

Chapitre VII : Dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres

Plan du chapitre

VII.1. Caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres
VII.2 Procédés de dessalement
VII.2.1 Procédés de distillation
VII.2.1.1 Distillation Multi-flash
VII.2.1.2 Distillation Multi-effet
VII.2.1.3 Distillation par Compression Mécanique de Vapeur
VII.2.2 Procédés à membranes
VII.2.2.1 Electrodialyse
VII.2.2.2 Osmose inverse

VII.1 Caractéristiques des eaux de mer et des eaux saumâtres

Eau de mer : La caractéristique la plus importante est la salinité. La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de l'ordre de 35g/l dont 75% de NaCl. L'eau de mer est un milieu légèrement basique (7,5 et 8,4)

Eau saumâtre : est strictement définie comme étant une eau de teneur en sels moindre que celle de l'eau de mer. Le terme est usuellement appliqué aux eaux contenant quelque peu plus de 500 mg/L de sels, quantité généralement considérée comme maximum pour une eau destinée à la consommation humaine.

Les eaux de certaines nappes superficielles ou souterraines peuvent être de diverses salinités. Les eaux des lagunes, qui communiquent plus ou moins avec la mer, peuvent présenter diverses salinités, pour la plupart très élevée. On trouve aussi à l'intérieur des terres des lacs d'eau salée,

Salinité (0/00) =0,03 +1,805 teneur en chlorures (0/00).

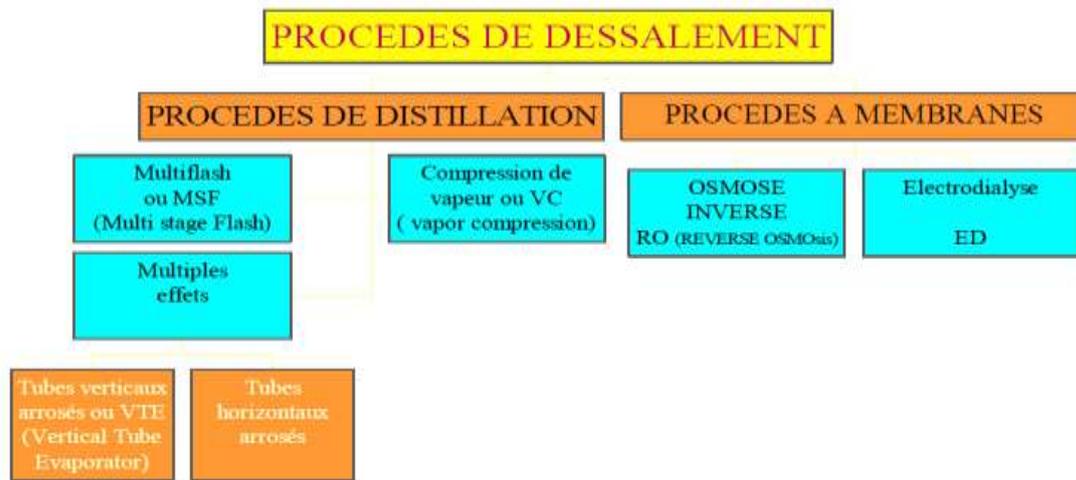
VII.2 Procédés de dessalement

Définition : Le **dessalement** de l'eau (également appelé **dessalage** ou **désalinisation**) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment).

Inconvénient

- Coût énergétique élevé.
- Rejet des saumures concentrées au double de la salinité naturelle en mer ou injectées dans le sol ; ainsi, les rejets de « brine », effluents très chargés en sel, dans la mer d'Arabie ont fait exploser le taux de salinité de ses eaux ; dans certaines zones, les fonds marins sont devenus des déserts¹¹.
- Rejet d'eaux chaudes en mer dans le cas de la distillation.
- Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes (chlore).

Procédés de distillation qui reposent sur un changement de phase **Eau-Vapeur**. Procédés membranaires qui reposent sur une séparation **Sel-Eau** faisant appel à des membranes semi-perméables où le moteur est soit la pression (osmose inverse), soit un champ électrique (électrodialyse).



VII.2.1 Procédés de distillation

VII.2.1.1 Distillation Multi-flash

- L'eau est portée sous pression à une température de 120°C.
- Elle est introduite dans une enceinte à pression réduite où se produit une vaporisation immédiate. Une partie est condensée sur un condensateur.
- L'eau qui a fourni de l'énergie pour la vaporisation cesse de bouillir pour se mettre en équilibre avec la pression de vapeur régnant dans l'enceinte. Elle passe ensuite dans une deuxième enceinte soumise à une pression encore plus faible. Nouveau flash, nouvelle condensation, nouvelle enceinte où la pression est encore plus faible,...

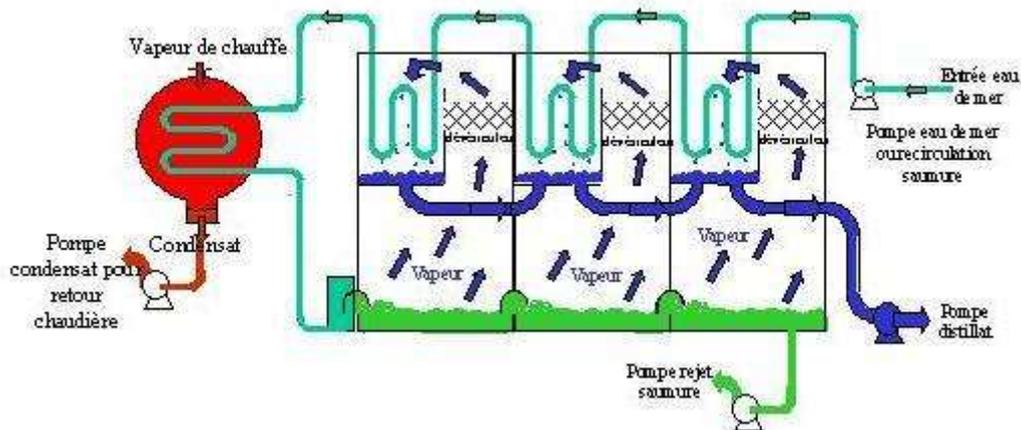


Figure 3. Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages

VII.2.1.2 Distillation Multi-effet

La distillation MED est basée sur le principe de la condensation de la vapeur en provenance d'une source d'énergie (chaudière ou récupérateur de chaleur) et ce, pour évaporer l'eau de mer, sous vide, à des températures de l'ordre de 70 à 80°C.

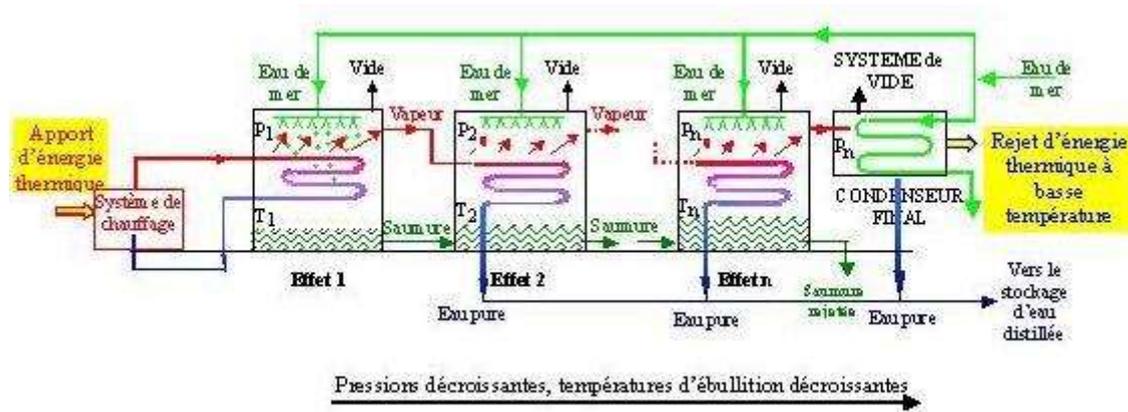


Figure 4. Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).

VII.2.1.3 Distillation par Compression Mécanique de Vapeur

- La vapeur est comprimée pour s'en servir comme fluide chauffant.
- C'est l'énergie électrique qui est utilisée pour la compression.

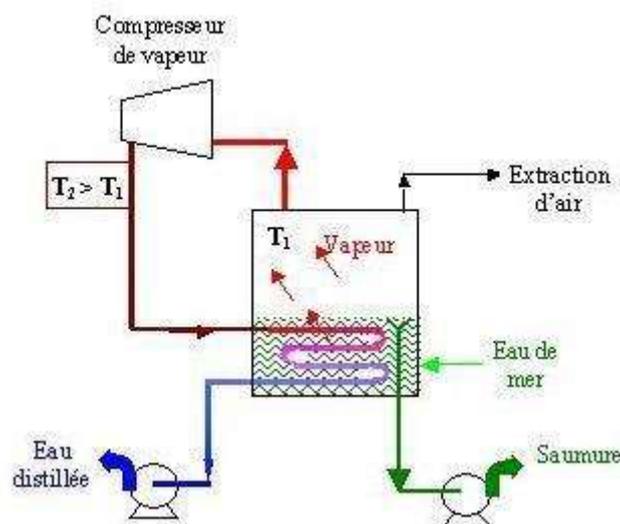


Figure 5. Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur.

VII.2.2 Procédés à membranes

VII.2.2.1 Electrodialyse

- Les ions d'un sel dissous dans l'eau (NaCl par exemple), se déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Des membranes filtrantes imperméables soit aux anions ou aux cations, sont alternativement intercalées.
- On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration.

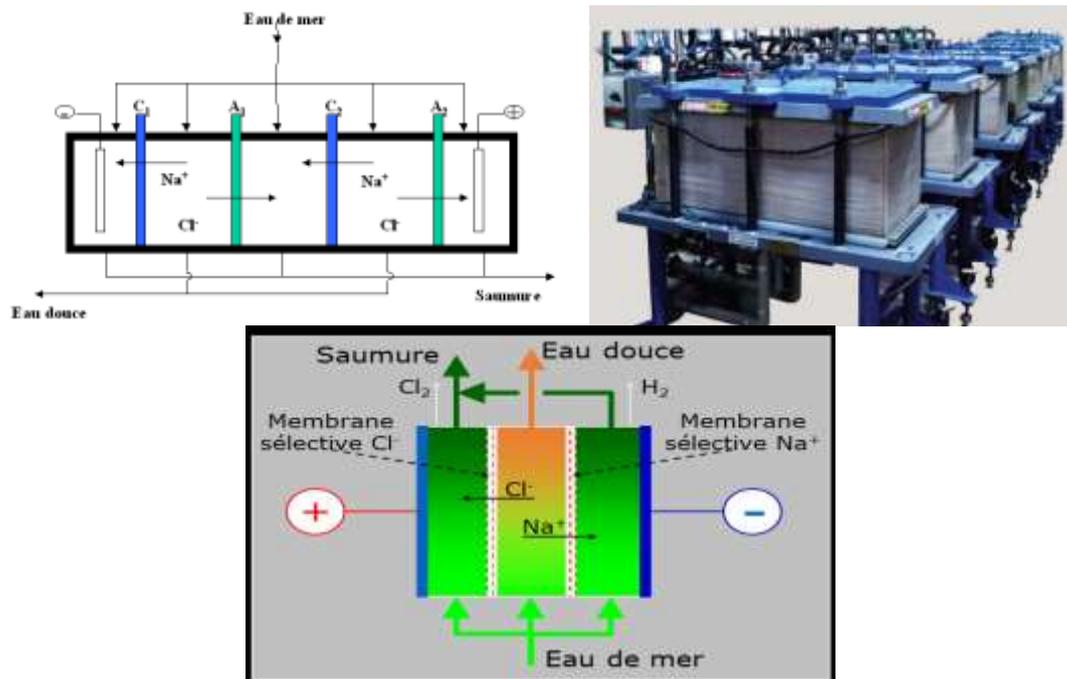


Figure 1: Principe de dessalement par électrodialyse

VII.2.2.2 Osmose inverse

Sous l'action d'un gradient de concentration, le transfert de l'eau, à travers une paroi semi-perméable, se fait naturellement de la solution la moins concentrée vers la plus concentrée. Ce gradient de concentration correspond à la pression osmotique.

L'osmose inverse est l'application sur le liquide concentré d'une pression supérieure à la pression osmotique; Cette fois-ci un flux d'eau douce dessalée passe dans l'autre sens.

Principe de l'osmose inverse

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure 2). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la

quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

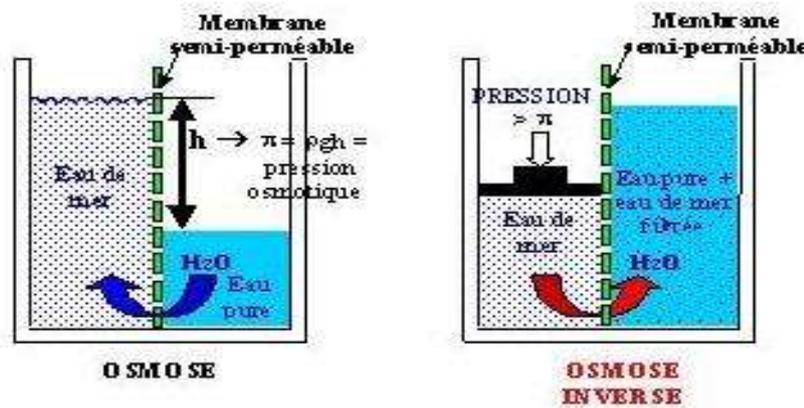


Figure 2. Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

Une augmentation de la pression au delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure 1), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse.

Pour les solutions suffisamment diluées, la pression osmotique notée π peut être calculée d'après la loi de van't Hoff :

$$\pi = i \times C \times R \times T$$

Où

i : est le nombre d'ions dissociés dans le cas d'un électrolyte,

C : est la concentration en sels en mol.m^{-3}

R : est la constante des gaz parfaits $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$

T : est la température absolue de la solution en Kelvin.

Application :

La pression osmotique d'une eau à 20°C contenant 35 g de chlorure de sodium par litre vaut :

$$\pi = 2 \times (35 \times 103 / 58,5) \times 8,314 \times 293 = 29,14 \times 10^5 \text{ Pa} = 29,14 \text{ bar.}$$

Le débit spécifique Q_1 (débit massique par m^2 de membrane) d'eau osmosée produite est proportionnel à la différence entre la pression appliquée P et la pression osmotique π de la solution concentrée.

$$Q_1 = A \times (P - \pi)$$

Où A est le coefficient de perméabilité vis-à-vis de l'eau pure.

Le flux spécifique de sel traversant la membrane est quant à lui proportionnel à la différence de concentration de part et d'autre de la membrane.

$$Q_2 = B \times \pi C$$

Où B est le coefficient de perméabilité vis-à-vis du sel.

Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Les éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse sont schématisés sur la figure 2.

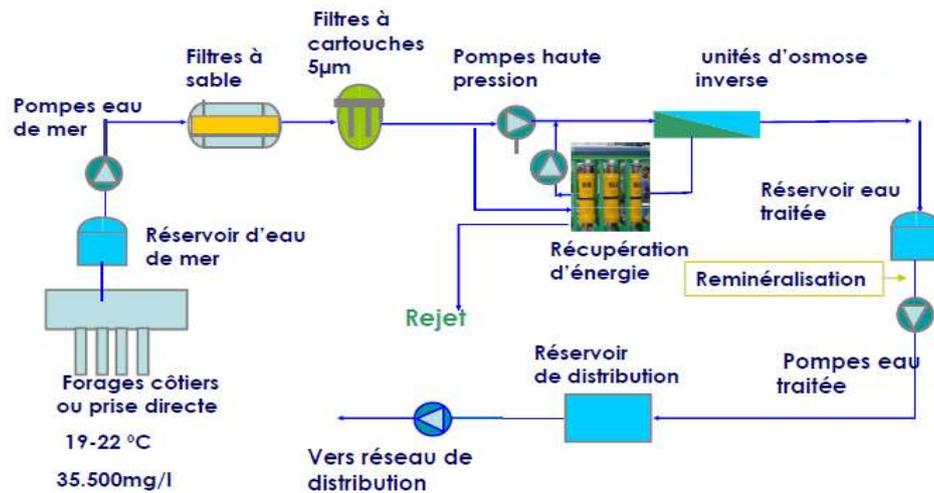
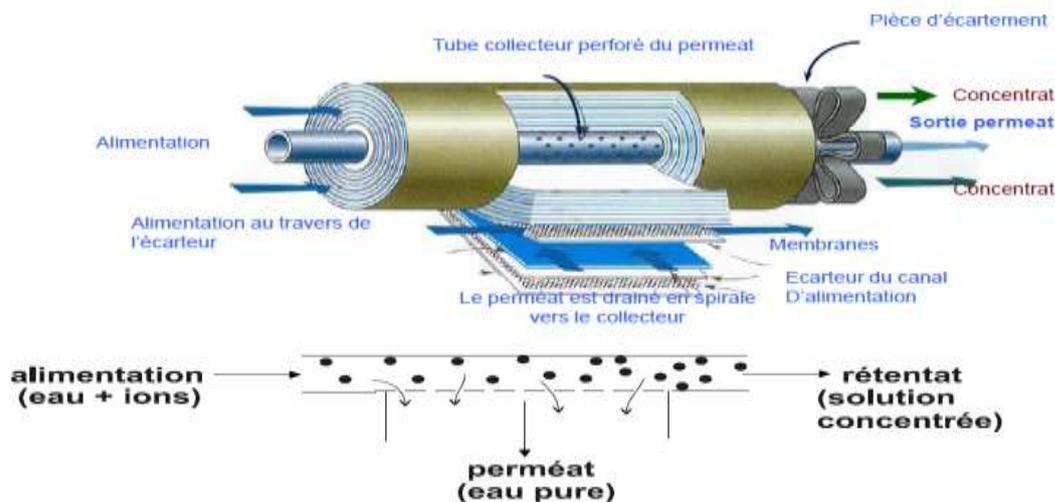


Figure 2: Schéma général d'une station de dessalement par osmose inverse



L'écoulement s'effectue en continu tangentiellement à la membrane. Une partie de la solution à traiter (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes:

- une partie (débit Q_p) passe à travers la membrane (perméat)
- une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat ou rétentat) et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane

Unités d'osmose inverse

