

LC11 : Du modèle des réacteurs idéaux au développement de procédés

Lucie Marpaux, Annabelle

Element imposé

Point de fonctionnement d'un réacteur

Introduction pédagogique

Niveau L2

Prérequis :

- Vocabulaire sur les réacteurs ouverts : débit, flux, taux de conversion, temps de passage (L1)
- Thermodynamique chimique : Van't Hoff, quotient 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

Biblio :

- Fosset PCSI
- Guismet
- King
- TI J4030
- Cours Martin Verot
- Fauduet

Activités liées

- Etude de document sur la synthèse de l'ammoniac
 - TP : Extraction de l'aluminium de la bauxite
- Blabla : on commence par vocabulaire et interet
- Objectif : Que les élèves sachent trouver un point de fonctionnement

Introduction

En TP on a l'habitude de réacteurs fermés mais en industrie pas envisageable. Exemple tonnage acide sulfurique. Pourquoi ce cours ? Pourquoi on étudie des réacteurs idéaux pour ensuite arriver à des réels ?

Étapes du développement d'un procédé chimique

1 Un modèle de réacteur idéal : le RPAC

1.1 Principe et hypothèse

RPAC : réacteur continue parfaitement agité [Schema de RPAC](#)

Hypothèses :

- concentration en sortie d'une espèce est identique à la concentration de l'espèce dans le réacteur
- Temperature homogène en tout point
- Un volume constant dans le temps

1.2 Bilan de matière

Pour cela on s'appuie sur un exemple : [Scacchi schema réacteur : redire les grandeurs caractéristiques qui correspondent](#) $S_2O_8^{2-} + 2I^- = 2SO_4^{2-} + I_2$

Régime permanent

"Variation=entrée - sortie - consommé + produit"

Pour un réactif : I- : $0 = F_{I-,E}dt - F_{I-,S}dt - 2rVdt$ avec r : vitesse de consommation de I-

$$r = F_{I-,E} - F_{I-,S} / 2V \quad r = Q([I^-]_E - [I^-]_S) / 2V = ([I^-]_E - [I^-]_S) / 2\tau$$

1.3 Point de fonctionnement

Hypothèses :

- Réaction R donne P ordre 1
- R, P ont la même capacité calorifique
- Approximation d'Ellingham
- Pas de travail des forces de pression, viscosité
- Evolution isenthalpique
- Débit volumique

Bilan énergétique : $0 = \Delta H = VC_{RE}X\Delta rH + VC_{RE}C_p\Delta T + Q$ (variation d'enthalpie due a la reaction avec X = taux de conversion puis variation de T du milieu puis Echange thermique avec les parois

$$-VC_{RE}X\Delta rH = VC_{RE}C_p\Delta T + Q$$

[Point de fonctionnement, visualisation graphique](#)

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

2.1 La synthèse de l'acide sulfurique

On a vu la dernière fois comment on modelisait T et P [King, taux de conversion en fonction de T pour l'oxydation du dioxyde de soufre](#)

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

Ajout de diazote

$$X = -C_p\Delta T\Delta rH - \frac{Q}{VC_{RE}\Delta rH}$$

On veut jouer sur la capacité calorifique donc on ajoute du diazote (critère thermo)

[graphique pourcentage de SO2 en fonction de la temperature du gaz et \$Q_r\$ quotient de réaction](#)

Il y a également un critère cinétique

3 paramètres différents à prendre en compte car N2 absorbe aussi la chaleur (pour une reaction exothermique ça va dans le bon sens)

2.3 Utilisation d'échangeurs thermiques

Utilisation d'échangeurs thermiques, réacteur réel Modification du point de fonctionnement à chaque lit de catalyseur

Echangeurs thermiques : refroidissement le mélange réactionnel : nouveau point de fonctionnement au niveau de chaque lit de catalyseur

3 Conclusion

Prochain cours on verra comment on peut cumuler des réacteurs pour

4 Question

- Justifier approximation évolution isenthalpique ? Evolution isenthalpique
- Autre type de réacteur qu'on peut utiliser ? Réacteur piston mais RPAC plus simple et calcul point de fonctionnement pas trouvé pour un RP
- Comment on caractérise les défauts d'un RPAC ou RP en industrie ? Jamais seul, on a des associations. Distribution de temps de séjour.
- Pourquoi on passe par un réacteur idéal pour arriver au réacteur réel ? Quel parallèle doit être fait pour un élève ? On passe par un réacteur idéal car apporte un cadre de modélisation, vocabulaire, peut être approche doc pour voir les différences
- Quel doc ? Distribution du temps de séjour
- Quand ils ont vu le temps de séjour ?
- A quel profil d'étudiant on s'adresse ? Cours spécialisé en industrie (ingénieur chimique)
- TP classique réacteur ouvert ? Bauxite pour l'aspect industriel, Saponification acétate d'éthyl en RPAC et RP suivi par conductimétrie parce qu'ions formés
- Les élèves ont déjà fait des bilans de matière ? En première année
- Dans quel contexte si pas RPAC ? Cinétique (chimie) ou Physique
- Comment on appelle $\frac{dn_i}{dt}$?
- Pourquoi r et pas v ? Pas mélanger avec volume et r=vitesse de la réaction à distinguer de la vitesse de consommation d'un réactif donc il faut faire apparaître les coefficients stoechiométrique
- Qu'est ce qu'un point de fonctionnement ? Coordonnée en T et autres pour lequel le réacteur donne un réacteur
- Autre domaine où on utilise cette notion ? En electrocinétique
- Terme thermique avec étudiant ? Négligé, adiabatique
- Terme qui dépend de la température ? Taux de conversion X
- Origine de la dépendance en température du taux de conversion ? Loi de Van't Hoff
- Cinétique, thermo ? Thermo
- On a vu la synthèse de l'acide phosphorique, revenir sur la progression péda ? Rappel de la réaction car vu à un cours précédent
- Détailler la courbe du King : Courbes différentes car on change les réactifs
- Comment identifier la courbe à la quantité de diazote ? On se met à T fixée, si plus de diazote, taux de conversion moins bon (Q fixé à T fixé et se voit sur les courbes)
- Modèle pour modéliser les réacteurs à lit ? Plutôt RP
- Important pour les élèves de dire réacteur parfaitement agité continue ? Oui car rappel les hypothèses
- Point de départ c'est les réacteurs idéaux ? Non, quel réacteur choisir. Par du cas réel pour aller à la modélisation pour aller au cas réel
- Capacité exigible ? RPAC, bilan de matière. Pas le bilan d'énergie (plus complexe plus de notions transverses)
- Difficultés pour les enseignants ? Besoin de données, d'illustration (prend beaucoup de temps) ; Motiver ce cours pour les élèves, les mener quelque part.

5 Retour

Attention rigueur : Bilan de matière écrire : pendant dt quantité de matière entrante, sortante etc Hypothèses projetées et dire à quoi elles servent quand elles servent.

Dire que ces hypothèses sont valables dans la plupart des cas (Ellingham : pas trop de variation de T, viscosité avec gaz pas trop élevée, ...) pour voir si le modèle idéal peut plus ou moins s'appliquer au cas réel. On se limite à des paramètres simples : flux, débit, etc car reacteur réel trop compliqué.

Montrer schema horrible d'un procédé acide sulfurique

Dire dans l'intro peda qu'on se focalise sur le RPAC

Voir programme prepa PC (pas aller plus loin que ça)

Dire RPAC : il y a tout dans le titre

Ne pas faire les deux réacteurs (RP et RPAC)

Hypothèse phase condensée importante (passage molaire puis debit volumique avec conservation débit)

Ce qui éloigne du réacteur idéal c'est le temps de séjour (pas uniforme) : mesuré avec des traceurs (sondes fluo ou ion)

Savoir expliquer l'allure de la courbe de G

Autre element imposé : association de réacteur, comparaison RP/RPAC

FIGURE 1