

Dessalement de l'eau de mer au moyen d'énergie d'origine nucléaire

par Nenad Raisić

L'eau douce à bon marché devient de plus en plus rare dans de nombreuses parties du monde. Le problème de la pénurie d'eau, chronique dans les régions arides, se pose avec une acuité toute particulière dans les grandes agglomérations urbaines qui s'accroissent plus rapidement que les possibilités d'exploitation des ressources naturelles en eau situées dans leur voisinage immédiat. En fait, dans de nombreuses grandes villes, la seule solution pour éviter de transporter sur de longues distances l'eau provenant des sources naturelles est d'avoir recours au dessalement de l'eau de mer.

A l'heure actuelle, le dessalement constitue le seul moyen rentable d'obtenir de l'eau en dehors des sources classiques, et c'est la seule technique qui puisse être appliquée à l'échelle industrielle. La capacité mondiale totale de dessalement se situe aux environs de 2,1 millions de mètres cubes par jour, ce qui représente évidemment un apport marginal à l'approvisionnement par les moyens classiques. Pendant les dix dernières années, la capacité de dessalement a augmenté de 18% par an et il est presque certain que ce taux de croissance sera beaucoup plus élevé au cours des prochaines années. Le tableau 1 montre la répartition géographique des usines de dessalement actuellement en

M. Nenad Raisić est membre de la Division de l'énergie d'origine nucléaire et des réacteurs.

Tableau 1: Répartition géographique des usines de dessalement

Région	Nombre d'usines	Capacité (en mètres cubes par jour)
Etats-Unis et leurs territoires	372	352 000
Autres régions d'Amérique du Nord	41	48 000
Antilles	39	128 000
Amérique du Sud	24	24 000
Grande-Bretagne et Irlande	69	64 000
Europe	149	272 000
Afrique	104	228 000
Moyen-Orient	153	584 000
Asie	68	272 000
Australie et Pacifique	10	8 000
URSS	7	120 000
Total	1036	2 100 000

Source: Référence [1]

service. La seule au monde qui utilise l'énergie d'origine nucléaire est celle de Chevtchenko, en URSS. Elle produit 120 000 mètres cube d'eau dessalée par jour en utilisant la vapeur d'une centrale nucléaire.

Particulièrement intéressant est le projet entrepris par le Gouvernement de l'Arabie saoudite, qui permettra d'atteindre en six ans une capacité totale de 2 millions de mètres cubes d'eau douce par jour. D'autres projets de dessalement sont actuellement à l'étude au Moyen-Orient.

Le principal obstacle au dessalement de l'eau est son prix. Le procédé ne peut concurrencer les moyens classiques d'approvisionnement, sauf dans les cas où l'eau doit être transportée sur de longues distances. A vrai dire, le transport de l'eau revient généralement moins cher que le dessalement lorsque la distance ne dépasse pas quelques centaines de kilomètres.

Tous les consommateurs ne sont pas en mesure de payer le prix fort pour l'eau dont ils ont besoin. Ceci est particulièrement vrai en ce qui concerne le consommateur agricole ou industriel, par exemple, qui peut difficilement se permettre de payer l'eau plus cher que ses concurrents sur le marché mondial. C'est pourquoi les usines de dessalement sont presque exclusivement utilisées pour l'approvisionnement des agglomérations, où le prix de revient a moins d'importance qu'en agriculture ou dans l'industrie. Les municipalités estiment qu'il vaut mieux payer l'eau un bon prix que d'en manquer ou de devoir limiter la consommation. A l'heure actuelle, près de 80% de la capacité de dessalement dessert des agglomérations tandis que 20% servent à des usages militaires ou industriels. La figure 1 montre l'affectation des usines de dessalement qui ont été installées entre 1951 et 1974.

L'énergie est l'élément principal du coût du dessalement. Pour le moment, le mazout est pour ainsi dire l'unique source d'énergie utilisée et, étant donné les prix actuels, son coût représente près de 70% du prix de revient total de l'eau dessalée. Rares sont les opérations industrielles où le coût de l'énergie représente une part aussi importante du prix de revient.

On peut en déduire que le dessalement est peut-être la solution à long terme des problèmes d'approvisionnement en eau des grandes agglomérations, dans la mesure où il sera possible de remplacer le combustible fossile actuellement très onéreux par une source d'énergie facile d'accès et à meilleur prix. L'énergie d'origine nucléaire pourrait être cette source.

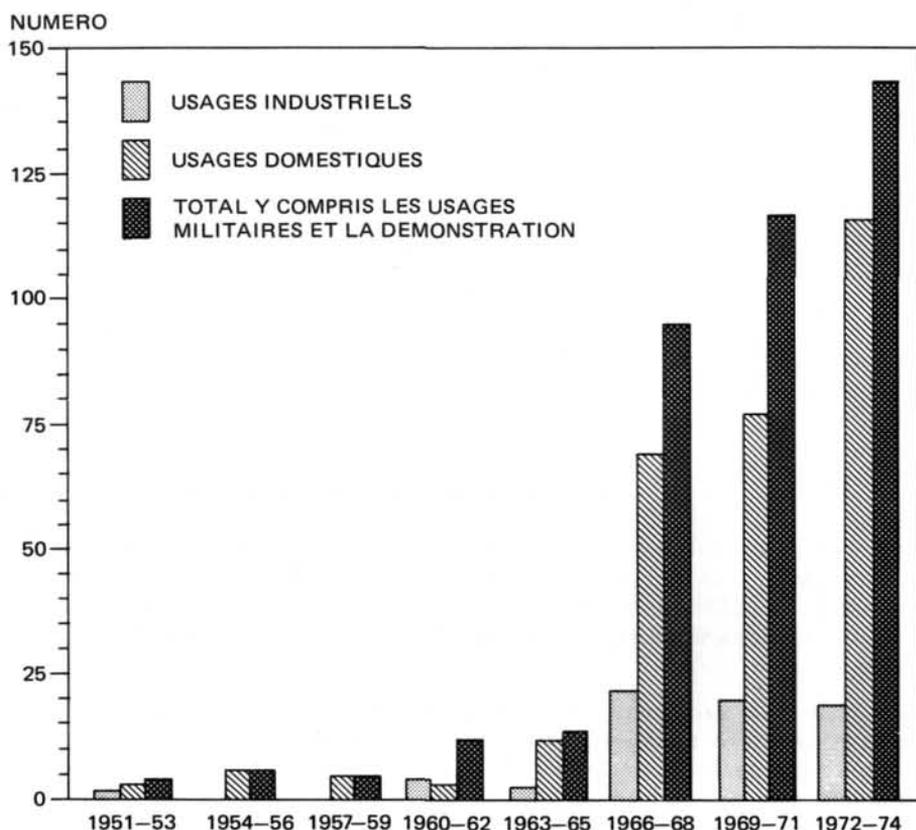
On s'est déjà intéressé par le passé au dessalement nucléaire; mais, avant la montée en flèche du prix du pétrole, l'énergie de l'atome ne pouvait concurrencer le pétrole à bon marché. De nombreuses études ont été faites, mais la seule réalisation est l'usine soviétique.

EMPLOI DES REACTEURS NUCLEAIRES COMME SOURCES DE CHALEUR

La chaleur produite par les réacteurs nucléaires peut soit servir à produire de l'électricité, soit être utilisée directement à des fins industrielles. Selon le type de réacteur, la chaleur peut être prélevée à des températures variées sous forme de gaz chauds, de vapeur ou d'eau chaude. Les perspectives d'utilisation de la vapeur basse pression et basse température dans l'industrie sont particulièrement prometteuses puisque les réacteurs nucléaires actuellement sur le marché permettent de produire à un prix relativement bas de grandes quantités de vapeur ayant ces caractéristiques.

Le procédé le plus utilisé dans les usines de dessalement est la distillation. A l'heure actuelle, près de 90% de l'eau dessalée est produite par distillation, le reste par des procédés utilisant des membranes, comme l'électrodialyse et l'osmose inversée. La distillation

Figure 1: Ventés mondiales d'usines de dessalement terrestres dont la capacité journalière est égale ou supérieure à 4000 m³

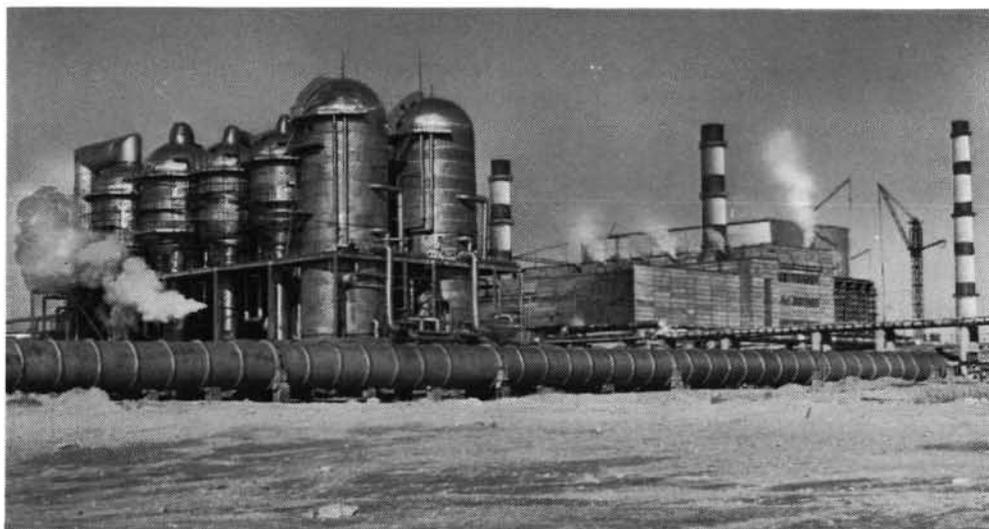


Source: Référence [1]

exige 45 à 65 kWh sous forme de vapeur basse pression et basse température par mètre cube d'eau produite (160 à 240 kJ par kilogramme).

Les réacteurs nucléaires peuvent être utilisés pour le dessalement de deux façons: production unique (chaleur, par exemple) ou production mixte (électricité et chaleur). Dans les deux cas, le réacteur doit répondre à certaines conditions: 1) avoir une puissance adaptée à la production unique ou à la production mixte; 2) être d'un modèle éprouvé garantissant la sûreté et la continuité de l'exploitation; 3) produire de la chaleur pouvant soutenir la concurrence économique avec les autres sources d'énergie disponibles.

La taille des installations nucléaires utilisées pour le dessalement est très importante. La plus petite installation nucléaire actuellement sur le marché a une puissance de 600 MW(e), soit 1900 MW(th). Utilisée uniquement aux fins de dessalement, une telle installation pourrait fournir la chaleur nécessaire pour produire 700 000 à 800 000 mètres cubes d'eau



Usine de distillation à la centrale nucléoélectrique de Chevtchenko (URSS)

dessalée par jour, quantité suffisante pour approvisionner une ville de un million et demi d'habitants. Or, la capacité des installations de dessalement actuelles est insuffisante pour absorber toute la chaleur produite par un réacteur de 1900 MW(th). Aussi pense-t-on que des réacteurs de 135, 260 ou 1100 MW(th) conviendraient probablement mieux à des usines de dessalement ayant des capacités de 50 000, 100 000 ou 400 000 mètres cubes par jour, respectivement.

Une autre manière de résoudre ce problème d'équilibrage des installations consiste à utiliser les réacteurs existants sur le marché dans des installations mixtes où la vapeur partiellement détendue est normalement récupérée à la sortie des turbines. En principe on peut choisir le rapport eau/électricité produites en décidant à quelle température et à quelle pression la vapeur doit être récupérée. Ce rapport peut varier entre 120 litres/kWh et 20 litres/kWh. Dans tous les cas, il est impossible d'éviter une diminution de la quantité d'électricité produite. Cette diminution peut varier entre 56% pour le rapport 120 l/kWh et 10 à 20% pour le rapport 20 l/kWh [2].

Les centrales nucléaires mixtes pourraient peut-être permettre de résoudre les problèmes d'approvisionnement en eau de certaines agglomérations urbaines ou zones arides industrielles en expansion rapide. La taille de l'usine de dessalement serait ajustée à la demande et l'excédent de puissance de la centrale nucléaire servirait à la production d'électricité.

Dans d'autres zones urbaines, néanmoins, il serait peut-être préférable que les premières usines de dessalement soient combinées avec des centrales nucléaires plus petites pour répondre aux besoins en eau à court et à moyen terme tout en permettant d'acquérir une expérience suffisante pour mettre au point un matériel de dessalement de plus grande capacité pour l'avenir.

Les petits réacteurs d'une puissance de l'ordre de 300 à 1000 MW(th) [3] seraient probablement les mieux adaptés aux cas où un potentiel de production d'eau devient nécessaire à intervalles réguliers, pour compléter l'approvisionnement en eau assuré par le réseau en place. La construction d'usines de dessalement plus petites pourrait être justifiée vu que le facteur

d'échelle des installations de dessalement n'a pas une grande influence sur le montant des investissements nécessaires à la production d'eau. La production d'eau est proportionnelle à la surface d'échange thermique de l'évaporateur et l'exploitation de petites centrales pourrait présenter certains avantages du point de vue de la sûreté et de la disponibilité.

En dehors des considérations de taille, la sûreté et une grande disponibilité sont les facteurs les plus importants dans le choix des réacteurs nucléaires utilisés pour le dessalement. Des conditions de sûreté supérieures à la normale doivent être réunies de sorte que l'installation puisse être située aux abords d'une agglomération afin de limiter au maximum le transport de l'eau. Par grande disponibilité on entend que le réacteur doit être capable de fonctionner en permanence pendant de longues périodes qu'il soit nécessaire de l'arrêter.

ASPECTS ECONOMIQUES DU DESSALEMENT NUCLEAIRE

L'évaluation du prix de revient de l'eau des usines de dessalement nucléaires se heurte à plusieurs difficultés. D'une part, dans le cas des usines mixtes, la ventilation des coûts entre deux ou plusieurs produits est assez arbitraire et, d'autre part, avec l'escalade actuelle des prix des matières premières et des produits industriels, les estimations sont vite dépassées.

Malgré tout, étant donné que l'énergie est l'élément essentiel du prix de revient de l'eau dessalée, il est possible de comparer le dessalement classique avec le dessalement nucléaire.

Le Laboratoire national d'Oak Ridge aux Etats-Unis a fait récemment une étude sur le coût de la production industrielle de vapeur par des installations nucléaires à une seule fin et à fins multiples [4, 5]. D'après ces données, on a fait une comparaison (tableau 2) entre les prix de revient de la production de vapeur au moyen d'installations classiques et d'installations nucléaires. Il y a lieu de souligner que les prix de revient ont été exprimés en dollars des Etats-Unis de début 1976 en prenant pour hypothèse un taux de charges fixes de 13,9% pour le financement d'une centrale nucléaire, par l'organisme exploitant.

La vapeur la moins chère est celle qui est produite par une grande installation nucléaire mixte. Si la vapeur utilisée pour chauffer la saumure est extraite à la sortie de la turbine, le prix de revient baisse encore dans des proportions qui pourraient atteindre 50%.

Tableau 2: Prix de revient de la vapeur primaire produite par des installations nucléaires et des installations classiques

	En dollars des Etats-Unis par million de kJ
Installation brûlant du mazout à 11–14 \$ US/bbl	2,51–3,20
Installation brûlant du charbon à faible teneur en soufre venant de l'ouest des Etats-Unis à 74–183 cents US/250 th cif Houston	1,89–3,13
Centrale nucléaire mixte à réacteurs à eau sous pression, de 3750 MW(th), 2 unités	1,71
Centrale nucléaire simple de 313 MW(th), une unité	2,84

Tableau 3: Estimations du coût de l'énergie dans la production d'eau par les usines de dessalement

	En dollars des Etats-Unis par mètre cube d'eau distillée
Chaudière classique brûlant du mazout à 11–14 \$ US/bbl	0,56–0,71
Installation nucléaire simple (313 MW(th)), une unité	0,63
Installation nucléaire mixte de 3750 MW(th), 2 unités (vapeur primaire)	0,38
Installation nucléaire mixte de 3750 MW(th), 2 unités (vapeur d'échappement saturée à 115°C)	0,25

L'Agence internationale de l'énergie atomique étudie les possibilités du dessalement nucléaire depuis les années 1960 et elle a publié un guide pour l'évaluation des dépenses d'investissement et de l'énergie nécessaires à la production d'eau dans des usines de dessalement nucléaires [6].

Le tableau 3 montre le coût en énergie de la production d'eau dessalée, pour diverses sources d'énergie. On a pris pour hypothèse un rendement de 4,5 kilogrammes d'eau pour 1000 kJ de chaleur. Cette estimation montre clairement les avantages de chaleur nucléaire pour le dessalement. Le prix de revient le plus bas correspond à une centrale mixte utilisant la vapeur détendue.

Plusieurs Etats Membres de l'Agence se sont intéressés au dessalement nucléaire. L'Egypte, l'Iran, Israël et le Koweït envisagent de construire des usines de dessalement nucléaire destinées à la démonstration ou à la production et d'autres pays suivent de très près l'évolution de cette technologie.

Références

- [1] 1973 – 75 Saline Water Conversion Summary Report; U.S. Department of Interior, Office of Saline Water
- [2] Dessalement de l'eau au moyen d'énergie classique et d'énergie atomique; AIEA, Collection "Rapports techniques", No 24
- [3] IAEA Catalogue of Small and Medium Size Reactors; Vienne 1975
- [4] Meeting on Small Nuclear Reactors for Industrial Energy; Oak Ridge National Laboratory, 1975
- [5] O.H. Klepper; Small Nuclear Reactors for Industrial Energy, ORNL; Communication présentée à l'Industrial Power Conference, Memphis, 1976
- [6] Guide to the Costing of Water from Nuclear Desalination Plants, AIEA, Collection "Rapports techniques", No 80, éditions de 1967 et 1973.