

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN - MOHAMED BOUDIAF
FACULTÉ DE CHIMIE
Département de Génie Chimique

*Module : Procédés d'Adsorption et séparations membranaires
M1-GPE*

2^{ème} Partie

Les Procédés de Séparation Membranaire

BENHAMOU Abdellah

INTRODUCTION

Les techniques séparatives conventionnelles telles que distillation, cristallisation, filtration et extraction par solvant, se sont récemment enrichies d'un groupe de procédés qui, comme élément principal, utilisent des membranes. Disposées sur le trajet de mélanges chimiques, celles-ci sont capables d'en séparer les constituants en fonction de propriétés de transport, et sont pour cette raison qualifiées de permsélectives.

Les membranes sont actuellement utilisées sur une large échelle pour produire de l'eau douce à partir d'eau de mer ou d'eau saumâtre, pour traiter des effluents industriels gazeux ou liquides, et en récupérer éventuellement les constituants valorisables; pour fractionner, concentrer, purifier des solutions macromoléculaires dans les industries alimentaire et pharmaceutique, pour débarrasser le sang de l'urée et de toxines diverses, ou pour y introduire à un rythme lent et déterminé certaines substances indispensables.

Les techniques afférentes peuvent être très dissemblables au plan des applications, des structures membranaires et des forces motrices utilisées pour le transport; les ions d'une solution sont transportés par électrodialyse à travers une membrane ionique sous l'effet d'une tension électrique, tandis qu'en dialyse les solutés diffusent à travers une membrane neutre sous le seul effet d'une différence de concentration ; en osmose inverse et en ultrafiltration, le solvant est séparé du soluté sous l'effet d'une différence de pression imposée de part et d'autre de la membrane microporeuse, tandis que la perméation de gaz nécessite une membrane dense.

Des caractéristiques communes rendent ces techniques particulièrement séduisantes: dans de nombreux cas, elles sont plus rapides, plus efficaces et plus économiques que les procédés conventionnels ; effectuées la plupart du temps à température ambiante, elles permettent de traiter des constituants thermosensibles ou thermodégradables sans altérer leurs qualités physicochimiques, biochimiques ou organoleptiques.

Ces avantages sont particulièrement importants pour les industries relevant de la biotechnologie (pharmaceutique ou agroalimentaire), ou dans le domaine médical.

L'élément le plus important est bien sûr la membrane elle-même. Au sens large, une membrane perméselective est une interphase séparant deux milieux, et contrôlant le transport des constituants d'une manière spécifique. Elle peut être homogène ou composite, dense ou poreuse, isotrope ou anisotrope, solide ou liquide, ionique ou neutre ; son épaisseur peut aller d'une centaine de nanomètres à plusieurs millimètres, et le transport y avoir lieu par diffusion ou convection induit par des gradients de concentration, de pression, de potentiel électrique, ou de température.

Le terme *membrane* inclut de ce fait une grande variété de matériaux et de structures.

L'utilisation des membranes remonte à la nuit des temps si l'on songe que la plupart des techniques alimentaires traditionnelles (épuration, fermentation, conservation) utilisaient des emballages ou des récipients aux parois plus ou moins semi perméables, constitués de matériaux naturels d'origine végétale (bois, feuilles, liège) ou animale (cuir et peaux) ou encore artificiels, à base de terre cuite ou de céramique. On savait notamment conserver les œufs des mois durant, et empêcher les transports à travers la coquille, en revêtant celle-ci d'une couche fine pellicule de vernis, de cire ou de graisse de mouton...

Principales étapes de découverte des procédés membranaires

Découvertes	Auteur (s)	Date (s)
Osmose	Abbé A. Nollet	1748
Dialyse, Perméation de gaz	T. Graham	1829-1866
Lois de diffusion	A. E. Fick	1855
Pression osmotique	F. Raoult, G. Pfeffer, J. Van't Hoff	1860-1887
Membranes microporeuses	L. Pasteur, H. Bechhold, R. Zsigmondy	1880-1919
Lois de distribution des ions	T. Theorell, K.H. Meyer et J.F. Sievers	1935-1936
Hémodialyse	W. J. Kolff	1944
Electrodialyse	K.H. Meyer et W. Strauss, W. Juda	1944-1959
Membranes anisotropes, O. I	S. Loeb et S. Sourirajan	1960
Module plan-spiralé, fibres creuses		1967-1971
Colonne de perméation	J. M. Thorman et S. T. Hwang	1980

La sélectivité, la perméabilité et la durée de vie sont en effet les trois principaux critères de succès d'une membrane, et les techniques membranaires n'ont pu se développer qu'avec l'apparition de matériaux doués au plan de transport de performances suffisantes. Améliorées d'une manière continue depuis le milieu du siècle dernier, elles correspondent à un chiffre d'affaires mondial annuel officieusement estimé à plus de 10 milliards de dollars , en incluant les membranes et les équipements annexes .

Leur conception modulaire et automatisée rend ces techniques plus aptes à la décentralisation, et par là plus efficaces que leurs concurrentes, souvent prisonnières de grands complexes industriels. Leur développement, tributaire du prix de l'énergie et de sa nature, l'est aussi d'une certaine volonté de respecter l'environnement

Pour toutes ces raisons, l'utilisation des membranes en tant que procédé physique de séparation s'est très largement répandue et ce dans des secteurs d'activité très diversifiés. Parmi ces secteurs, on peut citer les plus importants tels que ceux du traitement de l'eau (traitement des effluents et production d'eau potable), de la pétrochimie, de l'agroalimentaire ou de l'industrie pharmacologique.

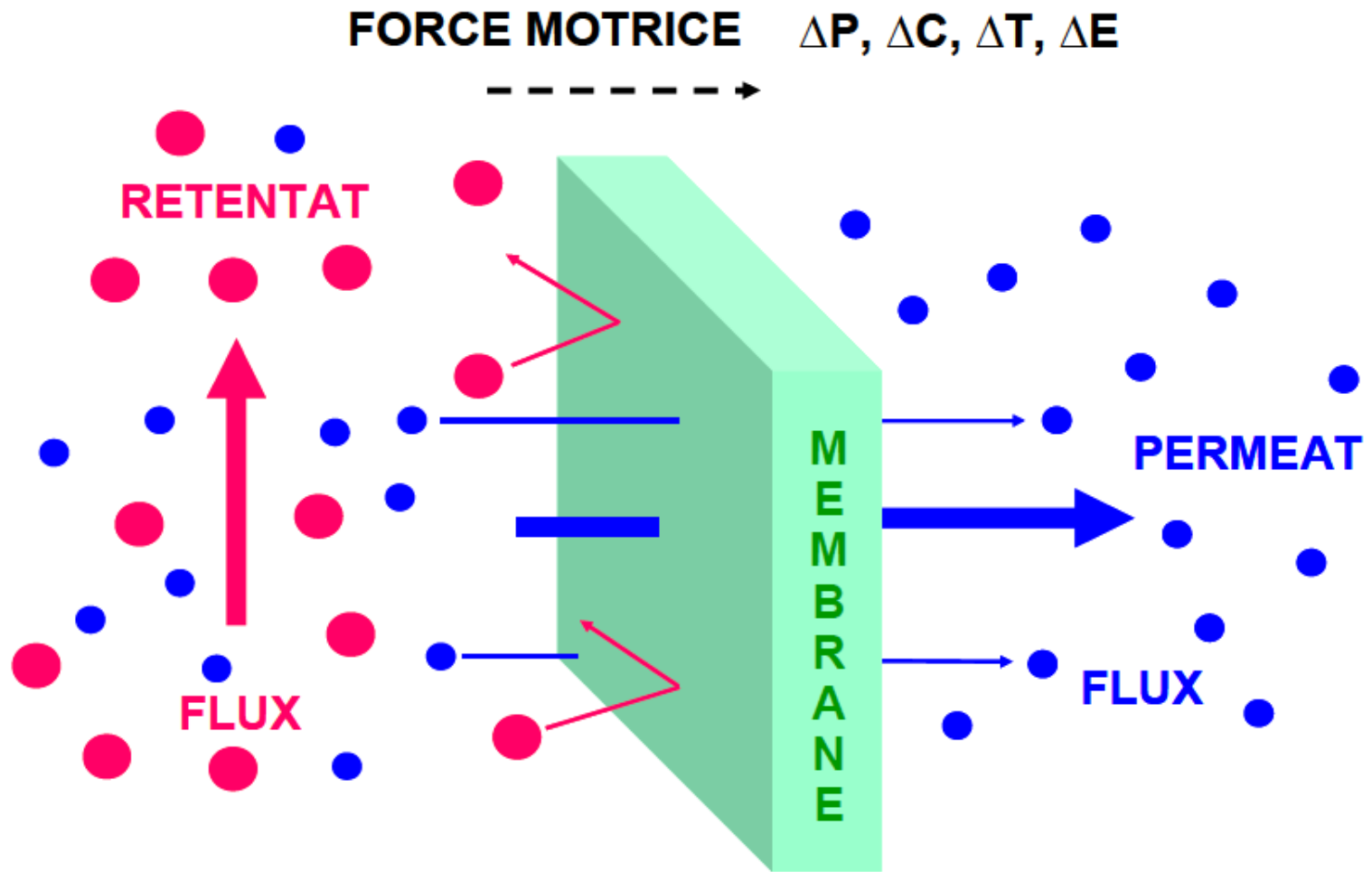
Etant donné les nombreuses applications visées, les caractéristiques des fluides à traiter et les phénomènes mis en jeu lors de la séparation peuvent être très variées (*colmatage, transport, sélectivité, ...*).

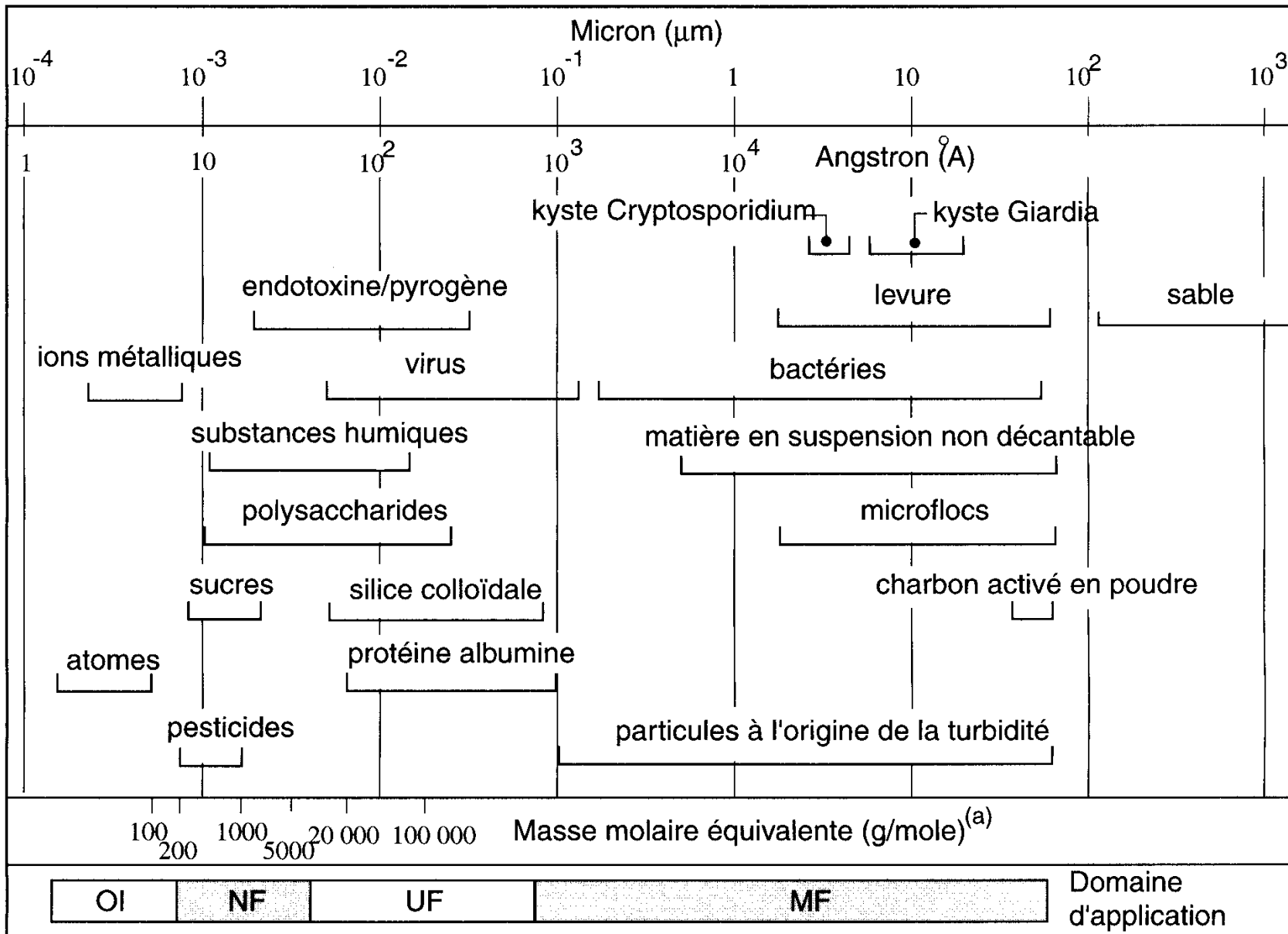
Principe

Une membrane est une barrière physique constituée d'un matériau poreux semi-perméable qui autorise le passage sélectif de certains composés d'un milieu à un autre. Ce transfert s'effectue sous l'action d'une force motrice, qui peut être un gradient de potentiel électrique, de concentration, d'activité ou de pression. Dans ce dernier cas, les procédés concernés sont regroupés sous le terme « procédés baromembranaires » et la force agissante qui consiste en une différence de pression appliquée de part et d'autre de la membrane est appelée pression transmembranaire.

En fonction de la taille des pores de la membrane mise en œuvre, on distingue quatre procédés baromembranaires : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI) (cf. figure I.1). À noter que dans le cadre de la production industrielle d'eau potable, ce sont principalement les membranes d'ultrafiltration qui sont choisies pour réaliser l'étape de clarification.

Membrane : barrière permselective placée entre 2 milieux afin de permettre ou d'interdire le transfert des espèces considérées





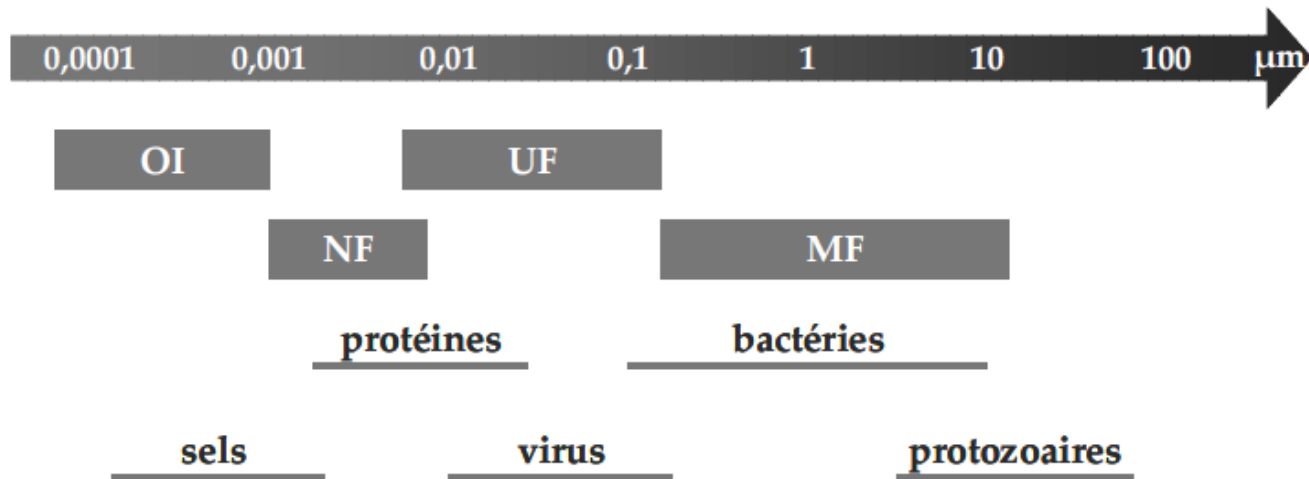
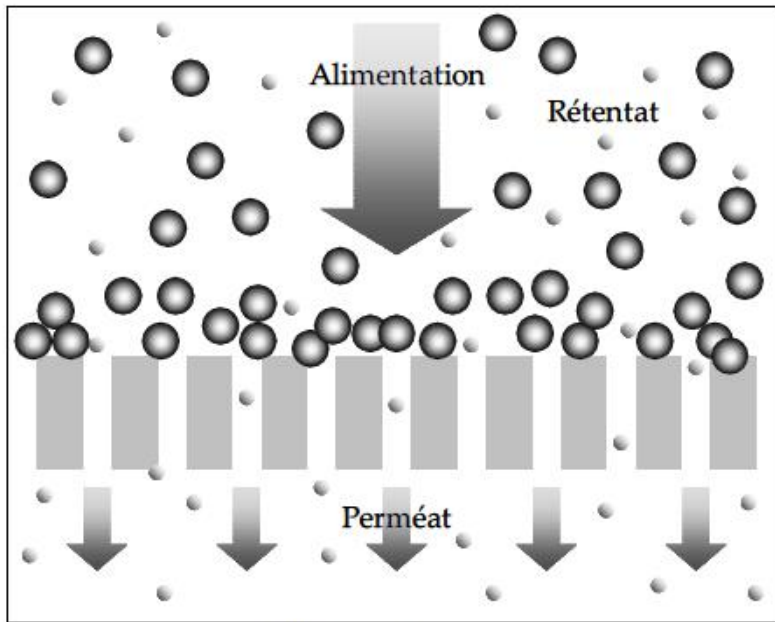


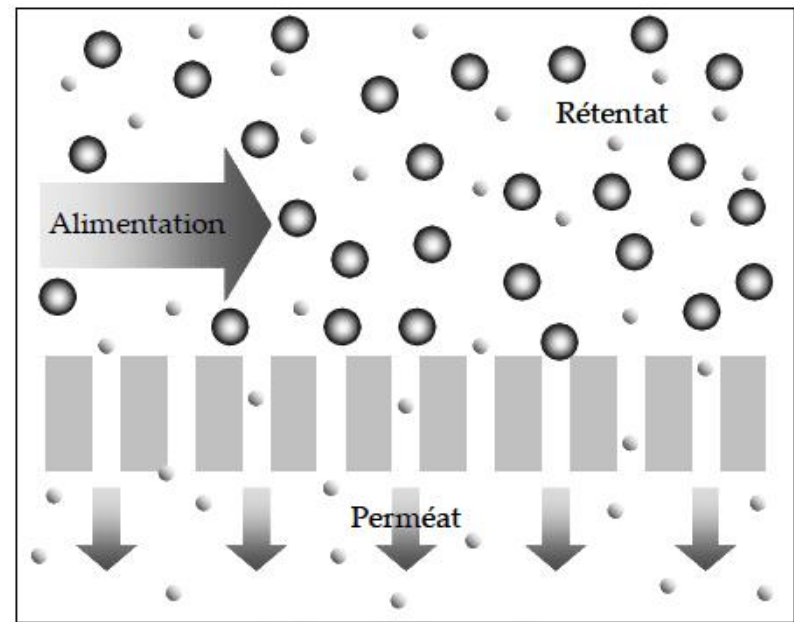
figure I.1 : Classification des procédés baromembranaires en fonction de la taille des pores.

A l'issue de l'opération de filtration, la membrane sépare le fluide en deux phases de compositions différentes. La première, le perméât (ou filtrat), est constituée du solvant et des éléments capables de traverser la membrane tandis que la seconde, le retentât, est enrichie en composés retenus.

A noter que pour une suspension d'alimentation donnée, les compositions respectives du perméât et du retentât vont dépendre de la configuration mise en œuvre au cours de l'opération de filtration. En effet, en fonction de la circulation du fluide à traiter par rapport au média filtrant, on distingue deux modes de fonctionnement : la filtration frontale et la filtration tangentielle



Filtration frontale



Filtration tangentielle

figure I.2 : Représentation schématique de la filtration frontale et de la filtration tangentielle.

Dans la première configuration (filtration frontale), la suspension d'alimentation est amenée perpendiculairement à la surface de la membrane. Dans ce cas, toute la matière retenue s'accumule en amont de la membrane. Cette accumulation conduit d'une part à une augmentation progressive de la concentration en éléments retenus dans le compartiment retentât et d'autre part favorise la formation d'un dépôt de filtration (mécanisme de colmatage qui sera explicite dans la suite de cette partie). Ces deux effets combinés modifient le passage des composés à travers la membrane.

En filtration tangentielle, le fluide circule parallèlement à la surface de la membrane. La vitesse de circulation impose alors une contrainte de cisaillement qui limite l'accumulation de matière à la surface de la membrane ainsi que les effets qui en résultent.

Les procédés de séparation membranaires sont utilisés pour:

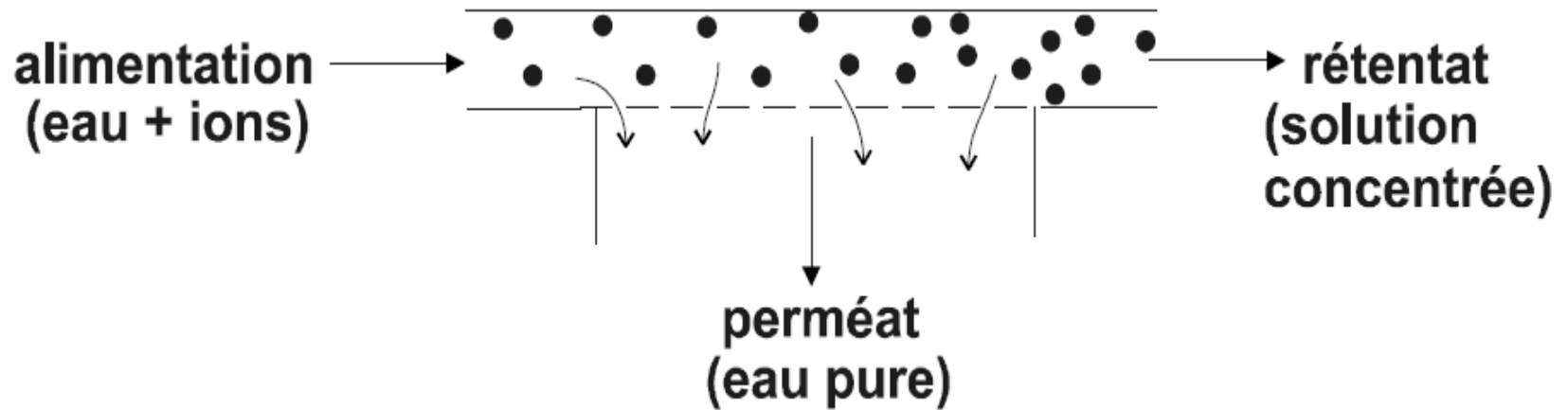
- Séparer ou Concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution ou pour séparer des microorganismes en suspension dans un liquide.

Le but recherché peut être de :

- De concentrer une solution
- D'isoler ou de séparer un ou plusieurs constituants
- Pour ce faire des membranes sélectives sont utilisées comme barrières minces, qui sous l'effet d'une force arrêtant ou laissant passer des substances entre les deux milieux qu'elle séparent.

Cette force peut être :

- 1. Un gradient de pression*
- 2. Un gradient de potentiel électrique*
- 3. Un gradient de potentiel chimique*



Les procédés de séparation membranaires sont utilisés dans bien de domaines industriels tel que:

- *L'industrie laitière*
 - *L'industrie des jus*
 - *L'industrie du vin et produits dérivés*
 - *Traitement des eaux*
 - *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...) et des conditions hydrodynamiques d'opération;

Le transfert sélectif des espèces repose sur:

- ❖ Leur capacité à diffuser à travers le matériau membranaire
- ❖ Leur taille par rapport à celle des pores des membranes (effet de tamis ou effet stérique).
- ❖ L'exclusion ionique.
- ❖ Une combinaison de ces différents mécanismes.

Avantages des procédés de séparation membranaire sur d'autres procédés de séparation:

✓ *Une séparation à T° modérée, ce qui est particulièrement intéressant vis-à-vis des composés thermosensible traités surtout en agroalimentaire et biotechnologiques*

✓ *Absence de changement de phases, donc une moindre dépense d'énergie comparée à des opérations comme la distillation et l'évaporation*

✓ *Accumulation nulle des constituants dans la membrane, d'où un fonctionnement quasiment en continu, n'ayant pas besoin de cycle de régénération comme en échange d'ions ; cependant des arrêts sont nécessaires pour le nettoyage périodique des membranes.*

Afin de résoudre d'une manière rationnelle une séparation particulière, une membrane doit être élaborée à partir d'un matériau choisi en fonction de certains critères, en rapport avec l'opération envisagée. Elle doit ensuite être disposée d'une manière efficace dans un appareil.

Le matériau à travers duquel a lieu le transport sélectif constitue la membrane. Les membranes sont incorporées dans un dispositif appelé « Module ». Celui-ci se répète à un certain nombre d'exemplaires disposées selon divers arrangements, dans une unité.