

Procédés industriels continus

Dans l'industrie les réacteurs chimiques sont des systèmes **ouverts** : de la matière entre en continu (entrée) et de la matière sort en continu (sortie).

Entrée : réactifs
Sortie : produits et réactifs
 On travaille à l'échelle industrielle, c'est à dire du mètre cube.

Débit molaire
 $D_A = \frac{D_{m,A}}{M_A}$
 Les débits s'ajoutent algébriquement.
 $D_{m,tot} = \sum_i \nu_i D_{m,i}$
 En régime stationnaire le débit massique se conserve.
 $D_{m,tot} = D_{m,tot}^*$

Avancement par unité de temps
 $\xi = \frac{d\xi}{dt}$
 Exemple de la synthèse de l'acide sulfanilique

	1. PhNH ₂	+ H ₂ SO ₄	= HOSO ₂ C ₆ H ₄ NH ₂	+ H ₂ O
Entrée	6,47	4,93	0	1,71
Sortie	6,47 - 1,71ξ	4,93 - ξ	ξ	1,71 + ξ

 Débit molaire sortant d'acide sulfanilique

Taux de conversion
 Défini par rapport au réactif limitant
 $\alpha = \frac{\xi}{\xi_{max}}$
 On peut le faire apparaître dans le tableau d'avancement

	PhNH ₂	+ H ₂ SO ₄	= HOSO ₂ C ₆ H ₄ NH ₂	+ H ₂ O
Entrée	6,47	4,93	0	1,71
Sortie	6,47 - 4,93α	4,93(1-α)	4,93α	1,71 + 4,93α

Vitesse de réaction
 $v = \frac{1}{V} \frac{d\xi}{dt} = \frac{\xi}{V}$

Conservation du débit volumique
 $D_{V,tot} = D_{V,tot}^*$
 Unique réaction chimique
 Écoulements incompressibles et homogènes
Lien avec la concentration molaire
 $D_A = [A] D_V$
Lien avec le débit massique
 $D_m = \mu D_V$
Temps de passage
 $\tau = \frac{V}{D_V}$
 Temps pour qu'un volume égal à celui du réacteur soit passé dans celui-ci

Réacteur parfaitement agité (RCPA)
 $[R_i]^e = [R_i]^s$
 $[P_i]^e = [P_i]^s$
 $T_s = T_c$

Réacteur piston (RP)
 $T_s = T_c$

Cinétique en réacteur ouvert isotherme
 $T_s = T_c$

Modèle : On considère que les réactifs entrants sont **mélangés instantanément** et que la concentration des réactifs et des produits est la même dans le réacteur et à sa sortie.
 On réalise un bilan en exprimant le débit de sortie à partir du tableau d'avancement.

RCPA
 $T_s = T = T_c$

Première expression de la relation entre les concentrations en entrée/sortie et le tau de conversion.
 $D_V[A]^s = D_V[A]^e(1 - \alpha)$
 $\frac{[A]^s}{[A]^e} = (1 - \alpha)$

Loi de vitesse : exemple d'une loi d'ordre 1
 $v = k[A] = k[A]^s$

Seconde expression de la relation entre les concentrations en entrée/sortie et la vitesse de réaction.
 $D_V[A]^s = D_V[A]^e - vV$
 $\frac{[A]^s}{[A]^e} = \frac{1}{1 + k\tau}$

Énergie d'activation
Facteur pré-exponentiel
 $k = A e^{-E_a/RT}$

Expression du taux de conversion
 $\alpha = \frac{\tau A e^{-E_a/RT}}{1 + \tau A e^{-E_a/RT}}$

Variation avec la température
 $\alpha = \frac{k\tau}{1 + k\tau}$

Modèle : On considère que les tranches n'échangent pas de matière entre elles **partie située entre x et x+dx peut être considérée comme un RCPA**.
 On réalise un bilan en exprimant le débit de sortie à partir du tableau d'avancement.
 $D_A^s = D_A^e - \nu_A \xi$

Première expression de la relation entre les concentrations en entrée/sortie et le tau de conversion.
 $\frac{[A]^s}{[A]^e} = (1 - \alpha)$
 $D_V[A]^s = D_V[A]^e(1 - \alpha)$

Loi de vitesse : exemple d'une loi d'ordre 1
 $v = k[A] = k[A]^s$

Seconde expression de la relation entre les concentrations en entrée/sortie et la vitesse de réaction.
 $D_V[A]^s = D_V[A]^e - vV$
 $\frac{[A]^s}{[A]^e} = \frac{1}{1 + k\tau}$

Expression du taux de conversion
 $\alpha = 1 - e^{-k\tau}$

La comparaison est à l'avantage du RP

Équation thermodynamique
 $\alpha_{th} = -\frac{\mu_{eau} c_{p,eau}^0}{\Delta_r H^0 [A]^e} (T_s - T_c)$

Équation cinétique (cinétique d'ordre 1)
 $\alpha_c = \frac{\tau A e^{-E_a/RT}}{1 + \tau A e^{-E_a/RT}}$

Étude thermique d'un RCPA
 $T_s \neq T_c$

Cas d'une transformation endothermique

Cas d'une transformation exothermique

Résolution graphique

Cas d'une transformation exothermique avec 3 points de fonctionnement

Point de fonctionnement instable

... Fonctionnement avec un flux thermique $p_{th} \neq 0$