

Note sur les barèmes de pasteurisation

1/ Rappel sur la pasteurisation

Mai 2022

Principe de la pasteurisation

Le principe général de la pasteurisation vise à réduire la population microbienne dans le produit fini à un niveau considéré comme acceptable.

Destruction des microorganismes par traitement thermique

Le traitement thermique doit être adapté en fonction de la nature du (des) microorganismes(s) à traiter, ainsi que de la population initiale observée avant traitement (N_0) et la population finale souhaitée à l'issue du traitement de pasteurisation (N_f). A partir de ces deux données, on définit un facteur de réduction de la population exprimé en log à partir de la formule suivante :

$$\text{Facteur de réduction (log)} = \log \left(\frac{N_f}{N_0} \right) \quad (1)$$

La destruction des micro-organismes suit une loi logarithmique. La résistance des microorganismes est caractérisée, dans un milieu donné, par deux critères z et D .

- D est homogène à un temps et est défini pour une température de référence notée T_0 généralement égale à 60°C dans le cidre. D correspond à la durée nécessaire pour diviser la population par 10. Comme la destruction des microorganismes suit une loi logarithmique la population est divisée par 100 (10×10) pour un temps de traitement égal à 2 fois le temps D , et divisée par 1000 ($10 \times 10 \times 10$) pour un temps de traitement égal à 3 fois le temps D . Plus généralement la population est divisée par $10^{(t/D)}$ pour un temps de traitement égal à t (t ayant la même unité que D par exemple des minutes)
- z est homogène à une température et représente la « sensibilité » de D à la température. La valeur z représente l'accroissement de température qui divise la valeur du temps D par 10. Ainsi si la température est augmentée d'une valeur égale à 2 fois z la valeur de D sera divisée par 100. Inversement si la température est diminuée de z la valeur de 10 est augmentée d'un facteur 10, c'est à dire qu'il faudra 10 fois plus de temps pour parvenir à la même destruction de micro-organismes. D'une façon plus générale la valeur de D pour une température T différente de la température de référence T_0 sera donnée par la formule $D(T) = D(T_0) \times 10^{((T-T_0)/z)}$

Pour un traitement d'un temps t réalisé à une température T , le facteur de réduction de la population (exprimé en log) est donné par la formule suivante :

$$\text{Facteur de réduction (log)} = \frac{t \times 10^{\left(\frac{T-T_0}{z}\right)}}{D(T_0)} \quad (2)$$

L'égalité des formules (1) et (2) donne :

$$\frac{t \times 10^{\left(\frac{T-T_0}{z}\right)}}{D(T_0)} = \log \left(\frac{N_f}{N_0} \right)$$

Si on fixe les valeurs de N_0 , N_f et T (ou t), il est possible de déterminer la valeur de t (ou T) permettant de définir les caractéristiques du traitement thermique à appliquer.

2/ Barèmes pour le cidre

Démarche pour fixer un ordre de grandeur de barèmes de pasteurisation à appliquer

Dans le cas du cidre, il n'y a pas de niveau fixé par des critères sanitaires avec la présence d'un ou plusieurs microorganismes pathogènes comme c'est le cas par exemple dans les produits carnés ou de conserverie.

Une étude menée par l'IFPC entre 2008 et 2010 a permis d'identifier les microorganismes les plus résistants et de déterminer leurs caractéristiques de destruction thermique. Le microorganisme le plus thermorésistant retrouvé dans cette étude est une levure *Saccharomyces cerevisia*. Ses caractéristiques de destruction thermique sont :

- Cidre doux (2,5° vol) $D_{60^{\circ}\text{C}} = 1,1$ minute $z = 4^{\circ}\text{C}$
- Cidre brut (5° vol) $D_{60^{\circ}\text{C}} \sim 0,4$ minute (25 sec) $z = 4^{\circ}\text{C}$

Le risque associé à ce microorganisme est celui d'une refermentation, donc d'un trouble et potentiellement celui d'une surpression en bouteille.

Les paramètres z et D vont permettre de fixer les caractéristiques du traitement thermique à appliquer pour réduire la population d'une valeur de N_0 (population viable avant la pasteurisation) à N_f (population résiduelle « vivante » après pasteurisation).

Pour estimer la valeur N_0 , il est possible de prendre une valeur par excès correspondant à l'ensemble de la population levurienne totale viable du produit mis en bouteille avant le traitement de pasteurisation. Cette population est fonction du produit, de l'existence d'un traitement de filtration et de la qualité de la filtration sur terre ou micro-filtration tangentielle. La fourchette de population observée varie de <10 à $10\ 000$ microorganismes par millilitre (soit de 10^1 à 10^4 microorganismes par millilitre). Bien sûr, des contrôles sont à réaliser pour obtenir une valeur représentative de l'atelier de production.

Pour la valeur N_f , il n'existe pas de normes, mais par défaut on peut le définir en retenant la fréquence potentielle maximale de l'apparition d'un trouble qu'on admet. Il s'agit bien d'une fréquence potentielle, car une levure présente dans la bouteille suite au traitement thermique ne pourra pas forcément se multiplier dans le cidre et donner une population importante occasionnant un trouble en bouteille (ou une refermentation en bouteille).

L'exemple hypothétique suivant permet d'appréhender comment fixer la valeur de N_f :

Une cidrerie produisant 1 million de bouteilles de 1 litre souhaite ne pas avoir plus d'une bouteille présentant un trouble microbiologique (ou une refermentation en bouteille). Cela peut se traduire par la présence au maximum après traitement de pasteurisation d'une levure « vivante » pour 1 millions de litres (soit 1 microorganisme pour 1 milliards de millilitres ou 10^9 microorganismes par millilitre).

Si avant le traitement de pasteurisation, la teneur maximale en levures est de 10 000 levures par millilitre (soit un N_0 de 10^4 microorganismes par millilitre) alors le traitement thermique doit être dimensionner pour réduire la population de levures de 10^4 microorganismes par millilitre à 10^9 microorganismes par millilitre. Cela correspond à une diminution de la population d'un facteur 10^{34} (soit dix mille milliard ou $\log(N_f/N_0) = 13$).

A partir de cette donnée, des valeurs de z et D et de la formule (1) il est possible de calculer le traitement thermique à appliquer.

Barème de traitement thermique proposé

Les tableaux page suivante donnent pour, un cidre doux et un cidre brut, et pour une température de traitement à cœur du produit de 60°C le temps de maintien minimal, exprimé en minutes, en fonction de la population de *Saccharomyces cerevisiae* relevée avant pasteurisation (de 1 à 100 000 ufc/mL) et de la probabilité choisie par la cidrerie de présence d'un microorganisme après pasteurisation. La probabilité étant par exemple exprimée sur l'ensemble de la production annuelle de l'atelier.

Les barèmes pour le cidre doux et le cidre brut sont différents. La thermorésistance de *Saccharomyces cerevisiae* étant plus faible dans le cidre brut à cause de la teneur plus importante en alcool.

Cidre doux :

| | | Probabilité d'avoir un microorganisme après pasteurisation | | | |
|--|---------|--|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | 1 sur 10 000 litres | 1 sur 100 000 litres | 1 sur 1 000 000 litres | 1 sur 10 000 000 litres |
| Population avant pasteurisation (ufc/mL) | 1 | 7,7 | 8,8 | 9,9 | 11,0 |
| | 10 | 8,8 | 9,9 | 11,0 | 12,1 |
| | 100 | 9,9 | 11,0 | 12,1 | 13,2 |
| | 1 000 | 11,0 | 12,1 | 13,2 | 14,3 |
| | 10 000 | 12,1 | 13,2 | 14,3 | 15,4 |
| | 100 000 | 13,2 | 14,3 | 15,4 | 16,5 |

Cidre brut

| Temps de maintien minimal à 60°C à cœur de produit (minutes) | | Probabilité d'avoir un microorganisme après pasteurisation | | | |
|---|---------|--|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | 1 sur 10 000 litres | 1 sur 100 000 litres | 1 sur 1 000 000 litres | 1 sur 10 000 000 litres |
| Population avant pasteurisation (ufc/mL) | 1 | 2,8 | 3,2 | 3,6 | 4,0 |
| | 10 | 3,2 | 3,6 | 4,0 | 4,4 |
| | 100 | 3,6 | 4,0 | 4,4 | 4,8 |
| | 1 000 | 4,0 | 4,4 | 4,8 | 5,2 |
| | 10 000 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 5,6 |
| | 100 000 | 4,8 | 5,2 | 5,6 | 6,0 |

Exemple de lecture de ces tableaux

Pour l'exemple précédent d'une cidrerie produisant 1 million de litres (cas le plus défavorable d'un cidre doux) :

- Avec une population maximum relevée de 10 000 ufc/mL de *Saccharomyces cerevisiae* avant traitement de pasteurisation dans ce cidre au cours d'une année de production
- Et ne souhaitant pas observer plus d'un microorganisme après pasteurisation sur l'ensemble de sa production

La durée minimum de maintien de la température à cœur du produit de 60°C est de 14,3 minutes.

| | | Probabilité d'avoir un microorganisme après pasteurisation | | | |
|--|---------|--|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | 1 sur 10 000 litres | 1 sur 100 000 litres | 1 sur 1 000 000 litres | 1 sur 10 000 000 litres |
| Population avant pasteurisation (ufc/mL) | 1 | 7,7 | 8,8 | 9,9 | 11,0 |
| | 10 | 8,8 | 9,9 | 11,0 | 12,1 |
| | 100 | 9,9 | 11,0 | 12,1 | 13,2 |
| | 1 000 | 11,0 | 12,1 | 13,2 | 14,3 |
| | 10 000 | 12,1 | 13,2 | 14,3 | 15,4 |
| | 100 000 | 13,2 | 14,3 | 15,4 | 16,5 |

Dans le cas où la température de traitement est différente de 60°C il est nécessaire d'appliquer un correctif pour conserver une valeur de pasteurisation équivalente. Ce correctif est calculé à partir de la valeur de z calculé pour les microorganismes dans le cidre.

Les tableaux suivants donnent pour les températures allant de 50 à 70°C le correctif à apporter.

| | | DIVISER le temps de traitement par | | | MULTIPLIER le temps de traitement par |
|---|----|------------------------------------|---|-----|---------------------------------------|
| Si la température objectif à cœur du produit est de | 60 | 1,0 | Si la température objectif à cœur du produit est de | 50 | 316,2 |
| | 61 | 1,8 | | 51 | 177,8 |
| | 62 | 3,2 | | 52 | 100,0 |
| | 63 | 5,6 | | 53 | 56,2 |
| | 64 | 10,0 | | 54 | 31,6 |
| | 65 | 17,8 | | 55 | 17,8 |
| | 66 | 31,6 | | 56 | 10,0 |
| | 67 | 56,2 | | 57 | 5,6 |
| | 68 | 100,0 | | 58 | 3,2 |
| | 69 | 177,8 | | 59 | 1,8 |
| | 70 | 316,2 | 60 | 1,0 | |

D'une façon générale, il est conseillé de prendre une marge de sécurité importante pour établir les barèmes de pasteurisation par calcul.

3/ Barèmes pour le jus de pomme

Potentiels microorganismes de référence pour les jus de pomme

D'une façon générale, différents microorganismes peuvent être pris en référence pour les jus de pomme suivant le risque choisi. Les risques sanitaires et physique doivent être maîtrisés. La maîtrise des risques organoleptiques est facultative.

L'IFPC n'a pas mené d'étude de pasteurisation sur le jus de pomme comme dans le cas du cidre. Les microorganismes et leurs caractéristiques de destruction thermiques sont issus de publications scientifiques collectées par le CTPCA.

Le tableau suivant récapitule, pour les différents risques, les potentiels microorganismes de référence ainsi que leurs caractéristiques de thermorésistance dans des conditions proches du jus de pomme.

| Risque | Détail risque | Microorganisme | | D | z (°C) |
|-------------------------------------|---|--|--------------------------|--|---------|
| Sanitaire | Toxi-infection alimentaire | <i>Escherichia coli</i> | (Bactérie) | 1,5 min à 62°C | 6°C |
| | | <i>Salmonella</i> | (Bactérie) | 0,49 min à 62°C | 6°C |
| Physique | Explosion de bouteille suite à une refermentation | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | (Levure) | 22 min à 60°C | 5 à 7°C |
| Organo-leptique | Odeur phénolique, médicinale ou goudron | <i>Alicyclobacillus</i> | (Bactérie) | 5,3 min à 93,3°C | 10°C |
| | Produit filamenteux, défaut odeur | <i>Leuconostoc spp</i> <i>Lactobacillus ssp</i> | (Bactérie) (Bactérie) | 0,04 min à 65,5°C 0,28 min à 65,5°C | |
| Organo-leptique <u>et</u> sanitaire | Produit filamenteux, défaut odeur, mycotoxine | <i>Byssochlamys fulva</i> | (Moisissure) | 1,5 min à 93,3°C | 8.9°C |

Impact des traitements thermiques généralement réalisés sur jus de pomme

Deux barèmes de traitement thermique sont pris comme référence :

- Pasteurisation « tunnel » : 67°C pendant 25 minutes
- Flash pasteurisation : 82°C pendant 10 secondes

Hypothèses de travail :

- Contamination initiale avant pasteurisation de 10 000 microorganismes par millilitre. Cette contamination est très largement excessive pour l'ensemble des bactéries et moisissures. Dans le cas de la levure *Saccharomyces cerevisiae*, cette valeur est possiblement atteignable dans le cas d'un jus n'ayant subi ni centrifugation ni filtration. Si le jus mis en pasteurisation a été filtré ou centrifugé, la population sera bien plus faible.
- Si on a le souhait d'avoir moins de 1 microorganisme résiduel dans 1000 litres de produit fini, soit l'équivalent d'une bouteille de 1L présentant un microorganisme dans son volume et 999 autres bouteilles sans microorganismes.

Sous cette hypothèse le traitement thermique doit être dimensionné pour réduire d'un facteur 10 milliard (10^{10}). En reprenant les caractéristiques de destruction thermique des différents microorganismes du tableau précédent, il est possible de calculer l'impact des deux traitements thermiques de référence.

| Risque | Détail risque | Microorganisme | Réduction par Pasto « tunnel » | Réduction par Flash pasteurisation |
|------------------------------|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Sanitaire | Toxi-infection alimentaire | <i>Escherichia coli</i> | 10^{113} (largement suffisant) | 10^{239} (largement suffisant) |
| | | <i>Salmonella</i> | 10^{347} (largement suffisant) | 10^{732} (largement suffisant) |
| Physique | Explosion de bouteille suite à une refermentation | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | $10^{11,4}$ (suffisant) | $10^{10,5}$ (suffisant) |
| Organo-leptique | Odeur phénolique, médicinale ou goudron | <i>Alicyclobacillus</i> | 1 pas de réduction | 1 pas de réduction |
| | Produit filamenteux, défaut odeur | <i>Leuconostoc spp</i> <i>Lactobacillus spp</i> | 10^{192} (largement suffisant) | 10^{405} (largement suffisant) |
| Organo-leptique et sanitaire | Produit filamenteux, défaut odeur, mycotoxine | <i>Byssochlamys fulva</i> | 1 pas de réduction | 1 pas de réduction |

Les deux traitements thermiques de référence sont très largement efficaces pour maîtriser :

- Le risque sanitaire associé à *Escherichia coli* et *Salmonella*
- Le risque organoleptique associé à *Leuconostoc spp*

Les deux traitements thermiques de référence sont justes dimensionnés pour maîtriser le risque physique associé à *Saccharomyces cerevisiae*.

En revanche les deux traitements thermiques de référence sont inefficaces pour maîtriser :

- Le risque organoleptique et sanitaire physique associé à *Byssochlamys fulva*
- Le risque organoleptique associé à *Alicyclobacillus*