



LA DESALINISATION DE L'EAU DE MER

Principe

Pour l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 1,8 milliard d'êtres humains manqueront d'eau en 2025. Or la plus part des mégapoles se situent sur les côtes et 38% de la population mondiale vit à moins de 100 km des côtes. L'eau est abondante sur terre, elle représente 1380 millions de km³.

L'essentiel toutefois est constitué d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) inutilisables directement.

L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km³. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En effet, dix pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et vingt-neuf autres principalement en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. Dans ces pays, selon le Water Ressources Institute, 250 millions d'individus, ne disposent pas aujourd'hui du minimum vital d'eau défini à 1000 m³ par habitant et par an. 400 millions de personnes vivent en situation de stress hydrique, estimé entre 1000 et 2000 m³ par habitant et par an.

Face à ce constat, la désalinisation de l'eau de mer se présente comme étant une solution « miracle » face aux risques de pénurie d'eau. à titre d'information, la salinité moyenne en Mer Méditerranée est de 38g/l.

De nombreux systèmes de désalinisation de l'eau de mer ont aujourd'hui atteint une maturité industrielle

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

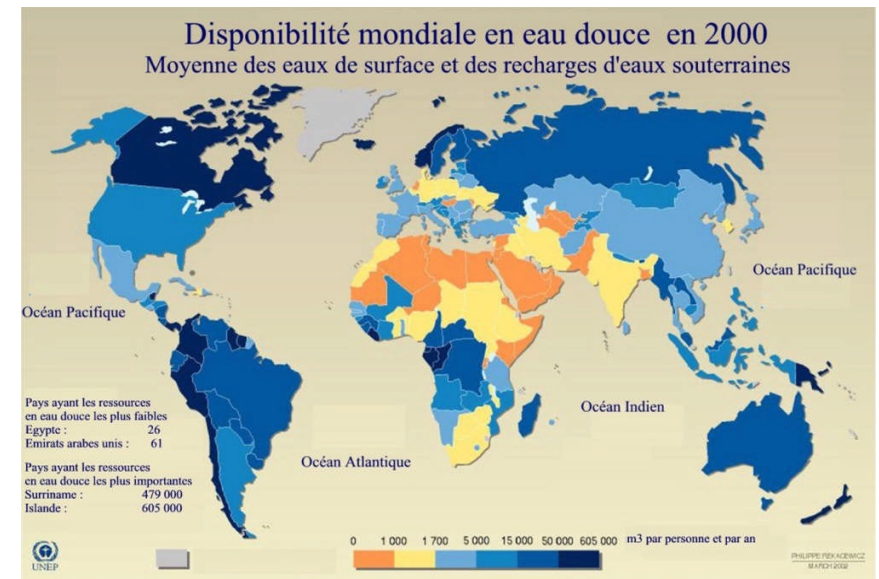
- Une prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière ;
- Un pré-traitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte ;
- Le procédé de dessalement lui-même ;
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

À l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre.

La problématique du rejet de perméat très salé dans le milieu marin soulève cependant de nombreuses interrogations. En effet, l'impact sur les écosystèmes marins du rejet d'une eau très chargée en sel demeure actuellement inconnu, et pourrait avoir des conséquences.

Usine de désalinisation d'Al Taweelah, Abu Dhabi /

Source : <http://www.industcards.com/cc-uae.htm>





La désalinisation de l'eau de mer peut s'effectuer selon deux méthodes :

Le principe de distillation :

Le principe de distillation simple est un procédé mis en œuvre depuis longtemps sur les navires, où les moteurs Diesel émettent une quantité significative de chaleur récupérable.

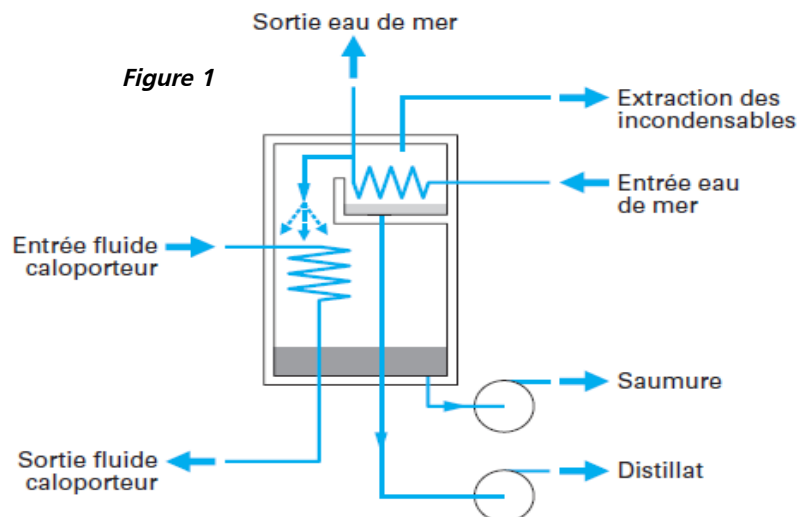
Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.

La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide.

Un éjecteur (ou une pompe) évacue les gaz incondensables.

Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure. (Schéma 1 : distillation simple).



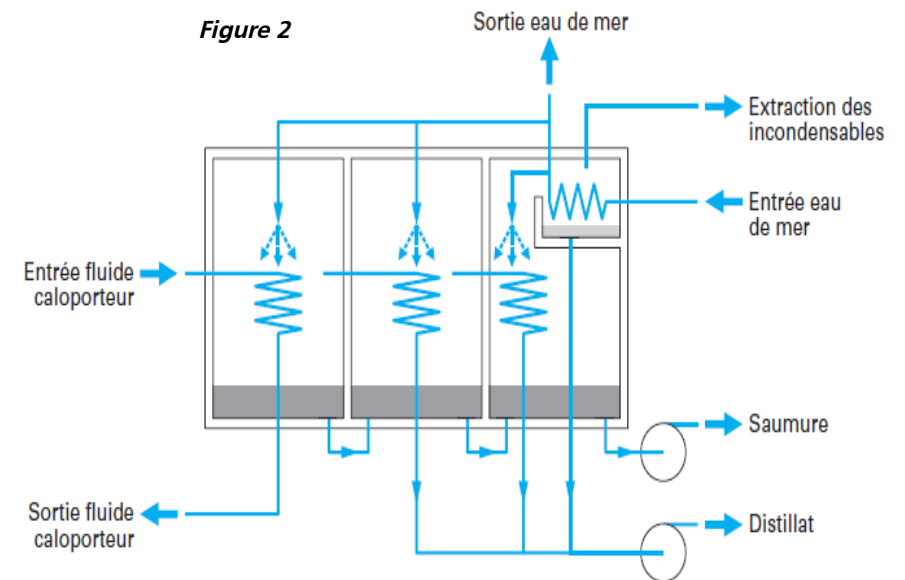
Une installation de distillation à effet multiple est constituée par la juxtaposition de n cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple.

Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute.

La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure.

La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut

évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide. (Schéma 2 : distillation à effet multiple).



- Avantages de la distillation :
 - Production en théorie d'eau pure
 - Salinité comprise entre 20 et 80 mg/l (très en-dessous des recommandations de l'OMS)
 - Une consommation énergétique indépendante des variations de salinité
 - Possibilité de récupérer la chaleur générée (couplage avec moteur Diesel, ou avec turbine à gaz, ou avec une centrale thermique)
- Inconvénients de la distillation :
 - Sélection des matériaux, notamment en lien avec la problématique de la corrosion
 - Attention particulière aux gaz incondensables
 - Prétraitement en trois étapes : chloration, filtration, antitartre.

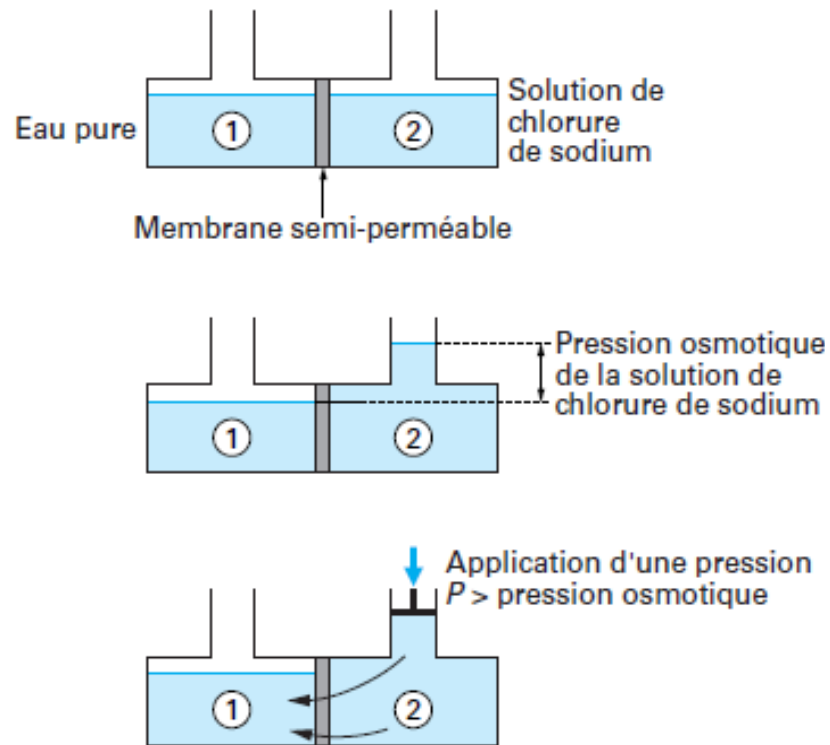
Le principe de l'osmose inverse :

Le procédé de l'osmose inverse est basé sur la propriété des membranes semi-perméables de laisser passer l'eau tout en arrêtant les sels dissous.

Le schéma ci-contre met en évidence ce phénomène : une membrane semi-perméable divise un récipient en deux compartiments.

Dans le premier compartiment (1), on verse de l'eau pure, dans le deuxième (2) une solution de chlorure de sodium.

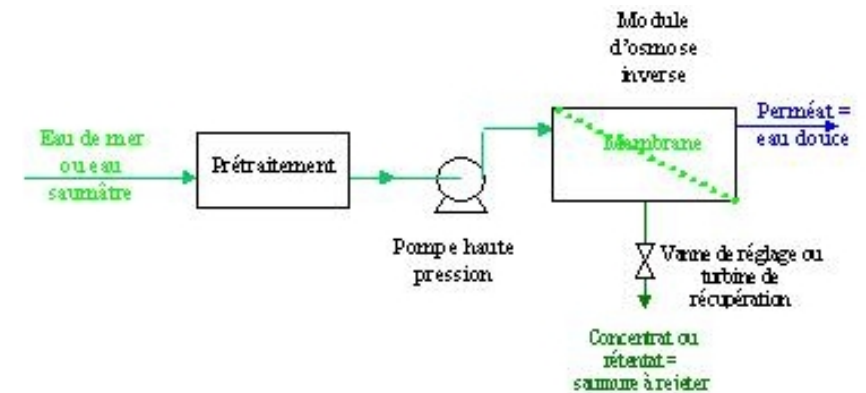
Les niveaux sont identiques dans les deux compartiments au début de l'expérience.



Principe de l'osmose inverse

On observera alors que l'eau circule de 1 vers 2.

À l'équilibre, il en résulte une différence de niveau entre 1 et 2, qui met en évidence la pression osmotique de la solution de NaCl.



Éléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse /

Source : <http://culturesciences.chimie.ens.fr>

- Avantages de l'osmose inverse :
 - L'unité d'osmose inverse est modulaire
 - Consommation d'eau moins importante
 - L'électricité comme source d'énergie.
- Inconvénients de l'osmose inverse:
 - Prétraitement
 - La salinité du perméat de l'ordre de 500mg/l

Comparaison des différents procédés

Procédé	Distillation à effet multiple	Distillation par compression de la vapeur mécanique	Distillation par thermo compression	Distillation par détentes successives	Osmose inverse
Débit d'eau de mer / Débit production	3 à 4	2 à 3 avec recyclage	3 à 4	3 à 4 si recyclage saumure, sinon 7 à 9	1.5 à 2.5 selon salinité
Prétraitement :	Requise	Requise (peu être supprimée si alimentation directe par forage)	Requise	Requise	Requise (peut être supprimée si alimentation directe par forage exempt de micro-organisme)
- Chloration					
- Filtration	Tamisage à 0.5mm	Tamisage à 0.5mm	Tamisage à 0.5mm	Tamisage à 0.5mm	Filtration fine ou mieux micro filtration sur membrane. Objectif : SDI<5
- Antitartre	Injection d'un inhibiteur	Injection d'un inhibiteur	Injection d'un inhibiteur	Injection d'un inhibiteur + acidification + dégazage du CO ₂	Injection d'un inhibiteur + acidification éventuelle
- Déchloration	Non requise	Non requise	Non requise	Non requise	Requise. Objectif : chlore < 0.1mg/L
Température de fonctionnement	60 à 70°C	60 à 70°C	60 à 70°C	Entre 80 à 120°C	Température de l'eau de mer. Optimum : 25°C
Salinité eau produite	1 à 50 mg/L	1 à 50 mg/L	1 à 50 mg/L	50 à 100 mg/L	De l'ordre de 500 mg/L
Energie électrique (hors pompage de prise d'eau en mer et de reprise)	1 à 2 kWh/m ³	12 à 17 kWh/m ³ si 1 effet. 7 à 9 kWh/m ³ si 2 effets.	1 à 2 kWh/m ³	1 à 3 kWh/m ³	7 à 10 kWh/m ³ sans récupération d'énergie. 5 à 7 kWh/m ³ avec récupération d'énergie.
Energie vapeur	Approximativement le GOR est presque égal au nombre d'effets. Dans le cas le plus répandu, GOR = 4. Possibilité de monter jusqu'à GOR=10	Aucune	8 < GOR < 16 selon nombre d'effets	6 < GOR < 12	Aucune
Echelle de capacité	10 à 25 000 m ³ /j	< 5 000m ³ /j	10 à 25 000 m ³ /j	>25 000 m ³ /j	Technologie modulaire qui s'adapte à toutes les capacités
Avantages	Coût de l'ordre de 15 à 20% moins cher que la distillation à détentes successives	Pas de vapeur. Simplicité du fonctionnement	S'adapte à des pressions absolues de vapeur de l'ordre de 1.5 à 45 bars.	Technique éprouvée ayant la faveur des autorités.	Energie consommée diminue avec la salinité de l'eau brute.

GOR = Gain operating ratio (masse d'eau produite par kilogramme de vapeur consommée)



Exemple de réalisation : l'usine de dessalement de l'eau de mer de Barcelone

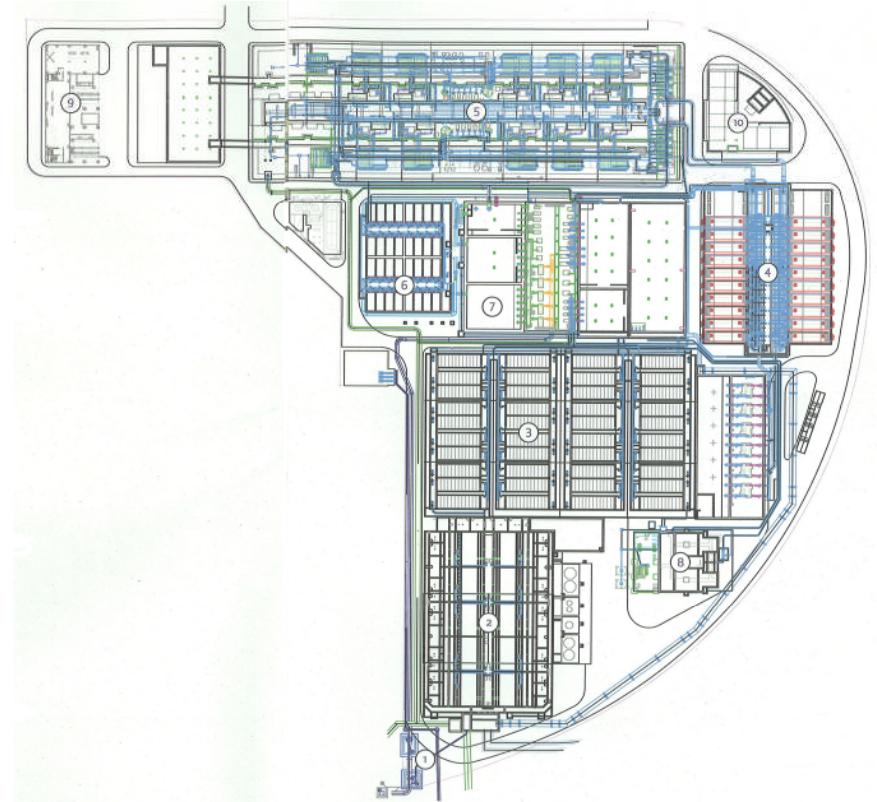
Cette usine de dessalement de l'eau de mer est la plus importante du territoire européen. Actuellement, elle fonctionne à 20% de ses capacités. A terme, elle pourra produire 200 millions de litres d'eau potable par jour pour approvisionner 4.5 millions d'habitants.

100 litres d'eau de mer permettent de produire 45 litres d'eau potable. Les 55 litres restant sont envoyés à la station d'épuration la plus proche. Cette eau chargée en sel est mélangée aux eaux résiduelles traitées (sans sel), puis ce mélange est envoyé dans la mer.

Cette usine de dessalement fonctionne sur le principe de l'osmose inverse. L'eau est pompée à 2.2km de la côte, à 30m de profondeur, avec un système de pipelines de 1 800mm de diamètre.

Le centre industriel s'articule autour de 10 bâtiments :

- Station (1)
- Flottement (2)
- Filtration par gravité (3)
- Filtration fermée (4)
- Bâtiment d'osmose (5)
- Post-traitement (6)
- Réservoir de pompage (7)
- Traitement d'effluents (8)
- Sous-station électrique (9)
- Poste de contrôle (10)



Source : Plaquette 2010 de présentation de l'usine de désalinisation de Llobregat

Processus de désalinisation par osmose inverse	
Facteur de conversion	45%
Salinité de l'eau de mer	39,700 ppm
Salinité de l'eau produite	110 ppm
Taux d'élimination de sel	99.7%
Flux moyen d'eau produite	60 hm ³ /an
Flux maximal d'eau produite	200,000 m ³ /jour
Flux maximal	2.31 m ³ /sec
Flux maximal de consommation d'eau de mer	6m ³ /sec

Pour aller plus loin...

- Quelques réalisations en Méditerranée:
 - L'usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse d'Ashkelon, Israël, avec une capacité de production de 320 000 m³ d'eau potable par jour.
 - L'usine de dessalement par distillation à effet multiple et compression de vapeur de Tripoli, Libye, avec une capacité de production de 2*5 000 m³ d'eau par jour.
- Quelques réalisations mondiales:
 - L'usine de dessalement par osmose inverse de Perth (Australie), avec une capacité de 144 000 m³ d'eau par jour.
 - L'usine de dessalement par détentes successives d'Umm Al Nar East, Abu Dhabi, avec une capacité de production de 82 500 m³ d'eau par jour.

Bibliographie

- http://www.fao.org/index_fr.htm
- <http://www.aqueduc.info>
- <http://www.suez-environnement.fr>
- <http://www.veolia.com>
- <http://www.cnrs.fr>
- <http://acces.inrp.fr/eduterre-usages/ressources/scenarioeau/images-scenario/dispomondiale.jpg> pour la carte de la disponibilité en eau douce
- <http://culturesciences.chimie.ens.fr/dossiers-chimie-societe-article-DessalementEauMer.html>
- *Dessalement de l'eau de mer*, Patrick DANIS, Techniques de l'ingénieur, Traité Génie des procédés.