi-perméable entre le matériau et la solution osmotique est due à la force de transfert de matière. L'activité de l'eau est reliée au potentiel chimique μ_i par :

$$\mu_i = \mu_i^0 + RT \ln(a_w)$$

μ_i : potentiel chimique (V)

μ_i^0 : potentiel chimique de référence (V)

R : constante des gaz parfaits ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

T : température ($^{\circ}\text{K}$)

a_w : activité de l'eau

Une activité plus basse est maintenue dans la solution osmotique pour faire passer l'eau dans les matériaux biologiques à travers les cellules semi-perméables et permettre un passage plus facile pour l'eau que pour le soluté.

Dans les procédés de DO les cellules sont parfois assimilées à deux cylindres coaxiaux où on distingue trois parties (figure suivante) : un volume intracellulaire, un volume extracellulaire et la membrane cellulaire. Durant le processus de DO, le soluté diffuse vers le volume extracellulaire, et suivant les caractéristiques du soluté (taille, géométrie), celui-ci pénètre ou pas à travers les cellules membranaires.

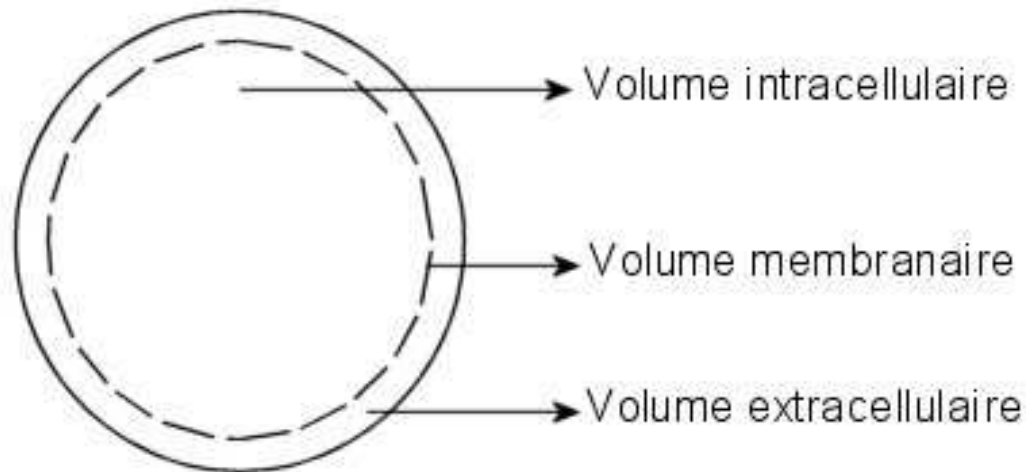


Figure : diagramme simplifié d'une cellule biologique

Durant la déshydratation osmotique, la formation d'un dépôt de soluté sur la surface du matériau diminue la vitesse de diffusion de l'eau. La pénétration du soluté est directement liée à la concentration et aux dimensions de la molécule de sucre. Ce processus peut être réalisé à une température douce, c'est un processus isotherme qui n'engendre aucun changement de phase.

- Cinétique de la DO

La cinétique de la DO est déterminée par la quantité d'eau perdue (PE) par le matériau et le gain en soluté (GS).

La DO se poursuit jusqu'à atteindre un équilibre entre l'activité de l'eau dans le produit et l'activité de l'eau dans la solution.

L'intérêt de la DO dans la conservation des aliments est essentiellement lié aux caractéristiques nutritionnelles et organoleptiques satisfaisantes des produits obtenus. Ces propriétés sont attribuées aux températures de traitement modérées (ce qui permet de minimiser les dégradations de texture, de valeur nutritionnelle, de couleur et de goût), à un moindre entraînement des composés volatiles, à une réduction de la teneur en eau qui minimise le développement microbien, ainsi qu'à un effet souvent favorable du soluté introduit, en fait l'augmentation du ratio sucre/acide maintient la texture et la stabilité des pigments pendant la déshydratation. Toutefois, les produits traités par DO uniquement ne sont pas stables (produits à activité d'eau moyenne 0.6 à 0.9). Un traitement complémentaire est nécessaire pour assurer leur bonne conservation.

b) Expérience : déshydratation osmotique des fraises [7]

Pour mettre en avant les avantages de la déshydratation osmotique par rapport au processus traditionnel de fabrication de confiture, une expérience a été menée par les universités de Dakota du Nord et de Valence [7].

Pour ce faire, des fraises d'Espagne avec une solubilité de 8 à 10°Brix ont été utilisées. Ces fraises ont d'abord été nettoyées à l'eau et à l'eau oxygénée puis coupées en deux. Elles ont ensuite été placées pendant 1 à 2 minutes dans de la vapeur d'eau à 100°C.

La solution osmotique a été préparée en mélangeant du sucrose avec de l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un degré de concentration de sucre saturé de 80°Brix. Les fraises y ont été ajoutées pour réaliser la déshydratation osmotique à 35°C et 100mbar durant 2 heures.

La recette de fabrication de la confiture a été prise dans des sources industrielles de façon à obtenir un produit contenant 40 à 50% de fruits. Du sucrose et du sirop de glucose ont été ajoutés pour obtenir une solution d'une solubilité de 60 à 65°Brix. De l'acide citrique a également été ajouté jusqu'à l'obtention d'un pH de 3.1. La pectine a ensuite été ajoutée à la solution sucrée puis chauffée pour une dissolution complète. La confiture a ensuite été placée dans des jarres désinfectées placées dans un bain d'eau de manière à ce qu'elles conservent une température optimale. Puis la confiture a ensuite été stockée dans des atmosphères sombres à 5, 25 et 35°C.

Des analyses chimiques et physiques ont été menées à toutes les étapes de la fabrication : sur les fruits frais, sur les fruits déshydratés, sur la confiture juste après sa fabrication et enfin une fois toute les semaines durant le stockage. Ces tests ont concerné le pH, le °Brix, l'acidité, la quantité d'eau, la quantité de solide, la quantité de pectines et la quantité d'acide ascorbique. La couleur, quant à elle, a été évaluée suivant 3 paramètres : la luminescence (L), l'index de saturation en rouge (a) et l'index de saturation en jaune (b).

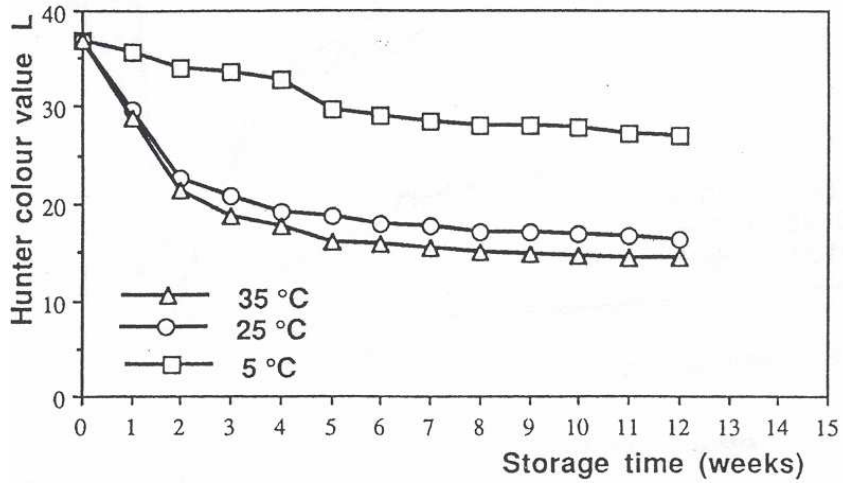
12 personnes ont été choisies aléatoirement pour estimer la couleur et le goût de la confiture ainsi produite. Chaque échantillon a été noté sur une échelle de 1 à 5. Les résultats ont été traités par la variance et chaque analyse a été répétée 3 fois.

Les résultats des analyses chimiques sont présentés dans le tableau suivant :

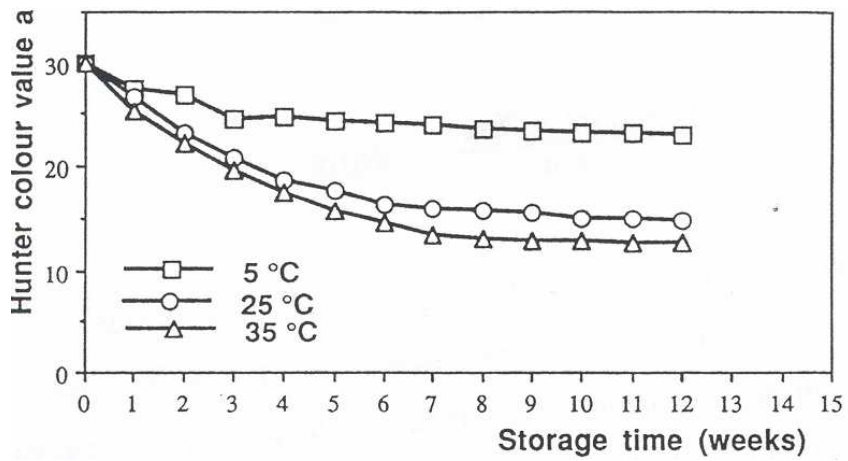
	Fruits frais	Confiture
Quantité d'eau (%)	90.61	34.21
Quantité de solide (%)	9.42	65.82
Quantité d'acide citrique (%)	1.061	0.859
Acide ascorbique (mg/100g)	57.94	47.672
pH	3.43	3.31
Pectines (%)	0.325	0.977
°Brix	8.55	62.82
Activité de l'eau	0.991	0.851

Comparée aux fruits frais, la confiture contenait donc la plupart des composants chimiques de départ. Le sucre comme agent osmotique permet d'éviter toute décoloration par brunissement enzymatique ou non. De ce fait, la saveur et la couleur conservent leur fraîcheur et leur naturel. Les différences répertoriées entre les fruits frais et la confiture étaient principalement dues à la diffusion de l'acide dans la solution sucrée durant la déshydratation osmotique.

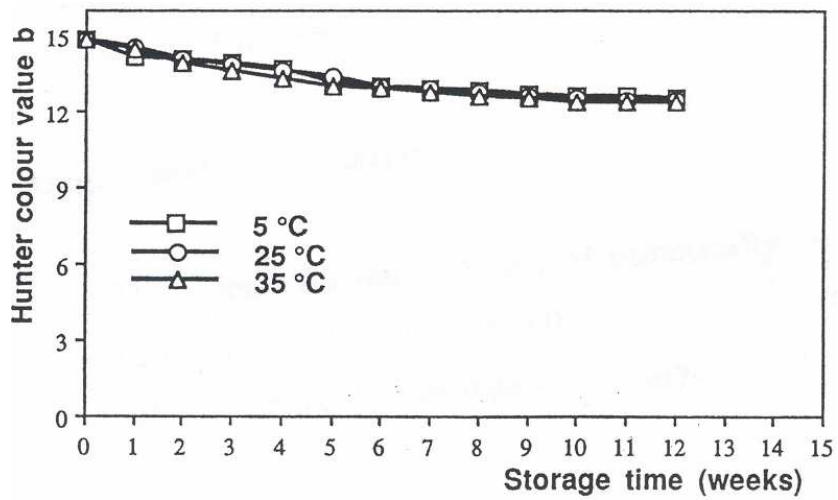
La variation des paramètres L, a et b ont été relevées durant le stockage de la confiture aux 3 différentes températures de stockage. Les résultats sont les suivants :



Evolution de (L) durant le stockage à différentes températures. [7]



Evolution de (a) durant le stockage à différentes températures. [7]



Evolution de (b) durant le stockage à différentes températures. [7]

Durant les 4 premières semaines, la couleur de la confiture a évolué rapidement, surtout pour les échantillons à 25°C et 35°C. Après cette période, il n'y avait presque plus de variation relevée. L'échantillon à 5°C a donc conservé presque entièrement sa couleur.

La variation de « L » relevée montre que la luminescence évolue beaucoup plus fortement à des températures plus élevées. Les changements brusques de valeur de « L » dans la confiture stockée à 35°C indique une baisse de la couleur rouge et le développement d'une couleur rouge violet.

Les valeurs de « b » quant à elles montrent que la température n'a pas d'influence sur la couleur jaune.

Quant aux valeurs de « a », elles diffèrent dans la confiture stockée à 5°C. Cependant, une baisse rapide de « a » a été relevée dans la confiture stockée à 35°C. La couleur rouge désirée était due à des pigments d'anthocyanine qui n'étaient pas stable à 25°C. L'anthocyanine est probablement transformée en une base carbonée incolore et une couleur bleu marron persistante a alors commencé à dominer dans le produit.

La couleur et le goût de la confiture réalisée ont été évalués et comparés à une confiture commerciale par une échelle de 1 à 5. Les résultats sont les suivants :

Echantillon	Couleur	Goût
Confiture sans stockage	54	49
Confiture après 1 mois de stockage	54	45
Confiture après 2 mois de stockage	53	44
Confiture après 3 mois de stockage	28	28
Confiture commerciale de supermarché	16	20

Résultat des analyses gustatives [7]

Les résultats obtenus par la confiture fabriquée sur les 2 paramètres sont sans appel : des notes très élevées et considérablement supérieures à celles de la confiture commerciale. La confiture produite a conservé un niveau important d'appréciation durant toute la période de stockage. Au bout de 2 mois de stockage, les testeurs ont donné les mêmes notes qu'après la fabrication. Les variations observées sur le goût durant le stockage sont également accompagnées de variations dans la couleur de la confiture, ce qui tend bien à prouver que ces 2 paramètres sont liés. Les fruits déshydratés par osmose n'ont pas été sujets à des expositions prolongées à des températures importantes. Ceci a évidemment conduit à un impact très diminué sur le goût.

Cette expérience nous montre donc tous les avantages de l'utilisation de fruits déshydratés par osmose :

- les propriétés organoleptiques des fruits sont conservées
- des températures plus basses d'où une économie d'énergie

De plus, le jus issu de la déshydratation osmotique contient encore beaucoup d'arômes ce qui le rend utilisable dans un procédé de fabrication de confiture en continu. En effet, on peut remplacer l'eau du mélange initial par ce jus, ce qui rend la confiture finale encore plus savoureuse. Comme la DO est un procédé relativement lent, il est important de trouver des méthodes qui augmentent le transfert de masse sans affecter la qualité du produit.

2) Le chauffage ohmique

- Historique

L'idée d'utiliser le courant électrique pour générer de la chaleur dans les aliments n'est pas récente. Les premières utilisations d'un mode de chauffage résistif direct ont été recensées dès 1914, lorsque Beattie l'utilise pour la pasteurisation du lait destiné à l'alimentation infantile, ou 1919, avec Anderson et Finkelstein étudiant la première version du procédé « Electro-pure » pour la pasteurisation électrique du lait.

En dépit du succès rencontré par le procédé Electro-pure (50 installations dans les années 30), la technique s'est peu développée pour différentes raisons :

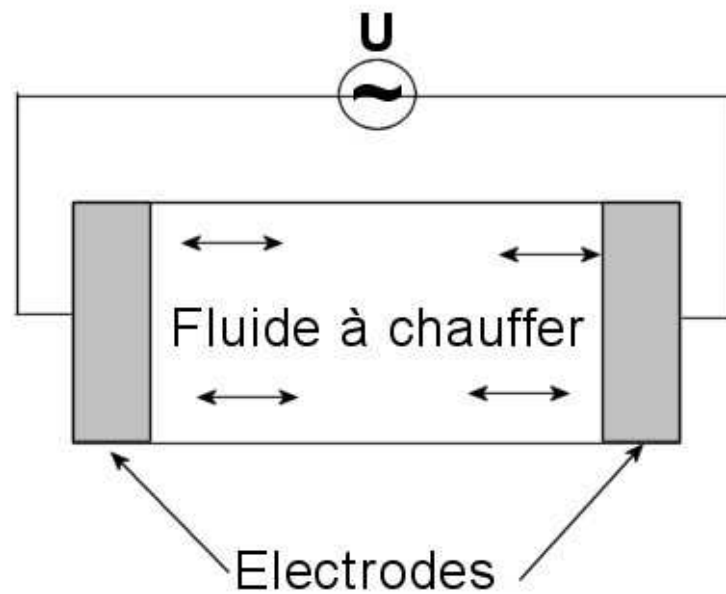
- ⇒ absence d'équipements de contrôle et de maintien de la température adéquats
- ⇒ manque de matériaux inertes appropriés pour les électrodes
- ⇒ coût en baisse des autres sources d'énergie (pétrole et gaz)

La recherche repris dans les années 1980 avec l'apparition de nouveaux matériaux et une nouvelle conception des procédés. Dès 1980 l'ECRC (Electrical Council Research at Capenhurst) dépose un brevet concernant un appareil de chauffage ohmique en continu et accorde à APV Baker Ltd en 1983 une licence d'exploitation internationale exclusive du procédé. La première unité pilote est construite en Grande-Bretagne en 1985 ; la première unité industrielle (75KW) est mise en route en 1989. La technologie, a, depuis, remporté de multiples prix en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis.

La recherche sur le chauffage ohmique en France, initié par EDF dès la fin des années 1980, s'est accélérée avec la création en 1994 d'un centre de compétence en chauffage ohmique implanté en Picardie grâce à la collaboration de l'Université de Technologie de Compiègne et du centre technique pour la conservation des produits agricoles de Dury.

- Principe

Le chauffage ohmique est un chauffage volumique par conduction électrique directe. Il résulte du passage d'un courant électrique à travers un produit liquide, visqueux ou d'un mélange liquide solide. La chaleur est générée par effet Joule directement au sein du produit qui joue le rôle de résistance électrique parcourue. La chaleur générée par le chauffage ohmique dépend principalement de la conductivité électrique du produit et de ses caractéristiques dimensionnelles.



Principe du chauffage ohmique

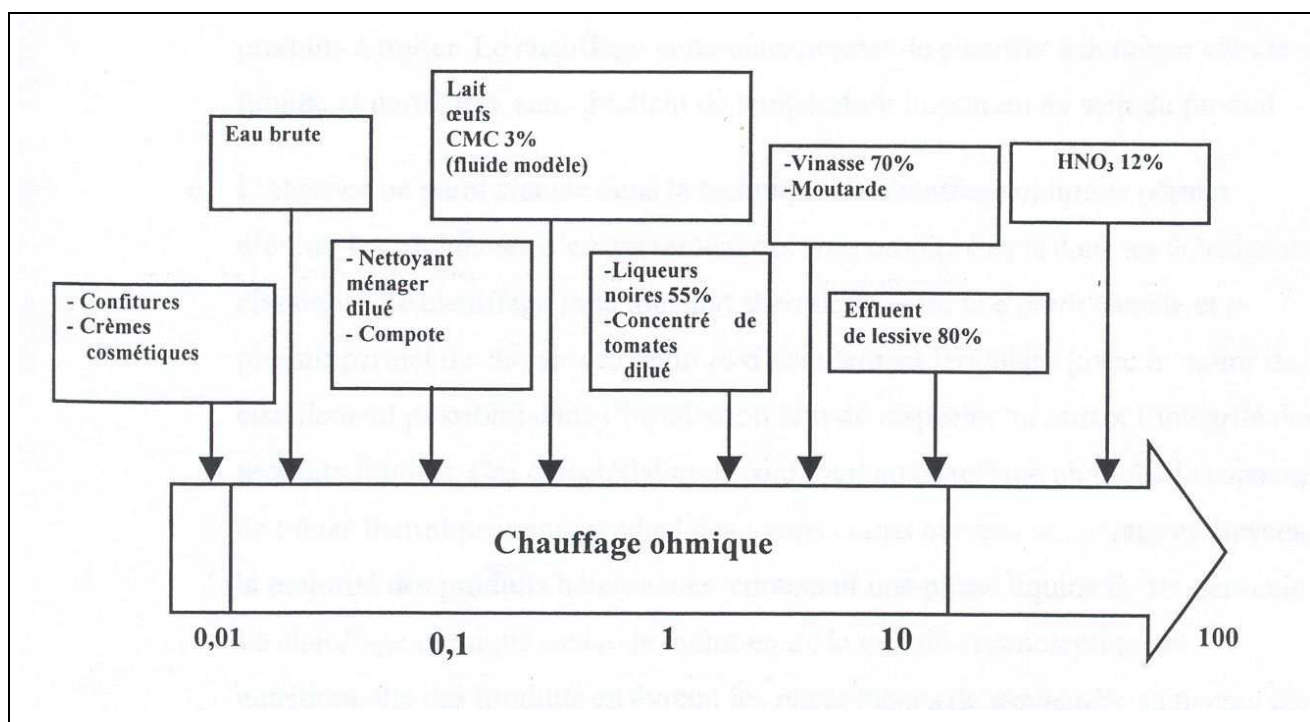
- La conductivité électrique

La conductivité électrique (exprimée en Siemens/mètre) d'un aliment est un critère fondamental déterminant la vitesse du chauffage ohmique. C'est l'inverse de la résistivité et elle dépend de plusieurs paramètres :

- la nature des produits

La figure suivante montre la conductivité électrique des différents produits pompables (en échelle logarithmique).

La partie centrale de la figure renferme les produits pouvant être chauffés facilement par chauffage ohmique. Les fluides situés à l'extrême gauche de l'échelle sont difficiles à traiter, car les tensions qui devraient être appliquées seraient très élevées, plusieurs dizaines de kilovolts. A l'inverse, à l'extrême droite de l'échelle, les tensions à appliquer sont faibles et les courants à véhiculer très importants, plusieurs milliers d'ampères.



Conductivité électrique de quelques fluides à 20° C [10]

Malgré tout, il convient de noter que les produits présentant des conductivités extrêmes, un choix judicieux de la géométrie de réchauffeur pourrait rendre le traitement possible.

- la concentration des espèces en solution

Chaque espèce en solution apporte de la conductivité électrique dans un mélange. Lorsqu'on augmente le taux de matière sèche d'une solution ; et donc sa concentration en espèces dissoutes, la conductivité électrique globale de la solution augmente, au moins dans un premier temps. Lorsqu'on arrive à une saturation du mélange, la conductivité électrique passe par un palier ou un pic, puis elle décroît pour, dans certains cas, devenir nulle, ce qui correspond à l'état solide.

- la température

Plus la température s'élève, plus la conductivité électrique augmente, le plus souvent selon une relation linéaire. La pente de la droite correspondante peut être élevée (facteur multiplicateur 3 à 10 pour une élévation de température d'une centaine de degrés). Ainsi, l'eau est 3 fois plus conductrice à 90°C qu'à 20°C. Les matières grasses, les alcools et les structures cristallines (glace) limitent la conductivité électrique.

- Avantages [9]

Les principaux avantages du procédé, recensés à la fois sur le plan qualitatif et économique, sont les suivants :

- sur le plan qualitatif :
 - Chauffage rapide et uniforme : la vitesse du chauffage ohmique peut atteindre jusqu'à 5°C/s selon les caractéristiques de l'installation et les propriétés des produits à traiter. Le chauffage homogène permet de chauffer à la même vitesse liquide et particules, sans gradient de température important au sein du produit.
 - L'absence de paroi chaude dans la technique du chauffage ohmique permet d'éviter les problèmes d'encrassement qui sont omniprésents dans les échangeurs classiques. Le chauffage sans transfert thermique entre une paroi chaude et le produit permet de choisir des régimes d'écoulement laminaire (avec le moins de cisaillement possible) dans l'installation afin de respecter au mieux l'intégrité des produits fragiles. Ces caractéristiques confèrent au chauffage ohmique la capacité de traiter thermiquement, pendant des temps courts à des températures élevées, la majorité des produits hétérogènes contenant une phase liquide et des particules. Le chauffage ohmique assure le maintien de la qualité organoleptique et nutritionnelle des produits en évitant les phénomènes de surchauffe au niveau des surfaces (génération de chaleur au sein des particules solides, sans dépendance du liquide).

- sur le plan économique
 - la production continue sans surfaces de transfert de chaleur
 - le fonctionnement silencieux du système
 - un faible coût de maintenance
 - un contrôle facile du procédé (mise en route et arrêt instantanés)
 - un réglage direct de l'énergie de chauffage apportée
 - un rendement énergétique de conversion de l'énergie électrique en chaleur élevé : 90 à 95%
 - une conservation et distribution à température ambiante (pas de coût de réfrigération)

- Domaine d'application en industries agroalimentaires (IAA)

Le chauffage ohmique peut être appliqué en IAA pour des opérations de pasteurisation, stérilisation, cuisson, décongélation, surconcentration. Les produits concernés ne peuvent être que des produits difficiles à traiter par les moyens traditionnels.

3) Couplage de la DO au CO

Dans le cadre de la fabrication de confiture, le chauffage ohmique est envisagé à la fois :

- pour le blanchiment des fruits

Cette étape complexe peut permettre à la fois la destruction des microorganismes, l'inactivation des enzymes ou bien une modification du tissu cellulaire. Dans le cas d'étape de blanchiment conventionnel (à la vapeur ou par immersion), cette modification est principalement située sur le pourtour du fruit, tandis que par chauffage ohmique, ce prétraitement effectué sur le fruit dans le sirop devrait porter sur l'ensemble du fruit avec une augmentation rapide et importante de température permettant un blanchiment très rapide.

Nous pouvons noter également que en utilisant un chauffage ohmique à tension plus élevée (quelques centaines de volts par centimètre pendant une durée très courte), l'étape de blanchiment peut alors avoir lieu avec une élévation faible de température et apparition de phénomène d'électroporation des tissus cellulaires (apparition des pores dans les membranes cellulaires) pouvant influencer de façon importante les transferts de matière lors de la DO.

Nous pouvons dire que le chauffage ohmique peut être considéré à la fois comme traitement thermique et électrique :

Au cours du chauffage ohmique, en tant que traitement thermique, plusieurs changements d'ordre physiques, chimiques et biologiques, se produisent au sein des aliments à traiter (déshydratation, rupture des cellules, déchirement des tissus, dégazage...). Il est intéressant de noter que ces changements peuvent entraîner une augmentation du transfert de masse.

En tant que traitement électrique, un chauffage ohmique peut cependant avoir des effets supplémentaires, comme une perte en eau par électrolyse ou une dissolution des constituants des parois cellulaires intervenant dans la rigidité et l'adhésion cellulaire.

- comme technique de chauffage en continu :

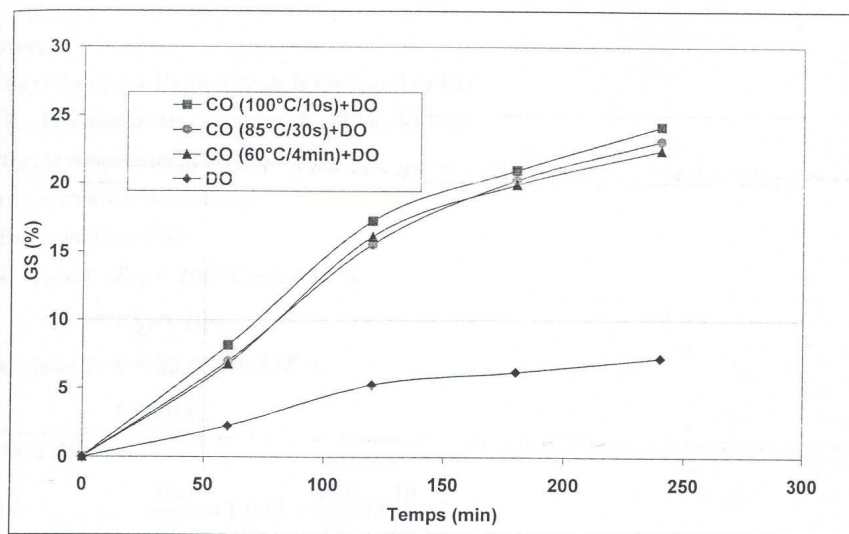
Au cours de la DO, le CO peut être utilisé pour maintenir une température opératoire vers 35-40°C.

Le chauffage ohmique est envisagé aussi dans ce procédé pour :

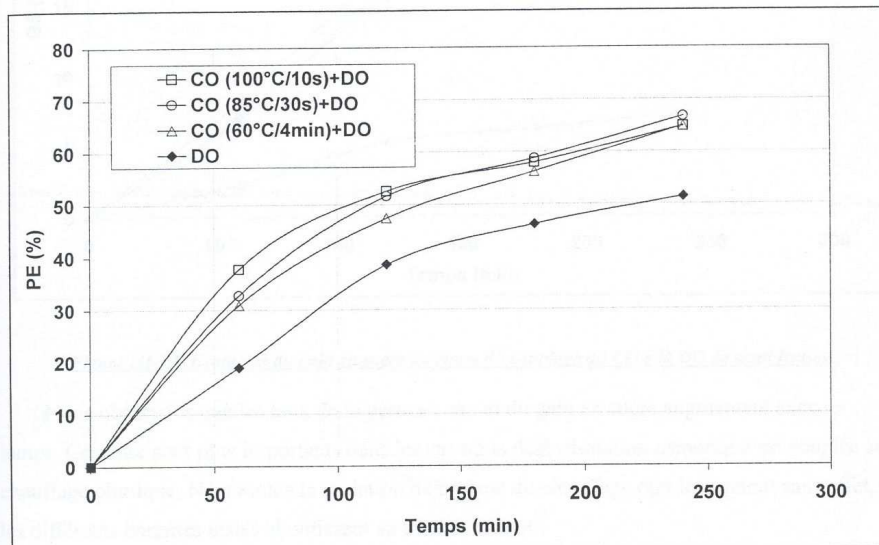
- Réduire le temps de DO : le chauffage ohmique crée une rupture des cellules, et un phénomène d'électroporation, ce qui a comme conséquences une perte de la sélectivité de la membrane cellulaire et par la suite une perte d'eau excessive.
- Economiser l'énergie.
- Respecter la composition naturelle des fruits « saveur authentique » : la DO s'effectue à une température de 37 à 40°C ce qui permet de préserver les propriétés organoleptiques des produits traités.

Etude cinétique :

Les figures suivantes présentent les courbes d'évolution de la perte en eau (PE) et du gain en sucre (GS), de demi-fraises, en fonction du temps d'immersion, lors d'un couplage CO+DO. Sur les mêmes graphes ces courbes sont comparées avec celles obtenues au cours de la DO seule. Différents barèmes de chauffage ohmique ont été testés, à savoir, (60°C/4min), (85°C/30s) et (100°C/10s). La déshydratation osmotique a été effectuée dans une solution de concentration 70°Brix à 37°C.



Evolution de la perte en eau au cours du couplage CO+DO [10]



Evolution du gain en sucre au cours du couplage CO+DO [10]

Nous observons que les taux de la perte en eau et du gain en sucre augmentent avec le temps. Ces taux sont plus importants dans les cas où la déshydratation osmotique est couplée au chauffage ohmique. Nous remarquons également que quelque soit le barème de chauffage ohmique, les courbes sont équivalentes. Il n'est donc pas nécessaire d'aller à des températures très importantes.

4) Autres méthodes de chauffage [11]

Micro-Ondes et Hautes Fréquences

Principe de fonctionnement

Sous l'effet d'une onde électromagnétique (915 ou 2450 MHz pour les micro-ondes et 13,56 MHz ou 27,12 MHz pour les hautes fréquences), un produit se polarise c'est-à-dire que les molécules d'eau qui le constituent s'alignent dans les sens du champ électrique.

Ce champ électrique alternatif provoque alors des changements d'orientation ce qui crée des frictions entre molécules d'eau et un échauffement dans le produit.

Domaine d'application

Le choix entre micro-ondes et hautes fréquences dépend de la dimension du produit, son homogénéité, sa nature physico-chimique, la puissance de l'installation.

- Précuisson / cuisson des fruits (ex : pommes mi-cuites se conservant plusieurs semaines)
- Pasteurisation / stérilisation dans l'emballage

Champs électriques pulsés

Principe de fonctionnement

Le procédé consiste à appliquer au produit un champ électrique intense (25 à 50KV/cm) sous forme d'une série d'impulsions de très courte durée (1 à 10 μ s). Dans ce procédé, la cellule biologique (animale, végétale ou microbienne) exposée au champ électrique subit une déstructuration de sa membrane : il y a accroissement de la perméabilité membranaire qui entraîne une migration des constituants cellulaires vers l'extérieur.

Domaine d'application

On distingue 2 catégories d'application :

- Extraction de métabolites ou de composés cellulaires, extraction de composés aromatiques, de pigments ou des jus.
- Diminution de la contamination bactérienne pour augmenter la durée de vie des produits.

Les principales applications potentielles concernent la majeure partie des boissons et les jus de fruits ou de légumes, le lait, les ovoproduits, les sirops, sauces ou purées et les soupes.

Dans le cas de la fabrication de confiture de fruits rouges, ce procédé pourra être appliqué seulement si l'on veut obtenir de la purée de fruits.

Avantages

- Permet une pasteurisation des produits sans traitement thermique
- Permet un allongement de la durée de vie des produits
- Préserve les qualités organoleptiques
- Pas de prétraitement
- Coût énergétique réduit par rapport aux procédés thermiques

Le tube à passage de courant

Principe de fonctionnement

Un tube en acier inoxydable dans lequel circule un fluide à chauffer est mis sous tension. Le courant se transforme par effet Joule en énergie et chauffe le produit par convection.

Domaine d'application

- Stérilisation du lait UHT, de crèmes, de concentrés de jus de fruits, d'arômes et de sirop,
- Pasteurisation du lait, de desserts lactés, de purées et coulis de fruits, de chocolat ,d'oeufs
- Chauffage de confitures, de mix pâtisseries

D'une façon générale, le TPC permet de stériliser, pasteuriser, chauffer des liquides thermosensibles, des produits à forte viscosité ou des produits contenant des morceaux pouvant être véhiculés à travers un tube.

Avantages

- Absence d'inertie thermique : pas de surchauffe du produit
- Régularité du traitement : faible différentiel de chaleur entre le tube et le produit à chauffer
- Moins d'encrassement qu'avec un échangeur tubulaire
- A l'achat, pour des puissances inférieures à 50 kW, le coût d'une ligne de production avec TPC est inférieur à celui de la concurrence (échangeur tubulaire par ex).

Le surcoût de la facture énergétique est rapidement compensé par les gains de productivité (jusqu'à 50% par rapport à un échangeur à plaques), de maintenance et par l'amélioration de la qualité des produits.

Les hautes pressions

Principe de fonctionnement :

Les produits sont soumis, à froid, à des pressions élevées, entre 2000 et 7000 bars par l'intermédiaire d'un liquide à faible compressibilité (eau).

Domaine d'application

- Pasteurisation à froid, conservation des vitamines et des qualités organoleptiques, amélioration de la gélification utilisable pour les produits à base de fruits et de légumes : jus de fruits, salades de fruits, compotes, confitures, coulis, soupes, légumes sous vide ou sous atmosphère, sauces
- Stérilisation à température $< 100^{\circ}\text{C}$: couplage des hautes pressions avec un traitement thermique modéré
- Confisage de fruits sans traitement thermique : conservation d'une texture ferme et du goût de fruit frais, diminution du temps de confisage

Avantages

- Traitement homogène des produits en vrac ou préemballés (emballages souples) : l'efficacité du traitement ne dépend pas de la taille du produit ni de celle de l'installation
- N'échauffe pas et n'écrase pas le produit traité
- Conservation de l'aspect du produit frais
- Augmentation de la date limite de consommation (DLC)
- Evite ou limite le traitement thermique
- Réduit la consommation d'énergie car seule la montée en pression consomme de l'électricité
- Technique non polluante car le fluide de pressurisation (eau) est recyclée

Conclusion

Si les techniques actuelles de fabrication de confiture en industrie sont rodées, elles ne conviennent que partiellement lorsqu'il s'agit de fruits rouges, car elles altèrent considérablement les qualités organoleptiques des produits frais.

Pour remédier à ce problème, la déshydratation osmotique des fruits dans le processus est très avantageuse. Il reste toutefois à palier au problème cinétique de cette réaction lente, ce qui peut être fait à l'aide d'un couplage avec le chauffage ohmique. De cette façon, les confitures conservent tous les arômes et couleurs des fruits qui la composent. De plus, ces procédés sont plus économiques en énergie que ceux utilisés actuellement, ce qui réduirait l'impact environnemental des industries concernées.

A l'heure où les budgets de recherche et développement dans les entreprises agro-alimentaires explosent, on peut s'attendre à ce que ces nouveaux procédés répondent, dans les années à venir, aux attentes économiques de rentabilité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] www.legifrance.gouv.fr
- [2] **La composition des aliments - Tableaux des valeurs nutritives**
Souci S.W., Fachmann W., Kraut H (2000)
- [3] **Technologie de transformation des fruits** Guy Albagnac, Patrick Varoquaux, Jean-Claude Montigaud - 2002.
- [4] *Missenard-Quint Industries* - <http://www.missenard-quint.com>
- [5] **Pratique de la chromatographie liquide** R.W.YOST, L.S.ETTRE, R.D.COULON 2000
- [6] <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/paroi/pectines.htm>
- [7] **Application of Osmotic Dehydration Technology on Jam Processing.**
Shi, X.Q., Chiralt, A.; Fito, P. Serra, J.; Escoin, C.; Gasque, L. *Drying Technology* . 14 (3&4)
841-847 1996
- [8] **Jam manufacture with osmodehydrated fruit**
García-Martínez, E.; Ruiz-Díaz, G.; Martínez-Monzó, J.; Camacho, M.M.; et. al.
“ *Food Research International* ” Volume: 35, Issue: 2-3 – 2002.
- [9] **Modelling of sugar transfer during osmotic dehydration of carrots**
Anikó MATUSEK and Péter MERÉSZ . Department of Biochemistry and Food Technology
Budapest University of Technology and Economics – 2003.
- [10] **Production de confitures par déshydratation osmotique couplée au chauffage ohmique**
Hind Allali - Université Technologique de Compiègne - 2004
- [11] www.limousin-tech.org