

CHAPITRE

1

TD3 : DESTRUCTION DE MICRO-ORGANISMES PAR LA TEMPÉRATURE

Exercice 1 : Conditions de traitement d'un échantillon contaminé.

A. Énoncé

Soit un échantillon contaminé par 10^5 micro-organismes.

Question 1

Déterminer le temps de chauffage et la population de survivants après divers traitements à 72°C .
Donnée : $D_{72^\circ\text{C}} = 20$ s.

Temps de chauffage 72°C	Nombre de réduction décimale n	Population résiduelle survivante
0	0	10^5
20	1	
40	2	
60	3	
80	4	
100	5	

Question 2

Déterminer la durée de réduction décimale (DT) pour chaque température T , sachant que $D_{60} = 600$ secondes et que $Z=5$ degré celcius.

Question 3

D_{vit} , 110°C

Un lait est stérilisé à 135°C pendant 4 secondes. 99,6 % des vitamines B1 sont alors préservées.

Quelle sera la proportion de vitamines préservées si on stérilise à 110°C en maintenant la même valeur stérilisatrice ?

On donne :

$z = 10^\circ\text{C}$ pour la stérilisation

$z = 25^\circ\text{C}$ pour la destruction de la vitamine

B. Correction

Question 1

Question 2

A chaque fois que la température monte de 5 degré celcius, on divise par 10 D_T .

Temps de chauffage 72	Nombre de réduction décimale n	Population résiduelle survivante
0	0	10^5
20	1	10^4
40	2	10^3
60	3	10^2
80	4	10^1
100	5	10^0

Température	D_T en secondes
60	600
65	60
70	6
75	0,6

A partir d'une valeur de D_{Tref} à une température de référence ainsi que du z , il est possible de déterminer le D_T quelque soit la température :

$$D_T = D_{Tref} \times 10^{\frac{T_{ref}-T}{z}}$$

Question 3

Expression de la quantité de vitamine fonctionnelle en fonction de D_{vit} à une température donnée ;

$$\log(N_{vit}) = -k * t + \log(N_0)$$

$$\text{Or } D_{vit} = \frac{\log(10)}{k}$$

$$\text{donc } \log(N_{vit}) = -\frac{t \times \log(10)}{D_{vit}} + \log(N_0)$$

$$\text{donc } \log\left(\frac{N_{vit}}{N_0}\right) = -\frac{t \times \log(10)}{D_{vit}}$$

$$\text{donc } D_{vit} = -\frac{t \times \log(10)}{\log\left(\frac{N_{vit}}{N_0}\right)}$$

$$\text{donc } D_{vit} = -\frac{t}{\log\left(\frac{N_{vit}}{N_0}\right)}$$

$$\text{et } t = -\frac{D_{vit} \times \log\left(\frac{N_{vit}}{N_0}\right)}{\log(10)}$$

$$t = -D_{vit} \times \log\left(\frac{N_{vit}}{N_0}\right)$$

Détermination de $D_{vit,110}$

Nous savons qu'un traitement de 4 secondes à 135°C préserve 99,6 % des vitamines, soit : $D_{vit} = -\frac{4}{\log(0,996)} = 2300$

Détermination de la durée d'un traitement à 110°C ayant la même valeur stérilisatrice.

La durée à 110°C doit donc avoir un effet équivalent à celle à 135°C :

$$t_{110} = t_{135} * 10^{-\frac{110-135}{10}} = 1265 \text{ secondes}$$

La proportion de vitamines préservées lors du traitement à 110°C est donc :

$$\left(\frac{N_{vit}}{N_{vit_0}}\right)_{110deg} = 10^{-\frac{1265}{52913}} = 0,881$$

Avec ce traitement à une température plus basse, ayant la même efficacité stérilisatrice, seul 88,1 % des vitamines sont préservées.

Exercice 2 : Traitement thermique du lait

Les micro-organismes ou les enzymes présents dans le lait peuvent modifier ses propriétés organoleptiques (goût, texture). Ses modifications peuvent rendre le lait impropre à la consommation. La présence de pathogènes en trop grande quantité peuvent le rendre dangereux à la consommation. Il est donc important de prévoir un traitement permettant d'assurer la stabilité du produit et sa sécurité.

Un traitement thermique du lait adapté peut permettre la destruction des micro-organismes non sporulés ou la stérilisation complète selon la température et le temps de traitement. Ces traitements peuvent baisser les qualités nutritionnelles du lait. En microbiologie alimentaire, il faut donc trouver un équilibre entre stabilité/sécurité et qualités nutritionnelles.

Différentes étapes d'analyses permettent de mettre en place le protocole adapté au lait considéré. Ces étapes sont suivies dans cette exercice pour vous aider à choisir le traitement.

A. Analyse microbiologique du produit

L'analyse microbiologique d'un lait arrivant dans une laiterie montre qu'il contient 10^5 germes par g, dont des germes de bactéries lactiques, *Escherichia coli* (Enterrobactérie pouvant être responsable de gastro-entérites), *Staphylococcus aureus* (pathogène responsables d'intoxications alimentaire) et *Bacillus sp.* (groupes d'espèces pathogènes qui peuvent être à l'origine d'intoxications et qui sporulent).

Question 1

Sur quel micro-organisme allez-vous baser votre traitement thermique (expliquez) ?

Les bactéries lactiques peuvent modifier les propriétés organoleptiques du produits mais ne sont pas dangereuses. Au contraire, les trois espèces pathogènes présentent un danger pour le consommateur d'infection ou d'intoxication. Néanmoins les espèces du genre *Bacillus* sporulent et sont donc plus difficile à détruire. C'est donc sur les espèces du genre *Bacillus* que doit se baser le traitement.

B. Étude de la résistance thermique de la flore la plus thermorésistante

Le lait cru contient 10 spores/g de *Bacillus sp.* Une étude préalable en laboratoire a permis de quantifier la thermo-résistance de ces spores :

- Il faut 176 s pour détruire 99 % des spores à 115°C (diminution facteur 100)
- Un chauffage de 2,5 s à 130°C permet de détruire 90 % des spores (diminution d'un facteur 10)

— Un chauffage à 121°C pendant 66 s permet de détruire 99,9 % des spores. (diminution d'un facteur 1000)

température	Résultats expériences				Objectif : 1 spore/100 tonnes	
	temps de traitement	Réduction obtenue	n_{exp}	D_T	n_{final}	t_T
115 °C	176 s	99 %	2			
130 °C	2,5 s	90 %	1			
121 °C	166s	99,9	3			

Question 1

A partir de la première loi de la destruction thermique ($N = N_0 \times \exp(-kt)$) déterminez D_T en fonction de k .

A partir de la première loi de la destruction thermique ($N = N_0 \times \exp(-kt)$) montrez que $D_T = \frac{\ln(10)}{k}$ et donc que $N = N_0 \times \exp(-\frac{t}{D_T})$

$$N = N_0 \times \exp(-kt) \text{ donc}$$

$$\ln(N_1) = -k * t_1 + \ln(N_0)$$

$$\ln(N_1) - \ln(N_2) = -k * t_1 + \ln(N_0) + k * t_2 - \ln(N_0)$$

$$\ln(CN_1) - \ln(CN_2) = -k * (t_1 - t_2)$$

$$\text{or par définition si } t_1 - t_2 = D_T \text{ alors } N_2 = 0,1 \times N_1 \ln(N_1) - \ln(0,1 \times N_2) = \ln(10) = k \times D_T$$

$$\text{donc } D_T = \ln(10)/k$$

Question 2

A partir de la première loi de destruction thermique et des résultats obtenus en laboratoire, déterminer les valeurs du temps de réduction décimale (D_T) à 115°C, 121°C et 130°C. Expliquez vos calculs et compléter le tableau.

Traitement à 115 ° : 176 s pour 99 % de destruction

$$N = N_0 \times \exp(-\frac{176 \times \ln(10)}{D_{115}}) \text{ or } N = 0,01 \times N_0$$

$$\text{donc } 0,01N_0 = N_0 \times \exp(-\frac{176 \times \ln(10)}{D_{115}})$$

$$\text{donc } 0,01 = \exp(-\frac{176 * \ln(10)}{D_{115}})$$

$$\text{donc } \ln(0,01) = -\frac{176 * \ln(10)}{D_{115}}$$

$$\text{donc } D_{115} = \frac{-176 * \ln(10)}{\ln(0,01)} = \frac{-176}{\log(0,01)}$$

$$\text{donc } D_{115} = 88s$$

Traitement à 130 ° : 2,5s pour 90 % de destruction

$$\text{donc } D_{130} = 2,5s$$

Traitement à 121° : 166 s pour 99,9 % de destruction

$$\text{donc } D_{121} = \frac{-166}{\log(0,001)} = \frac{-166}{-3}$$

$$\text{donc } D_{121} = 55,3s$$

Question 3

Donnez la loi de destruction thermique pour chaque température (remplacer k par sa valeur dans le modèle).

$$\text{Traitement à } 115^\circ : N = N_0 \times \exp(-0,026t)$$

$$\text{Traitement à } 130^\circ : N = N_0 \times \exp(-0,92t)$$

$$\text{Traitement à } 121^\circ : N = N_0 \times \exp(-0,042t)$$

Question 4

Déterminez la valeur de z_T

C. Définition d'un niveau de décontamination

Le lait contient toujours 10 spores/gramme. Une contamination finale d'une spore pour 100 tonnes de lait (1 tonne = 1000 kg) doit être atteinte pour assurer la sécurité microbiologique de ce lait.

Question 1

Calculer le nombre de réduction décimale à appliquer pour atteindre la valeur visée. Le nombre de réduction décimale (n_{final}) est le nombre de fois où il faut diviser par 10 la quantité de spores. Expliquez vos calculs et compléter le tableau.

$$100 \text{ tonnes de lait} = 100 \times 10^6 \text{ grammes de lait soit } 10^8$$

Il faut donc diminuer par 10^9 le nombres de spores pour passer de 10 spores par gramme à 1 spores pour 10^8 . Le nombre de réductions décimales est donc 9.

Question 2

Calculer les durées de stérilisations t_T aux 3 températures à partir des valeurs trouvées du temps de réduction décimal. Expliquez vos calculs et compléter le tableau.

Traitement à 115° :

$$t_{115} = n \times D_{115} \text{ donc } t_{115} = 9 \times 88 = 792s = 13,2min$$

Traitement à 130° :

$$t_{130} = n \times D_{130} \text{ donc } t_{130} = 9 \times 2,5 = 22,5s$$

Traitement à 121° :

$$t_{121} = n \times D_{121} \text{ donc } t_{121} = 9 \times 55,3 = 498s = 8,3min$$

Question 3

Déterminez la valeur de z_T pour le nombre de réduction décimale visé ici (n_{final})

Données : La même destruction (même nombre de n) est obtenue à deux températures différentes alors d'après le modèle de Biglow :

$\log\left(\frac{t_{T2}}{t_{T1}}\right) = \frac{T_1 - T_2}{Z}$ avec t_{T1} le temps de destruction à la température T_1 et t_{T2} le temps de destruction à la température T_2 pour n_{final} réductions décimales.

$$\log\left(\frac{t_{T2}}{t_{T1}}\right) = \frac{T_1 - T_2}{Z}$$

$$z = \frac{T_1 - T_2}{\log\left(\frac{t_{T2}}{t_{T1}}\right)}$$

$$z = \frac{130 - 115}{\log\left(\frac{792}{22,5}\right)} = \frac{15}{1,5} = 9,7s$$

D. Choix d'un barème (temps/température) respectant les différents critères fixés

Le fabricant désire par ailleurs préserver 97 % de la thiamine (vitamine B1), prise comme référence (perte de 3 % maximum). L'effet du chauffage sur la stabilité de cette vitamine a été estimé en laboratoire :

- Un chauffage de 152 secondes à 130°C détruit 5 % de la thiamine
- Un chauffage de 11 min et 15 s à 115°C provoque une destruction de 5 % de la thiamine

Question 1

Déterminer les durées de chauffage qui entraînent une destruction de 3 % de la thiamine, à 115°C et à 130°C.

Traitement à 115° :

$$\ln\left(\frac{N_v}{N_v0}\right) = -\ln(10) \times t / Dv_{115} \text{ donc } \log\left(\frac{N_v}{N_v0}\right) = -t / Dv_{115} \text{ donc } Dv_{115} = \frac{t}{\log\left(\frac{N_v}{N_v0}\right)}$$

or expérimentalement 11 min et 15 s (675 s) à 115°C provoque une destruction de 5 % de la thiamine (soit $N = 0,95 \times N_0$)

$$\text{donc } Dv_{115} = \frac{-675}{\log(0,95)} = \frac{-675}{-0,022} = 30301s$$

donc une destruction de 3 % de la thiamine correspond à $N = 0,97 \times N_0$ et $t = -\ln\left(\frac{N_v}{N_v0}\right) \times Dv_{115}$

$$\text{donc } t = -\log(0,97) \times 30301 = 0,013 \times 30301 = 398s$$

Traitement à 130° :

$$Dv_{135} = \frac{152}{\log(0,95)} = \frac{-152}{-0,022} = 6909s$$

$$t = -\log\left(\frac{N_v}{N_v0}\right) \times Dv_{135}$$

$$t = -\log(0,97) \times 6909 = 89,8s$$

Question 2

Quel est le domaine de stérilisation qui permet de répondre à l'objectif fixé en terme de destruction des spores et de préservation de la qualité nutritionnelle du produit ?

Pour réduire de moins de 3 % la thiamine active, il faut traiter moins de 298 seconde à 115 ° C et moins de 89,8 s à 135 °.

Pour obtenir la réduction de spores, exigées il faut un traitement de plus de 792 s à 115 ° C et de plus de 22,5 s à 130 ° C

Nous pourrions donc envisager un traitement à 130 ° durant entre 22,5 s et 89,8s.

Références :

Sophie Landaud, Séverine Layec, Murielle Naïtali, Stéphanie Passot, Claire Saulou . Exercice proposé à AgroParistech *Comment assurer la sécurité d'un aliment tout en préservant sa valeur nutritionnelle et organoleptique ?* .