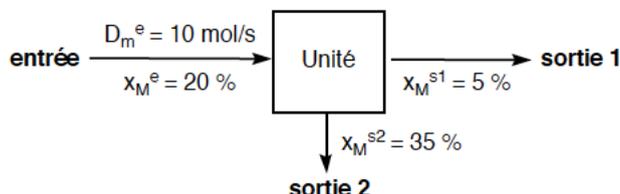


TD : TM_4 Procédés industriels continus

Exercice 1 : Bilans de matière d'une opération unitaire (*)

Soit une opération unitaire mettant en jeu un mélange binaire de méthanol (M) et d'eau (E) (miscibles en toutes proportions) et fonctionnant en régime stationnaire et sans aucune réaction chimique. Le schéma de l'unité as sociée est représenté ci-dessous (D_m représente un débit molaire total et x_M la fraction molaire en méthanol).



Compléter le tableau suivant :

	x_i^e	D_{mi}^e	x_i^{s1}	D_{mi}^{s1}	x_i^{s2}	D_{mi}^{s2}
Méthanol						
Eau						

Exercice 2 : Débits molaires associés à la combustion du méthane (*)

La combustion du méthane est menée dans un réacteur ouvert fonctionnant en régime stationnaire. Ce réacteur est alimenté en continu par $15 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$ de méthane, $35 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$ de dioxygène pur et $5 \text{ mol} \cdot \text{h}^{-1}$ de vapeur d'eau.

1. Écrire l'équation bilan de la réaction d'oxydation complète du méthane en considérant de la vapeur d'eau produite.
2. Quel est le réactif limitant dans ces conditions ?
3. Pour un taux de conversion de 80 % de ce réactif limitant, calculer les débits molaires sortants du réacteur.
4. Même question si la transformation est totale.

Exercice 3 : Polymérisation en RCPA (*)

On étudie la polymérisation d'un alcène dans un RCPA.

Un mélange liquide de monomère M ($3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) et d'inhibiteur I ($0,01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) est introduit dans le réacteur avec un débit volumique de $1,2 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$. La vitesse de polymérisation est donnée par la relation :

$$v = k_p [M] \sqrt{\frac{2k_0 [I]_0}{k_t}}$$

avec :

- $[M]$, la concentration en monomère ;
- $[I]_0$, la concentration initiale en inhibiteur ;
- k_p , la vitesse de propagation ($10^{-2} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) ;
- k_0 , la vitesse d'initiation (10^{-3} s^{-1}) ;
- k_t , la vitesse de terminaison ($5 \cdot 10^{-7} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$).

Déterminer le volume du réacteur nécessaire pour obtenir un taux de conversion de 80 % en monomère.

Exercice 4 : Réaction d'ordre 2 ()**

On étudie la réaction de S_N2 entre l'iodure d'éthyle C_2H_5I et les ions hydroxyde HO^- dans l'eau. À la température de l'expérience, la constante de vitesse de la réaction vaut $k = 2,21 \cdot 10^{-2} \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. La réaction est menée dans un RCPA de 750 L alimenté à un débit de $5 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ avec les deux réactifs à la concentration de $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

1. Calculer le temps de passage dans le réacteur.
2. Déterminer numériquement la concentration des produits à la sortie du réacteur et en déduire le taux de conversion.
3. Reprendre le calcul pour un réacteur piston de même volume. Commenter.

Exercice 5 : 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 du liquide (assimilé à de l'eau pure) vaut $D_V = 0,1 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$;
- le liquide entre dans le réacteur à $T_e = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- la paroi externe du réacteur a une surface de $S = 0,5 \text{ m}^2$ et est maintenue à $20 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 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 :

$$P_{th} = D_V \Delta_r H^\circ c_0 \alpha + D_V \rho_{eau} c_{p,eau} (T_s - T_e)$$

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

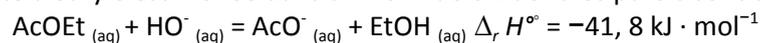
3. En déduire la valeur de T_s pour avoir un taux de conversion de 80 %.

Données :

- capacité thermique massique de l'eau $c_{p,eau} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- masse volumique de l'eau $\rho_{eau} = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Exercice 6 : Saponification de l'acétate d'éthyle (*)**

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



Pour cela, le réacteur est alimenté par deux voies, la première amenant une solution aqueuse d'acétate d'éthyle à 25°C ($1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) avec un débit de $D_V = 25 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et la seconde amenant de la soude à 20°C avec le même débit et une concentration deux fois plus grande.

1. La réaction étant d'ordre 1 par rapport à chaque réactif et ayant une constante de vitesse $k = 0,11 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, déterminer le taux de conversion en sortie de réacteur.
2. Dans le réacteur, un serpentin immergé maintient la température interne à 25°C . Pour cela, de l'eau entre dans le serpentin à 15°C et en sort à 20°C . La puissance échangée par le serpentin vaut alors $hS\Delta T_{serp}$ avec :
 - h est le coefficient d'échange thermique $594 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;
 - S la surface immergée
 - ΔT_{serp} un facteur effectif de refroidissement qui vaut $-7,21 \text{ K}$.

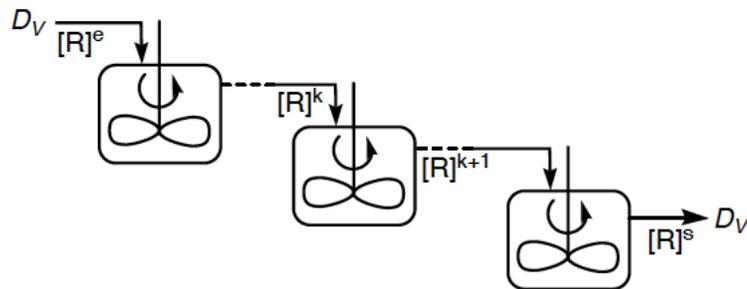
Estimer la valeur de S dans le cadre du fonctionnement de ce réacteur.

Données :

- capacité thermique massique de l'eau $c_{p,eau} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- masse volumique de l'eau $\rho_{eau} = 1000 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Exercice 7 : Association de plusieurs RCPA (***)

On étudie l'association en série de n RCPA isothermes de volumes V identiques. Le premier est alimenté par un flux liquide de débit volumique D_v contenant un réactif R à la concentration $[R]^e$. La concentration en réactif en sortie du dernier réacteur est notée $[R]^s$. Le $k^{\text{ème}}$ réacteur reçoit un flux de réactif à la concentration $[R]^k$ et libère un flux de réactifs à la concentration $[R]^{k+1}$.



On suppose que le réactif R est converti en produits avec une cinétique d'ordre 1 par rapport à R avec une constante de vitesse k .

1. Déterminer la relation entre $[R]^{k+1}$ et $[R]^k$ en fonction de D_v , k et V .
2. En déduire la relation entre $[R]^s$ et $[R]^e$ puis l'expression du taux de conversion en R en sortie de l'ensemble les réacteurs.
3. Quelle doit être le nombre de RCPA à mettre en série pour obtenir un taux de conversion de 80 %?
4. Quel serait le volume V_1 d'un RCPA unique réalisant le même taux de conversion? Commenter.
5. Quel serait le volume V_2 d'un réacteur piston unique réalisant le même taux de conversion? Commenter.
6. Montrer que quand n tend vers $+\infty$, la somme des volumes de tous les RCPA (V_{tot}) tend vers $-\frac{D_v}{k} \ln(1 - \alpha)$. Commenter.

Données: $V = 50 \text{ L}$; $D_v = 10 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$; $k = 5, 3 \cdot 10^{-2} \text{ min}^{-1}$