

L'osmose inverse

L'osmose est un phénomène qui met en jeu deux solutions salines de concentrations différentes et une membrane semi-perméable (appelée également permselective).

Si on place une solution contenant un sel (avec une concentration c_0) et une solution d'eau pure dans deux compartiments séparés par une membrane M permselective (figure 1.1), on observe que le niveau de la solution saline augmente tandis que celui de l'eau pure baisse. Il y a donc un transfert d'eau au travers de la membrane et ce transfert a lieu jusqu'à l'équilibre des concentrations. La différence de niveau ainsi observée, notée Δh , correspond à une différence de pression appelée pression osmotique notée π (figure 1.2). La membrane utilisée est non poreuse et le mécanisme des transferts est un mécanisme de solution-diffusion. Si maintenant on exerce une pression p égale à π du côté de la solution saline, les échanges sont équilibrés entre les deux compartiments (figure 1.3). Ce phénomène d'osmose joue un rôle physiologique essentiel au niveau cellulaire [1].

Si on dépasse la valeur de la pression osmotique du côté du compartiment de la solution saline, les niveaux évoluent de façon inverse, il y a donc transfert d'eau pure de gauche à droite (figure 1.4) et la solution saline est « désalinisée ».

En première approximation, la loi de van't Hoff permet le calcul de la pression osmotique : $\pi = R T c i$, où i est le nombre d'ions dissociés (deux dans le cas de NaCl) et c la concentration molaire du soluté de la solution saline (avec de l'eau pure dans le deuxième compartiment). Avec $i = 2$ et une différence des concentrations molaires $\Delta c = 0,5882 \cdot 10^3 \text{ mol m}^{-3}$, on calcule ainsi la pression osmotique entre une eau de mer standard* (35 g L⁻¹) et l'eau pure à 20 °C : $\pi \approx 28,7 \cdot 10^5 \text{ Pa} \approx 28,7 \text{ bar}$ (dans ce cas, le Δh de la figure 1.2 aurait été d'environ 287 m !). Pour désaliniser de l'eau de mer, il faut donc une pression supérieure à 28,7 bar.

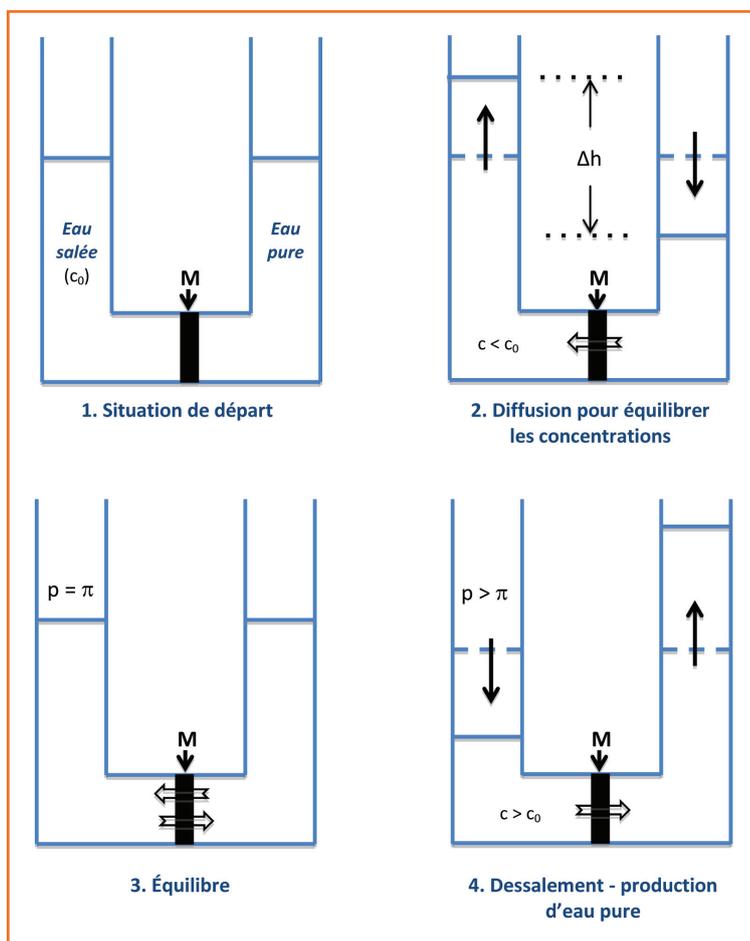


Figure 1.

Les membranes d'osmose inverse (OI)

Ces membranes se présentent sous la forme de deux couches superposées : une couche poreuse (structure de résistance) d'environ 500 μm d'épaisseur et une peau – la membrane proprement dite – de 0,1 à 0,5 μm d'épaisseur.

Les matériaux utilisés pour les fabriquer peuvent être l'acétate de cellulose, le polyamide (il existe plusieurs types de polymères caractérisés par une liaison amide –CONH– dans la chaîne), le polysulfone (il s'agit de polymères caractérisés par un groupement –SO₂– relié à deux noyaux benzéniques), ou encore des composites de deux couches de polymères (une de polyamide, une de polysulfone) [2-3]. Chaque matériau présente des avantages et des inconvénients (tenue à la pression, tenue à la température, résistance mécanique, sensibilité au chlore, sensibilité au pH, sélectivité...) et un compromis judicieux s'impose entre tous ces paramètres.

Utilisation

Les membranes d'osmose inverse sont utilisées sous forme de modules (plans, tubulaires, à fibres creuses ou spiralés) et les modules, placés en série ou en parallèle s'insèrent dans le procédé de production comme indiqué sur la figure 2. Dans la majorité des cas, ces modules sont utilisés en filtration tangentielle (le flux de l'eau à traiter circule parallèlement à la membrane, le filtrat – ou perméat – la traversant perpendiculairement) pour

minimiser l'accumulation de sels sur la membrane qui entraîne un colmatage rapide.

Applications

L'application la plus connue de l'osmose inverse est le dessalement de l'eau de mer pour la production d'eau potable (procédés concurrents : distillation thermique, distillation solaire, électrodialyse, congélation). Il faut cependant noter que l'eau osmosée doit subir des traitements supplémentaires pour obéir aux normes de potabilisation (en particulier une reminéralisation). De très grosses usines utilisant ce procédé existent dans des pays ayant des problèmes d'approvisionnement en eau potable, malgré la consommation importante d'énergie (de 4 à 30 kWh m⁻³ selon les sources, inférieure cependant de la consommation d'énergie de la distillation qui est 10 à 30 fois plus élevée) et la pollution très importante des régions marines de prélèvement due aux rejets (du rétentat très concentré en sels et des produits chimiques utilisés pour le nettoyage des membranes). De petites unités sont également utilisées sur des bateaux ou sur des îles manquant d'eau potable en période estivale (Belle-île-en-Mer par exemple).

D'autres applications existent comme la production d'eau ultra pure à usage industriel (rinçage de semi-conducteurs, de pièces métalliques après traitement de surface), mais aussi la

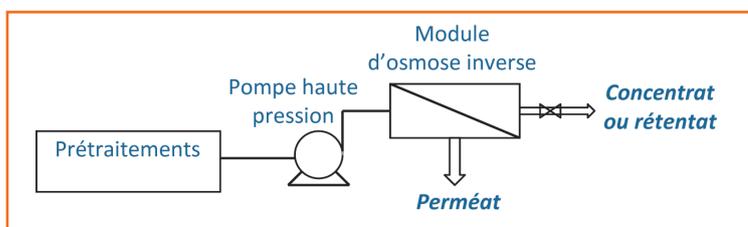


Figure 2.

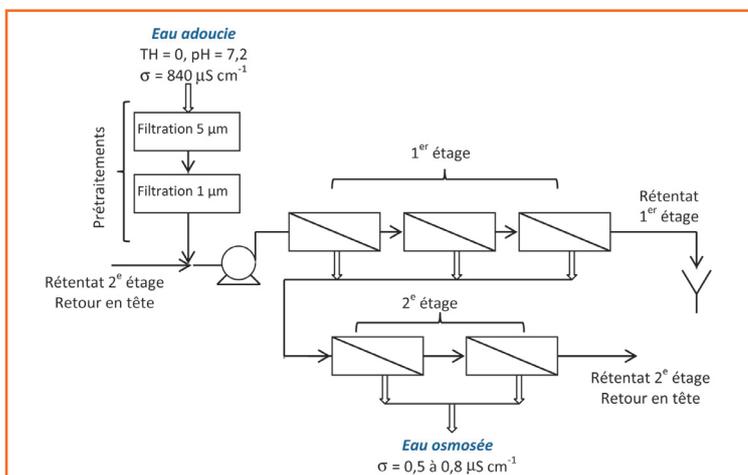


Figure 3.

TH : titre hydrotimétrique et mesure de dureté de l'eau (teneur en ions calcium et magnésium).



Figure 4. Publiée avec l'aimable autorisation de Mefro-Wheels France.

réutilisation de l'eau après épuration (voir le deuxième exemple ci-après).

L'osmose inverse est aussi utilisée dans l'industrie agroalimentaire pour la purification de solutions ainsi que dans l'industrie pharmaceutique et les centres hospitaliers pour la production d'eau stérile.

Deux exemples

Production d'eau pure pour le rinçage de pièces métalliques

De l'eau prélevée dans la nappe phréatique est adoucie par



Figure 5. Publiée avec l'aimable autorisation de FAPROGI.

passage sur des lits de résines échangeuses d'ions (en général une résine cationique forte qui élimine les cations – Ca^{++} , Mg^{++} ... –, une résine anionique forte qui élimine les anions – NO_3^- , Cl^- ... –, et un lit de résines mélangées pour l'affinage). Elle est préfiltrée à 5 μm et 1 μm (opération nécessaire pour la protection des membranes) et passe à travers les modules d'osmose inverse suivant le procédé décrit sur la figure 3. La figure 4 montre une installation avec la pompe haute pression (20 bar) visible sur la photo de droite.

Réutilisation de l'eau après la station d'épuration pour les rinçages de cuves de production

Après la station d'épuration des rejets d'une usine de fabrication de shampoings, l'eau épurée (réacteur biologique et ultrafiltration-filtration sur fibres creuses de porosité 10 nm environ) passe sur un lit de charbon actif en grains (CAG) et est traitée sur un osmoseur (figure 5, on aperçoit sur la droite la pompe haute pression, 12 bar). L'eau ainsi produite est réutilisée en usine pour le rinçage des cuves de fabrication.

* Les concentrations en sel sont très différentes dans les mers : ~ 8 g L^{-1} pour la mer Baltique à plus de 250 g L^{-1} pour la mer Morte.

Références

- [1] Ramade F., *Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau*, Ediscience international, 1998.
- [2] Maurel A., *Osmose inverse et ultrafiltration : technologie et applications, Techniques de l'Ingénieur* (réf. J2796), 1988.
- [3] Maurel A., *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce, Tec & Doc*, 2001.

Pour en savoir plus

- *Mémento Technique de l'Eau*, 9^e éd., Degrémont, 1989.
- *La pratique de l'eau*, 2^e éd., Le Moniteur Éditions, 1994.
- Qasim S.R., Motley E.M., Zhu G., *Water Works Engineering: Planning, Design and Operation*, Prentice Hall, 2000.
- ASTEE, *Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine* (chap. 4), 1^{ère} éd., 2006.
- Rabillet-Baudry M., Causserand C., Gésan-Guizou G., *Le nettoyage des équipements à membrane : une étape clef dans la production durable*, volume 5 des Cahiers du CFM, 2012.

Cette fiche a été préparée par **Jean Nahmias**, qui était enseignant-chercheur à l'IUT d'Orsay (nahmias.jean@orange.fr).

Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par un comité éditorial mené par Jean-Pierre Foulon et Séverine Bléneau-Serdel (contact : bleneau@lactualitechimique.org). Elles sont regroupées et en téléchargement libre sur www.lactualitechimique.org/spip.php?rubrique11.