

Chapitre 2. Dynamique de l'adsorption

Introduction

L'adsorption est un phénomène de surface dans lequel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelées adsorbat, se fixent sur la surface d'un solide appelé adsorbant.

2.1. Adsorption physique

L'adsorption physique (physisorption) est un phénomène dans lequel les molécules de l'adsorbat sont retenues sur la surface de l'adsorbant par des forces de Van der Waals.

Caractéristiques principales : interaction faible entre adsorbant et adsorbat, phénomène réversible, formation possible de plusieurs couches moléculaires.

2.2. Dynamique de l'adsorption

2.2.1. Définition

Dans un procédé continu d'adsorption, on utilise souvent une colonne à lit fixe remplie d'un adsorbant (charbon actif, zéolithe, etc.). Le fluide contenant le soluté à éliminer traverse la colonne en continu.

La dynamique de l'adsorption étudie la vitesse à laquelle l'adsorption se produit et la manière dont la concentration du soluté évolue au cours du temps dans un système donné.

Elle permet de : dimensionner les colonnes d'adsorption, prévoir la durée de fonctionnement, optimiser les procédés industriels.

2.2.2. Etapes du processus d'adsorption

Le transfert d'un soluté vers un solide adsorbant se déroule généralement en plusieurs étapes :

A. Diffusion externe (film diffusion)

Le soluté traverse la couche limite entourant la particule d'adsorbant.

B. Diffusion interne (diffusion intraparticulaire)

Les molécules diffusent à l'intérieur des pores de l'adsorbant.

C. Adsorption sur les sites actifs

Les molécules se fixent sur les sites d'adsorption de la surface.

L'étape la plus lente contrôle la cinétique globale de l'adsorption.

2.3. Cinétique d'adsorption dans les systèmes liquides.

La cinétique décrit la variation de la quantité adsorbée avec le temps.

2.3.1 Modèle cinétique de pseudo premier ordre

$$dq_t/dt = k_1(q_e - q_t)$$

où : q_t : quantité adsorbée au temps t , q_e : quantité adsorbée à l'équilibre, k_1 : constante cinétique

La forme linéaire : $\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t$

2.3.2 Modèle cinétique de pseudo second ordre

$$dq_t/dt = k_2 (q_e - q_t)^2$$

où : q_t : quantité adsorbée au temps t , q_e : quantité adsorbée à l'équilibre, k_2 : constante cinétique

La forme linéaire : $\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$

2.4. Dynamique dans les colonnes d'adsorption

Dans les procédés industriels continus, l'adsorption se réalise généralement dans des colonnes remplies d'adsorbant. Le fluide contenant le soluté traverse la colonne et l'adsorption se produit progressivement.

2.5. Courbe de percée

La courbe de percée est la courbe qui décrit la variation de la concentration du soluté à la sortie de la colonne en fonction du temps ou du volume de fluide traité.

Elle est généralement représentée par la relation : $C/C_0 = f(t)$

Où : C_0 : concentration du soluté à l'entrée de la colonne, C : concentration du soluté à la sortie, t : temps de fonctionnement

La courbe de percée présente généralement trois régions principales (trois zones) :

✓ **Zone initiale :**

Au début du procédé : $C \approx 0$

Le soluté est totalement adsorbé par l'adsorbant et le fluide sort presque purifié.

✓ Point de percée

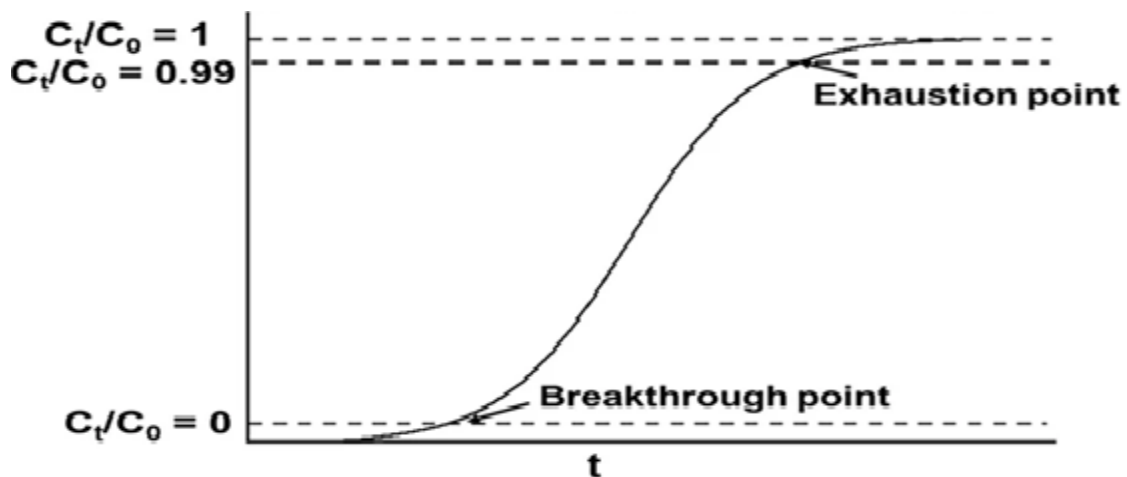
Après un certain temps, le soluté commence à apparaître à la sortie de la colonne. Ce moment correspond au temps de percée, souvent défini lorsque : $0 < C/C_0 < 1$

À partir de ce moment, l'efficacité de la colonne commence à diminuer.

✓ Saturation du lit

Lorsque l'adsorbant devient saturé, la concentration à la sortie devient presque égale à la concentration d'entrée : $C \approx C_0$

La colonne n'adsorbe plus le soluté et il faut remplacer l'adsorbant.



Courbe de Percée

2.6. Facteurs influençant la dynamique de l'adsorption

Plusieurs paramètres influencent la vitesse d'adsorption :

A. Température

L'adsorption physique diminue généralement lorsque la température augmente.

B. Pression ou concentration

Une augmentation de la concentration du soluté favorise l'adsorption.

C. Surface spécifique de l'adsorbant

Plus la surface est grande, plus la capacité d'adsorption est élevée.

D. Taille des particules

Des particules plus petites favorisent la diffusion et accélèrent l'adsorption.

E. Débit du fluide

Un débit trop élevé peut diminuer le temps de contact et réduire l'efficacité de l'adsorption.

2.7. Applications industrielles de l'adsorption

La dynamique de l'adsorption est utilisée dans plusieurs procédés industriels :

- ✓ Purification de l'air
- ✓ Décoloration des solutions
- ✓ Traitement des eaux usées
- ✓ Récupération des solvants
- ✓ Séparation des gaz