

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

LE DESSALEMENT DE L'EAU DE MER ET DES EAUX SAUMATRES: LES TECHNIQUES D'HIER ET D'AUJOURD'HUI. CONTEXTE ECONOMIQUE ET PERSPECTIVES.

PERREAU Benoît

Février 1998

ENGREF Centre de Montpellier
B.P.5093 - 34033 MONTPELLIER CEDEX 01
Tél : (33) 04 67 04 71 00
Fax : (33) 04 67 04 71 01

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU
Service National d'Information
et de Documentation sur l'Eau
15 rue Edouard Chamberland
87065 LIMOGES cedex
Tél : (33) 05 55 11 47.80
Fax : (33) 05 55 77 72 24
E-mail : snide@oieau.fr
web : [http ://www.oieau.fr](http://www.oieau.fr)

INTRODUCTION : IL FAUDRA TROUVER DE NOUVELLES SOURCES D'EAU POTABLE

Dans nombre d'états insulaires (Méditerranée, Antilles...) ou désertiques (golfe arabo-persique, Sahara...), la question de la ressource en eau a toujours été problématique. Les hommes qui s'y sont installés ont du faire preuve d'imagination pour assurer un approvisionnement suffisant. Aujourd'hui, dans bien des régions, les ressources conventionnelles de surface comme souterraines sont menacées d'épuisement ou de pollution, alors que dans le même temps la consommation ne demande qu'à s'accroître. A Gaza par exemple [1] où les eaux souterraines deviennent de plus en plus salées, le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre, tout comme l'importation ou la réutilisation d'eau, fait partie des solutions envisagées pour limiter la surexploitation des nappes et des cours d'eau, et constituer une source supplémentaire d'eau de qualité. C'est donc un des enjeux majeurs pour le développement économique et social comme pour la stabilité politique de beaucoup de régions côtières.

Mais si les marins grecs dès le troisième siècle avant J.C. étaient déjà d'astucieux « bouilleurs d'eau de mer » [2] plusieurs technologies compétitives sont aujourd'hui sur le marché du dessalement. Nous allons donc en présenter les principes en essayant de faire ressortir à chaque fois les avantages et les difficultés spécifiques qui les caractérisent. Nous tenterons alors de les comparer par une approche plus économique, avant de conclure sur les perspectives de développement de ce marché : le dessalement d'eau salée permet aujourd'hui de produire **20 millions de m³/j** [3], dont les 2/3 à partir d'eau de mer ce qui correspond à la consommation de **133 millions de personnes!!!** (sur la base de 150 l/j).

DIFFERENTES TECHNIQUES POUR REPONDRE A DES DEMANDES VARIEES

o EAU DOUCE? EAU SAUMATRE? EAU DE MER?

Afin de mieux comprendre les procédés développés, une **Erreur! Liaison incorrecte.** présentation rapide des caractéristiques de l'eau apparaît nécessaire. La distinction entre les types d'eau repose sur la concentration globale en sels : d'après l'**OMS** (Organisation Mondiale de la Santé) une eau est considérée comme potable si sa salinité totale est comprise entre **100 et 1000 ppm** (partie pour million), soit 0.1 et 1g/l. L'objectif de salinité de l'eau produite pour la consommation se situe en général autour de **400 ppm**. Pour une utilisation **industrielle** en revanche, une eau de salinité de 20 à 50 ppm peut être demandée [3].

Même s'il n'y a pas de classification stricte et normalisée, on parle usuellement d'**eau saumâtre** pour une salinité comprise entre **1g/l et 10g/l**. On en trouve en particulier en Afrique du Nord, au Moyen-Orient et aux Etats-Unis [4]. Les différentes teneurs en ions (Mg, Ca, F,...) peuvent être très variées selon l'origine de l'eau. La quantité de sel à éliminer est donc elle aussi variable selon leur toxicité éventuelle.

L'**eau de mer** a une salinité moyenne de **35g/l** (Océan Atlantique, Mer du Nord...), avec de fortes variations régionales dans certains cas : 39g/l en Méditerranée, 42g/l dans le Golfe Persique [4], et jusqu'à 260 g/l en mer morte [5].

Enfin, il est important de connaître les limites de saturation d'une **saumure** (eau très salée). En effet, lorsque la concentration en sel devient très importante, des cristaux de sel commencent à croître, entraînant la formation d'un dépôt. La saturation dépend de la

température et de la nature de l'eau. A titre d'exemple, à 20°C le chlorure de sodium cristallise à partir de 320g/l [5]. Or si l'on cherche à assurer une production d'eau douce régulière, il faut éviter ce phénomène à tout prix (tuyaux bouchés...). Dans la pratique, on dépasse rarement 70g/l.

o RATIOS ET UNITES ET GRANDEURS

Définissons quelques ratios couramment utilisés dans le domaine du dessalement :

- **le ratio de conversion** est le rapport du volume d'eau douce produite sur le volume d'eau de mer utilisée. Il dépasse rarement **1/3** (pour que la saumure ne pas dépasse pas 70g/l).
- **le GOR (Gain Output Ratio)** est utilisé en distillation. C'est le rapport du poids de vapeur d'eau utilisée comme source d'énergie thermique sur le poids d'eau douce produite. Il donne une idée du rendement énergétique et il peut aller de moins de **1** à près de **20**.

L'usage veut que les unités d'énergie utilisées soient différentes selon la nature de l'énergie. Nous le conserverons ici malgré l'apparente complication afin que chacun se familiarise avec ce qui est utilisé. L'unité officielle est le Joule **J**. Pour quantifier une chaleur, on utilise souvent le kilocalorie **kcal**. Enfin, l'énergie électrique est mesurée en kilowattheure **kWh**. La chaleur latente de vaporisation de l'eau vaut par exemple **565kcal/kg**, soit **2366kJ/kg**, **0.657 kWh/kg** ou encore **657kWh/m³**. A titre de comparaison, la thermodynamique nous indique que l'énergie minimale à fournir pour produire de l'eau douce avec un taux de conversion de 1/3 est **1,4kWh/m³** [7]. Enfin, la consommation énergétique des différents procédés, sera ramenée lorsque cela est possible au **m³** (ou à la tonne) **d'eau douce produite**.

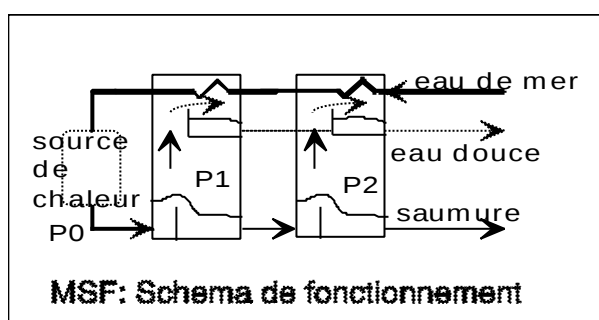
$$4.187 \text{ kJ} = 1 \text{ kcal} = 1.16 \text{ Wh}$$

o PROCEDES AVEC CHANGEMENT D'ETAT

Présentons donc tout d'abord les procédés avec évaporation, qui furent les premiers utilisés et les seuls pendant bien longtemps. En effet, lorsque de l'eau s'évapore, la vapeur ne contient plus de sels, et l'eau obtenue en la condensant est donc douce! Tous les procédés de distillation suivent ce principe qui comporte 3 phases : production de vapeur, transfert à un condensateur, condensation. Cependant les techniques utilisées ainsi que les mécanismes de récupération d'énergie sont variés.

Procédé par détente successive ou Multi Stage Flash (MSF)

Comme son nom l'indique, ce procédé s'appuie sur une **évaporation quasi instantanée** (flash) d'une partie de l'eau de mer chauffée (à haute température : 80°C à 120°C) sous pression ($P_0 \sim 2$ bars), lors d'une détente à l'entrée de la chambre de distillation qui est à la pression P_1 . La vapeur est condensée au niveau d'un échangeur où elle rétrocède sa chaleur latente de vaporisation à l'eau de mer « source froide »



qui se réchauffe. La saumure déjà un peu concentrée, s'écoule sous l'effet de la pression vers la chambre de distillation de la cellule suivante où une nouvelle vaporisation s'effectue à la pression $P_2 < P_1$. Et ainsi de suite jusqu'à la pression P_n (0.05 bar), vers 30°C. C'est le principe des détente successive : il peut avoir ainsi jusqu'à 50 cellules [8].

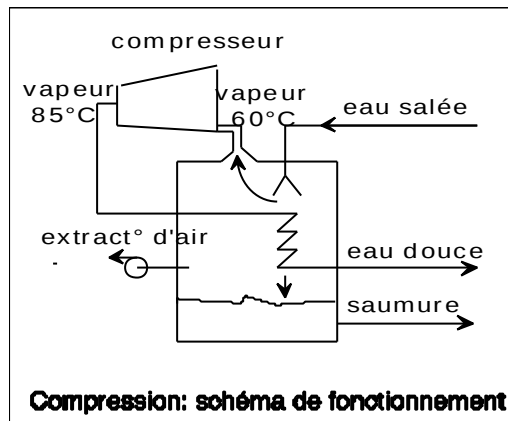
Vue la température élevée dans les premières cellules, il est nécessaire d'effectuer un **prétraitement** important pour limiter l'entartrage (voir plus loin). Afin de diminuer le volume d'eau de mer à prétraiter, on recycle la saumure au maximum au lieu de l'évacuer. La consommation d'énergie thermique est de 50 à 70 000 kcal/m³ [4], à laquelle se rajoute

l'électricité pour la recirculation (5kWh/m³). Le GOR est de l'ordre de 10. Le ratio de conversion de 1/8 seulement.

L'intérêt principal de cette technologie apparue dans les années 1950 et relativement facile à maîtriser réside dans le fait qu'il est possible de construire des unités fiables **de très grande taille**. C'est donc elle qui est utilisée pour les grands complexes de dessalement (surtout dans les pays producteurs de pétrole), et elle assure plus de 60% de la capacité mondiale installée à ce jour sur l'eau de mer malgré son énorme consommation énergétique.

Compression de vapeur

Ce procédé fonctionne exactement sur le principe d'une **pompe à chaleur** : c'est un



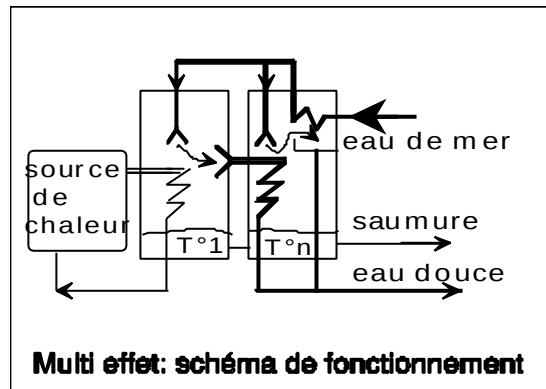
compresseur qui fournit l'énergie. La vapeur produite est comprimée adiabatiquement ce qui accroît sa température de saturation. Lors de sa condensation, elle peut donc transmettre sa chaleur de vaporisation à de l'eau de mer avec un bon gradient thermique, ce qui permet un bon rendement. Le compresseur assure une faible pression dans la cellule permettant de fonctionner à température réduite (~60°C) et d'éviter ainsi l'entartrage.

C'est un procédé de distillation **peu consommateur d'énergie** dans l'absolu, puisqu'il fonctionne avec seulement 4.5 kWh/m³ mais qui utilise exclusivement

de l'**électricité** [11]. Les capacités unitaires traitées qui dépendent directement de la capacité du compresseur sont en augmentation : aujourd'hui elles s'étendent de 15 à plus de 3800m³/J [8].

Distillation multi-effets (ME)

Avec ce procédé, l'idée est de **récupérer au maximum l'énergie** de la vapeur d'eau produite pour évaporer de l'eau de mer, en effectuant des transferts de chaleur successifs appelés « effets » à des températures de moins en moins élevées. Dans ce cas (à l'opposé du MSF), l'eau de mer reçoit l'essentiel de son énergie au moment où elle s'évapore, c'est à dire au contact de l'échangeur dans lequel la vapeur d'eau produite par l'effet précédent se condense. Plus il y a d'effets, meilleur est le GOR. Cependant, plus l'écart de température est faible, plus la surface d'échange assurant le transfert d'énergie doit être grande. L'investissement est donc un peu plus important.



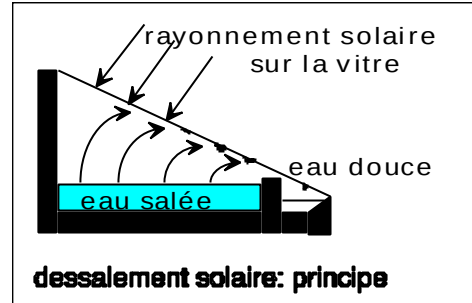
On peut alors comprimer la vapeur pour faciliter le transfert en énergie, (principe de la compression mécanique) en utilisant cette fois un **thermocompresseur** (ou éjecteur à vapeur). Avec 12 effets seulement, on peut alors atteindre un GOR de 16.7 [10].

Comme le procédé MSF, le ME n'utilise quasiment que de l'énergie thermique. Avec 12 effets, un ratio de conversion de 1/3,5 et des écarts de température de 2,5°C la consommation en **énergie thermique « basses calories »** est de 55 400 kcal/m³. S'y ajoute seulement 1 à 3 kWh/m³ d'énergie électrique (pas de recirculation de la saumure) [9]. Le procédé ME, économique en énergie, a en outre l'avantage d'une relative souplesse de fonctionnement avec un débit de saumure plus faible, un rendement correct, et une sécurité

accrue du point de vue de la salinité de l'eau. En revanche les capacités unitaires en fonctionnement varient de 20 m3/j à 20000 m3/j ce qui est plus faible qu'en MSF [7].

autres possibilités : (serres, lagunage, ME solaire, ...congélation)

D'autres procédés sont mis en oeuvre, à partir d'énergie primaire renouvelable. Le plus simple d'entre eux, qui est aussi le plus ancien, consiste à placer un bassin d'eau salée dans une construction de type **serre**. Lorsque le soleil chauffe, l'air se sature en vapeur d'eau qui se condense au contact de la surface vitrée (relativement plus froide) puis s'écoule vers un canal de sortie. Si le principe est fort simple, il nécessite une **surface** et des **investissements** importants en raison de son faible rendement : la production avec un bon ensoleillement est de **5 l/jour/m²**. L'installation peut d'ailleurs constituer un système de collecte des eaux de pluies. Il est donc réservé à des productions isolées et inférieures au m3/jour, comme dans certaines petites îles de la Méditerranée [7].



Cependant, en particulier dans les pays en voie de développement, signalons des recherches pour améliorer ce rendement. Par exemple des essais ont été réalisés au Sénégal en introduisant des **macrophytes** (algues) dans l'eau de mer. L'évapotranspiration et l'absorption élevée de la lumière par les algues permet de multiplier le rendement par 3 et de récupérer un sous-produit utilisable comme amendement par l'agriculture locale [12].

Des recherches ont également été faites sur la **culture sous serre** alimentée en eau par ce principe sur les hauts plateaux Algériens où l'eau disponible est saumâtre[13]. Il est aussi possible de coupler un procédé **Multi-Effet** à une source de chaleur solaire produisant de l'eau à 80°C. Si l'on utilise un ME à 12 effets avec un GOR de 9,5, on peut obtenir jusqu'à près de 50l/j/m2 avec une très faible consommation d'électricité. [13]

Enfin, on peut utiliser la **congélation** pour produire de l'eau douce : lors de la congélation de l'eau de mer (335 kJ/kg), les cristaux de glace qui se forment sont pratiquement exempts de sel. Une fois triés et après une opération de rinçage (qui consomme 1/3 de l'eau produite), on peut obtenir de l'eau potable en fondant la glace. L'équipement mécanique requis est complexe et là encore, la surface nécessaire à la formation des cristaux pose problème. C'est pourquoi ce procédé est **totalement abandonné** à l'heure actuelle même dans les pays très froids [8].

Entartrage

Lorsque l'on chauffe de l'eau contenant des sels, on s'expose à des problèmes d'entartrage rapide et important : on a vu une installation perdre 40% de sa capacité en 24 heures seulement! Deux réactions principales sont observées :

- **Précipitation de carbonate de calcium.** $(\text{HCO}_3^-)_2 + \text{Ca}^{++} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

La réaction débute vers 61°C avec la décomposition des bicarbonates présents dans l'eau de mer. On peut réduire ce phénomène avec un additif chimique ou en abaissant la température du procédé. Un nettoyage à l'acide chlorhydrique permet de désentartrer les pièces mais la production est stoppée et le coût de l'opération peut être important.[14]

- **Précipitation de sulfate de calcium** (plus ou moins hydraté). $\text{SO}_4^{--} + \text{Ca}^{++} \rightarrow \text{CaSO}_4$

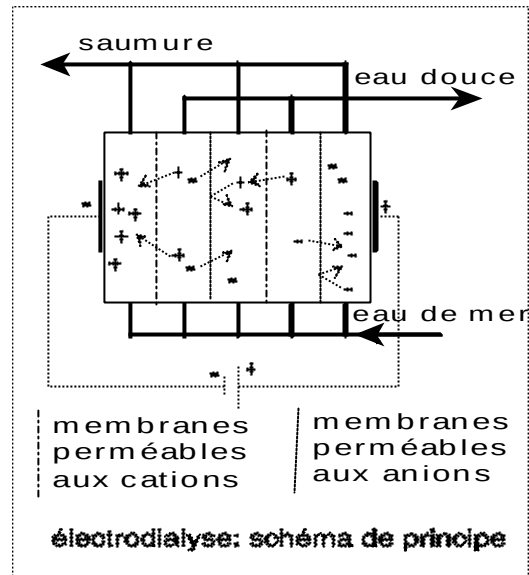
La réaction qui est irréversible est proportionnelle à la température et à la concentration en SO_4^{2-} . La limite de solubilité dépend beaucoup des autres ions présents. Aucun additif chimique ne réduit le phénomène, et aucun nettoyage n'est possible non plus.[14]

C'est au niveau de l'**évaporateur** qu'il y a le plus gros risque d'entartrage. Il est donc nécessaire d'y étudier avec précision les conditions très locales de température et de pression ainsi que les écoulements hydrodynamiques de la saumure. Si l'on veut opérer à haute température, des **prétraitements** complexes aux polyphosphates ou à l'acide sulfurique et un rinçage fréquent sont nécessaires [9]. Si l'on opte pour des **températures n'excédant pas 62°C**, la taille de l'installation, donc l'investissement augmentent (car la vapeur occupe un volume d'autant plus grand qu'elle est « froide »).

Electrodialyse

Ce procédé purement électrique repose sur des **membranes sélectives** imperméables soit aux anions soit aux cations. Les ions migrent sous l'effet du champ électrique et sont bloqués dans des compartiments où l'eau saumâtre se concentre, tandis que l'on récupère une eau plus pure dans les autres compartiments.

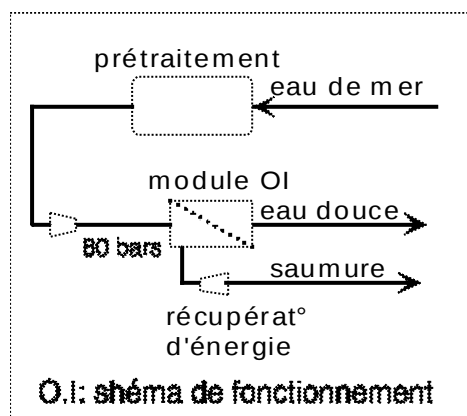
La consommation est ici proportionnelle à la masse de sel extraite : **1 kWh/kg** de sel et non à la quantité d'eau produite, et il devient coûteux de descendre sous 350 ppm. L'électrodialyse est donc surtout utilisée pour traiter des **eaux faiblement saumâtres** (moins de 5 g/l) destinées à des **usages domestiques** [2]. La taille typique des unités d'électrodialyse est comprise entre 200 et 750 m³/j mais certaines installations peuvent traiter plus de 20000 m³/j. [7]



Enfin, cette technique simple (prétraitement sommaire et bonne tolérance de la température [15]) et bien maîtrisée fonctionne au courant continu. L'énergie photovoltaïque peut donc être utilisée avantageusement dans certains cas.

Osmose inverse

Quand une **membrane semi-perméable** (perméable aux solvants et imperméable aux solutés : pores de diamètre <0.5nm) sépare une eau douce d'une eau saline, l'eau douce la traverse sous l'effet de ce que l'on appelle la pression osmotique (PO) pour équilibrer les concentrations : ce processus est l'osmose. L'osmose inverse consiste à exercer une forte pression sur l'eau saline (>PO) pour inverser ce mouvement et produire de l'eau douce (~300ppm). La PO croissant avec la concentration (**1g/l** de salinité=>**0.7bar**) [2], on travaille à des pressions de l'ordre de **80 bars** (eau de mer) pour avoir un débit suffisant. Le ratio de conversion est classiquement de 1/3. Afin de limiter la dépense énergétique, une **turbine de récupération d'énergie** est souvent insérée avant



le rejet de la saumure (qui est sous haute pression). Signalons un autre système de récupération d'énergie basé sur un procédé centrifuge d'osmose inverse qui fait l'objet de recherches[16].

Le point clé de ce procédé réside dans la robustesse de la **membrane** (acétate de cellulose, et autres polymères non cellulosiques) qui constitue près du tiers de l'investissement et a une durée de vie moyenne de **5 ans**. Afin de lutter contre le colmatage ou la détérioration des membranes (bactéries, désinfectants chlorés...), un **prétraitement** est indispensable. Il comprend en général des étapes de coagulation-floculation, décantation, filtration sur sable, acidification-déchloration et microfiltration. Chercher à s'en affranchir ne semble pas raisonnable pour la fiabilité du procédé [17]. Enfin, le risque de détérioration des membranes à la suite d'une erreur d'exploitation est toujours possible.

Enfin, pour des eaux faiblement saumâtres des membranes de **nanofiltration** (plus perméables) sont dans certains cas suffisantes pour éliminer les sels indésirables (sélectivement) en travaillant à pression modérée et en évitant toute reminéralisation[18].

Les avantages de l'osmose inverse sont donc principalement la **faible consommation énergétique** du procédé (on atteint **3,5kWh/m³**), la **flexibilité** de la production et l'aspect **modulaire** qui permet d'augmenter assez facilement la capacité de production d'un site.

o **CORROSION - REMINERALISATION**

La maîtrise de la corrosion est fondamentale lorsque l'on travaille sur le dessalement d'eau de mer. En effet, on concentre de nombreux **agents corrosifs** : sels, boues, sables, algues, gaz dissous, gaz incondensables (CO₂, O₂), chlore, eau distillée... Pour les pièces concernées il faut éviter à tout prix l'emploi de métaux ayant des potentiel red/ox trop éloignés s'ils ne sont pas bien protégés par leur oxyde, un revêtement ou une anode sacrificielle [19]. Une étude approfondie assortie d'un certain savoir faire sont donc indispensables pour la **fiabilité et la durée de vie** de l'installation. Il peut être judicieux d'utiliser des matériaux nobles comme le titane malgré des surcoûts importants.

Par ailleurs, vue la pureté de l'eau produite par **distillation**, il est impossible d'envoyer dans le réseau une eau non potable, et au surplus très agressive! L'ajout de carbonate et de calcium (CO₂ + chaux) ainsi que la fixation du pH nécessitent une **reminéralisation** [20] dont le coût n'est pas négligeable (1FF/m³) [3]. L'osmose inverse dispense en général de cette opération puisque l'eau produite est moins pure (300 à 500 ppm).

UNE COMPARAISON ECONOMIQUE PERMET D'ORIENTER LE CHOIX DU PROCEDE

Il existe donc plusieurs procédés technologiquement bien au point, répondant à des besoins spécifiques à partir de ressources variées. Mais la décision de dessaler l'eau de mer ainsi que le choix de l'équipement retenu ne répondent certainement pas aux seules considérations techniques. Le coût de production de l'eau douce constitue en général le premier critère orientant la décision.

o **COUT ECONOMIQUE DU DESSALEMENT**

Généralités

Il est important d'insister sur l'aspect indicatif des ordres de grandeur cités dans la suite, vue la **grande variabilité du contexte économique** selon la région concernée : coût de la main d'oeuvre, de l'énergie, des produits chimiques, taux de change, inflation... Essayons néanmoins de dégager quelques grandes tendances.

Comme pour toute production industrielle, le prix de revient de l'eau comporte une partie relative à l'**investissement** (de l'ordre de **30% à 45%**) et une partie relative au fonctionnement. La **consommation énergétique** en constitue le principal poste, puisqu'elle

peut représenter jusqu'à **55%** du coût total en distillation MSF et **30%** dans le cas de l'osmose inverse [21]. Mais comme nous l'avons fait remarquer dans la partie technique, le choix précis de l'équipement consiste aussi pour un même procédé à **arbitrer** entre un fort investissement réduisant les coûts de fonctionnement et un investissement réduit quitte à accepter des pertes d'énergie... Autre poste important dans le cas de l'osmose inverse, l'achat et le renouvellement des **membranes** représente de l'ordre d'**un tiers** des dépenses. Enfin, le coût de production dépend évidemment de la **capacité de production**. Il décroît très sensiblement jusqu'à une capacité de quelques milliers de m³/j pour se stabiliser par la suite.

Cogénération

On l'a vu la consommation énergétique reste un handicap majeur des procédés de distillation. C'est pourquoi on cherche à utiliser une **énergie « de récupération »** qui coûte moins cher. Par exemple, sur un bateau, le circuit de refroidissement d'un moteur diesel constitue une abondante source de chaleur et une distillation simple effet peut être utilisée.

A terre, on s'oriente plutôt vers de la **cogénération eau-électricité**. En effet, la production d'électricité dans une turbine à vapeur (couplage le plus intéressant) génère en sortie de la vapeur « basse température ». En ne réduisant qu'un peu la puissance de la turbine, on peut utiliser cette vapeur (70°C à 130°C) comme source d'énergie thermique pour la distillation. Le calcul de l'économie d'énergie globale montre que ce couplage est très avantageux : on peut économiser jusqu'à **40%** du coût de la vapeur (énergie thermique).[21] Pour donner un ordre de grandeur, on peut installer une capacité de **500 m³/j pour 1MW** de puissance électrique. Outre son intérêt économique, cette solution est appréciée par les organisations internationales (Europe...) [22] d'un point de vue environnemental, et peut être également associée à la valorisation énergétique des déchets!

Tableau de synthèse

Le tableau ci-dessous permet de comparer les principaux procédés concurrents :

procédé	consommation thermique en kcal/m ³	consommation électrique en kWh/m ³	investissement en \$/m ³ /j (clé en main)	prix de revient en \$/m ³	capacité type d'un module en m ³ /j
MSF eau de mer	40 à 90 000 équivalent 8 à 16 kWh/m³	4 à 5	1500 à 2000	>1.2	>50 000
ME eau de mer	40 à 90 000 équivalent 3 à 7 kWh/m³	1 à 2	1200 à 1600	>1	<20 000
compression mécanique eau de mer	---	9 à 15	2300	>1.2	<5 000
OI eau saumâtre	---	3	250 à 1000	0.25 à 0.85	- 2400 - mais modules en nombre très variable
OI eau de mer	---	5 à 12	600 à 1100	0.95 à 1.15	
Electrodialyse eau saumâtre	---	3	300 à 1000	0.2 à 0.8	

tableau de synthèse : ordres de grandeur pour la comparaison des procédés. [2-3-4-22-23-24]

Pour les eaux saumâtres, on a donc le choix entre l'osmose inverse et l'électrodialyse, toutes deux très compétitives. La distillation traditionnellement préférée pour le dessalement de l'eau de mer est de plus en plus concurrencée par l'osmose inverse, dont le coût est maintenant à peine plus faible et qui serait moins sensible à une hausse du prix du fuel [24]. Le choix est cependant fortement orienté par la culture locale et le contexte politique, économique et social.

Si l'on ne voulait retenir que trois chiffres simples sur le dessalement d'eau de mer, on peut dire que l'investissement en distillation vaut au moins **5000 FF/m³/j** contre au moins **3000 FF/m³/j** pour l'osmose inverse et que le coût total (amortissement compris) de l'eau produite est de l'ordre de **5 à 10 FF/m³** à partir d'eau de mer [17]. A titre de comparaison, le coût du traitement de l'eau dans une filière classique est de l'ordre de **1 à 2 FF/m³**, et on parle de **4 FF/m³** d'eau brute dans le projet de vente d'eau par BRL en Catalogne.

o QUEL MARCHE POUR LE DESSALEMENT?

Industrie

L'industrie constitue un débouché naturel important pour le dessalement par **distillation**, puisqu'il est demandé une eau d'une **pureté** très grande (quelques ppm de salinité) ou d'une composition bien **maîtrisée** (reminéralisation). En outre, les grands complexes industriels concernés (liquéfaction de gaz, raffinerie...) disposent en général d'une **énergie thermique** abondante et peu chère [3].

Eau potable

Comme nous le signalions en introduction, on distingue aujourd'hui trois grands types de régions ayant recours au dessalement :

- La grande majorité de la capacité de production est située dans les pays du **golfe arabo-persique** où la ressource en eau est rare mais l'énergie abondante. De grandes villes sont desservies par des usines qui produisent près de 1 million de m³/j. Aussi, c'est le procédé **MSF** qui y est le plus utilisé. De nos jours, les grands chantiers dans ces pays semblent devenir un peu plus rares, l'équipement ayant connu un boom dans les années 70-80.
- Les **îles de la Méditerranée et des Caraïbes** constituent un débouché important mais pour des unités de capacité plus faible (rarement plus de 50 000m³/j). La **distillation** est fréquemment choisie (cogénération) mais l'**osmose inverse** se développe rapidement, en particulier dans les îles touristiques où elle est plus facilement intégrée au paysage.
- L'**Amérique du Nord** en particulier la Floride, la Californie et la région du Colorado est également un marché en plein développement, essentiellement sur **eaux saumâtres**. Dans ces régions, la culture (impression de sécurité) et le lobbying des fournisseurs favorise largement les **procédés membranaires** d'osmose inverse, mais également de nanofiltration pour des eaux faiblement salines.

Production embarquée

Enfin, rappelons que le dessalement est couramment utilisé à bord de bateaux de toute taille pour prolonger l'autonomie des réservoirs. Là encore, l'énergie disponible est abondante (à défaut de place!) et des **bouilleurs rustiques** ou de simples osmoseurs sont utilisés. Dans le cas de voiliers, c'est souvent un **osmoseur** alimenté par énergie solaire qui est adopté.

o ENVIRONNEMENT - ENERGIES RENOUVELABLES

Tout d'abord, d'un point de vue environnemental, le meilleur procédé sera celui qui aura le meilleur rendement énergétique, et le débit d'eau salée le plus faible. Mais il convient de prendre également en compte la source d'énergie (cf cogénération). Plusieurs programmes se sont intéressés à l'utilisation d'énergie renouvelable. Comme le montrent quelques exemples du tableau ci dessous, de telles solutions ne sont économiquement viables que pour des capacités de production limitées et dans des **zones très isolées** (îles, déserts,...). Elles demandent en outre une bonne technicité pour leur gestion.

énergie	procédé	capacité	prix de revient	type d'eau traitée
éolienne	O I	41 m3/j	10 FF/m3	eau saumâtre
éolienne	O I	6 m3/j	43 FF/m3	eau de mer
solaire	O I	10 m3/j	98 FF/m3	eau saumâtre
solaire	O I	10 m3/j	206 FF/m3	eau de mer

tableau : quelques exemples de dessalement par énergie renouvelable [13].

Enfin, il est nécessaire de s'intéresser dans chaque cas au sort des **rejets de saumure**, eau sursalée additionnée des produits de prétraitement (HClO, FeCl₃, FeSO₄...), de nettoyage périodique (Hcl, H₂SO₄, détergents...) et des produits de la corrosion (Fe, Cu...). Pour les procédés de distillation, la **pollution thermique** est également à étudier. Généralement on évite tout rejet terrestre qui contaminerait les ressources hydriques et le sol du territoire mais le rejet côtier demande dans chaque cas une réflexion sur les éventuelles conséquences pour le biotope local. [7]

CONCLUSION

S'il est des secteurs où le dessalement est d'ores et déjà indispensable, il semble que son application est envisageable dans des situations de plus en plus nombreuses, du fait de la baisse relative de son coût. En particulier l'osmose inverse est très compétitive lorsque l'on dispose d'**eaux saumâtres**. Cependant, même s'il n'est plus considéré comme un procédé de luxe, il reste cher. C'est pourquoi on cherchera toujours à le coupler au maximum avec la **cogénération**, voire la **valorisation des déchets**, et à l'associer à des politiques de **maîtrise de la demande**.

Tous les procédés que nous avons présentés ici ont été régulièrement utilisés depuis 15 à 30 ans. **Ils sont de plus en plus fiables et de moins en moins coûteux**. Il faut cependant toujours se garder de sous-estimer les problèmes décisifs de la corrosion, de l'entartrage et des prétraitements. C'est dans le domaine des membranes, très à la mode actuellement, que l'on peut s'attendre à des progrès de rendement, de résistance et de fiabilité significatifs, leur prix pouvant encore un peu diminuer. En se gardant d'oublier la distillation qui gardera bien des marchés sur l'eau de mer, **l'osmose inverse** est donc vraisemblablement le domaine d'avenir du dessalement.

Le choix de cette ressource non conventionnelle d'eau potable restera de toute façon un **choix politique** à un haut niveau, puisqu'il crée une dépendance énergétique et une vulnérabilité supplémentaire en temps de guerre. Mais il est immanquablement appelé à compter de plus en plus dans les politiques de gestion de l'eau pour compléter les ressources traditionnelles dans beaucoup de régions arides côtières, dès qu'une situation deviendra critique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **The Commission of the European Communities**, Prospect for brackish water desalination in Gaza. Mars 1993, 47p.
- [2] **Maurel A.**, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres - comparaison des procédés, le coût de l'eau dessalée. St Paul Lez Durance, CEA, février 1986.
- [3] **BAUJAT V., DUBORGEL P., LABORIE J.**, SIDEM, entretien en décembre 1997.
- [4] **Maurel A.**, desalination of sea Water and brackish water. Saint Paul Lez Durance, CEA, may 1990. 14p.
- [5] **BRITANICA - MACROPAEDIA**, Specialty and secondary food processing - Salt. volume n°19, p370-372.
- [6] **DESJARDINS R.**, Le traitement des eaux. Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 1990, 303p.
- [7] **VERNAY L.**, Mise au point d'un outil d'aide à la gestion et à la définition d'une politique de l'eau dans les îles méditerranéennes, s'appuyant sur des techniques adaptées. These de doctorat, Montpellier III, nov. 1996.
- [8] **SIDEM**, Fresh Water through desalination. Paris, mai 1997. 27p.
- [9] **SMITH M., SIDEM**, Production d'eau douce par dessalement. Paris, 43p.
- [10] **SIDEM**, High performances large multi-effect plant in SICILY (Trapani). 1995. 10p.
- [11] **SIDEM**, Unité de dessalement de Saint-Martin. Paris, janvier 1988. 9p.
- [12] **MOREL M., RUMEAU M., PONTIE M., ALI A., DIEYE A., MAR DIOP C.**, Nouveaux procédés économiques de désinfection et de dessalement des eaux. Tribune de l'eau. Sept/Oct 1994. n°571/5. 31-38.
- [13] **AFEDES**, Spécial dessalement solaire. Bulletin de liaison. Paris. 1984. 104p.
- [14] **SIDEM**, Operating temperature and scaling in the M.E. evaporators. mars 1995. 13p.
- [15] **REHI R., GAID A.**, La déminéralisation des eaux saumâtres en Algérie - Cas de la ville d'Abadla (S-O Algérien). TSM. Octobre 1988. n°10. 517-519.
- [16] **WILD P.M., VICKERS G.W.**, The technical and economic benefits of centrifugal reverse osmosis desalination. Desalination. 1992. n°89, 33-40.
- [17] **DANIEL L.**, R&D Degrémont, responsable production d'eau potable, entretien en décembre 1997.
- [18] **DE WITTE J-P**, La nanofiltration, une technique alternative de dessalement. L'Eau, l'Industrie, les Nuisances, 1996, n°189. 28-30.
- [19] **BAUJAT V., TUDURI J.M.**, Maîtrise de la corrosion dans les installations de dessalement d'eau de mer. TSM. Janvier 1993 n°1, 5-11.
- [20] **LEROY P. (CRECEP)**, Traitement des eaux issues des installations de dessalement - Recommandations permettant de réduire les risques de corrosion. TSM. Janvier 1993 n°1. 13-19.
- [21] **Dr Horne W., Argo D., Elder D., Morin O.J.**, Desalination for California - Technical and cost overview. Water supply & water reuse : 1991 and beyond. AWRA juin 1991. 205-215.
- [22] **Commission Européenne**, Rapport sur la communication de la Commission au Parlement européen et au Conseil concernant le partenariat euro-méditerranéen dans le secteur de l'énergie (COM(96)0149 - C4-0238/96) site web : <http://www.europarl.eu.int/dg1/a4/fr/a4-96/a4-0296.htm>
- [23] **Kamal I., Sims G.V.**, Thermal cycle and financial modeling for the optimization of dual-purpose power-cum-desalination plants. proceedings of the IDA World Congress on Desalination & Water Science, Abu Dhabi, Nov 1995. Volume III. 427-441.
- [24] **Wade N.M., Fletcher R.S.**, Energy allocation and other factor influencing water costs in desalination and dual purpose power/water plants. proceedings of the IDA World Congress on Desalination & Water Science, Abu Dhabi, Nov 1995. Volume III. 363-380.

BIBLIOGRAPHICAL SYNTHESIS

**SEA WATER AND BRACKISH WATER
DESALINATION:**

FORMER AND NOWADAYS PROCESS.

ECONOMICAL ASPECTS AND FUTUROLOGY.

PERREAU Benoît

Février 1998

ENGREF Centre de Montpellier
B.P.5093 - 34033 MONTPELLIER CEDEX 01
Tél : (33) 04 67 04 71 00
Fax : (33) 04 67 04 71 01

OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU
Service National d'Information
et de Documentation sur l'Eau
15 rue Edouard Chamberland
87065 LIMOGES cedex
Tél : (33) 05 55 11 47.80
Fax : (33) 05 55 77 72 24
E-mail : snide@oieau.fr
web : [http ://www.oieau.fr](http://www.oieau.fr)

INTRODUCTION : WE NEED NEW WATER RESSOURCES TO PROVIDE THE GROWING DOMESTIC DEMANDE

Water ressource management is becoming sensitive in more and more countries over the world. Acces to water has always been limited on many islands (Mediterranean, Carabean Islands...) or in deserts (Arabian Gulf, Sahara desert...), but today, the usual ground and surface water ressources are often threatened by pollution or drying up, while consumption is growing.

In coastal areas, in Gaza [1] for exemple, where the ground water has become more and more salty, sea water and brackish water desalination could be used to limit overexploitation of the water tables and rivers by adding a new source of high quality water. Water reuse and water importation are possible to. It is one of the major stakes as much for social and economical developpement as for political stability in such an explosive area.

In the 3rd century BC, Greek sailors were already skillful « boilers of sea water » [2] but today, many processes are available on the desalination market. Let's try to present first the principles on which they work, the advantages, the limits... It will be then possible to compare the economical aspects and get an idea about the future of this technique which leads nowadays to the production of **20 millions m3/d** (2/3 with sea water) [3], ie the domestical needs of about **133 million people!!!** (based on 150 l/d).

DIFFERENT PROCESSES, TO SOLVE VARIOUS PROBLEMS.

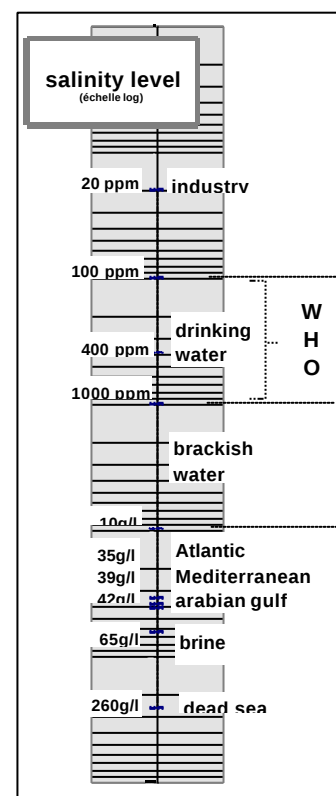
o FRESH WATER? BRACKISH WATER? SEA WATER? BRINE?

In order to understand the process, a brief presentation of the characteristics of the water could be useful. The classification of the different types of water relies on the total salinity level: with regard to drinking water, the **WHO** (World Health Organization) has recommended a total salinity of between **100 et 1000 ppm**, ie 0.1 and 1g/l. Usually, the target is about **400 ppm**. On the other hand, very pure water, **20 to 50 ppm** can be needed for **industrial** use [3].

In general, the term «**brackish water** » is used to describe undrinkable salt water with a salinity lower than sea water and, usualy between **1 and 10g/l**. Water of this type is very often found in North Africa, the Middle East and in certain areas of the USA [4]. Various ion contents can be observed for different ions (Mg, Ca, F,...)depending on the origin of the water. The level of purification depends also on the possible toxicity of this ions.

The salinity of standard **sea water** is **35g/l** (as in the case of the Atlantic Ocean, the English Channel and the North sea), but certain relatively closed seas may have very different salinity levels : 39g/l in Mediterranean Sea, 42g/l in the Arabian Gulf [4], and even 260 g/l in the Dead Sea [5].

Finally, it is important to know the limit of **saturation** of a brine (very salty water). When the salt contents increase, salt crystals begin to grow, leading to a deposit. The saturation level depends on the temperature and the nature of the water. For



exemple, at 20°C, sodium chloride precipitates over **320g/l** [5]. When in fact we try to undertake a regular fresh water production, we have to avoid this happening at any price. In practice, **70g/l** is seldom exceeded.

o RATIOS, UNITS

Let's define 2 ratios that are commonly used for desalination:

The conversion ratio gives the ratio of the volume of fresh water produced to the volume of sea water used.

The ratio production (heat or fresh water in mass) to heating steam flow is called the **GOR (Gain Output Ratio)**. It varies between less than 1 in a simple boiler up to 20...

The units used for the energy depend on whether it is calorific energy (in kcal) or electricity (in kWh), the official unit being the Joule (J)! The relation is: **4.187 kJ = 1 kcal = 1.16 Wh** but we will keep the distinction because the price of energy for example is very different in the different cases. In order to compare the different processes, we'll try to give a consumption per m³ of fresh water produced.

o THE DISTILLATION PROCESSES

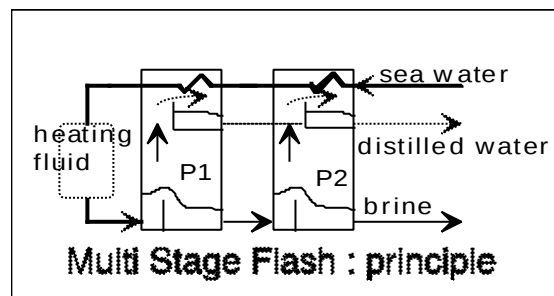
references

When sea water evaporates (consuming **565 kcal or 2366 kJ per kg** [6]), the vapour created becomes fresh and once it has been condensed, it is quite pure water (salinity of only a few ppm) . This is the very principle of distillation, which was the first and is currently the most commonly used. In order to give an idea of what could be an efficiency target, thermodynamics teach us that the optimal energy consumption to produce fresh water with a conversion ratio of 1/3 is **1,4kWh/m³** [7], when simple distillation needs **657 kWh/m³**!

Various process have been also developed to use and reuse the energy. Nevertheless they all include the 3 following steps: vapour production, transfert to a condenser, condensation and energy recycling.

Successive pressure reductions called Multi Stage Flash (MSF)

The flash process consists of keeping the sea water under pressure (2 bars) throughout the whole heating period. The hot sea water is then introduced into a distillation chamber under reduced pressure (P1). The result is **instantaneous vapourization by pressure reduction, called flashing**. A fraction of the water evaporates, is condensed on the condenser tubes (preheating of the sea water) and collected in receptacles. The rest flows to the next chamber where, thanks to the lower pressure P2, another fraction evaporates... And so on up to 30°C under around 0.05 bar. This is the principle of the Multi Stage Flash, which can include up to 50 successive chambers! [8]

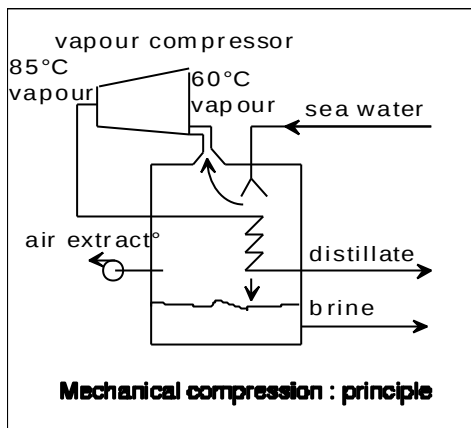


Due to the high temperature in the first cells, considerable **pretreatment** is necessary to limit scaling (cf further). In order to reduce the volume of sea water pretreated, a **recirculation** of the brine is a solution. The thermal energy consumption is about **50 000 à 70 000 kcal/m³** [4]. In addition, electricity is needed for the recirculation (**5kWh/m³**). The GOR reaches about 10. The conversion ratio is only 1/8.

This process was developed in the 50's. It is pretty simple to manage and its major interest is the possibility of constructing **large capacity desalination plants**. At present, this alone

represents more than 60% of worldwide installed sea water desalination capacity despite its low energetical efficiency, especially in the Arabian Gulf countries.

Distillation by mechanical vapour compression

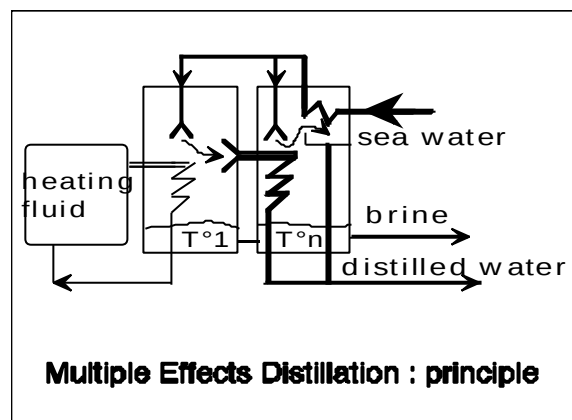


This process is currently undergoing considerable development owing to its simplicity and **low energy consumption**. The principle is the one of a **heat pump**: sea water is brought to boiling point in a firmly insulating evaporate chamber under low pressure. The water vapour produced is compressed by a mechanical compressor, which has the effect of raising its temperature by a few degrees. The vapour is then condensed to obtain distilled water, at a temperature higher than that of the sea water. This allows the latent heat to be recovered and to maintain the sea water at boiling point (at a **low temperature** : ~60°C).

This distillation process, fonctionning with only 4.5 kWh/m³ in some cases[11] is characterized by a low level of energy consumption, but it requires only electricity. Moreover, the plan capacity closely linked with the size of the compressor are increasing at the moment: they cover from 15 to more than 3800m³/d up to date. [8]

multiple -effets distillation (ME)

The principle of this process is to **recover as much of the energy** of the vapour produced **as possible** and to reuse it to vaporize sea water thanks to successive heat exchange, called effects at lower and lower temperatures. In this case (contrary to the MSF), the sea water gets its energy just at the moment it evaporates, in contact with the exchange surface where the vapour produced by the former effect condensates. The more effects there are, the higher GOR is. Nevertheless, the lower the temperature difference between two cells, the larger exchange surface is needed in order to keep a high heat exchange coefficient. The investment is also higher too. It is also possible to compress the steam in order to increase the heat transfert (principle of mechanical compression) by using **thermocompression**. With 12 effects only, the GOR can reach 16.7 [10].



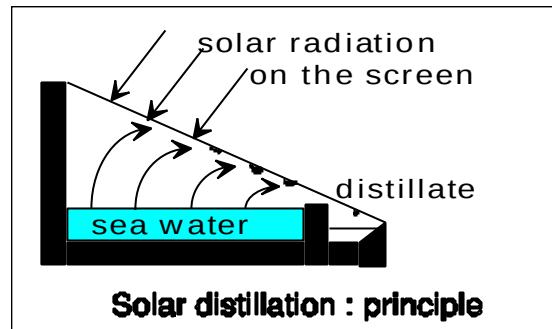
As for the MSF, the ME process uses mostly thermic energy. With 12 effects, a conversion ration of 1/3.5 and temperature gaps of 2.5°C, the thermic consumption is 55.4kcal/kg. In addition, only 1 à 3 kWh/m³ of electricity (no brine recirculation)[9]. This process has the advantage of being relatively **flexible**, with a lower brine flow, a good output and a **high security** for the salinity of the water produced. However, the plant capacity is lower than with MSF: from 20 m³/d to 20000 m³/d [7].

It is possible to combine vapour compression (with wapour ejector) and multiple effects. We also get high output: with 4 effects, the GOR can reach 8 [7]. For exemple, in the thermocompression ME plant of TRAPANI (in SICILY) with 12 effects, the GOR is 16.7! [10].

other possibilities : (glasshouses, lagooning, solar ME, ...freezing)

Other process can be chosen, using renewable primary energy.

The most basic and ancestral process consists of evaporating sea water in a pool inside a **glasshouse**. The steam condenses on the relatively cold glass and is collected: it is fresh water. The problem of this process is the **surface** area needed for evaporation: production is only of **5l/m²/d** at most. However, it can be used to collect rain water. It is also reserved for very limited production (<1m³/d) in isolated areas such as on small Mediterranean islands [7].



According to a study in Senegal, this process can be improved by growing **macrophyts** in the pool [12]. Farming in a greenhouse, irrigated thanks to this principle has been tested in Algeria where the ground water is salty [13].

Finally, **freezing** can be used to produce fresh water: ice cubes growing in sea water don't contain any salt. If you melt them (335 kJ/kg), you get fresh water! Nevertheless, collecting ice cubes requires a complexe mechanic system because of the surface needed for freezing and this process has been **released** even in very cold countries like Siberia [8].

scaling

Scaling consists of a deposit of mineral salts that tends to form especially on exchange surfaces. As an exemple of this problem, the production capacity of a distillation unit may decrease by more than 40% in 24 hours in the least favourable cases:

- **Calcium carbonate scaling.** $(\text{HCO}_3^-)_2 + \text{Ca}^{++} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Scaling becomes heavier for cells with brine above 61°C because of the decomposition of the bicarbonates. Several means have been envisaged to combat scaling: injecting the sea water with very small quantities of **anti-scaling agents**, keeping the operating **temperature as low as possible**, and finally when the evapourator is scaled, the plant **cleaning** with hydrochloric acid which means having to stop production. [14]

- **Calcium sulfate scaling** (more or less hydrated). $\text{SO}_4^{--} + \text{Ca}^{++} \rightarrow \text{CaSO}_4$

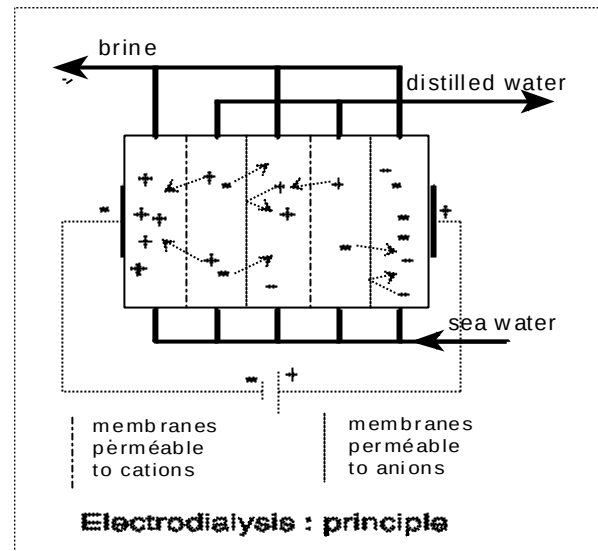
Calcium sulfate salts will precipitate under two circumstances : either the temperature or the concentration in SO_4^{--} is increased. It is **not reversible** and depends on the composition of the water (other ions). There is at the time being **no anti-sacling additives and no chemical cleaning**. Once the evaporator is caked in the sulfate, the only means is to replace it! The only weapon is also a proper design of the evaporator.[14]

Operating under high temperatures leads to the elimination of the scaling elements (Ca, Mg...) from the sea water by ionic exchange or by prior precipitation during a **pretreatment** [9]. If a **low operating temperature** is chosen, the size of the plant and also the investment increase.

o MEMBRANE-BASED PROCESSES

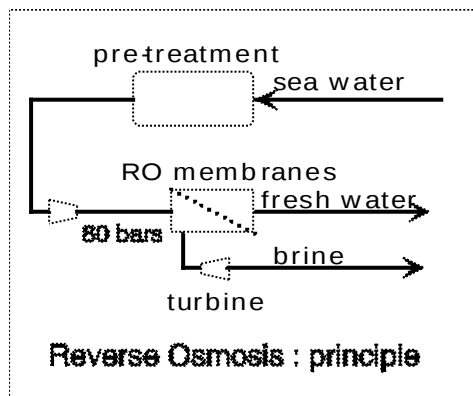
electrodialysis

Electrodialysis is the oldest membrane-based process as the first installation of this type dated from the 1960's. It consists of eliminating the salts dissolved in briny water by migration through **selective membranes** (permeable to anions or cations only) under the action of an electric field. In this case, the electric consumption is linked to the mass of salt extracted (**1 kWh/kg**) independantly of the volume of water produced! It is also favoured in the treatment of brackish water (less than 5g/l) [2]. The typical capacity of the units is between 200 and 750 m3/d but some plants can treat up to 20000 m3/d. [7]



reverse osmosis

This process was developed more recently. In order to explain its principle, that of direct osmosis should be recalled. When a selective membrane separates a compartment of fresh water and one of salty water, a pressure difference (**1g/l** of salinity leads to **0.7bar**)[2] is set up between the two walls of the membrane and fresh water permeates toward the salt water. If high pressure (up to **80 bars**) is maintained over the salt water the permeation occurs in the opposite direction which has the result of extracting pure water from the salt solution! The conversion ratio is around 1/3. In order to limit the energy waste, a **turbine** can be used to recollect the mechanical energy of the brine. Close to this idea, centrifugal reverse osmosis has been tested [16].



The key to the process in fact, lies in the performance of the **membrane**. It represents the third of the total investment and its life-span is only **5 years**. It must filter the salt (porosity less than 0.5nm), be permeable to water and may not be damaged by fouling, chlorides, bacterium, pH... For this reason osmosis units require **considerable pre-treatment** of the water including coagulation-flocculation, decantation, pre-filtering with sand or diatomic filter and fine filtering with cartridges [17].

Thanks to its **lower energy consumption** (down to **3,5kWh/m3**), and to the **flexibility** of the production and of the capacity of the process, reverse osmosis has been undergoing considerable development. Initially used, above all, for the desalination of briny water, reverse osmosis is more and more frequently used for the desalination of sea water with increasingly large-sized installations [4].

o CORROSION - REMINERALISATION

Corrosion of materials used for distillation units depends on temperature, water pH, hardness, sea plants, sand, chloride, O₂ and CO₂ content of water... Due to the distinctly corrosive properties of the water, especially at high temperature, selecting materials is a ticklish job. The use of stainless steel, copper-aluminium, or copper-nickel is required. Carbon steel coated with special paint can be used when an inspection is possible. Due to its high price, the use of titanium is for the time being limited to the most exposed parts.

The desalinated waters produced by distillation must be treated before introduction into the distribution network in order not to destroy it. For domestic uses a **slight salination** (by addition of CO₂ and lime and then by blending with sea water) and a disinfectant are necessary to obtain potable water [20]. The cost can reach 1FF/m³ [3]. Because reverse osmosis produces less pure water (400ppm), this operation is not necessary in this case.

AN ECONOMICAL VIEW IN ORDER TO SELECT THE RIGHT PROCESS

In face of the variety of desalination processes, how does a user choose the most suitable one for his needs? He will naturally, prefer the most economical, supposing that he has been able to correctly estimate the costs.

o THE COST OF DESALINATION

global characteristics

First let's insist on the fact that the figures presented in this study can **vary** heavily from one region to another with many aspects : labour costs, qualification levels, reagent prices, the cost of energy, the inflation rate... We will try to summarize current trends.

As for all industrial production, the cost of desalination takes into account the **investment** (around **30% to 45%**) together with the **operation** costs and the **maintenance** costs. **The cost of the energy** can represent **55%** of the final cost in distillation units (MSF) and **30%** in reverse osmosis: it's foreseeable variation in time is a crucial aspect in the decision of investment. Actually, the stake is to find an economic optimum between the cost of investments and the costs of energy consumption and operation. In the case of reverse osmosis, a considerable cost lies in the membranes: purchase and renewal represent a third of the cost. Lastly, the cost of one m³ of course depends on the size of the installation. It decrease quickly up to a capacity of a couple of 1000 m³/d and more slowly thereafter.

Combined plant producing power and water.

Distillation processes, except the vapour compression process, make use of calorific energy at a rather low temperature level. It is therefore natural to use **low grade heat** and to combine a distillation unit with a thermal power plant. Such a combination may be done with a diesel engine, a gas or a steam turbine. The site produces also both electricity and fresh water. The economical saving can reach up to **40%** of the energy cost [21]. For exemple, 55 000 kcal of heat « costs » only 10 kWh at 120°C and 3.85 at 65°C even if the conversion calculation would haven given 47 kWh! For exemple it's possible to combine a water production capacity of **500 m³/d** with a electric power of **1MW**.

synthesis table

The following table gives the basis for the comparison of the main processes.

process	calorific demand in kcal/m ³	electric demand in kWh/m ³	investment in \$/m ³ /d	global cost in \$/m ³	modular size in m ³ /d
MSF	40 to 70 000 ~7.3 to 16.4 kWh/m ³	4 to 5	1500 to 2000	>1.2	>50 000
ME	50 to 90 000 ~3.5 to 6.3 kWh/m ³	1 to 3	1200 to 1600	>1	<20 000
mechanical compression	---	9 to 16	2300	>1.2	<5 000
RO brackish water	---	3	250 to 1000	0.25 to 0.85	- 2400 - adaptable number of modules
RO sea water	---	5.6 to 12	600 to 1100	0.95 to 1.3	
Electrodialysis brackish water	---	3	300 to 1000	0.2 to 0.8	1 up to more than 20 000

synthetic table : elementary process comparison.[2-3-4-22-23-24]

As shown in the table above, RO as well as electrodialysis are very competitive in the treatment of brackish water. Distillation is commonly preferred for sea water. But RO is becoming an increasingly close competitor in this field because of its low cost and low sensitivity to fuel price increases. However the choice is heavily influenced by the local customs and the political, economical and social background.

In order to summarize desalination with only 3 figures, the investment in distillation begins at **1000 \$/m³/d** as compared to **600 \$/m³/d** for RO (brackish water). The global cost of sea water desalination is between **1 and 2 \$/m³**. [17] Just as a reference, a classical potable water treatment costs around **0.2 \$/m³** and the French company BRL is on the verge of selling raw water to Catalogna at the price of **0.7 \$/m³**.

o WHAT ABOUT THE DESALINATION MARKET?

industry

Industry needs **distillation processes** to produce **very pure** and **well-monitored** water to use in boilers and various processes. Moreover calorific energy is cheap and abundant on large industrial sites [3].

drinking water

There are 3 main types of countries interested in desalination:

- The major part of the production is in the **Arabian Gulf countries** where there is energy but water is very rare. Large towns depend on **large-sized desalination plants** (around 1 million m³/d). **MSF** is the most commonly used process. However large orders are few and far between nowadays.
- **Mediterranean, Pacific and Carabean Islands** need smaller units (seldom more than 50 000 m³/d). **Distillation and RO** are in competition but RO is frequently chosen on touristic Islands because of landscape and flexibility considerations.

- In **North America**, **brackish water** desalination is booming, specially in Florida, California and around the Colorado river. **Membrane processes** are commonly used because of a security feeling and thanks to the lobbying of the constructors.

fresh water for boats

It must be remembered that desalination represents a good complement to water tanks on many boats: **simple boilers** are used when energy is available (thanks to the motors) and **RO** is preferred on board sailing boats.

CONCLUSION

Desalination is already the **main fresh water source in many countries**. Thanks to the relative decrease in its cost, it is to be used in more and more situations. Brackish water desalination is being very competitive with RO : it is **no longer thought of as a luxury**. Nor is it a really cheap process! **Dual purpose plants**, assuming water and electricity supply, and possibly **waste incineration** will be associated with **consumption-reducing policies** in most cases. All these processes have been operating on daily basis for 15 to 30 years. Their reliability is increasing more and more and their cost is decreasing. However ignoring corrosion, scaling and pretreatment problems in order to reduce the price would lead to suicide!

The greatest progress should occur in the field of membrane durability and costs. **RO** could also be the leading process in the next decade.

Be that as it may, using desalination remains a **very political choice** because it creates a high energetical dependence and additional vulnerability in case of war. However over one billion people lack sufficient a fresh water supply worldwide. Thus cheap and reliable desalination represents a **decisive opportunity** to supply the growing water demand as soon as there is a critical situation. This is a huge **challenge** for development of populations and industries in numerous **arid coastal areas**.

BIBLIOGRAPHY

- [1] **The Commission of the European Communities**, Prospect for brackish water desalination in Gaza. Mars 1993, 47p.
- [2] **MAUREL A.**, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres - comparaison des procédés, le coût de l'eau dessalée. St Paul Lez Durance, CEA, février 1986.
- [3] **BAUJAT V., DUBORGEL P., LABORIE J.**, SIDEM, entretien en décembre 1997.
- [4] **MAUREL A.**, desalination of sea Water and brackish water. Saint Paul Lez Durance, CEA, may 1990. 14p.
- [5] **BRITANICA - MACROPAEDIA**, Specialty and secondary food processing - Salt. volume n°19, p370-372.
- [6] **DESJARDINS R.**, Le traitement des eaux. Editions de l'Ecole Polytechnique de Montréal, 1990, 303p.
- [7] **VERNAY L.**, Mise au point d'un outil d'aide à la gestion et à la définition d'une politique de l'eau dans les îles méditerranéennes, s'appuyant sur des techniques adaptées. These de doctorat, Montpellier III, nov. 1996.
- [8] **SIDEM**, Fresh Water through desalination. Paris, mai 1997. 27p.
- [9] **SMITH M., SIDEM**, Production d'eau douce par dessalement. Paris, 43p.
- [10] **SIDEM**, High performances large multi-effect plant in SICILY (Trapani). 1995. 10p.
- [11] **SIDEM**, Unité de dessalement de Saint-Martin. Paris, janvier 1988. 9p.
- [12] **MOREL M., RUMEAU M., PONTIE M., ALI A., DIEYE A., MAR DIOP C.**, Nouveaux procédés économiques de désinfection et de dessalement des eaux. Tribune de l'eau. Sept/Oct 1994. n°571/5. 31-38.
- [13] **AFEDES**, Spécial dessalement solaire. Bulletin de liaison. Paris. 1984. 104p.
- [14] **SIDEM**, Operating temperature and scaling in the M.E. evaporators. mars 1995. 13p.
- [15] **REHI R., GAID A.**, La déminéralisation des eaux saumâtres en Algérie - Cas de la ville d'Abadla (S-O Algérien). TSM. Octobre 1988. n°10. 517-519.
- [16] **WILD P.M, VICKERS G.W.**, The technical and economic benefits of centrifugal reverse osmosis desalination. Desalination. 1992. n°89, 33-40.
- [17] **DANIEL L.**, R&D Degrémont, responsable production d'eau potable, entretien en décembre 1997.
- [18] **DE WITTE J-P**, La nanofiltration, une technique alternative de dessalement. L'eau, l'industrie, les nuisances, 1996, n°189. 28-30.
- [19] **BAUJAT V., TUDURI J.M.**, Maîtrise de la corrosion dans les installations de dessalement d'eau de mer. TSM. Janvier 1993 n°1, 5-11.
- [20] **LEROY P. (CRECEP)**, Traitement des eaux issues des installations de dessalement - Recommandations permettant de réduire les risques de corrosion. TSM. Janvier 1993 n°1. 13-19.
- [21] **DR HORNE W., ARGO D., ELDER D., MORIN O.J.**, Desalination for California - Technical and cost overview. Water supply & water reuse : 1991 and beyond. AWRA juin 1991. 205-215.
- [22] **Commission Européenne**, Rapport sur la communication de la Commission au Parlement européen et au Conseil concernant le partenariat euro-méditerranéen dans le secteur

de l'énergie (COM(96)0149 - C4-0238/96) site web : [http ://www.europarl.eu.int/dg1/a4/fr/a4-96/a4-0296.htm](http://www.europarl.eu.int/dg1/a4/fr/a4-96/a4-0296.htm)

[23] KAMAL I., SIMS G.V., Thermal cycle and financial modeling for the optimization of dual-purpose power-cum-desalination plants. proceedings of the IDA WORLD CONGRESS ON DESALINATION & WATER SCIENCE, Abu Dhabi, Nov 1995. Volume III. 427-441.

[24] WADE N.M., FLETCHER R.S., Energy allocation and other factor influencing water costs in desalination and dual purpose power/water plants. proceedings of the IDA WORLD CONGRESS ON DESALINATION & WATER SCIENCE, Abu Dhabi, Nov 1995. Volume III. 363-380.