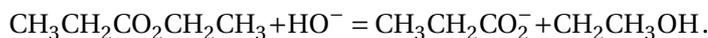


TD chimie procédés industriels

I - Aspects cinétiques

1 — Temps de passage

La réaction de saponification du propanoate d'éthyle, noté A, est mise en œuvre dans un RPAC :



La loi de vitesse s'écrit

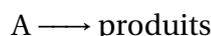
$$v = k[\text{A}][\text{B}] \quad \text{avec} \quad k = 5 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Le réacteur est alimenté avec un débit volumique $Q = 340 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ avec une concentration entrante en soude $[\text{B}]_0 = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et une concentration entrante en propanoate d'éthyle $[\text{A}]_0 = 0,80 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Calculer le temps de passage τ pour avoir un taux de conversion de A de 80 %.

2 — Associations de réacteurs en série

On considère la réaction



d'ordre un.

Cette réaction a lieu dans un réacteur isotherme constitué de N étages identiques, de volume réactionnel V et parfaitement agité. Le réacteur est alimenté en permanence à débit volumique constant Q par une solution de A de concentration $[\text{A}]_0$.

En régime permanent, on constate que les concentrations $[\text{A}]_1, [\text{A}]_2, \dots, [\text{A}]_N$ en A dans les étages 1, 2, ..., N , sont constantes dans le temps.

- À partir d'un bilan de matière, trouver la relation entre $[\text{A}]_i$ et $[\text{A}]_{i+1}$.
- On pose $\tau = V/Q$. Quelle est la signification physique de ce paramètre ?
- Calculer le nombre d'étages à utiliser pour que le taux de conversion de A soit supérieur ou égale à 0,8 à la sortie du réacteur.
- Quel serait le volume V' d'un réacteur à un seul étage réalisant le même taux de conversion ?

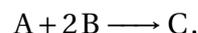
Données

$$V = 50 \text{ L}, Q = 10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Pour $[\text{A}] = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, le temps de demi-réaction est $t_{1/2} = 13 \text{ min}$.

3 — Choix d'un réacteur

On veut réaliser dans un réacteur continu la réaction suivante :



Cette réaction se fait en phase liquide, et sa cinétique est d'ordre 2 par rapport à A, selon la loi

$$r = k(T)[\text{A}]^2$$

où la constante de réaction est donnée par

$$k(T) = 2,225 \exp\left(-\frac{4700}{RT}\right)$$

avec T en kelvin, $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ et k en $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Le courant d'alimentation est constitué des réactifs A et B, et d'un constituant interne (ne participant pas à la réaction) I, dont on donne les flux molaires en entrée :

$$F_A^0 = 8000 \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}; \quad F_B^0 = 2F_A^0; \quad F_I^0 = F_A^0.$$

Ce courant entre dans le réacteur à 30 °C. On désire atteindre, à la sortie du réacteur, un taux de conversion en A de 0,8. On envisage un réacteur parfaitement agité isotherme (RAC) ou un réacteur piston idéal isotherme ($T = 30 \text{ °C}$).

Données

Les constituants sont pris à l'état liquide.

constituant A	$M_A = 46 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\rho_A = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
constituant B	$M_B = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\rho_B = 890 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$
constituant I	$M_I = 40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\rho_I = 950 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$

- Calculer le débit volumique total en $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Calculer le volume du réacteur agité continu.
- Calculer le volume de réacteur piston. Conclure.

4 — Température en sortie de réacteur

On étudie la réaction d'hydrolyse aqueuse d'un chlorure d'acyle sulfonique C menée dans un RCPA de volume $V = 50 \text{ L}$. On précise que :

- l'enthalpie standard de la réaction d'hydrolyse vaut $\Delta_r H^\circ = -251 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- C est dissous dans l'eau à une concentration initiale $c_0 = 0,50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- le débit massique du liquide, assimilé à de l'eau pure, vaut $Q = 0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$;
- le liquide entre dans le réacteur à la température $T_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- la paroi externe du réacteur a une surface $S = 0,5 \text{ m}^2$ et est maintenue à une température de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Le coefficient d'échange thermique au travers de la paroi vaut $h = 500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

1. Quelle est l'expression de la puissance thermique \mathcal{P}_{th} échangée entre le réacteur et le milieu extérieur?
2. À l'aide du premier principe de la thermodynamique appliqué au réacteur, montrer que

$$\mathcal{P}_{\text{th}} = Q\Delta_r H^\circ c_0 \alpha + Q\rho_{\text{eau}} c_{p,\text{eau}} (T_s - T_e),$$

où α est le taux de conversion de C et T_s la température en sortie de réacteur.

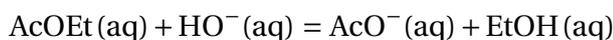
3. En déduire la valeur de T_s pour avoir un taux de conversion de 80 %.

Données

$$\begin{array}{ll} \text{capacité thermique de l'eau} & c_{p,\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ \text{masse volumique de l'eau} & \rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \end{array}$$

5 — Saponification

La saponification de l'acétate d'éthyle est menée dans un RCPA de 6 L dont les parois sont calorifugées.



avec

$$\Delta_r H^\circ = -41,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

Le réacteur est alimenté par deux voies, la première amenant une solution aqueuse d'acétate d'éthyle à $25 \text{ }^\circ\text{C}$ à la concentration $c_0 = 1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ avec un débit $D_v = 25 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et la seconde amenant de la soude à $20 \text{ }^\circ\text{C}$ avec le même débit et à la concentration $2c_0 = 2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

1. Compte tenu des concentrations en entrée, quel est le réactif limitant? Le taux de conversion α est défini par rapport à ce réactif.
2. Exprimer les concentrations en sortie $[\text{AcOEt}]^s$ et $[\text{HO}^-]^s$ en fonction de c_0 et α .

3. Par un bilan de matière, montrer que la vitesse est donnée par

$$r = \frac{\alpha D_v c_0}{V}.$$

4. La réaction étant d'ordre 1 par rapport à chaque réactif et ayant une constante de vitesse $k = 0,11 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$, déterminer le taux de conversion en sortie de réacteur.

5. Dans le réacteur, un serpentin immergé maintient la température interne à $25 \text{ }^\circ\text{C}$; pour cela, de l'eau entre dans le serpentin à $15 \text{ }^\circ\text{C}$ et en sort à $20 \text{ }^\circ\text{C}$. La puissance échangée par le serpentin vaut alors $hS\Delta T_{\text{serp}}$ où $h = 594 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ est le coefficient d'échange thermique, S la surface immergée et ΔT_{serp} un facteur effectif de refroidissement qui vaut 7,21 K. Estimer la valeur de S dans le cadre du fonctionnement de ce réacteur.

Données

$$\begin{array}{ll} \text{capacité thermique de l'eau} & c_{p,\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \\ \text{masse volumique de l'eau} & \rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \end{array}$$

6 — Réaction d'isomérisation

On étudie une réaction d'isomérisation modélisée par la réaction $I_1 = I_2$ en phase liquide, présentant une cinétique d'ordre 1 par rapport à I_1 .

La transformation est menée dans un RCPA dont le débit volumique est réglé à $145 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$. Le liquide a une masse volumique constante $\rho = 0,9 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ et une température d'entrée $T_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Déterminer le volume que doit présenter le réacteur pour que le taux de conversion soit $\alpha = 90 \%$ avec une température de sortie $T_s = 160 \text{ }^\circ\text{C}$.
2. Pour obtenir de telles conditions, le réacteur est chauffé par une résistance R dans laquelle circule un courant $I = 1 \text{ A}$. Déterminer la valeur de R .

Données

$$\begin{array}{l} \text{constante de vitesse :} \\ k = 2,61 \times 10^{14} \exp\left(-\frac{14570}{T}\right) \text{ avec } T \text{ en kelvins} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{enthalpie standard de réaction :} \\ \Delta_r H^\circ = 86,7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{capacité thermique molaire de } I_1 : \\ c_{p,m} = 520 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \end{array}$$

$$\text{masse molaire de } I : M = 250 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$