

Université des Sciences et de la Technologie d'Oran « Mohamed Boudiaf »
Faculté de Chimie
Département de Génie Chimique

Examen de Réacteurs chimiques - M1 Génie Pétrochimique

Année universitaire 2023/2024

Durée : 1 h 30 min

Exercice 1 : (10 points)

On veut étudier la réaction : $A + 2B \rightarrow C$

Cette réaction est mise en œuvre en phase liquide à 25 °C dans un réacteur agité continu de volume $V = 480$ litres. La vitesse de réaction est $r = k C_A C_B$ avec $k = 0,1 \text{ litre mole}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

- 1) On veut traiter un débit de 300 litres/min et on part d'un mélange en proportions stœchiométriques de A et de B : $C_{A0} = 0,1 \text{ mole/l}$ et $C_{B0} = 0,2 \text{ mole/l}$. Déterminer le taux de conversion du réactif A à la sortie de ce réacteur.
- 2) Déterminer le taux de conversion du réactif A obtenu au bout de 2 min, si la réaction est conduite dans un réacteur fermé.
- 3) Calculer le taux de conversion du réactif A à la sortie du RAC, lorsqu'on part d'un mélange en proportions de A et de B : $C_{A0} = 0,1 \text{ mole/l}$ et $C_{B0} = 0,35 \text{ mole/l}$.
- 4) On envisage la possibilité d'utiliser un REP de mêmes performances que le RAC et fonctionnant dans les mêmes conditions (3^{ème} question), calculer le volume de ce réacteur ainsi que le temps de passage.
- 5) Dans ces conditions ($C_{A0} = 0,1 \text{ mole/l}$ et $C_{B0} = 0,35 \text{ mole/l}$, si l'on se borne au taux de conversion de A obtenu en 1^{ère} question, quel débit de fluide pourrait-on traiter ?
- 6) Commentez vos résultats.

Exercice 2 : (10 points)

On veut étudier la réaction en phase gazeuse $A + 2B \rightarrow C$

Cette réaction est effectuée dans un RAC à $P = 1 \text{ atm}$.

La vitesse de réaction est $r = k C_A C_B$ avec $k = 1 \text{ (mole/m}^3\text{)}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (à 320°C).

On part d'un mélange en proportions stœchiométriques de A, de B et d'inertes :

$F_{A0} = 7 \text{ moles/h}$, $F_{B0} = 14 \text{ moles/h}$ et $F_I = 90 \text{ moles/h}$.

- 1) Dans un premier temps, la réaction est mise en œuvre dans un réacteur agité continu, fonctionnant sous 1 atm et 320°C. Le réacteur est alimenté à l'entrée par un mélange gazeux (conditions TPN), déterminer le volume de ce réacteur pour obtenir un taux de conversion du réactif A à la sortie de 75 %.
- 2) Déterminer le temps de passage et le temps de séjour moyen du mélange réactionnel.
- 3) Calculer les concentrations des espèces en présence à la sortie du réacteur.
- 4) On envisage la possibilité d'effectuer la réaction dans un réacteur piston à P et T constantes, déterminer le temps de séjour du mélange réactionnel dans ce réacteur.
- 5) Comparer l'efficacité des deux réacteurs.

Corrigé de l'Examen de Réacteurs chimiques
 Master 1, G. Petrochimique
 Année : 2023-2024

Exercice 1 : 10 points

1) Taux de conversion du réactif A à la sortie du R.A.C



$$F_{A0} - rV = F_{As}$$

$$F_{As} = F_{A0} - F_{A0} X_A$$

$$F_{A0} - rV = F_{A0} - F_{A0} X_A \Rightarrow -rV = -F_{A0} X_A$$

$$rV = F_{A0} X_A \quad \text{avec } r = k C_A C_B$$

$$r = k C_{A0} (1 - X_A) (C_{B0} - 2 C_{A0} X_A) \quad C_{B0} = 2 C_{A0}$$

$$r = 2k C_{A0}^2 (1 - X_A)^2$$

$$2k C_{A0}^2 V (1 - X_A)^2 = Q_0 C_{A0} X_A \quad F_{A0} = Q_0 C_{A0}$$

$$2k C_{A0} V (1 - 2X_A + X_A^2) = Q_0 X_A$$

$$2k C_{A0} V X_A^2 - X_A (4k C_{A0} V + Q_0) + 2k C_{A0} V = 0$$

$$a = 2k C_{A0} V = 2 \times 0,1 \times 0,1 \times 480 = 9,6$$

$$b = 4k C_{A0} V + Q_0 = 2 \times 9,6 + 300/60 = 24,2$$

$$c = 2k C_{A0} V = 9,6$$

(1 pt)

$$9,6 X_A^2 - 24,2 X_A + 9,6 = 0$$

$$X_A = \frac{24,2 - 14,73}{2 \times 9,6} = 0,49318$$

$$X_A = 49,32\%$$

(1 pt)

2) Taux de conversion du reactif A obtenu dans un Réacteur fermé après 2 min de réaction

$$-r_A V = \frac{dn_A}{dt}$$

$$n_A = n_{A0}(1 - X_A) \Rightarrow \frac{dn_A}{dt} = -n_{A0} \frac{dX_A}{dt}$$

$$r_A V = n_{A0} \frac{dX_A}{dt} \quad \text{avec } r = k_A C_B = k_A C_{A0}(1 - X_A)(C_{B0} - 2C_{A0}X_A)$$

$$C_{B0} = 2C_{A0} \Rightarrow r = 2k_A C_{A0}(1 - X_A)^2$$

$$t_s = \int_0^{X_A} \frac{1}{2k_A C_{A0}(1 - X_A)^2} dX_A = \frac{1}{2k_A C_{A0}} \left[\frac{1}{1 - X_A} - 1 \right] = \frac{1}{2k_A C_{A0}} \frac{X_A}{1 - X_A}$$

$$t_s = \frac{X_A}{2k_A C_{A0}(1 - X_A)} \Rightarrow 2k_A C_{A0} t_s (1 - X_A) = X_A$$

$$2k_A C_{A0} t_s = X_A(1 + 2k_A C_{A0} t_s)$$

(1 pt)

$$X_A = \frac{2k_A C_{A0} t_s}{1 + 2k_A C_{A0} t_s} \Rightarrow X_A = \frac{2 \times 0,1 \times 0,1 \times 2 \times 60}{1 + 2 \times 0,1 \times 0,1 \times 2 \times 60}$$

$$X_A = 0,40588 \Rightarrow X_A = 40,59\%$$

(1 pt)

3 - Taux de conversion de A à la sortie du RAC

$$C_{A0} = 0,1 \text{ mole/l et } C_{B0} = 0,35 \text{ mole/l}$$

$$r = k C_A C_B = k C_{A0} (1 - X_A) (C_{B0} - 2 C_{A0} X_A)$$

$$r = k C_{A0}^2 (1 - X_A) \left(\frac{C_{B0}}{C_{A0}} - 2 X_A \right) \quad \text{avec } \frac{C_{B0}}{C_{A0}} = \frac{0,35}{0,1} = 3,5$$

$$r = k C_{A0}^2 (1 - X_A) (3,5 - 2 X_A)$$

$$r V = F_{A0} X_A$$

$$k C_{A0}^2 V (1 - X_A) (3,5 - 2 X_A) = 0,1 C_{A0} X_A$$

$$k C_{A0} V (3,5 - 3,5 X_A - 2 X_A + 2 X_A^2) = 0,1 X_A$$

$$2 k C_{A0} V X_A^2 - 5,5 k C_{A0} V X_A + 3,5 k C_{A0} V - 0,1 X_A = 0$$

$$2 k C_{A0} V X_A^2 - X_A (5,5 k C_{A0} V + 0,1) + 3,5 k C_{A0} V = 0 \quad (1 \text{ pt})$$

$$9,6 X_A^2 - 31,4 X_A + 16,8 = 0$$

$$\Delta = (-31,4)^2 - 4(9,6 \times 16,8) = 349,84$$

$$\sqrt{\Delta} = 18,4618 \Rightarrow X_A = \frac{31,4 - 18,4618}{2 \times 9,6}$$

$$X_A = 0,67386 \Rightarrow X_A = 67,386\% \quad (1 \text{ pt})$$

4) Volume du REP de mêmes performances que le RAC

$$-r dV = dF_A \quad \text{avec } F_A = F_{A0} (1 - X_A)$$

$$-r dV = -F_{A0} dX_A \Rightarrow r dV = F_{A0} dX_A$$

$$dV = \frac{F_{A0}}{r} dX_A \quad \text{avec } r = k C_A C_B = k C_{A0} (1 - X_A) (C_{B0} - 2 C_{A0} X_A)$$

$$r = 2 k C_{A0}^2 (1 - X_A) \left(\frac{C_{B0}}{2 C_{A0}} - X_A \right)$$

$$M = \frac{C_{B0}}{2 C_{A0}} = \frac{0,35}{2 \times 0,1} = 1,75$$

$$r = 2 k C_{A0}^2 (1 - X_A) (M - X_A)$$

$$dV = \frac{F_{A0}}{r} dX_A \quad F_{A0} = Q_0 C_{A0}$$

$$r = 2k C_{A0}^2 (1-X_A)(M-X_A) \text{ avec } M = \frac{C_{B0}}{2C_{A0}} = \frac{0,35}{2 \times 0,1} = 1,75$$

$$V = \frac{Q_0 C_{A0}}{2k C_{A0}^2} \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1-X_A)(M-X_A)}$$

$$V = \frac{Q_0}{2k C_{A0} (M-1)} \ln \frac{M-X_A}{M(1-X_A)}$$

$$V = \frac{Q_0}{2k C_{A0} (1,75-1)} \ln \frac{1,75-X_A}{1,75(1-X_A)}$$

1 pt

$$X_A = 64,386\% \quad Q_0 = 300/60 = 5 \text{ l/s}$$

$$V = \frac{300/60}{2 \times 0,1 \times 0,1 \times 0,75} \ln \frac{1,75 - 0,64386}{1,75(1 - 0,64386)}$$

$$V = 211,338 \approx 211,4 \text{ litres}$$

0,5 pt

Temps de passage

$$\tau = \frac{V}{Q_0} = \frac{211,4}{5} = 42,28 \text{ s}$$

0,5 pt

5) Débit de fluide qu'on pourrait traiter

$$k C_{A0}^2 V (1-X_A)(3,5-2X_A) = Q'_0 C_{A0} X_A$$

$$Q'_0 = \frac{k C_{A0}^2 V (1-X_A)(3,5-2X_A)}{X_A}$$

1 pt

$$Q'_0 = \frac{0,1 \times 0,1 \times 480 (1-0,4932)(3,5-2 \times 0,4932)}{0,4932} = 12,398 \approx 12,4$$

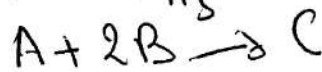
$$Q'_0 = 12,4 \text{ l/s} \approx 743,9 \text{ l/min}$$

0,5 pt

Exercice 2 : 10 points

1) Volume du R.A.C pour obtenir $X_A = 75\%$

$$F_{A0} - r_A V = F_{A0}(1 - X_A)$$



$$-r_A V = -F_{A0} X_A \Rightarrow r_A V = F_{A0} X_A$$

$$r = R_C A C_B = \frac{R F_A}{Q} \cdot \frac{F_B}{Q} = \frac{R F_{A0}(1 - X_A)}{Q} \cdot \frac{(F_{B0} - 2F_{A0} X_A)}{Q}$$

$$F_{B0} = 2F_{A0} \Rightarrow r = \frac{R F_{A0}(1 - X_A)(2F_{A0} - 2F_{A0} X_A)}{Q^2}$$

$$r = \frac{2R F_{A0}^2 (1 - X_A)^2}{Q^2}$$

$$V = \frac{F_{A0} X_A}{r} = \frac{F_{A0} X_A Q^2}{2R F_{A0}^2 (1 - X_A)^2}$$

$$V = \frac{Q^2 X_A}{2R F_{A0} (1 - X_A)^2} \quad \text{avec } Q = \beta Q_0 (1 + 2X_A) \quad (0,5 \text{ pt})$$

$$\left. \begin{array}{l} P Q = F_T R T \\ P_0 Q_0 = F_{T0} R T_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{Q}{Q_0} = \frac{P_0 T}{P T_0} \cdot \frac{F_T}{F_{T0}} \Rightarrow Q = \beta Q_0 \frac{F_T}{F_{T0}}$$

$$F_T = F_I + \sum F_j = F_I + F_A + F_B + F_C$$

$$F_{T0} = F_I + \sum F_{j0} = F_I + F_{A0} + F_{B0} = 90 + 7 + 14 = 111 \text{ mol/h}$$

$$F_T = F_I + (F_{A0} - F_{A0} X_A) + (F_{B0} - 2F_{A0} X_A) + (F_{A0} X_A)$$

$$F_T = F_I + F_{A0} + F_{B0} - 2F_{A0} X_A = F_{T0} - 2F_{A0} X_A$$

$$\frac{F_T}{F_{T0}} = 1 - 2 \frac{F_{A0} X_A}{F_{T0}} \Rightarrow \alpha_A = \frac{2F_{A0}}{F_{T0}} = \frac{2 \times 7}{111} = 0,126 \quad (1 \text{ pt})$$

$$\beta = \frac{P_0 T}{P T_0} = \frac{1 \times (320 + 273)}{1 \times (273)} = \frac{593}{273} = 2,172 \quad (0,5 \text{ pt})$$

$$Q = 2,172 Q_0 (1 - 0,126 X_A)$$

$$Q_0 = \frac{F_{T_0} A T_0}{P_0} = \frac{111 \times 0,082 \times 273}{1} = 2484,846 \text{ l/h}$$

$$Q_0 = 2,4848 \text{ m}^3/\text{h} \quad (0,5 \text{ pt})$$

Volume du RAC

$$V = \frac{Q^2 X_A}{2k F_{A_0} (1 - X_A)^2} = \frac{[2,172 Q_0 (1 - 0,126 X_A)]^2 X_A}{2k F_{A_0} (1 - X_A)^2} \quad (0,5 \text{ pt})$$

$$V = \frac{[2,172 \times 2,4848 (1 - 0,126 \times 0,75)]^2 \times 0,75}{2 \times 1 \times 7 (1 - 0,75)^2}$$

$$V = 20,471 \text{ m}^3 \quad (1 \text{ pt})$$

2) Temps de passage

$$\bar{t} = \frac{V}{Q_0} = \frac{20,471}{2,4848} = 8,238 \text{ h} \approx 8 \text{ h } 14 \text{ min} \quad (0,5 \text{ pt})$$

Temps de séjour moyen

$$\bar{t}_s = \frac{V}{Q_s} = \frac{Q X_A}{2k F_{A_0} (1 - X_A)^2}$$

$$Q_s = 2,172 Q_0 (1 - 0,126 X_A)$$

$$Q = 2,172 \times 2,4848 (1 - 0,126 \times 0,75) = 4,887 \text{ m}^3/\text{h}$$

Temps de séjour moyen

$$T_s = \frac{V}{Q_s} = \frac{20,471}{4,887} = 4,189 \text{ h} = 4 \text{ h } 11 \text{ min} \quad (0,5 \text{ pt})$$

3) Concentrations des espèces en présence

$$C_A = \frac{F_A}{Q} = \frac{F_{A0}(1-X_A)}{2,172 Q_0 (1-0,126 X_A)}$$

$$C_A = \frac{7(1-0,75)}{2,172 \times 2,4848(1-0,126 \times 0,75)} = 0,358$$

$$C_{A_s} = 0,358 \text{ mol/m}^3 \quad (0,5 \text{ pt})$$

$$C_B = \frac{F_B}{Q} = \frac{F_{B0} - 2F_{A0}X_A}{2,172 Q_0 (1-0,126 X_A)}$$

$$C_B = \frac{14 - 2 \times 7 \times 0,75}{4,887} = 0,716 \text{ mol/m}^3 \quad (0,5 \text{ pt})$$

$$C_C = \frac{F_C}{Q} = \frac{F_{A0}X_A}{2,172 Q_0 (1-0,126 X_A)}$$

$$C_C = \frac{7 \times 0,75}{4,887} = 1,074 \text{ mol/m}^3 \quad (0,5 \text{ pt})$$

$$C_I = \frac{F_I}{Q} = \frac{90}{4,887} = 18,416 \text{ mol/m}^3 \quad (0,5 \text{ pt})$$

4) Temps de séjour du mélange réactionnel dans le réacteur piston.

$$F_A - r dV = F_A + dF_A$$

$$F_A = F_{A0}(1 - X_A) \Rightarrow dF_A = -F_{A0} dX_A$$

$$-r dV = -F_{A0} dX_A$$

$$r dV = F_{A0} dX_A \Rightarrow dV = \frac{F_{A0} dX_A}{r}$$

$$r = k C_A C_B = \frac{k F_A}{Q} \cdot \frac{F_B}{Q} = \frac{k F_{A0}(1 - X_A)}{Q} \cdot \frac{(F_{B0} - 2 F_{A0} X_A)}{Q}$$

$$r = \frac{2 k F_{A0}^2 (1 - X_A)^2}{Q^2}$$

$$dV = \frac{F_{A0} \cdot Q^2 dX_A}{2 k F_{A0}^2 (1 - X_A)^2} \Rightarrow dV = \frac{Q^2 dX_A}{2 k F_{A0} (1 - X_A)^2}$$

$$dt = \frac{dV}{Q} = \frac{Q dX_A}{2 k F_{A0} (1 - X_A)^2} \quad Q = \beta Q_0 (1 - \alpha_A X_A)$$

$$\beta = \frac{P_0 T}{P T_0} = 1 \quad Q = Q_0 (1 - 0,126 X_A)$$

$$t_s = \int dt_s = \frac{Q_0}{2 k F_{A0}} \int \frac{1 - 0,126 X_A}{(1 - X_A)^2} dX_A$$

$$t_s = \frac{Q_0}{2 k F_{A0}} \left[\int_0^{X_A} \frac{1 dX_A}{(1 - X_A)^2} - 0,126 \int_0^{X_A} \frac{X_A dX_A}{(1 - X_A)^2} \right]$$

$$t_s = \frac{Q_0}{2 k F_{A0}} \left[\int_0^{X_A} \frac{1 dX_A}{(1 - X_A)^2} - 0,126 \int_0^{X_A} \frac{X_A - 1 + 1 dX_A}{(1 - X_A)^2} \right]$$

$$t_s = \frac{Q_0}{2 k F_{A0}} \left[0,874 \frac{X_A}{1 - X_A} - 0,126 \ln(1 - X_A) \right]$$

$$t_s = \frac{Q_p}{2kF_{A0}} \left[0,874 \frac{X_A}{1-X_A} - 0,126 \ln(1-X_A) \right]$$

$$t_s = \frac{2,4848}{2 \times 1 \times 7} \left[0,874 \frac{0,75}{1-0,75} - 0,126 \ln(1-0,75) \right]$$

$$t_s = 0,496 \text{ h} \approx 29,78 \text{ min} \approx 30 \text{ min} \quad (1 \text{ pt})$$

Le réacteur piston est plus efficace que le réacteur agité continu puisqu'il nécessite un temps de séjour de 30 min pour réaliser le même taux de conversion de A nettement inférieur à celui du R.A.C qui est de l'ordre de 4 heures, (0,5 pt)