

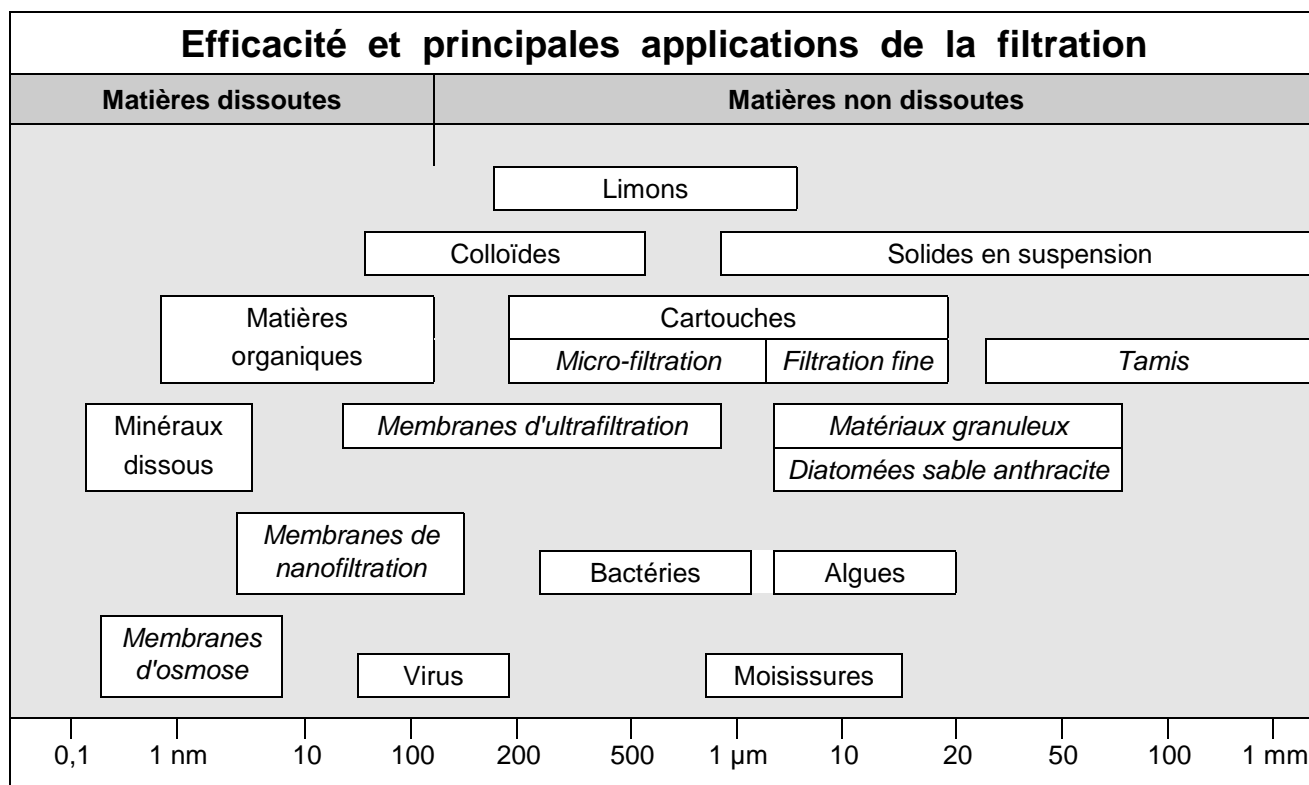
## LES TECHNIQUES SÉPARATIVES SUR MEMBRANE

GE 9

Au cours de l'histoire du traitement de l'eau, les techniques de filtration ont évolué dans le sens de la mise au point de procédés permettant une filtration de plus en plus fine : de la filtration sur gravier des temps les plus anciens aux cartouches en céramique poreuse stérilisantes mises au point par Pasteur et Chamberland au siècle dernier puis réapparues sur le marché, après la Seconde Guerre mondiale, sous la forme de cartouches bobinées.

La mise au point très récente des techniques séparatives mettant en jeu des membranes a curieusement commencé par les membranes les plus fines d'osmose inverse.

Ce n'est qu'au cours de la dernière décennie que sont apparues des membranes moins fines d'ultrafiltration, puis très récemment de nanofiltration.



### Filtration frontale

Dans ce mode de filtration l'eau s'écoule perpendiculairement à la surface de la membrane.

Les particules ont donc tendance à s'accumuler sur cette surface de membrane pour former un gâteau d'épaisseur croissante.

Le filtration frontale permet des taux de conversion élevés (jusqu'à 95 % dans certains cas).

Un décolmatage de la membrane est possible par retour d'eau filtrée pour les membranes de microfiltration et d'ultrafiltration.

Pour ces raisons la filtration frontale est réservée aux eaux très pauvres en matières solides et colloïdales (traitements de finition physique et microbiologique, déminéralisation par osmose inverse d'eaux micro-filtrées ou ultrafiltrées).

## Filtration tangentielle

En filtration tangentielle, le flux d'eau à filtrer est dirigé parallèlement à la surface de la membrane.

Les matières solides et colloïdales n'ont pas tendance à s'accumuler à la surface de la membrane mais au contraire à être évacuées vers l'orifice de rejet. De ce fait la vitesse de colmatage est beaucoup plus lente qu'en filtration frontale.

La filtration tangentielle ne permet, par contre, que des taux de conversion relativement faibles (rarement plus de 50 %).

Ce mode de filtration est toujours adopté quand l'eau à filtrer a un pouvoir colmatant élevé.

## Ultrafiltration et nanofiltration

Les membranes d'ultrafiltration ont des porosités allant de 0,5 µm à 0,2 µm environ.

Obtenues par synthèse minérale (céramiques) ou organiques, ces membranes ont été largement utilisées pour concentrer des liquides par séparation de macromolécules organiques de l'eau, dans l'industrie agro-alimentaire (concentration des lactosérums notamment), l'industrie pharmaceutique (concentration des antibiotiques des jus de fermentation) et dans l'industrie métallurgique (traitement des huiles de coupe).

Ce n'est que depuis que les membranes d'ultrafiltration font l'objet d'essais d'application au traitement de clarification d'eaux de surface pour la préparation d'eaux destinées à la consommation humaine, en substitution aux procédés classiques de floculation et décantation.

Des applications sont également possibles en traitement de finition après une clarification classique, ou bien comme filtration stérilisante.

Outre leur pouvoir clarificateur, les membranes d'ultrafiltration conduisent à l'élimination des germes présents dans l'eau, ainsi que des colloïdes et des composés organiques de masse molaire élevée.

Ces membranes travaillent en filtration frontale dans le cas d'eaux très peu chargées en solides en suspension et en colloïdes, et en mode tangentiel lorsque l'eau à traiter est riche en solides et en colloïdes.

Lorsqu'elles sont colmatées, les membranes sont lavées à l'aide d'eau ultrafiltrée, soit en tangentiel, soit à contre-courant.

Les taux de conversion pratique sont compris entre 50 % (pour les eaux chargées) et 95 % (pour les eaux claires).

La synthèse organique a permis de mettre au point de membranes de nanofiltration proches de celles utilisées pour l'osmose inverse, avec des porosités se situant entre celles l'ultrafiltration et celles de l'osmose inverse.

Ces membranes permettent une rétention non seulement de la totalité des solides, des colloïdes, des organismes vivants, mais aussi des virus, des endotoxines et des micropolluants organiques ou organométalliques.

Elles assurent en outre une réduction de la teneur en ions bivalents et trivalents. Par contre, la teneur en ions monovalents n'est pas modifiée de façon sensible.

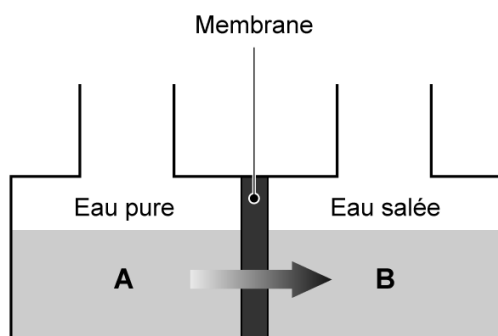
## Osmose inverse

### Phénomène d'osmose

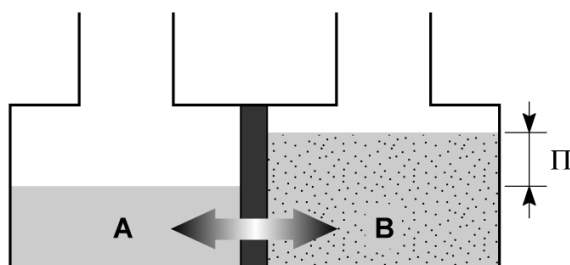
L'osmose est un phénomène naturel de diffusion entre deux solutions de concentrations différentes séparées par une membrane semi-perméable.

Une membrane semi-perméable est un tissu mince qui permet la diffusion préférentielle de l'eau et la rétention des éléments minéraux dissous, des colloïdes et des bactéries.

Si nous considérons un système constitué d'un récipient séparé en deux compartiments par une membrane semi-perméable et contenant de l'eau pure et dans l'autre de l'eau salée, nous observons que l'eau pure diffuse à travers la membrane pour abaisser le taux de concentration de l'eau salée (fig. 1).



- a** L'eau pure **diffuse** à travers la membrane pour abaisser le taux de concentration de l'eau salée.



$\Pi$  : pression osmotique de la solution A

- b** La pression atteint une valeur qui interrompt la diffusion de l'eau pure vers l'eau salée

→ **Équilibre osmotique**

Fig. 1 - Principe de l'osmose

Le passage de l'eau pure vers l'eau salée provoque une augmentation de volume de cette dernière et la formation d'une colonne d'eau dont un des effets physiques se traduit par une pression supérieure exercée sur la membrane côté eau salée.

Conséquemment à cette élévation de pression, il arrive un moment où sa valeur interrompt la diffusion de l'eau pure vers l'eau salée à travers la membrane.

Le système est en équilibre (absence de mouvement de fluide).

La valeur de cette pression hydrostatique d'équilibre est appelée pression osmotique de la solution concentrée considérée.

### Pression osmotique

La pression osmotique d'une solution à un taux de concentration C est définie par la relation :

$$P_o = C \cdot R \cdot T.$$

ou

R = constante des gaz parfaits

T = température absolue en ° Kelvin

C = taux de concentration défini par la relation  $N_i$  ou N représente la concentration moléculaire de l'élément dissous et i son degré de dissociation à l'équilibre

La pression osmotique est donc une caractéristique physique liée à la concentration de chaque solution et elle croît avec celle-ci.

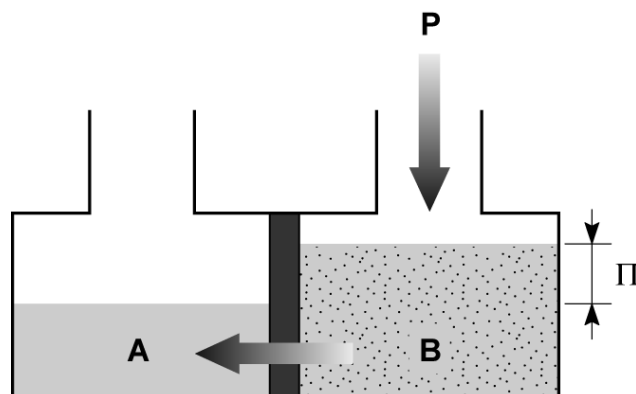
En prenant pour base une solution aqueuse de chlorure de sodium, la pression osmotique s'accroît théoriquement de 0,7 bar par g/litre de salinité.

### Osmose inverse

Le phénomène d'osmose est réversible. Il suffit d'appliquer sur la solution la plus concentrée une pression supérieure à sa pression osmotique  $P_o$  pour inverser le sens du passage de l'eau pure.

Dès lors l'eau salée produit de l'eau épurée.

C'est le phénomène d'osmose inverse (fig. 2).



$$P > \Pi$$

P : pression totale

$\Pi$  : pression osmotique

Fig. 2 - Principe de l'osmose inverse

### Mécanisme de l'osmose inverse

Plusieurs schémas ont été présentés pour expliquer le phénomène de séparation eau/sels minéraux au niveau de la membrane semi-perméable dans ce processus de traitement.

Le modèle qui prédomine est le phénomène de solubilisation - diffusion.

Selon cette théorie, chaque composant de la solution à traiter se dissout dans ce processus de traitement.

Deux forces contribuent donc au passage d'un composant au travers d'une membrane gradient de concentration et gradient de pression.

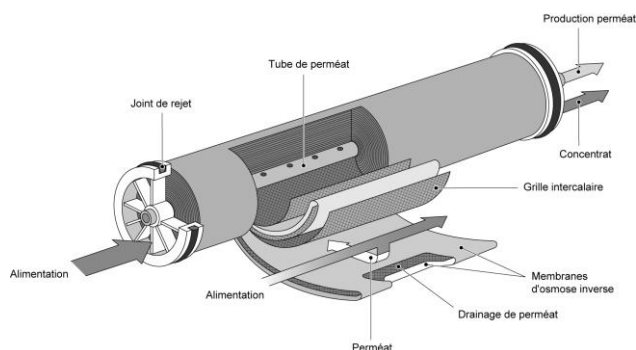
## Membranes d'osmose inverse

### Constitution

Différents matériaux ont été utilisés pour la fabrication des membranes. Les plus couramment employés sont l'acétate de cellulose et le polyamide.

Ils sont mis en oeuvre, soit sous forme de fibres creuses d'un diamètre extérieur d'environ 80 à 100 micromètres, soit sous forme d'une double spirale enroulée autour d'un collecteur.

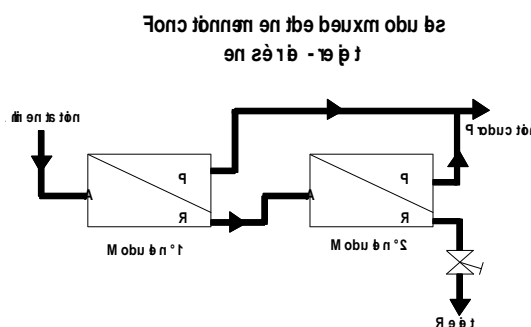
Différentes générations de membranes se sont succédées, de plus en plus performantes sur les plans qualitatif (séparation des sels) et quantitatif (débit d'eau épurée à une pression donnée).



### Configuration de l'osmoseur

Afin d'optimiser les performances d'un osmoseur, il est possible de retraiter les rejets d'un premier étage d'osmose par un deuxième étage. Ce mode de fonctionnement permet une économie notable d'eau.

Exemple :



La **double osmose inverse ou biosmose** consistant à traiter le perméat d'un premier étage sur un deuxième étage permet d'obtenir une eau de qualité supérieure moyennant un pré-traitement adapté.

### Cas particulier de l'osmose inverse finale

Les osmoseurs utilisés en tête sont destinés plus particulièrement à la déminéralisation (rétention de 90 % des sels dissous). L'eau osmosée n'est pratiquement jamais utilisée telle quelle, elle subit un traitement complémentaire à base de résines échangeuses d'ions (Lits mélangés) afin d'obtenir des résistivités compatibles avec le process.

Dans certains cas, l'osmose est utilisée en final, en tant qu'ultrafiltre. En effet, la porosité de la membrane est très faible (de l'ordre de 5 Angstroms) et permet une filtration excessivement performante, non seulement vis-à-vis des matières en suspension, mais également vis-à-vis des bactéries et des molécules organiques ; celles-ci sont éliminées lorsque leur masse molaire est supérieure à 300. L'osmose finale permet donc d'atteindre des niveaux de TOC (carbone organique) très bas (5 à 15 ppb).

### Protection des membranes

L'eau qui alimente un osmoseur est en général une eau de distribution qui présente une certaine minéralisation (TH, TAC ...). Au niveau de la membrane, l'eau pure va traverser (perméat) tandis que les sels vont se retrouver dans le rejet, donc en concentration beaucoup plus élevée.

Cette concentration importante risque de conduire à une précipitation des sels peu solubles, en particulier des sels de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ). Afin d'éviter ce phénomène, 3 possibilités existent :

- l'adoucissement, qui élimine le calcium (les sels de sodium sont tous solubles).

- l'acidification, qui transforme le TAC ( $\text{HCO}_3$ ) en  $\text{CO}_2$  et donc empêche la formation de carbonates.  
Inconvénient : le  $\text{CO}_2$  produit traverse intégralement la membrane et doit donc être éliminé.

- Les séquestrants qui empêchent la formation de  $\text{CaCO}_3$  et d'autres dépôts durs sur la membrane.

Par ailleurs, les eaux à traiter contiennent des particules en suspension susceptibles de colmater les membranes ; une filtration sera donc toujours installée en amont des membranes.

D'autres traitements peuvent être envisagés suivant la nature de la membrane :

- chloration (acétate de cellulose)
- déchloration (polyamide)
- décarbonatation sur résine.

### Nettoyage des membranes

Lorsqu'une membrane est souillée par un polluant quelconque, il est nécessaire de procéder à une décontamination ; celle-ci consiste à injecter un produit chimique que l'on fait tourner en circuit fermé sur la membrane (cuve + pompe). Un colmatage est détecté par l'accroissement de la perte de charge (perte de charge maxi : 3 bars).

Pollution	Produit chimique
$\text{CaCO}_3$	Acide spécifique
Hydroxyde de Fe, Al	Acide spécifique
Matières organiques	Base spécifique /détergent spécifique
Bactéries	Peroxyde d'hydrogène

Nota : Les produits chlorés ou à base de formol sont généralement à proscrire (fonction de la nature de la membrane).

### Qualité de l'eau traitée par osmose inverse

#### Qualité physique

L'eau obtenue par traitement sur membranes d'osmose inverse est exempte de toute particule solide et de tout colloïde.

La qualité physique de l'eau traitée est indépendante des conditions opératoires (composition de l'eau à traiter, pression d'alimentation du module, taux de conversion).

La qualité d'une eau épurée par osmose inverse se définit en termes de composition physique, de composition chimique (minérale et organique) et de population microbiologique.

#### Qualité chimique minérale

D'une façon générale, la qualité de l'eau obtenue est définie par les fuites ioniques, par la teneur en  $\text{CO}_2$  de l'eau à traiter et son pH, ces deux dernières valeurs étant très étroitement liées.

La détermination de la qualité chimique obtenue par osmose inverse intègre de nombreux paramètres interactifs : composition ionique de l'eau à traiter, pH, fouling index, température, taux de conversion, pression d'alimentation, etc. Les calculs intégrant tous ces paramètres ne peuvent être effectués de façon fiable et rapide qu'à l'aide de programmes informatiques.

Il est bien évident que l'osmose inverse ne permet pas d'obtenir directement des qualités chimiques d'eau comparables à celles obtenues par les résines échangeuses d'ions.

#### Qualité chimique organique

Le pouvoir de rétention des membranes vis-à-vis des matières organiques permet d'obtenir des eaux de très haute qualité organique.

Théoriquement, l'eau traitée par osmose inverse est une eau apyrogène, puisque les endotoxines pyrogènes, de masse molaire très élevée, sont en totalité retenues par les membranes. Dans la pratique, cette théorie est presque toujours vérifiée.

Toutefois nul n'est à l'abri d'une détérioration ponctuelle de l'intégrité de la membrane ou de l'étanchéité des joints qui séparent le compartiment eau à épurer du compartiment eau épurée. De ce fait, il est imprudent de garantir l'obtention d'une eau apyrogène après traitement sur membranes d'osmose inverse.

#### Qualité microbiologique

Pour les mêmes raisons, il suffit d'une détérioration minime très ponctuelle de la membrane ou d'un joint d'étanchéité pour permettre le passage de quelques bactéries dans le compartiment eau épurée. Ayant franchi la membrane, ces bactéries sont capables de nidifier et de se multiplier.

Même si l'expérience montre que l'eau traitée par osmose inverse est presque toujours une eau stérile, il est impossible de garantir de façon absolue une telle stérilité.