

LC 11 : Du modèle des réacteurs idéaux au développement des procédés

Leçon par Annabelle

Élément imposé Point de fonctionnement d'un réacteur.

Niveau : L2

Prérequis :

- Vocabulaire sur les réacteurs ouverts : débit, flux, taux de conversion, temps de passage (L1)
- Thermodynamique chimique : van'tHoff, quotient de réaction, 1er principe, enthalpie et entropie standard de réaction (L1-L2)
- Bases d'optimisation en synthèse industrielle : exemple de l'acide sulfurique, optimisation de T et p (L2)

Difficultés :

- Comprendre comment trouver le point de fonctionnement
- Remobiliser beaucoup de connaissances

séquence pédagogique Activité documentaire : Synthèse de l'ammoniac TP : extraction de l'aluminium de la bauxite

Objectif :

- Comprendre la nature d'un point de fonctionnement et savoir le retrouver

Bibliographie

- Fosset PCSI, Guisnet, King, TI J4030, scacchi, cours Martin ici, Fauduet

Contents

1	Un modèle de réacteur idéal : le RPAC	2
1.1	Principe et hypothèses	2
1.2	Bilan de matière	2
1.3	Point de fonctionnement	2
2	Optimisation du point de fonctionnement d'un réacteur pour optimiser une synthèse industrielle	2
2.1	La synthèse de l'acide sulfurique	2
2.2	Influence de l'ajout d'un composé inerte dans le milieu réactionnel	3
2.3	Utilisation d'échangeurs thermiques	3

Introduction

Au cours précédent, synthèse de l'acide sulfurique et quel réacteur est utilisé.

En TP, on a déjà vu les réacteurs fermés : on introduit, laisse réagir et on récupère à la fin. En industrie, temps de vidange et de remplissage : pas optimal, on travail donc avec des réacteurs ouverts dans lesquels on travail en continu.

Dans le cadre d'un développement d'un procédé chimique, on doit choisir une voie chimique, étudier les facteurs influençant sur la thermodynamique de la réaction, l'optimisation. et enfin le choix d'un réacteur adapté.

1 Un modèle de réacteur idéal : le RPAC

1.1 Principe et hypothèses

Un **RPAC** est un réacteur continu parfaitement agité.

On a plusieurs hypothèses associées au travail dans un RPAC :

- La concentration en sortie est la même que celle dans le réacteur.
- La température est homogène en tout point dans le réacteur.
- Le volume est constant dans le temps.

1.2 Bilan de matière

Appuyons nous sur l'exemple de la réaction d'oxydoréduction : $S_2O_8^{2-} + I^- = 2SO_4^{2-} + I_2$

On se place en régime permanent. On a alors la variation dans le réacteur qui est égale à celle entrée - sortie + produit - consommé.

Pour I^- ,

$$0 = F_{I^-,e} dt - F_{I^-,s} dt - rV dt$$

C'est égal à 0 car on est en régime permanent. et r la vitesse de consommation de I^- .

On a alors

$$r = \frac{F_{I^-,e} - F_{I^-,s}}{V} = Q \frac{[I^-]_e - [I^-]_s}{V} = \frac{[I^-]_e - [I^-]_s}{\tau}$$

1.3 Point de fonctionnement

Pour le trouver, on va avoir besoin d'un bilan énergétique. On a alors besoin d'hypothèses :

- On a une réaction $R \longrightarrow P$ d'ordre 1
- R et P sont de même capacité calorifique
- On se place dans l'approximation d'Ellingham
- On n'a pas de travail des forces de pression, ni de viscosité.
- On a une évolution isenthalpique
- On a conservation du débit volumique

Le bilan énergétique nous donne :

$$0 = \Delta H = VC_{Re}X\Delta_r H + VC_{Re}C_P\Delta T + Q$$

avec X le taux de conversion

On a donc l'énergie fournie par la réaction, la variation de température du milieu, et un échange thermique avec les parois.

On a alors :

$$-VC_{Re}X\Delta_r H = VC_{Re}C_P\Delta T + Q$$

ce qu'on note $G(T) = R(T)$

Les points de fonctionnement correspondent donc aux intersections entre les deux courbes.

On a plusieurs cas : le point A n'est pas intéressant car taux de conversion faible, le point C est instable

2 Optimisation du point de fonctionnement d'un réacteur pour optimiser une synthèse industrielle

2.1 La synthèse de l'acide sulfurique

On a une réaction exothermique donc par la loi de Van't Hoff, si on augmente la température, on diminue le taux de conversion.

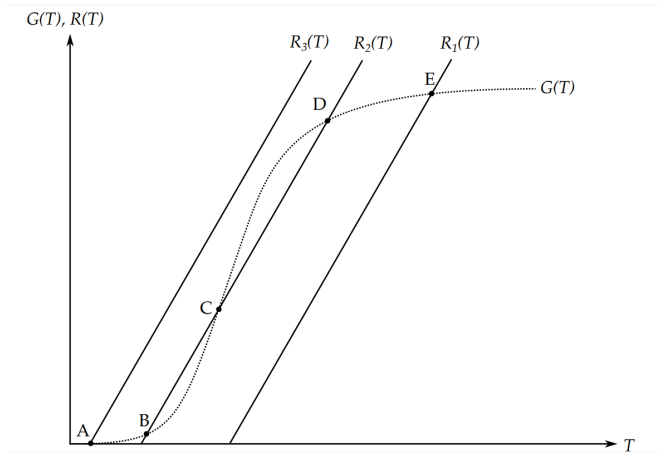


Figure 1: Différents points de fonctionnements d'un RPAC

2.2 Influence de l'ajout d'un composé inerte dans le milieu réactionnel

On a

$$X = \frac{-C_p}{\Delta_r H^0} \Delta T - \frac{Q}{V C_{Re} \Delta_r H^0}$$

En ajoutant du diazote, on agit sur la capacité calorifique. Mais on agit également sur le quotient de réaction car on augmente la quantité de matière totale de gaz.

$$Q_r = \frac{n_{SO_3} (n_{tot})^{1/2}}{n_{SO_2} (n_{O_2})^{1/2}} \times \left(\frac{P_0}{P_{tot}}\right)^{1/2}$$

Mais le diazote permet aussi d'absorber de la chaleur.

On a alors compétition de ces trois paramètres

2.3 Utilisation d'échangeurs thermiques

Les échangeurs thermiques permettent de diminuer la température entre chaque réacteur et donc de modifier le point de fonctionnement à chaque lit de catalyseur.

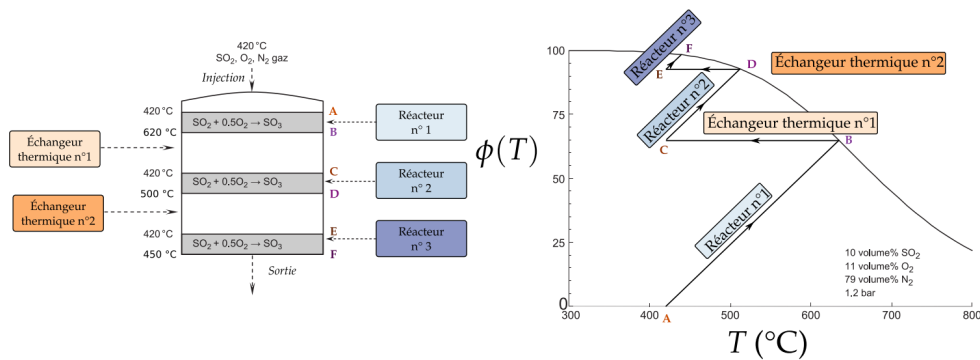


Figure 2: Utilisation d'échangeurs thermiques

Conclusion

On verra la prochaine fois l'association de réacteurs idéaux pour en faire un réacteur réel.

Question

- Quels sont les arguments de passer par des réacteurs idéaux pour arriver à des réacteurs réels? Cadre de modélisation simplifié,

Autres plans possibles

Analogie réacteur fermé - réacteur piston, Associations de réacteurs

Conceptuellement, il est possible d'assimiler un réacteur piston ayant un débit volumique constant à une suite de béchers sur un tapis roulant où la position le long du réacteur est l'analogie du temps pour un réacteur fermé.

Association en série : utile seulement pour RPAC, limite du RP : ne pas dépasser la thermo

Scacchi chap 1.5, 1.7, 1.8

TI j4010 réacteurs chimiques principe

Guisnet chap 4

Modes d'optimisation : influence de l'ordre de la réaction, de la stoechiométrie des produits, de la température, mise en série