

1. Conservation par la chaleur



0

0

Conservation par la chaleur

Cinétique de destruction des micro-organismes

Facteur temps

Courbe de survie

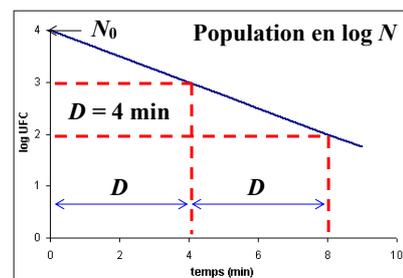
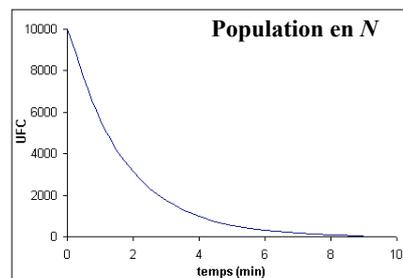
On détermine à différents temps (t) le nombre de micro-organismes survivants ($\log N$) suite à l'exposition à une température létale constante.

La relation $\log N = f(t)$ est appelée *courbe de survie* ou *cinétique de destruction microbienne*.

Cette relation est *linéaire en log*, autrement dit, les micro-organismes exposés à une température létale constante, suivent une loi de destruction d'ordre 1 en fonction du temps.

Le temps nécessaire pour détruire une fraction de la population est donc indépendant de la concentration initiale en micro-organismes.

D est le temps de réduction décimale à température T .
On écrit : D_T



1

1

Conservation par la chaleur

L'inactivation microbienne

Temps de réduction décimale D_T

D_T est le temps permettant de **détruire 90 %** des micro-organismes initiaux. En d'autres termes, c'est le temps nécessaire pour réduire d'un **facteur 10** la concentration en micro-organismes à la température T .

- Forme non-linéaire $N^t = N^0 10^{\left(-\frac{t}{D_T}\right)}$
 - t Temps d'exposition des micro organismes à la chaleur
 - N^0 Nombre de micro-organismes avant traitement thermique, donc à l'instant $t = 0$
 - N^t Nombre de micro-organismes survivants à l'instant t

- Forme linéaire $\log_{10} N^t = \log_{10} N^0 - \frac{t}{D_T}$

Taux de réduction décimale n

Le taux de réduction décimale n (ou nombre de réductions décimales) appelé aussi efficacité pasteurisatrice (E) à la température T est

$$n = \log_{10} \left(\frac{N^0}{N^t} \right) \qquad n = \frac{t}{D_T}$$

Donc la durée d'un traitement est : $t = D_T \times n$

2

2

Conservation par la chaleur

L'inactivation microbienne

Facteur température

Que se passe-t-il lorsque j'augmente la température d'inactivation ?

Population en log N

$\log_{10} D = \log_{10} D_{ref} - \left(\frac{T - T_{ref}}{z} \right)$

z est spécifique de chaque microorganisme (*paramètre de thermorésistance*). En général il varie de 4 à 7°C pour les formes végétatives, environ 10°C pour les spores.

z : Facteur de réduction décimale, ou l'écart de température nécessaire pour réduire d'un facteur de 10 le D_T (réduire de 90%)

D_{ref} : est le temps de réduction décimale à la température de référence T_{ref} .

3

3

Conservation par la chaleur		L'inactivation microbienne			
Prenons l'exemple de <i>Clostridium botulinum</i> ; Ses paramètres de thermorésistance :					
$D_{120} = 0,25$ min et $z = 10^{\circ}\text{C}$					
▪ Il reste combien si on chauffe 10^3 spores à 120°C pendant 15s ?	✓ Il restera 10^2 spores				
▪ Quelle est la valeur de D_{110} ?	✓ $D_{110} = 2,5$ min				
▪ Quel temps nécessaire pour obtenir la même réduction (D_{110}) ?	✓ Au bout de 2,5 min				
▪ Combien de temps faut-il pour éliminer totalement les 10^3 spores à 100°C ?	✓ $D_{100} = 25$ min, donc il faut : $3 \times 25 = 75$ min				
Exercice					
À partir des tableaux ci-dessous (réduction de la souche x) : tracer les courbes de survie ; déduire les paramètres de thermorésistance de la souche x ?					
50°C		60°C		70°C	
0 min	6 log	0 min	6 log	0 min	6 log
70 min	5.3 log	15 min	5.5 log	5 min	5.5 log
100 min	5 log	32 min	5 log	10 min	5 log

4

Conservation par la chaleur		L'inactivation microbienne					
Thermorésistance de quelques bactéries non sporulées				Thermorésistance de quelques Levures			
Température (°C)	Bactérie	D (min)	Z (°C)	Micro-organisme	Milieu	Temp (°C)	D (min)
65	Thermophiles	100		<i>Debaromyces hansenii</i>	YMPG, pH 3,5	48	10
	<i>Streptocoques fécaux</i>	5 - 30		<i>Rhodotorula rubra</i>	YMPG, pH 3,5	50	26
	<i>Lactobacillus</i> spp.	0,5 - 1	8 - 10	<i>Saccharomyces uvarum</i>	Tampon citrate-P	55	0,07
	<i>Leucosnotoc</i> spp.	0,5 - 1	8 - 10	<i>Saccharomyces uvarum</i>	Tampon citrate-P	55	8
	<i>L. monocytogenes</i>	0,3 - 1		<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Jus de pomme, pH 3,6	55	0,9
55	<i>E. coli</i>	0,1		<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , ascospores	Jus de pomme, pH 3,6	55	106
	<i>P. fluorescens</i>	1 - 4		<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , ascospores	Jus de pomme, pH 3,6	60	6,1
Thermorésistance de quelques bactéries sporulées				Thermorésistance de quelques moisissures			
Température (°C)	Bactérie	D (min)	Z (°C)	Micro-organisme	Milieu	Temp (°C)	D (min)
121,2	<i>B. stearothermophilus</i>	4-5	8 - 12	<i>A. Flavus - A. parasiticus conidies</i>		80	0,1- 1
	<i>C. botulinum Groupe I</i>	0,1 - 0,2	8 - 10	<i>Neosartorya fischeri</i> (ascospores)	Purée de cerise	85	52
	<i>C. sporogenes</i>	0,1 - 0,15	8 - 10	<i>Neosartorya fischeri</i> (ascospores)	Jus de pomme	88	1,4
	<i>B. coagulans</i>	0,01 - 0,1	8 - 10	<i>Byssochlamys fulva</i> (ascospores)	Glucose- tartrate	90	17
100	<i>B. cereus</i>	5	10	<i>Byssochlamys fulva</i> (ascospores)	Jus de raisin	85	56
	<i>C. perfringens</i>	0,3 - 20					
	<i>B. polymyxa</i>	0,1 - 0,5	7 - 9				

5

Conservation par la chaleur	L'inactivation microbienne																
<p> D'autres facteurs influençant l'inactivation</p>																	
<p><input checked="" type="checkbox"/> Nature de l'aliment (caractère conductif/convectif) : Les lipides conduisent moins bien la chaleur que l'eau d'où une meilleure résistance des microorganismes dans les produits gras. Exemple : Pour <i>Clostridium botulinum</i> le $D_{100} = 16$ min et $z=11.2$ °C dans un tampon et $D_{109} = 25.8$min et $z=28.5$ °C dans de l'huile d'olive.</p>																	
<p><input checked="" type="checkbox"/> a_w : une a_w faible diminue la sensibilité des microorganismes. Donc un produit qui contient plus d'eau est plus facile à stériliser qu'un produit en partie déshydraté. Exemple : Pour <i>Salmonella</i> le $D_{60} = 6.1$ min dans un bouillon à $a_w = 0.99$ et $D_{60} = 75.2$ min dans un bouillon à $a_w = 0.90$ (saccharose comme soluté).</p>																	
<p><input checked="" type="checkbox"/> pH : un pH bas augmente la sensibilité des microorganismes. Voir dans le tableau l'influence du pH sur la thermorésistance</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>pH du milieu de destruction des spores</th> <th>Durée de chauffage permettant la survie d'un même nombre de spores de <i>Clostridium sporogenes</i> (min)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5,0</td><td>9</td></tr> <tr><td>5,7</td><td>12</td></tr> <tr><td>6,0</td><td>15</td></tr> <tr><td>6,6</td><td>21</td></tr> <tr><td>7,0</td><td>25</td></tr> <tr><td>7,5</td><td>20</td></tr> <tr><td>8,2</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>	pH du milieu de destruction des spores	Durée de chauffage permettant la survie d'un même nombre de spores de <i>Clostridium sporogenes</i> (min)	5,0	9	5,7	12	6,0	15	6,6	21	7,0	25	7,5	20	8,2	15
pH du milieu de destruction des spores	Durée de chauffage permettant la survie d'un même nombre de spores de <i>Clostridium sporogenes</i> (min)																
5,0	9																
5,7	12																
6,0	15																
6,6	21																
7,0	25																
7,5	20																
8,2	15																
<p><input checked="" type="checkbox"/> Etat du microorganisme : La forme sporulée est plus résistante que la forme végétative.</p>																	

6

Conservation par la chaleur	L'inactivation microbienne
<p> Évaluation de l'efficacité du traitement thermique</p>	
<p>Afin de permettre une comparaison facile de différents traitements (isothermes ou non isothermes) la valeur stérilisatrice VS (F0 en littérature anglo-saxonne) ou pasteurisatrice VP est définie comme une « échelle d'intensité de traitement thermique » :</p>	
<p><input type="checkbox"/> Pour la stérilisation et la pasteurisation respectivement une T de 121,1°C et 70°C sont retenues comme référence internationale avec un z proche de 10 °C, les germes de références sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Clostridium botulinum</i> : $z=10$°C et $D_{121,1} = 12$ s ▪ <i>Entérocoque faecalis</i> : $z=10$°C et $D_{70} = 2.95$ min 	
<p><input type="checkbox"/> Il faut un n cible de 12 pour la stérilisation et de 10 pour la pasteurisation.</p>	

7

Conservation par la chaleur

L'inactivation microbienne

□ **L'intensité** totale intégrée (cumulative) d'un traitement non isotherme peut être exprimée : comme la somme des intensités de chaque instant passé aux différentes températures. Il est ainsi possible d'exprimer :

▪ **La valeur stérilisatrice :**

$$VS = \int_0^t 10^{\left(\frac{T_i - 121,1}{10}\right)} dt$$

▪ **La valeur Pasteurisatrice :** Remplacer 121,1°C par 70°C

□ **Un barème** est le couple temps/température qui détermine l'efficacité du traitement thermique : Pour le lait, le barème de pasteurisation est souvent de 30min/63°C, ce qui est équivalent à 15s/72°C.

8

8

Conservation par la chaleur

Les traitements thermiques

□ **Exercice**

Un jus de raisin est Fash pasteurisé à 74°C pendant 15 secondes. *Lactobacillus fructidevorans* a, dans le vin, une durée de réduction décimale, à 60°C, de 1,7 minute et un z de 7°C. Quel est le taux de réduction décimale atteint par cette Fash pasteurisation ? Suite à un léger dysfonctionnement le traitement a en fait lieu à 72°C. Quel est alors le taux de réduction décimale atteint ?

$\frac{N}{N_0} = 10^{-\frac{t_T}{D_T}}$ et nous connaissons D à 60°C

$$t_{60^\circ C} = t_{74^\circ C} \cdot 10^{\frac{60 - 74}{z}} = t_{74^\circ C} \cdot 100 = 1500 \text{ s (donc 1500 s à 60°C est équivalent à 15s à 74°C)}$$

$\frac{N}{N_0} = 10^{-\frac{1500}{1,7 \cdot 60}} = 10^{-14,7} \approx 2 \cdot 10^{-15}$ Le taux de réduction décimale atteint par cette pasteurisation à 74°C est donc de $10^{-14,7}$.

$$t_{60^\circ C} = t_{72^\circ C} \cdot 10^{\frac{60 - 72}{z}} = t_{72^\circ C} \cdot 51,79 = 777 \text{ s}$$

$\frac{N}{N_0} = 10^{-\frac{777}{1,7 \cdot 60}} = 10^{-7,6}$

Dans ce cas le taux de réduction décimale atteint est donc de $10^{-7,6}$, soit un traitement dix millions de fois moins efficace.

9

9

Conservation par la chaleur	Les traitements thermiques
<p> Les traitements thermiques</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> La pasteurisation</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ L'intensité du traitement thermique ainsi que la durée de conservation du produit dépendent du pH de l'aliment. ▪ Sachant que les bactéries pathogènes et la majorité des bactéries d'altération ne se développent pas à des <i>pH</i> inférieurs à 4.5 : 	
<p>✓ La destruction des bactéries pathogènes (<i>Brucella abortus</i>, <i>Mycobacterium</i>...) et de certains enzymes</p>	<p>Aliments moins acides (pH > 4,5)</p> 
<p>Aliments acides (pH < 4,5)</p> 	<p>✓ Cibler les levures, les moisissures et enzymatiques car la plupart des bactéries sporulées (ex : <i>Bacillus subtilis</i> thermophile) ne peuvent pas croître dans des matrices acides.</p>
10	

10

Conservation par la chaleur	Les traitements thermiques
<p>Aliments acides (pH < 4,5)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Les levures peuvent être éliminées par un chauffage à 60-65 °C ; mais la présence de spores de moisissures nécessite un chauffage à 80°C/20min ✓ Une boisson fortement carbonatée, 65 °C est suffisante car les moisissures requièrent de l'O₂ pour la croissance.
<p>✓ Pour ces produits, la valeur pasteurisatrice est usuellement calculée en prenant comme cible de référence les ascospores de moisissures thermorésistantes, avec les paramètres : $T_{ref} = 93.3^{\circ}\text{C}$ et $z = 8,89^{\circ}\text{C}$.</p>	
 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les enzymes (catalase, la peroxydase, la polyphénoloxydase, la pectinesterase...) sont susceptibles de provoquer des changements indésirables dans les produits conservés. ▪ Certaines de ces enzymes, en particulier les peroxydases, ont une résistance à la chaleur supérieure à celle des organismes d'altération. Pour cela elles peuvent être utilisées pour évaluer le traitement thermique. 	11

11

Conservation par la chaleur

Les traitements thermiques

Types de pasteurisation

- **Pasteurisation discontinue** : c'est aussi appelé procédé à *basse température à temps long (LTLT)*. Ici, les aliments liquides tels que le lait sont maintenus dans un réservoir où ils sont chauffés à 62,8°C pendant 30min.



- **Pasteurisation continue** : c'est aussi appelé processus à haute température et à temps courts (**HTST**). Les aliments tels que le lait sont soumis à 71,7 ° C pendant environ 15s ou plus par écoulement à travers différents échangeurs de chaleur. Dans la pasteurisation continue, on utilise généralement des échangeurs de chaleur à plaques, des échangeurs thermiques tubulaires et des échangeurs de chaleur à surface raclée, en fonction de la *viscosité du matériau alimentaire fluide*. Le milieu chauffant est habituellement de la *vapeur ou de l'eau*.



12

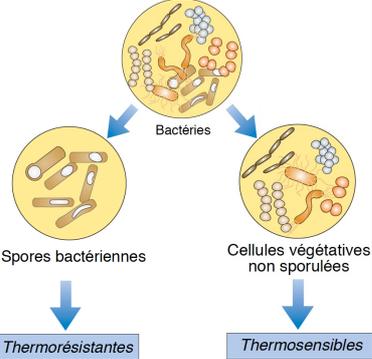
12

Conservation par la chaleur

Les traitements thermiques

La stérilisation

- ✓ Opération qui a pour but de **détruire tous** les micro-organismes, contenus dans un produit. Plus efficace que la pasteurisation qui ne détruit que les formes végétatives (recontamination possible par la germination des spores). Les températures appliquées resteront >100°C (autour de 120°C en général).
- ✓ Un produit est biologiquement stérile lorsqu'il ne contient plus aucune forme de micro-organisme **revivable** (perte irréversible de la capacité de se multiplier).
- ✓ Un procédé qui donne une longue durée de vie au produit alimentaire : pas de Date Limite de Consommation (DLC) mais une DLUO (Date Limite d'Utilisation optimale).



- ✓ Au delà de la DLUO, les propriétés organoleptiques ou nutritionnelles ne sont plus assurées mais le produit alimentaire reste consommable.




13

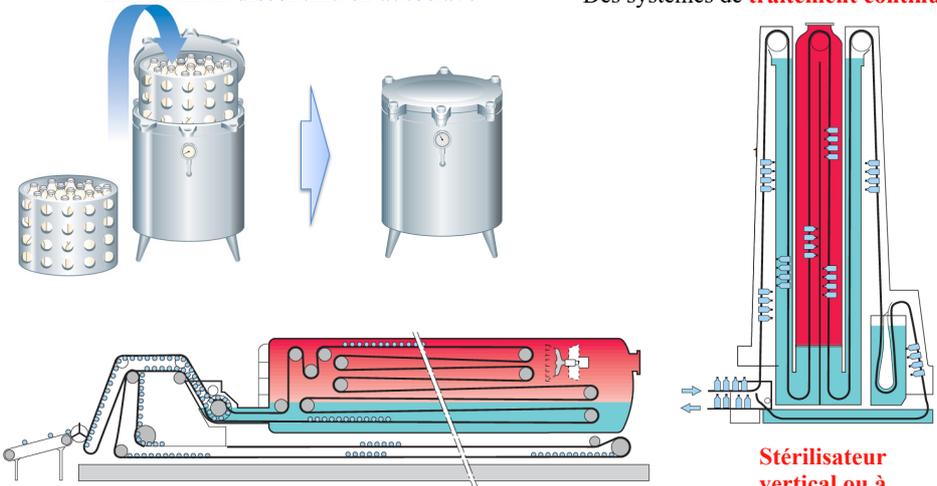
13

Conservation par la chaleur

Les traitements thermiques

☐ Types de stérilisation

- **Stérilisation en récipients** : Deux procédés sont utilisés pour la stérilisation emballage :
 - Le traitement **discontinu en autoclave**
 - Des systèmes de **traitement continu**



Stérilisateur horizontal

Stérilisateur vertical ou à colonnes

14

14

Conservation par la chaleur

Les traitements thermiques

☐ Types de stérilisation

- **Stérilisation en procédés aseptiques (en vrac)** :
 - ✓ Pour des aliments fluides ou aliments pompables (contenant des particules de dimensions < 8mm).
 - ✓ Réalisés dans une machine dont l'ambiance est alimentée en air stérile sous pression.
 - ✓ Le produit est **chauffé** dans des **échangeurs** à plaques ou tubulaires (ou des tubes de chauffage ohmique ou micro-ondes), puis il est **refroidi** grâce à des échangeurs classiques.
 - ✓ Ces deux opérations (chauffage puis refroidissement) sont séparés par un maintien à haute température appelé **chambrage**, par circulation dans une conduite isolée thermiquement.
 - ✓ Les produits qui ne craignent pas la sur-cuissons (compotes de fruits, confiture...), sont conditionnés par "**auto-stérilisation**" : ils sont conditionnés à chaud donc ils stériliseront leur emballage en se refroidissant.



Chambreur : il maintient le produit à la température de stérilisation pendant une durée spécifiée.

15

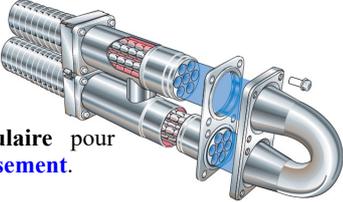
15

Conservation par la chaleur

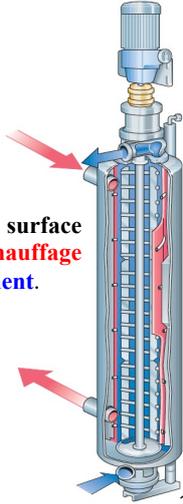
Les traitements thermiques

▪ **Les échangeurs**

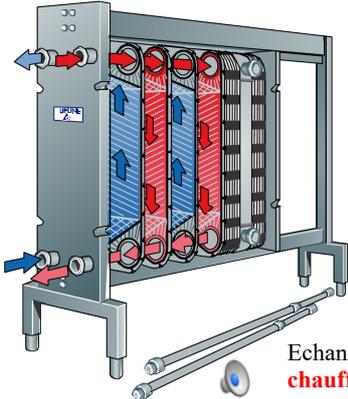
Echangeur à à tubulaire pour **chauffage** et **refroidissement**.



Echangeur à surface **raclée** pour **chauffage** et **refroidissement**.



Echangeur à plaques pour **chauffage** et **refroidissement**.



16

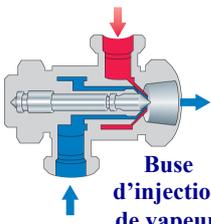
16

Conservation par la chaleur

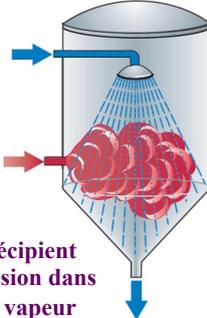
Les traitements thermiques

□ **Traitement UHT (Ultra Haute/Heat Température)**

- Le traitement UHT est un procédé de chauffage bref et intensif permettant la conservation des produits alimentaires liquides en conservant leur qualité nutritionnelle et gustative :
 - ✓ Les produits liquides à faible acidité (pH > à 4,5 - et à 6,5 pour le lait) sont traités à 135-150°C pendant quelques secondes.
 - ✓ Les produits à acidité élevée (pH inférieur à 4,5) comme les jus de fruit sont chauffés à 90-95°C pendant 15 à 30 secondes.
- Il existe deux principaux types de systèmes UHT :
 - ✓ **Indirects** : Dans des échangeurs à plaques ou tubulaires.
 - ✓ **Directs** : le produit est chauffé par *injection de vapeur* ou *infusion dans la vapeur* refroidi instantanément dans un récipient *sous vide* et enfin un refroidissement lors du conditionnement.



Buse d'injection de vapeur.



Récipient infusion dans la vapeur

17

Conservation par la chaleur

Les traitements thermiques

☑ L'appertisation

Cette technique découverte par Nicolas APPERT vers 1810. Elle détruit toutes les flores bactériennes (stérilisation 115 à +140°C), permettant ainsi une conservation à *température ambiante* et une *longue durée de vie*.



- Les produits appertisés ou **conserves** sont conditionnés en boîtes métalliques ou en bocaux de verre *étanches* pour les conserves classiques, en barquettes et briques pour les produits les plus récents.
- Ce procédé est conçu pour entraîner une réduction de la charge de l'organisme de référence, *Clostridium botulinum*, de **12 logs** (concept 12D).
- Exemples de barèmes de stérilisation (températures initiales du produit de 60°C minimum)

Boîtes métalliques	Aliments	Barèmes
1/32	Truffes	47 min à 118°C
1/2 haute	Asperges	10 min à 125°C
1/1	Carottes	16 min à 125°C
5/1	Haricots verts	19 min à 125°C



18

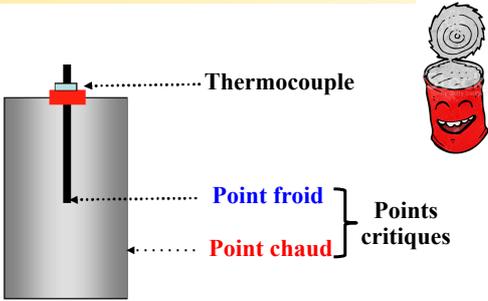
18

Conservation par la chaleur

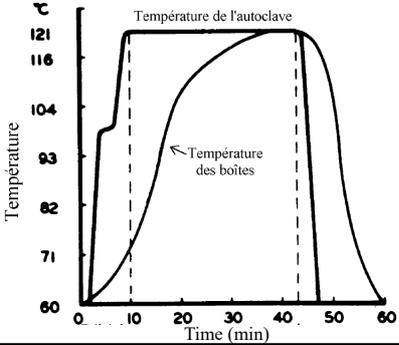
Les traitements thermiques

☑ Point chaud et point froid

- Le point froid** est défini comme l'endroit à l'intérieur du récipient de stérilisation où la température est la plus faible au cours du chauffage ; elle est la région la moins stérilisée. Ce point est étudié pour le contrôle de l'inactivation microbienne.



- Le point chaud** est défini comme l'endroit à la périphérie du récipient de stérilisation où la température est la plus élevée au cours du chauffage ; elle est la région la plus stérilisée. Ce point est étudié pour maîtriser l'effet du traitement thermique sur la qualité du produit.



19

19

Conservation par la chaleur	Les traitements thermiques
<p><input checked="" type="checkbox"/> Le blanchiment</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le blanchiment est un traitement thermique superficiel de quelques minutes à 70°C à 100°C destiné à détruire les enzymes susceptibles d'altérer les légumes ou les fruits avant leur traitement ultérieur (surgélation, séchage, appertisation, etc.). ▪ Rôles <ul style="list-style-type: none"> <i>Avant séchage ou lyophilisation :</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilisé comme un prétraitement pour la destruction des enzymes responsables d'altérations organoleptiques (flaveurs et/ou de couleur). ✓ Permet aussi la réduction de la charge microbienne <i>Avant appertisation :</i> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Éliminer les gaz occlus dans les tissus pour prévenir les phénomènes ultérieurs de bombages, oxydation ou corrosion des boîtes. ✓ Élimination de faux goûts : les choux-fleurs non blanchis conserve un goût âcre intolérable. ▪ Inconvénient Certains nutriments tels que les minéraux sont affectés par l'opération de blanchiment (à hauteur de 50%) sauf si le blanchiment est réalisé à la vapeur. 	
20	

20

Conservation par la chaleur	Les traitements thermiques
<p><input checked="" type="checkbox"/> La thermisation</p> <p>La thermisation est un processus thermique doux appliqué au lait qui peut nécessiter un stockage prolongé avant utilisation. Un traitement thermique avec des températures comprises entre 57 °C et 68 °C pendant 15 secondes.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">  </div> <div style="width: 65%;"> <p>Le but de ce traitement est de protéger contre les bactérie pathogènes qui peuvent se développer pendant le stockage du lait cru (les bactéries <i>psychrotrophes</i> à Gram négatif). Ces bactéries produisent des lipases et des protéinases résistant à la chaleur qui peuvent éventuellement entraîner une détérioration des produits laitiers.</p> </div> </div> <p>L'avantage de ce traitement qu'il n'affecte pas la qualité. Cependant, il peut entraîner une diminution de la charge microbienne banale du lait (bactéries lactiques, bactéries d'affinage, etc.). Cette flore est généralement exploitée pour la préparation du fromage au lait cru (cela nous oblige à faire appel aux bactéries cultivées en laboratoire pour les remplacer.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 65%;"></div> <div style="width: 30%;">  </div> </div>	
21	

21

Conservation par la chaleur	Les traitements thermiques
<p> Conséquences sur le produit</p>	
<p> Qualité initiale déterminante : Les traitements thermiques ne permettent pas de corriger la défektivité d'une matière première. Toute évolution de la matière première marque le produit fini.</p>	
<p>☐ Conséquences sur les vitamines:</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Les vitamines : un traitement plus au moins long réduit la teneurs en vitamines (thermosensibles) de l'aliment traité 	
<p> Vit C : Une bonne partie de cette vitamine est oxydée sous l'effet de la pasteurisation que subit le produit.</p>	<p> Vit B1 (thiamine) : elle est oxydée sous l'effet de la température et perdent ainsi leur valeur nutritionnelle ; perdu par l'augmentation de l'intensité du traitement.</p>
<p> Vit A : Les traitements thermiques peuvent détériorer jusqu'à 40% de sa teneur initiale.</p>	<p></p>
22	

22

Conservation par la chaleur	Les traitements thermiques
<p>☐ Conséquences sur la valeur nutritionnelle des protéines :</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ La qualité nutritionnelle peut être affecté (l'apport en protéines) par dénaturation de celles-ci. ▪ La digestibilité des protéines peut être affecté par : <ol style="list-style-type: none"> 1. Modifications de sa conformation (Isomérisation ou formation de ponts covalents), 2. Modifications des chaînes latérales des résidus d'acides aminés reconnus par les protéases comme sites d'hydrolyse. 	
<p>☐ Conséquences sur les lipides :</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Thermo Oxydation des vitamines présentes dans l'aliment sous l'effet de la chaleur ▪ Altération des acides linoléique et linolénique (acides gras indispensables) ▪ Formation de radicaux libres caractérisés par une structure chimique instable et avide aux électrons d'où leurs dangers sur l'organisme humain. 	
	
23	

23

Conservation par la chaleur

Les traitements thermiques

❑ **Conséquences sur la couleur:**

- Le brunissement non-enzymatique : Il regroupe principalement :
 - ✓ **La réaction de Maillard :** Elle décrit l'ensemble des réactions résultant de la condensation initiale d'un sucre réducteur et d'un groupement aminé. Elle est responsable de :
 1. la genèse de pigments bruns dans l'aliment
 2. la formation de composés aromatiques
 3. l'apparition de l'*acrylamide*



⚠ **L'acrylamide** est considéré comme cancérigène. La dégradation thermique de l'asparagine en présence de sucre durant la réaction de Maillard est la voie principale de formation de ce composé.





- ✓ **La caramélisation :** Elle se produit lors du chauffage d'un sucre au-delà de son point de fusion (environ 200°C pour le saccharose) en absence de composés azotés.

24

24

Conservation par la chaleur

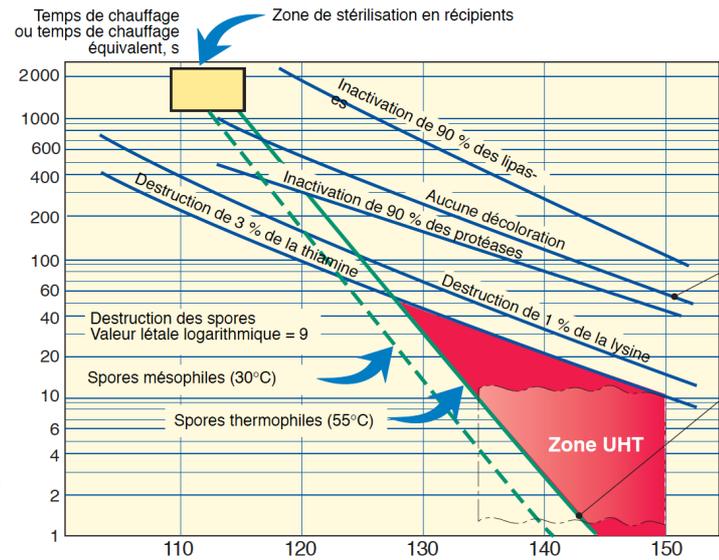
Les traitements thermiques

❑ **Optimisation :** Limites de destruction des spores et effets de la température sur le lait.

↩

Ou bien !
le logarithme décimal du temps du traitement

30 et 55°C sont les températures de croissance optimale des microorganismes sporulés correspondants.



25

25