

Deuxième partie : Procédés de séparation par membrane

Chapitre I : Généralités et définitions

I.1. Généralités

Les procédés de séparation membranaire sont utilisés pour séparer et surtout concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution, ou pour séparer des particules ou des microorganismes en suspension dans un liquide. Le but recherché peut être de concentrer une solution, d'isoler ou de séparer un ou plusieurs constituants. Pour ce faire, des membranes sélectives sont utilisées, c'est-à-dire des barrières minces, qui sous l'effet d'une force arrêtent ou laissent passer des substances entre les deux milieux qu'elles séparent (Figure ci-dessous). Cette force peut être un gradient de pression, un gradient de potentiel électrique ou un gradient de potentiel chimique, souvent assimilé à un gradient de concentration.

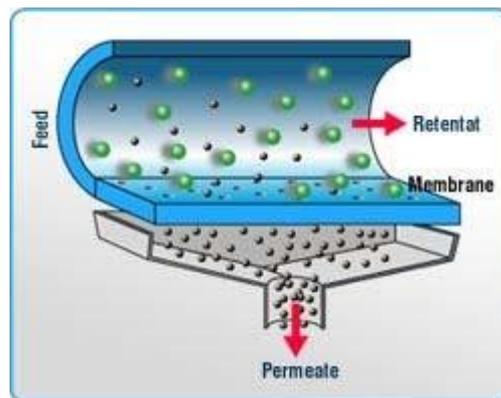


Schéma du principe du fonctionnement d'une membrane sélective.

Les procédés de séparation membranaire sont utilisés dans bien des domaines industriels tel que l'industrie laitière, celle des jus, de la bière, du vin et des produits dérivés, du traitement des eaux ou encore de l'industrie pharmaceutique. Les critères de sélection d'un procédé dépendent des caractéristiques des substances à séparer, de celles des membranes (dimension, forme, nature chimique, état physique, charge électrique, etc.) et des conditions hydrodynamiques d'opération. Le transfert sélectif des espèces repose soit sur leur capacité à diffuser à travers le matériau membranaire, soit sur leur taille par rapport à celle des pores de la membrane (effet de tamis, ou effet stérique), soit sur une exclusion ionique, soit encore sur une combinaison de ces différents mécanismes.

Les avantages des procédés de séparation membranaire sur d'autres procédés de séparation sont :

- Une séparation à température modérée, ce qui est particulièrement intéressant vis-à-vis des composés thermosensibles traités surtout en agro-alimentaire et biotechnologies ;
- Une absence de changement de phase, donc une moindre dépense énergétique comparée à des opérations comme la distillation ou l'évaporation ;
- Accumulation nulle de constituants dans la membrane, d'où un fonctionnement quasiment en continu, n'ayant pas besoin de cycle de régénération comme en échange d'ions. Des arrêts sont cependant nécessaires pour le nettoyage périodique des membranes.

I.2. Définition

Une membrane est une barrière de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, sélective, qui sous l'effet d'une force de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare. La sélectivité correspond à l'ensemble des taux de perméabilité aux différentes substances contenues dans une solution, la force de transfert recouvre le gradient de pression, de concentration, d'activité, de potentiel électrique ou encore de température. De ce fait les membranes incluent une grande variété de matériaux et de structure qui forment autant de possibilités de configuration et de classification.

La structure des matériaux permet de distinguer trois types de membranes : les membranes isotropes, elles ont des propriétés structurales constantes sur toute leur épaisseur ; les membranes anisotropes, leur structure composite varie de la surface de la membrane vers l'intérieur ; les membranes liquides.

Selon la nature des matériaux constitutifs des membranes on parle également de :

- Membranes organiques : la plupart d'entre elles sont actuellement fabriqués à partir de polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfones, polyamides, etc.) dont les qualités leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. La majeure partie des membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constituées de membranes organiques (90%) ;
- Membranes minérales ou inorganiques : de commercialisation plus tardive que les membranes organiques, ces membranes sont composées de corps entièrement minéraux, principalement les matières céramiques, le métal fritté et le verre. Leur arrivée a permis de travailler dans des conditions extrêmes de température et d'agression chimique, ce qui a ouvert de nouvelles voies dans la séparation par membrane ;

- Membranes composites : apparues de cela il y a une dizaine d'années, elles sont caractérisées par une structure asymétrique dont la peau est beaucoup plus fine que celle des membranes classiques non composites et par une superposition de plusieurs couches différenciées soit par leur nature chimique, soit par leur état physique. Elles peuvent être organiques (superposition de polymères organiques différents), organo-minérales ou minérales (association de carbone ou d'alumine comme support et de métaux tels la zircone, l'alumine et le titane) ;
- Membranes échangeuses d'ions : introduites en 1950, elles fonctionnent sur le principe du rejet d'ions grâce à leur charge. Les techniques d'électrodialyse, la dialyse et l'électrodésionisation font appel à cette technologie. Leur principal domaine d'application actuel est le dessalement de l'eau et le traitement des effluents des installations de protection et de décoration des métaux.

La mise en œuvre des procédés de séparation membranaires met en jeu des phénomènes dont la maîtrise influe sur la qualité du système. Rappel de quelques définitions :

- La pression osmotique est la différence de pression qui existe de part et d'autre d'une membrane perméable séparant un liquide pur d'un autre contenant un corps dissous. Cette différence de concentration entraîne un phénomène d'osmose qui se traduit par un flux d'eau de la solution pure (ou la plus diluée) vers la solution la plus concentrée. Ce transfert a pour but de rétablir une pression d'équilibre dans les deux milieux. Si l'on applique par contre une pression supérieure à cette pression d'équilibre sur la solution la plus concentrée, le transfert d'eau va s'opérer en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse.
- Les mécanismes de transfert de matière à travers des membranes semi-perméables. Trois grands modèles en expliquent les principes : le modèle de solubilisation-diffusion, le modèle basé sur la notion de capillaire et celui de type phénoménologique de Kedem et Katchalsky.
- Le phénomène de polarisation se traduit par une accumulation progressive des espèces (particules, molécules,...) arrêtées à la surface de la membrane. Les conséquences, réversibles, sont une diminution du flux de perméat et une variation de la sélectivité qui altèrent le rendement du système.
- Le colmatage modifie les propriétés filtrantes d'une membrane excepté la compaction et la modification chimique. Le stade ultime est une obstruction des pores entraînant à la fois des variations de perméabilité et de sélectivité.