

ÉTUDE ET ÉVOLUTION DES TECHNIQUES DE DESSALEMENT

Rapport de l'UKAEA
Direction de l'Énergie atomique
du Royaume-Uni

PAR H. KRONBERGER *

Il y a plusieurs années déjà qu'on s'est rendu compte que l'application idéale du réacteur nucléaire consistait à l'employer comme source thermique dans les installations mixtes productrices d'électricité et d'eau douce. Cette conception d'avant-garde a permis à la Direction de l'énergie atomique du Royaume-Uni (l'UKAEA) d'établir un dossier d'expertise très complet des questions relatives à l'étude et à la mise au point des techniques de dessalement. La politique actuelle de l'UKAEA consiste à allier à l'expérience pratique accumulée au cours de nombreuses années par l'industrie britannique en ce qui concerne l'étude, la construction et la mise en service des usines de dessalement, à la compétence des spécialistes et les possibilités matérielles dont elle dispose au sein de sa propre organisation.

Le programme d'étude et de développement des techniques de dessalement mis en œuvre en Grande-Bretagne comporte trois principaux objectifs : exploitation du potentiel de développement du procédé de séparation flash (domaine où la Grande-Bretagne montre la voie), emploi combiné sur le plan technique et économique du procédé de séparation flash et de l'énergie nucléaire pour la production mixte d'eau douce et d'électricité et étude d'autres méthodes de dessalement.

Distillation par séparation flash

De tous les procédés existants, celui de distillation par séparation flash est sans doute le plus sûr et le plus satisfaisant pour transformer économi-

quement l'eau de mer en eau douce. On estime que les usines de distillation par séparation flash dont la construction et la mise en œuvre procèdent de techniques bien connues, fournissent plus de la moitié de la quantité d'eau douce produite dans le monde.

La plus grande partie des travaux réalisés dans ce domaine par l'UKAEA a été entreprise en collaboration avec la firme Weir Westgarth (1) qui vient en tête de toutes les firmes mondiales pour les techniques de séparation flash. L'accord de collaboration technique intervenu entre ces deux entreprises porte sur le contrôle et la coordination conjointe du programme de recherche et de développement. L'UKAEA mettra au service de ce programme la compétence de ses spécialistes et les installations dont elle dispose, dont celles utilisées pour l'étude théorique et expérimentale de la nature fondamentale du comportement de liquides en ébullition traités suivant le procédé de séparation flash. Dans ses laboratoires de recherche à Winfrith dans le sud de l'Angleterre, les travaux intéressants les problèmes d'écoulement en deux phases et de transfert de chaleur posés par le réacteur producteur de vapeur et modéré à l'eau lourde (SGHWR) sont directement appliqués à l'étude de l'écoulement dans la séparation flash et des installations spéciales ont été prévues pour permettre de développer davantage ce domaine d'application.

L'UKAEA participe également à la construction par Weir Westgarth de nouvelles installations d'essais pour le traitement de l'eau de mer à Troon, en Ecosse. Ces installations se composeront d'une usine pilote de distillation par séparation flash et

* Chef du Groupe réacteurs, Direction de l'énergie atomique du Royaume-Uni.

d'importants laboratoires d'essais pour l'étude de l'incidence qu'ont sur le procédé de séparation flash les caractéristiques dimensionnelles des chambres de détente. Parmi les considérations entrant en ligne de compte dans l'étude de cet aspect particulier du problème, la principale porte sur la possibilité qu'une utilisation plus rationnelle des mécanismes de séparation flash et de condensation, permettrait de réduire les dimensions de ces chambres — possibilité qui, du point de vue économique, revêt une grande importance, car le coût de la coque d'une installation de séparation flash à étages multiples est environ le tiers du total des frais d'investissement.

L'étude détaillée des techniques de distillation par séparation flash couramment employées montre que ces procédés peuvent être encore améliorés par une réduction de l'énergie électrique nécessaire à la mise en circulation de la saumure, réduction qui pourrait être obtenue en portant la température maximale au-delà des limites actuelles dictées par les risques d'entartrage et en réduisant les écarts de température irréversibles. Ces études ont également démontré qu'un meilleur équilibrage de la détente et une réduction des résistances de transfert de chaleur d'un côté et de l'autre de la paroi tubulaire contribueraient encore à améliorer cette technique.

Schéma du principe plus rationnel

En dirigeant l'écoulement de la saumure dans le sens contraire à la gravité et en transformant directement la condensation de vapeur en un liquide servant de véhicule au transfert de la chaleur, le nouveau schéma de principe mis au point en 1965 par l'UKAEA (et depuis dénommé Clémentine) présentait sur le précédent l'avantage de transformer partiellement en travail l'énergie libérée par le procédé de séparation flash. Ce concept repose sur le principe suivant lequel le circuit d'écoulement de la saumure doit être dirigé à contre-courant de celui de récupération de la chaleur.

Entre autres travaux de recherche, de mise au point et d'essais, l'UKAEA s'est penchée sur l'étude des avantages et inconvénients des procédés à base de réchauffage de la vapeur, l'analyse théorique de l'énergie nécessaire à l'écoulement vertical dans le procédé de séparation flash, l'étude expérimentale de la condensation directe de la vapeur dans la distillation de l'eau et du pétrole, à des pressions proches de celles de l'atmosphère, l'étude des échangeurs liquide-liquide à agitateurs basés sur les systèmes de transfert de masse pour les installations d'extraction par solvant de conception très avancée et l'étude des variations pouvant être apportées au concept d'écoulement du type Clémentine. Des projets d'application tenant compte de l'emploi de fluides ou de surfaces métalliques pour le transfert de la chaleur, ont également été mis à l'étude.

Des études et recherches intensives ont donc été menées et continueront de l'être sur ce qui constitue probablement le problème dominant en ce qui concerne la conception et le fonctionnement de toutes les usines de distillation d'eau de mer —

c'est-à-dire l'oxydation et l'entartrage. On estime qu'une meilleure connaissance des causes qui, dans le domaine particulier de la distillation et des conditions qui y prévalent, entraînent la corrosion des matériaux, et un emploi plus rationnel de ces derniers et des inhibiteurs d'entartrage, permettraient la construction d'installations plus économiques et de meilleur rendement — et partant une réduction considérable du coût de production de l'eau douce.

D'importantes installations d'essais telles que Seaspray ont été aménagées dans le centre de recherche de Winfrith pour l'étude des phénomènes auxquels donnent lieu les mélanges eau/vapeur dans les procédés de séparation flash. Il est maintenant tenu compte au stade de l'étude des estimations fournies par les ordinateurs quant aux conditions de fonctionnement et de rendement optimales des usines de séparation flash à étages multiples et il est fait de plus en plus appel aux techniques de construction les plus avancées pour aboutir à une réduction des prix de revient.

Solutions de rechange

Bien que les travaux de l'UKAEA portent essentiellement sur la distillation par séparation flash, un effort considérable est consacré à l'étude des solutions de rechange les plus intéressantes parmi celles nombreuses qui se présentent. Du point de vue technique et économique, l'intérêt que peuvent présenter ces nouveaux procédés réduit le choix à trois techniques de base : l'électrodialyse, l'osmose inversée et la séparation par congélation. Des trois, l'électrodialyse offrirait les meilleures perspectives particulièrement dans les cas de conversion d'eau saumâtre en eau potable.

1. **Électrodialyse.**

L'électrodialyse a fait l'objet d'études et d'essais intensifs par l'UKAEA. L'industrie britannique — et en particulier la firme William Boby (2) — s'est largement associée à ces travaux. L'électrodialyse est maintenant, au même titre que la distillation par séparation flash, un procédé de premier plan, largement utilisé dans le domaine commercial et l'exploitation des installations de distillation terrestre.

Une installation d'électrodialyse se compose essentiellement d'un élément électrolytique contenant deux membranes sélectives d'ions de types différents, l'une ne laissant passer que les ions positifs (cations) et l'autre, les ions négatifs (anions). Le passage d'un courant électrique produit, dans l'élément électrolytique, l'électrolyse entraînant la séparation du sel et de l'eau. La force du courant électrique nécessaire à la séparation dépend du degré de salinité de l'eau et varie en proportion directe avec cette dernière.

L'électrolyse trouve indéniablement son application la plus économique lorsque la salinité de l'eau traitée est minimale — une eau saumâtre dont la teneur en substances dissoutes n'excéderait pas 5 000 parties par million réunirait les conditions idéales. La salinité moyenne de l'eau de mer est d'environ 35 000 parties par million.

Le procédé d'électrodialyse est d'une application souple en ce qu'il permet d'obtenir un rendement accru dans une unité d'électrodialyse donnée par accroissement de la cadence d'alimentation en eau et de la force du courant appliqué. Ainsi, non seulement peut-il être adapté à divers besoins ou permettre l'emploi dans certaines limites assez larges d'un courant électrique de force variable, mais il permet également des variations sensibles du prix de revient et des frais d'exploitation dans la mesure où une variation des taux d'intérêts ou du prix de l'électricité rendrait cette opération rentable.

La mise au point de membranes aux possibilités de durée raisonnables s'est avérée un des problèmes les plus difficiles à résoudre, et a constitué une partie importante du programme d'études et de recherches lié à l'évaluation de la rentabilité du procédé, particulièrement dans des conditions de fonctionnement à températures élevées.

Une entreprise de production d'eau de consommation de Menningtree dans l'est de l'Angleterre a pris la direction de l'usine d'électrodialyse construite à la suite d'un accord de coopération signé entre l'UKAEA et la société William Bobby et qui aujourd'hui fournit 227 300 l d'eau douce par jour (50 000 gallons). Cette installation a été réalisée principalement dans le but de démontrer la fiabilité du procédé et de fournir un moyen de perfectionner et de mettre au point de nouvelles techniques d'exploitation.

2. Osmose inverse.

Le dessalement par osmose inversée ou hyperfiltration dépend de l'aptitude des membranes semi-perméables à laisser passer l'eau mais non pas le sel. A mesure que l'eau traverse la membrane, la concentration de sel s'accroît au niveau de la couche limite adjacente à la membrane et la pression osmotique de la solution à la surface de la membrane sera plus forte que celle produite par la masse de la solution et entraînera de ce fait un ralentissement dans l'arrivée d'eau. Il se produira un accroissement de la quantité de sel traversant la membrane et pour réduire au minimum les risques de polarisation par concentration de sel, l'épaisseur de la couche limite devra être maintenue à son minimum en assurant un écoulement rapide de l'eau sur la membrane.

Une installation de dessalement par osmose inversée devra par conséquent être conçue de manière à réaliser un compromis entre la nécessité d'assurer un écoulement rapide (qui réduirait les risques de polarisation par concentration mais entraînerait une forte chute de pression) et un écoulement plus lent (qui réduirait la chute de pression mais résulterait en une plus forte concentration de sel au niveau de la membrane).

Des recherches et essais récents ont permis de démontrer qu'il est possible d'influer dans une large mesure sur les propriétés des membranes de séparation osmose inversée en ce qui concerne l'écoulement des eaux douces et le rejet du sel. Au niveau de la réalisation, on a maintenant, en principe, le choix entre la formule « écoulement rapide et faible extraction de sel » et la formule « écoulement lent ». Comparé à celui d'une simple mem-

brane, le coût d'installation et de construction des unités de dessalement à membranes est relativement élevé.

A l'UKAEA et ailleurs, études et recherches se poursuivent sur les divers aspects de ce problème tels que ceux intéressant la configuration des installations et le type de matériaux utilisés, les possibilités offertes par les procédés de séparation à étages multiples, le choix entre les divers schémas de principe proposés, la réduction éventuelle de la surface de membrane utilisée en aval des conduites d'écoulement et les effets des variations de température.

3. Séparation par congélation.

La séparation par congélation s'obtient suivant deux procédés fondamentaux, à savoir : la séparation par congélation directe et la séparation par l'intermédiaire d'un réfrigérant, qui tous deux ont fait l'objet d'études détaillées. Cette technique de dessalement consiste principalement à congeler une partie de la saumure, à isoler la partie congelée de celle qui a été rejetée et à la faire fondre pour récupérer l'eau. Les mêmes opérations prennent place avec le second procédé, mais impliquent en plus l'emploi d'un réfrigérant liquide ou gazeux et l'intégration de ces opérations dans le cycle de réfrigération.

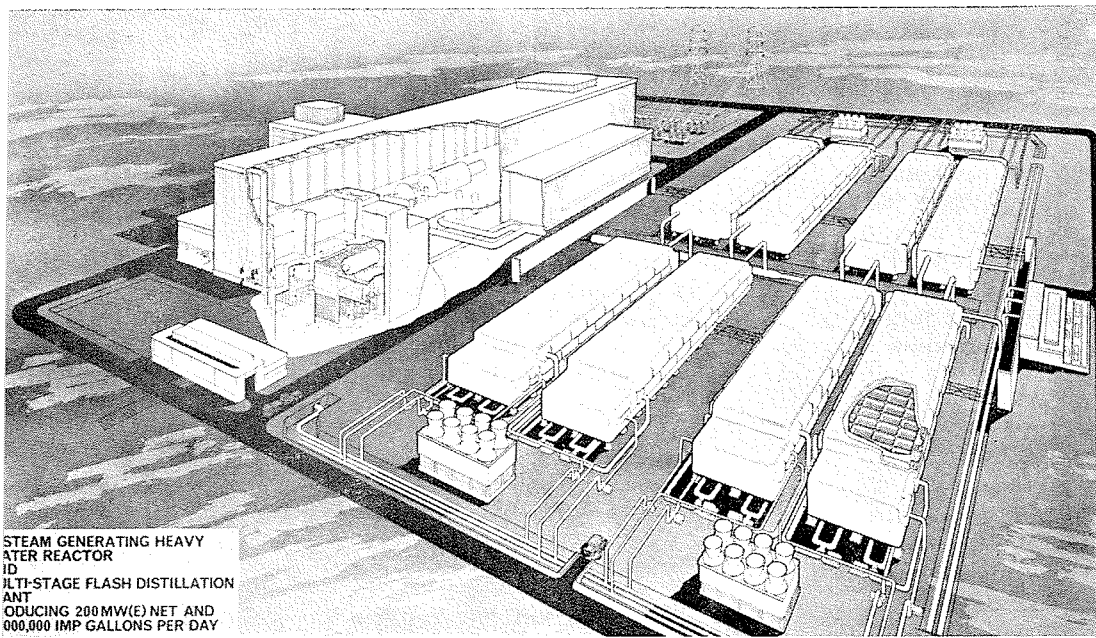
Le système de cristallisation est l'élément dont dépend toute l'efficacité du procédé et tous les problèmes se centrent sur ce point. Les recherches et essais concernant cette technique ont donc porté en grande partie sur l'étude et la conception du système de cristallisation et l'analyse des effets d'une variation dans l'un quelconque des facteurs entrant dans l'application du procédé, tels que le taux d'agitation de la saumure, la vitesse d'application du réfrigérant, la durée du passage de la saumure dans l'installation de cristallisation et la salinité de la saumure.

Installations mixtes

Ainsi qu'il a été mentionné précédemment, les activités de l'UKAEA ont permis de constituer un dossier très complet des questions relatives à l'emploi des centrales nucléaires pour une double fin. La mise au point du réacteur perfectionné refroidi au gaz (AGR) et du SGHWR aurait été décisive dans la réalisation de cet objectif, les deux réacteurs présentant deux caractéristiques d'importance vitale — la possibilité de les recharger en combustible en cours de fonctionnement et la sûreté de fonctionnement.

La première de ces caractéristiques est un garant sûr de leur constante disponibilité et assure un coefficient de charge élevé, deux facteurs qui jouent en faveur d'une réduction du prix de revient de l'eau et de l'électricité. Quant à la sûreté de fonctionnement, elle est d'autant plus essentielle que ces installations devront pouvoir être situées aussi près que possible des agglomérations privées qui auront besoin de l'eau et de l'électricité.

Des plans détaillés ont été élaborés en vue de la



d'intérêt à 7,5 %, l'eau fournie par cette usine reviendrait à 4 shillings/500 litres environ (1 000 gallons).

L'avenir

Avec les progrès réalisés dans le domaine des techniques nucléaires et la réduction consécutive des dépenses d'investissement et frais d'exploitation, l'avenir s'annonce brillant pour les projets de construction d'usines combinant la production d'énergie nucléaire et d'eau douce. Les besoins accrus en eau et électricité dans le monde exigent de multiplier le nombre

1/ Projet d'une installation mixte pour la production d'énergie nucléaire et d'eau douce à raison de 200 MW d'électricité et de 377 300 000 l (83 000 000 Imp. gallons) d'eau par jour.

de ces usines. L'UKAEA et les constructeurs britanniques d'usines de dessalement, chacun en tête des techniques mondiales dans sa propre sphère, ont su allier leur science et leurs ressources pour préparer l'avenir.

Noms et adresses des sociétés mentionnées

(1) WEIR WESTGARTH Ltd. : Edinburg House, Princess Square, East Kilbride, Glasgow (Ecosse).

(2) WILLIAM BOBY & COMPANY Ltd. : 23, High Street, Rickmansworth, Hertfordshire (Angleterre).

2/ Deux évaporateurs de séparation flash, chacun d'une capacité d'évaporation de 5 000 000 de litres (1 000 000 de gallons) environ d'eau par jour, destinés à être livrés au Gouvernement du Koweït (Weir Estgarth Ltd.).

