

Chapitre I : Méthodes de séparation

1) Filtration

En chimie, un procédé de séparation est une technique ou une technologie servant à transformer un mélange de substances en deux ou plusieurs composants différents. Les buts de ce type de procédé peuvent être divers : **Purification** : des impuretés doivent être extraits du composé d'intérêt ; **Concentration** : élimination d'une partie du solvant ; **Fractionnement** : séparation d'un mélange complexe en plusieurs mélanges différents.

Le principe d'un procédé de séparation est d'utiliser une différence de propriétés entre le composé d'intérêt et le reste du mélange. Plus la différence de propriété sera grande, plus la séparation sera aisée. Ainsi le choix du procédé de séparation débute par une bonne connaissance de la composition du mélange et des propriétés des différents composants.

I. Techniques de séparation

On peut distinguer 2 grandes classes de procédés de séparation : les procédés à séparation mécanique et les procédés à séparation par diffusion

Séparation mécanique :

Sédimentation (incluant la flottation et la décantation)

Filtration

Centrifugation (incluant les cyclones)

Centrifugation

Électrophorèse

Séparation par diffusion

Distillation

Chromatographie

Extraction

Extraction liquide-liquide

Extraction liquide-solide ou encore extraction sur phase solide (SPE)

Microextraction sur phase solide (SPME)

Enfleurage

Absorption

Sublimation

Évaporation

1.Séparation mécanique

1.1.Filtration

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux.

L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration se nomme filtrat, et ce que le filtre retient se nomme un résidu (aussi communément appelé "gâteau" ou rétentat). Comme illustré sur la Figure 1

1.2 Principe de filtration

La filtration s'opère selon deux modes : la filtration de surface (membranaire) et la filtration en profondeur (dans la masse ou d'épaisseur). Figure 2

Chapitre I : Méthodes de séparation

1) Filtration

1.2.1 Filtration de surface

Le diamètre des particules est supérieur au diamètre des pores ; c'est-à-dire que les substances à filtrer sont retenues ne serait-ce qu'en raison de leur taille. En règle générale, le filtre n'a qu'une faible profondeur et est constitué de membranes très fines.

Les tamis, les toiles filtrantes, le papier-filtre, la céramique poreuse le verre fritté, les grilles métalliques ou les membranes peuvent être des filtres (figure3)

1.2.2 Filtration en profondeur (d'épaisseur)

Pour filtrer des suspensions peu chargées en impuretés solides, la filtration en profondeur (également appelée filtration dans la masse) est bien adaptée. Cette technique consiste à faire circuler la suspension à travers une masse poreuse (souvent un lit de sable) (figure.4).

1.3 Principaux paramètres de la filtration

- **Débit de perméat** (ou filtrat) QF , est le débit traversant la membrane, en m^3/s ou en lit/heure (L/h) ou m^3/s .
- **Flux de perméat** est $J = QF/S$, débit de perméat par unité de surface de la membrane, exprimé généralement en $L/h.m^2$. ($L.h^{-1}.m^{-2}$)
- **Pression transmembranaire moyenne** p_{tm} est donnée par ; P_{tm} ou $\Delta p = (p_a + p_r)/2 - p_f$ Où p_a est la pression d'alimentation, p_r celle du retentât en sortie de la membrane et p_f la pression du filtrat.
- **Coefficient de tamisage** S de la membrane est ; $S = CF/C_r$, où CF est la concentration du perméat et C_r celle du retentât.
- **Taux de rejet** $R = 1 - S$; le rejet est total si $S=0$ ou $R=1$. Pour une membrane possédant des pores réguliers, le rejet sera nul pour des solutés de diamètre inférieur à celui des pores et sera égal à 1 pour des solutés de diamètres supérieurs à celui des pores.
- **Perméabilité hydraulique** $L_p = J/p_{tm}$ où J est le flux d'eau pure. Son unité se mesure en $L/(h.m^2 \text{ bar ou } m.s^{-1}.Pa^{-1})$. Elle dépend du diamètre et de la densité des pores ainsi que de l'épaisseur de la membrane.

1.4 Sens du flux

1.4.1 Filtration tangentielle

Dans le cas de la **filtration tangentielle**, appelée aussi **cross-flow filtration**, le fluide circule parallèlement à la **membrane filtrante** qu'il traverse sous l'effet de la pression. Dans ce cas, on distingue, trois courants : la solution d'alimentation, le rétentat ou concentrat et le perméat.

Une partie du liquide, le **perméat**, traverse la **membrane** sous l'effet d'un gradient de pression. Les particules les plus grosses se concentrent dans le liquide qui n'a pas traversé la **membrane**, appelé **rétentat** **Figure 5**

Le flux d'alimentation est continu et parallèle à la surface de la membrane. Réservée surtout à l'ultrafiltration et l'osmose inverse

Le débit de perméat (noté Q_p) est le paramètre qu'on cherche à maximiser (l/h) pour la filtration tangentielle

Selon la loi de darcy : $Q_p = \frac{\Delta P_m S}{\mu R_m}$ ou

Chapitre I : Méthodes de séparation

1) Filtration

$$Q_p = \frac{\Delta P_m \times S}{\mu \times R_m}$$

Q_p : débit de perméat

ΔP_m : différence de la pression transmembranaire

μ : viscosité du perméat (Pa.s)

R_m : résistance de la membrane filtrante

S : surface de la membrane

$$\Delta P_m = P_{moy} - P_p$$

$$\text{Avec } P_{moy} = \frac{PA + PR}{2}$$

avec ΔP_m : différence de la pression transmembranaire

(P_{moy}) : pression moyenne coté« alimentation & rétentat »

(PA) : pression entrée de l'alimentation

(PR) : pression sortie du rétentat

(PP) : pression sortie du perméat (filtrat)

1.4.2 Filtration frontale (Classique)

La **filtration frontale**, ou **dead-end filtration** : consiste à faire passer le fluide à épurer perpendiculairement à la **surface du filtre**. On distingue alors deux courants, la solution d'alimentation et le filtrat ou perméat. Le produit liquide est forcé (grâce à une pompe ou à la gravité) à traverser frontalement un milieu poreux (appelé médium ou milieu filtrant) chargé d'arrêter (à sa surface et/ou en profondeur) les particules qu'il contient. Il se forme alors à la surface du milieu filtrant un dépôt de sédiments (particules arrêtées) appelé gâteau de filtration.

Ce type de filtration est donc surtout employé pour la filtration la microfiltration figure 6.

Le débit de filtrat (noté QF) est le paramètre qu'on cherche à maximiser (l/h) pour la filtration classique

$$QF = \frac{S \times \Delta P}{RS \times \eta \times e}$$

S : surface filtante

Δp : Pa-Pf

RS : résistance spécifique du médium filtrant

η : viscosité du filtrat

e : épaisseur du médium filtrant

1.5 Adjuvants de filtration

Les adjuvants de filtration sont des particules artificielles que l'on met dans le liquide à filtrer afin d'éviter le colmatage des filtres. Inertes chimiquement et rigides, les adjuvants de filtration possèdent d'excellentes propriétés de rétention, on les utilise pour retenir des particules à partir de 20-25 μm et jusqu'à 0,1-0,2 μm. Lorsqu'on utilise les adjuvants de filtration on parle alors de filtration par alluvionnement. Les adjuvants utilisés sont les suivant

- **Diatomites** : Connue sous le nom de Kieselguhr, sont des roches sédimentaires de silice d'origine marine, dont les dimensions varient de 5 à 100 μm.
- **Perlite** : C'est une roche volcanique vitreuse, riche en silice et alumine, à haute température elle devient très légère.

Chapitre I : Méthodes de séparation

1) Filtration

- **Cellulose**
- **Charbon filtrant** : c'est un sous-produit de la fabrication du papier

1.8 Procédés de filtration

- **Filtration par gravité**: le mélange est soumis uniquement à la pression atmosphérique. Le liquide passe à travers le support filtrant, qui peut être du sable par exemple, tandis que le solide est récupéré sur le support filtrant (figure 9).
- **Filtration sous vide**: La vitesse de filtration est augmentée par la création d'une dépression en aval du matériau filtrant (Figure 10). C'est le mode de filtration utilisé d'une manière courante pour les verres frittés et les membranes filtrantes.
- **Filtration sous pression** : La vitesse de filtration est augmentée en exerçant une pression sur le liquide à filtrer en amont du matériel filtrant représenté par une membrane filtrante.
- **Filtration sous pression réduite**: le mélange est soumis d'un côté du filtre à la pression atmosphérique, et de l'autre côté, où sort le filtrat, à une dépression réalisée grâce à une pompe à vide.

1.9 Quelques définitions

Perméat : correspond au filtrat ; c'est la fraction du liquide traité qui traverse la membrane filtrante.

Rétentat : on parle encore de concentrat ; c'est la fraction du liquide traité qui ne traverse pas la membrane filtrante.

Flux de perméat (noté J) le débit de filtrat pour un m^2 de surface membranaire ($l/H/m^2$)

Seuil de coupure : Poids moléculaire des molécules retenues à 90% par la membrane dans des conditions opératoires données. Il s'exprime en Dalton (Da) ou g/mol. **Microfiltration (MF), Ultrafiltration (UF), Nanofiltration (NF)**

Pression transmembranaire : ou différence de pression transmembranaire notée DPTM ou ΔP_m ; c'est la différence de pression existant entre l'alimentation (coté rétentat) et le perméat.

Taux de rétention : proportion de molécules retenues par la membrane par rapport à la concentration de ces molécules dans l'alimentation.