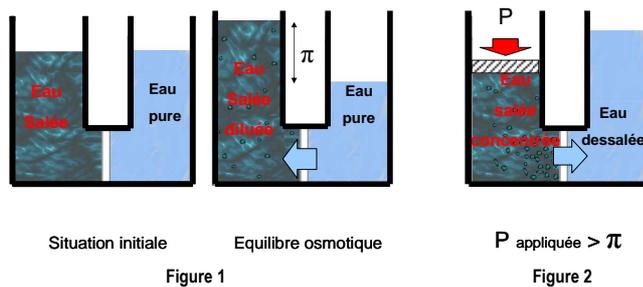


Le dessalement de l'eau de mer peut être obtenu par deux procédés :

- o procédé thermique, faisant appel à l'évaporation ;
- o procédé membranaire, appliquant le principe de l'osmose inverse.

C'est ce dernier procédé qui est de plus en plus mis en œuvre, que ce soit pour des petites, moyennes ou très grandes capacités de production (> 300 000 m³/j).

RAPPEL DU PRINCIPE DE L'OSMOSE INVERSE



Lorsque l'on place une membrane semi-perméable entre deux compartiments remplis d'eau de concentration en sels dissous différents, les molécules d'eau ont tendance à migrer de l'eau la moins concentrée vers la plus concentrée de façon à diminuer sa salinité.

Le phénomène est appelé « osmose directe ». Cette migration s'arrête lorsque la différence des niveaux des deux compartiments a atteint une valeur correspondant à la pression osmotique π (figure 1).

Pour réduire la concentration en sels dissous d'une eau il suffit de lui appliquer une pression supérieure à la pression osmotique afin de forcer les molécules d'eau à travers la membrane semi-perméable. Il s'agit alors d'osmose inverse (figure 2).

CONCEPTION D'UNE USINE DE DESSALEMENT D'EAU DE MER

Une usine de dessalement comprend essentiellement (figure 3) :

- o un système d'alimentation en eau de mer ;
- o un ensemble de prétraitements physico-chimiques de l'eau de mer ;
- o un dispositif de mise en pression de l'eau prétraitée ;
- o l'osmoseur proprement dit ;
- o un système de récupération de l'énergie du concentrat ;
- o un ensemble de post-traitements du perméat ;
- o un poste de nettoyage chimique des membranes.

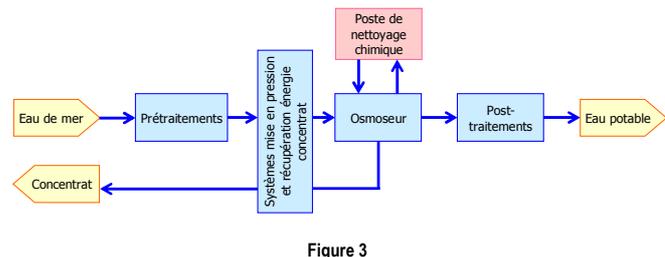


Figure 3

DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS COMPOSANTS

Système d'alimentation en eau de mer

L'alimentation en eau de mer peut s'effectuer soit par prise directe, soit par l'intermédiaire de puits côtiers. Ce dernier système permet généralement d'obtenir une eau de bonne qualité, ce qui soulage d'autant les prétraitements, et permet de s'affranchir des risques de pollutions accidentelles de l'eau de mer.

Prétraitements physico-chimiques

Les prétraitements ont pour but de conférer à l'eau d'alimentation des membranes d'OI toutes les qualités requises afin d'éviter au maximum :

- o leur entartrage par précipitation de certains sels dans les zones « concentrat » ;
- o leur colmatage par les matières en suspension ;
- o leur encrassement (biofouling) par des matières biologiques (zooplancton, bactéries, ...)

et ceci de façon à assurer leur pérennité et à limiter la fréquence des nettoyages chimiques.

En fonction de ses caractéristiques et de son mode de prélèvement, l'eau de mer peut nécessiter une étape de clarification plus ou moins importante, pouvant être constituée par une simple filtration sur média granuleux, précédée par une coagulation, ou bien par une coagulation-floculation-décantation (ou flottation, procédé efficace pour réduire la teneur en algues).

Les prétraitements chimiques comportent :

- o une acidification (acide sulfurique) pour éviter les précipitations du calcium lié aux bicarbonates, et/ou une injection d'un séquestrant pour éviter celles du calcium lié principalement aux sulfates ;
- o une injection de chlore pour l'oxydation des micro-organismes, suivie d'une déchloration (injection de bisulfite de sodium) afin de ne pas oxyder les membranes (tolérance 0 chlore pour les membranes composites).

La barrière finale est constituée par une microfiltration sur cartouches consommables (seuil de coupure : 5 μ m – efficacité correspondante \geq 99,99 %).

L'eau d'alimentation des membranes doit présenter idéalement une turbidité maximum de 0,2 NFU et un indice de colmatage de 3 (Fouling Index 15 minutes). Ces valeurs cibles peuvent être obtenues en utilisant comme prétraitement des membranes

d'ultrafiltration. Il est également à noter que la concentration en matières organiques, source nutritionnelle des bactéries, doit être la plus faible possible pour limiter les risques de biofouling.

Dispositif de mise en pression – Système de récupération de l'énergie du concentrat

La pression osmotique de l'eau de mer standard (35 g.L^{-1} à 15°C , est de 25 bar. Pour obtenir une productivité acceptable économiquement des membranes d'OI, la pression d'alimentation doit être de l'ordre de 65 bar (P_{max} en fonction de l'origine des membranes : 56 à 90 bar). La mise en pression est assurée, soit par des pompes volumétriques (à pistons – à membranes), soit par des pompes centrifuges multi-étagées, les premières étant plutôt adaptées aux faibles débits. Pour maintenir des conditions optimales d'écoulement hydraulique dans les éléments d'OI, un certain débit de déconcentration doit être maintenu. Le facteur de conversion $[Y = (\text{débit perméat} : \text{débit d'alimentation}) \times 100]$ est de l'ordre de 40 à 60 %. C'est sur cette base que les prétraitements et les pompes haute-pression sont dimensionnés.

Des valeurs annoncées ci-dessus pour le facteur de conversion, on déduit que 40 à 60 % de l'eau est rejetée. Le concentrat possède donc une énergie hydraulique importante (pression disponible du concentrat = pression d'alimentation – 4 bar environ) qu'il convient de récupérer afin de réduire les consommations en énergie électrique. Cette récupération s'effectue par trois moyens :

- o turbo-pompes placées en série avec les pompes HP (figure 4) ;
- o turbines Pelton couplées directement aux pompes HP afin de soulager les moteurs électriques (figure 5) ;
- o échangeurs de pression (figure 6).

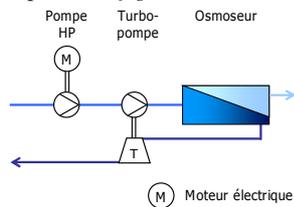


Figure 4

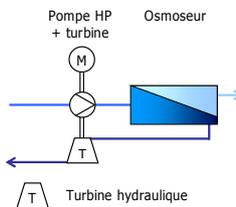


Figure 5

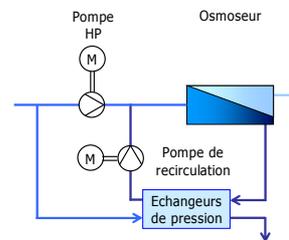


Figure 6

La récupération de l'énergie du concentrat par échange de pression est le système présentant le meilleur rendement. Il permet d'atteindre des consommations inférieures à 3 kWh par m^3 de perméat, et ceci pour les seuls besoins de la mise en pression des éléments d'OI.

Osmoseur

Les membranes d'OI se présentent généralement sous forme de feuilles fines en composite configurées en spirales pour former des éléments aux dimensions normalisées (voir Memotec n°1). Ces éléments sont placés dans des corps de pression (6 ou 7 par corps). En fonction de la salinité de l'eau de mer, de sa température ainsi que des qualités requises pour le perméat, le dessalement peut s'effectuer en une ou deux passes, la deuxième passe utilisant des éléments basse-pression utilisés pour les eaux saumâtres (figure 7) avec un facteur de conversion de l'ordre de 90 %.

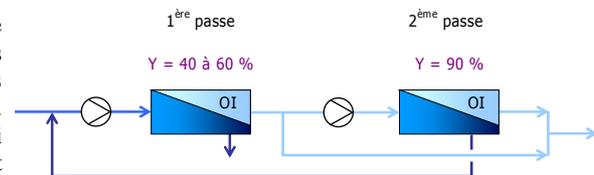


Figure 7

Osmoseurs particuliers :

- o éléments constitués de feuilles fines en composite arrangées à plat, convenant aux petites capacités ;
- o membrane en fibres creuses de triacétate de cellulose, matériau résistant au chlore ;
- o éléments spiralés disposés en deux étages, le deuxième étage étant composé d'éléments très haute-pression (90 bar). Ce système permet d'atteindre des facteurs de conversion de 60 %.

Post-traitements

L'eau osmosée (perméat) étant composée à plus de 90 % de chlorure de sodium (NaCl), il convient de reminéraliser le perméat pour porter son TH calcique et son TAC à des valeurs proches de 8°F . De plus les membranes d'OI étant perméables aux gaz, le CO_2 issu de la dissociation des bicarbonates se retrouve dans le perméat, ce qui oblige à corriger son pH. L'eau doit enfin subir une désinfection par injection de chlore, dont le résiduel permettra de la protéger lors de son transport et de son stockage.

Poste de nettoyage chimique

Périodiquement les membranes doivent être nettoyées pour les débarrasser de tous les dépôts qui tendent à diminuer les performances qualitatives et quantitatives du système. Cette élimination est obtenue en faisant recirculer des solutions chimiques acides (pour les dépôts de carbonate de calcium, d'hydroxydes métalliques) et basiques (pour les dépôts biologiques et bactériens).

CONCLUSION

Si la distillation thermique trouve toujours des applications dans des pays offrant des conditions économiques avantageuses au niveau de l'énergie, ou pour des projets de co-génération (production d'électricité et d'eau), le dessalement par osmose inverse est aujourd'hui d'une application plus universelle du fait de l'abaissement du coût des membranes, de l'amélioration des rendements des pompes et des moteurs, de l'avènement de systèmes de récupération de l'énergie du concentrat très performants. Il est également à noter que les deux techniques peuvent être mises en œuvre dans des usines hybrides.