

★ ER ★ Traitement UHT du lait

Les traitements des aliments peuvent permettre leur conservation en détruisant la flore microbienne et fongique susceptible de se développer aux dépens de l'aliment. On cherche à définir ici le traitement thermique optimal à appliquer au lait. Le lait contient des spores de microorganisme qu'il est souhaitable d'éliminer. La réaction d'élimination s'écrit :

$$\text{Spores} = \text{spores tués} \quad \begin{cases} \text{Réaction d'ordre 1} \\ \text{Constante de vitesse notée } k_s \\ \text{Énergie d'activation : } \mathcal{E}_{a_s} = 250,00 \text{ kJ.mol}^{-1} \end{cases}$$

1) Pour obtenir une destruction convenable, le lait doit être chauffé au moins à $\theta_1 = 100,0^\circ\text{C}$ pendant 2 heures, ce qui permet de détruire 99,9% des spores : c'est la stérilisation. Évaluer $k_s(T_1)$, c'est-à-dire k_s à $100,0^\circ\text{C}$.

Rappel : conversion des températures en degrés Celsius (θ) en température en degrés Kelvin (T) : $T = \theta + 273,15$

2) Le lait contient des nutriments, comme des vitamines, qui sont aussi dégradés par le traitement thermique selon la réaction :

$$\text{Vitamines} = \text{produits} \quad \begin{cases} \text{Réaction d'ordre 1} \\ \text{Constante de vitesse notée } k_{vit} \\ \text{Énergie d'activation : } \mathcal{E}_{a_v} = 50,00 \text{ kJ.mol}^{-1} \end{cases}$$

Sachant que la constante de vitesse k_{vit} vaut $1,00 \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ à $100,0^\circ\text{C}$, évaluer la fraction des vitamines restantes après 2 heures de traitement à cette température.

3) La traitement UHT consiste à stériliser le lait à plus haute température ($\theta_2 = 140,0^\circ\text{C}$). Quelle fraction de vitamines est détruite lorsque 99,9% des spores sont détruites à cette température ? Conclusion.

Rappel : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Solution

1) Vitesse volumique de cette première réaction, en notant $[S]$ la concentration de spores :

$$v_s = k_s \cdot [S] = -\frac{d[S]}{dt} \quad \text{avec : } k_s = A \cdot \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_{a_s}}{RT_1}\right)$$

Soit :

$$-\frac{d[S]}{[S]} = +k_s \cdot dt \Rightarrow \int_{[S]_0}^{[S](t)} -\frac{d[S]}{[S]} = \int_0^t +k_s \cdot dt \Rightarrow \ln\left(\frac{[S](t)}{[S]_0}\right) = -k_s \cdot t \quad (\star)$$

On en déduit : $k_s(T_1) = \frac{1}{t} \cdot \ln\left(\frac{[S]_0}{[S](t)}\right) = 9,594 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

2) Pour cette seconde réaction, on a, en notant $[V]$ la concentration des vitamines :

$$v_{vit} = k_{vit} \cdot [V] = -\frac{d[V]}{dt} \quad \text{avec : } k_{vit} = A' \cdot \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_{a_v}}{RT_1}\right)$$

Soit :

$$-\frac{d[V]}{[V]} = +k_{vit} \cdot dt \Rightarrow \int_{[V]_0}^{[V](t)} -\frac{d[V]}{[V]} = \int_0^t +k_{vit} \cdot dt \Rightarrow \ln\left(\frac{[V](t)}{[V]_0}\right) = -k_{vit} \cdot t$$

On en déduit : $\frac{[V](t)}{[V]_0} = \exp(-k_{vit}.t) = \exp(-72) = 5,4.10^{-30}\%$ (il ne reste aucune vitamine !)

3) On ne travaille plus à $T_1 = 373,15\text{ K}$ mais à $T_2 = 413,15\text{ K}$.

Comme :

$$\begin{cases} k_s(T_1) = A \cdot \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_{as}}{RT_1}\right) \Rightarrow A = k_s(T_1) \cdot \exp\left(\frac{\mathcal{E}_{as}}{RT_1}\right) \\ k_s(T_2) = A \cdot \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_{as}}{RT_2}\right) \Rightarrow k_s(T_2) = k_s(T_1) \cdot \exp\left(\frac{\mathcal{E}_{as}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right) \end{cases}$$

Lorsque 99,9% des spores sont détruites, on a $[S](t) = (100\% - 99,9\%).[S]_0 = (0,1\%).[S]_0$

La relation (*) permet de calculer la durée de la stérilisation :

$$(*) \quad \ln\left(\frac{[S](t)}{[S]_0}\right) = -k_s.t \Rightarrow t = -\frac{\ln(0,1\%)}{k_s(T_2)} = 2,93\text{ s}$$

Par ailleurs, on peut calculer la constante de vitesse pour la seconde réaction à la température T_2 :

$$k_{vit}(T_2) = k_{vit}(T_1) \cdot \exp\left(\frac{\mathcal{E}_{av}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right) = 47,60.10^{-3}\text{ s}^{-1}$$

Alors, la relation établie à la question 2) donne, à la température T_2 :

$$\frac{[V](t)}{[V]_0} = \exp(-k_{vit}.t) \simeq 87,0\%$$

On en déduit que **seulement 13% des vitamines ont été détruites** lors de la stérilisation.