

**Tableau 3-1 Situation de l'alimentation en eau assurée par SEDAL en 1980**

Item		Chiffre	Remarque
Population desservie		1 623 620	1 694 573 en 1981
Quantité d'eau prise (m <sup>3</sup> )		120 344 081	Une partie est approvisionnée ailleurs
Quantité d'eau alimentée	Alimentation annuelle (m <sup>3</sup> )	113 666 000	Quantité récupérée [ Taux de récupération ] 73 214 000 m <sup>3</sup> [ 64,4 % ]
	Alimentation moyenne par jour (m <sup>3</sup> /jour)	310 600	
	Alimentation moyenne par jour par personne (ℓ/personne/jour)	191	Quantité perdue [ Taux de de perte ] 40 452 000 m <sup>3</sup> [ 35,6 % ] 113 666 000 m <sup>3</sup>
	Alimentation moyenne en été (m <sup>3</sup> /jour)	344 300	
Quantité estimative d'eau demandée	Demande annuelle (m <sup>3</sup> )	127 089 000	Alimentation / Demande estimative X 100 = [ Été 88 % Hiver 97 % Moyenne 89 % ]
	Demande moyenne par jour (m <sup>3</sup> /heure)	347 300	
	Demande moyenne par jour par personne (ℓ/personne/jour)	214	
	Demande moyenne en été (m <sup>3</sup> /jour)	392 600	
	Demande maximum en été (m <sup>3</sup> /jour)	413 700	

**(2) Stations de refoulement**

Il y a 28 stations de refoulement dont trois sont en arrêt. Celle de El Harrach est la plus importante en capacité représentant 465 870 m<sup>3</sup>/jour avec ses quatre pompes. Elle assure 82 % de l'eau alimentée au Grand Alger (250 000 m<sup>3</sup>/jour en moyenne).

**(3) Réservoirs de répartition**

Il existe aujourd'hui 92 réservoirs de répartition parmi lesquels figurent les grands tels que Kouba 97 (deux réservoirs de 2 000 m<sup>3</sup>) et Kouba 117 (trois de 4 805 m<sup>3</sup>). La capacité totale est de 25 869 m<sup>3</sup> qui correspond à peu près à 19 heures de l'alimentation moyenne.

**3.2 Prévion de l'offre et de la demande en eau du Grand Alger**

La prévion des besoins en eau d'avenir se trouve dans le rapport A2 "Prévion des besoins d'avenir" (BINNIE & PARTNERS/ W. S. Atkins Internaitonal, 1982, ci-après désigné Document

### 3.1) au sein du projet d'aménagement de ressources hydrauliques d'Alger-Sébaou.

La méthode de prévision consiste à se servir de la population d'avenir citée dans le Document 3.1 afin d'évaluer les besoins en eaux ménagères, commerciales, industrielles et publiques par rapport à 1980 en tenant compte de l'amélioration du niveau de vie, le développement industriel, l'amélioration de la pression d'eau et la prévention de fuite. Le tableau 3-2 montre le résultat de cette évaluation.

**Tableau 3-2 Prévision de la demande en eau**

Année			1980	1985	1990	2000	2010
Population d'avenir			1 623 620	2 019 900	2 437 300	2 733 200	2 832 400
Population à accroître			—	396 280	813 680	1 109 580	1 208 780
Eaux ménagères et commerciales	Sur la population actuelle (1980)	Unité modèle (ℓ/jour/personne)	97,0	101,9	107,1	118,4	130,7
		Demande (m <sup>3</sup> /an) No.1	57 642 000	63 417 000	63 498 000	70 142 000	77 480 000
	Sur la population à accroître	Unité modèle (ℓ/jour/personne)	140,0	147,1	154,6	170,8	188,7
		Demande (m <sup>3</sup> /an) No.2	—	21 283 000	45 929 000	69 184 000	83 255 000
Demande en eaux industrielles No.3			9 959 000	18 057 000	20 506 000	24 559 000	23 654 000
Demande en eaux publiques No.4			14 295 000	20 262 000	27 138 000	34 553 000	39 862 000
1 + 2 + 3 + 4			81 896 000	120 019 000	157 071 000	198 438 000	224 251 000
Demande compte tenu de l'amélioration de pression			81 896 000	120 019 000	172 778 000	218 282 000	246 676 000
Réduction de fuite (taux de perte)			35,6 %	35,0 %	30,0 %	25,0 %	25,0 %
Total de demande (m <sup>3</sup> /an)			127 089 000	184 645 000	246 826 000	291 043 000	328 901 000
Décomposition	Grand Alger (m <sup>3</sup> /an)		124 174 000	180 885 000	241 178 000	279 182 000	302 086 000
	Périphérie (m <sup>3</sup> /an)		2 915 000	3 760 000	5 648 000	11 861 000	26 815 000
Demande journalière par personne (ℓ/jour/personne)			214	250	277	292	318

Tableau 3-3 Etat annuel des quantités d'eau demandées, fournies et manquantes

Année	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Demande (en m <sup>3</sup> /an)	127 089 000	138 600 200	150 111 400	161 622 600	173 133 800	184 645 000	197 081 200	209 517 400	221 953 600	234 389 800	246 826 000	251 247 700		260 091 100	264 512 800	268 934 500	273 356 200	277 777 900	282 199 600	286 621 300	291 043 000
Alimentation réalisable (en m <sup>3</sup> /an)	113 666 000	113 666 000	113 666 000	119 666 000	135 666 000	135 666 000	135 666 000	276 700 000	275 000 000	273 000 000	272 000 000	269 800 000	267 600 000	265 400 000	263 200 000	261 000 000	258 800 000	256 600 000	254 400 000	252 200 000	
Déficit (en m <sup>3</sup> /an)	-13 423 000	-24 934 200	-36 445 400	-41 956 600	-37 467 800	-48 979 000	-61 415 200	67 182 600	53 046 400	38 610 200	25 174 000	18 552 300	11 930 600	5 308 900	-1 312 800	-7 934 500	-14 556 200	-21 177 900	-27 799 600	-34 421 300	-41 043 000
Demande moyenne (en m <sup>3</sup> /jour)	347 200	379 700	411 300	422 800	474 300	505 900	539 900	574 000	608 100	642 200	676 200	688 300	700 500	712 600	724 700	736 800	748 900	761 000	773 100	785 300	797 400
Demande moyenne en été (en m <sup>3</sup> /jour)	392 600	429 100	464 700	500 400	536 000	571 600	610 100	648 600	687 100	725 600	764 100	777 800	791 500	805 200	818 900	832 600	846 300	860 000	873 700	887 300	901 000
Demande maximum en été (en m <sup>3</sup> /jour)	413 700	451 900	489 400	526 900	564 500	602 000	642 500	683 100	723 600	764 200	804 700	819 100	833 600	848 000	826 400	876 800	891 200	905 600	920 000	934 500	948 900
Alimentation réalisable moyenne (en m <sup>3</sup> /jour)	310 600	311 400	311 400	327 900	371 700	371 700	371 700	758 100	753 400	747 900	745 200	739 200	733 200	727 100	721 100	715 100	709 000	703 000	697 000	691 000	684 900
Alimentation réalisable en été (en m <sup>3</sup> /jour)	311 300	345 700	345 700	363 900	412 600	412 600	412 600	841 500	836 300	830 200	827 200	820 500	813 800	807 100	800 400	793 700	787 000	780 300	773 700	767 000	760 300
Déficit moyen (en m <sup>3</sup> /jour)	-36 600	-68 300	-99 900	-114 900	-102 600	-134 200	-168 200	184 100	145 300	105 700	69 000	50 900	32 700	14 500	-3 600	-21 700	-39 900	-58 000	-76 100	-94 300	-112 500
Déficit moyen en été (en m <sup>3</sup> /jour)	-48 300	-83 400	-119 000	-136 500	-123 400	-159 000	-197 500	192 900	149 200	104 600	63 100	42 700	22 300	1 900	-18 500	-38 900	-59 300	-79 700	-100 000	-120 300	-140 700
Déficit maximum en été (en m <sup>3</sup> /jour)	-69 400	-106 200	-143 700	-163 000	-151 900	-189 400	-229 900	158 400	112 700	66 000	25 500	1 400	-19 800	-40 900	-62 000	-83 100	-104 200	-125 300	-146 300	-167 500	-188 600

$$\text{Alimentation réalisable en été de l'année "x"} = \frac{\text{Alimentation de l'été 1980}}{\text{Alimentation moyenne de l'année 1980}} \times \text{Alimentation réalisable de l'année "x"}$$

$$\text{Demande journalière moyenne en été de l'année "x"} = \frac{\text{Demande journalière moyenne de l'été 1980 (estimative)}}{\text{Demande journalière moyenne de l'année 1980 (estimative)}} \times \text{Demande journalière moyenne de l'année "x"}$$

$$\text{Demande journalière maximum en été de l'année "x"} = \frac{\text{Demande journalière maximum de l'été 1980 (estimative)}}{\text{Demande journalière moyenne de l'année 1980 (estimative)}} \times \text{Demande journalière moyenne de l'année "x"}$$

Note : 1. -- indique la quantité insuffisante.  
2. L'alimentation à partir du barrage de Keddara est prévue en 1987.

0

0

0

0

Par ailleurs, l'alimentation possible d'avenir compte tenu du barrage de Keddara et de l'exploitation de nouveaux puits (Chebli, Hamiz) se trouve avec la demande future dans la figure 3-3 qui nous fait comprendre une aggravation considérable de la pénurie avant l'achèvement du barrage de Keddara.

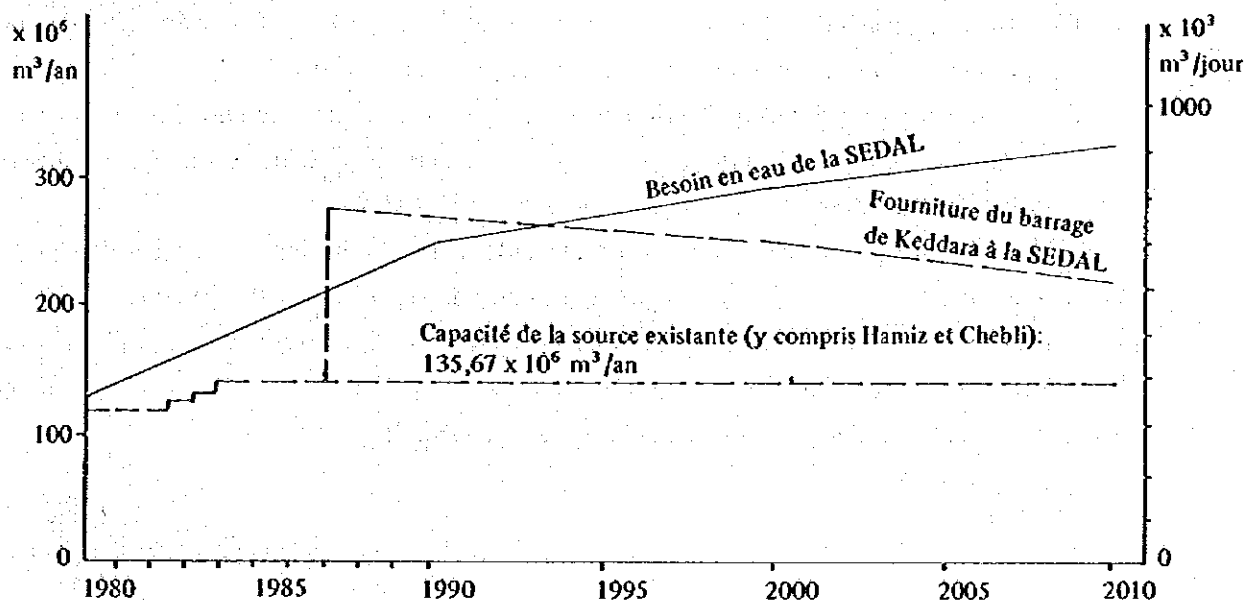


Fig. 3-3 Prévision de l'offre et de la demande en eau

Ce déficit en eau peut se définir en moyenne journalière, moyenne en été et maximum en été comme indiqué au tableau 3-3 selon lequel en 1986, année prévue de la mise en service de l'Unité de dessalement, le déficit sera de 168 200 m<sup>3</sup>/jour en moyenne, 197 500 m<sup>3</sup>/jour en moyenne en été, 229 900 m<sup>3</sup>/jour au maximum en été.

### 3.3 Taille de l'Unité de dessalement de l'eau de mer

Avant d'étudier la taille de l'Unité de dessalement, on peut faire une prévision de l'offre et de la demande en termes de taux de satisfaction qui est le rapport de l'alimentation à la demande, ce qui se trouve au tableau 3-4. On comprend donc qu'en 1986 le taux de satisfaction va encore baisser par rapport au présent, ce qui signifie que la demande ne sera saisie qu'à 60-70%.

Tableau 3-4 Prévision du taux de satisfaction (%)

	1980	1985	1986
Moyenne par an	89	73	69
Moyenne en été	88	72	68
Maximum en été	83	69	64

Par conséquent, l'Unité de dessalement devrait, afin de faire face à cette pénurie, avoir la taille susceptible d'assurer l'alimentation régulière en quantité et en qualité de l'eau, mais le

Projet nécessite en même temps une considération particulière des points suivants:

- (1) Le barrage de Keddara sera terminé l'année suivante et alimentera Grand Alger en passant par la station de traitement de Boudouaou;
- (2) Le coût de réalisation de l'Unité étant estimé considérablement important, il est souhaitable d'avoir le taux d'exploitation aussi élevé que possible;
- (3) En règle générale, lorsqu'une pénurie chronique persiste, l'offre suffisante n'entraîne pas une montée immédiate de la demande jusqu'au niveau normal;
- (4) L'alimentation déterminée selon la demande maximum de l'été entraînerait une montée dans le coût d'alimentation du fait que la capacité d'alimentation dépasse la demande pendant d'autres périodes qu'un mois environ de l'été.

A titre indicatif, nous avons montré un exemple de l'alimentation au moment de sécheresse (où un manque d'eau au niveau de sources ne permet pas un approvisionnement normal) au Japon dans la figure 3-4. Celle-ci nous fait comprendre que pendant longtemps après la levée de la restriction, la demande ne reprend pas le niveau normal du passé à cause de la prise de conscience de la nécessité d'économies ou par la force de l'habitude.

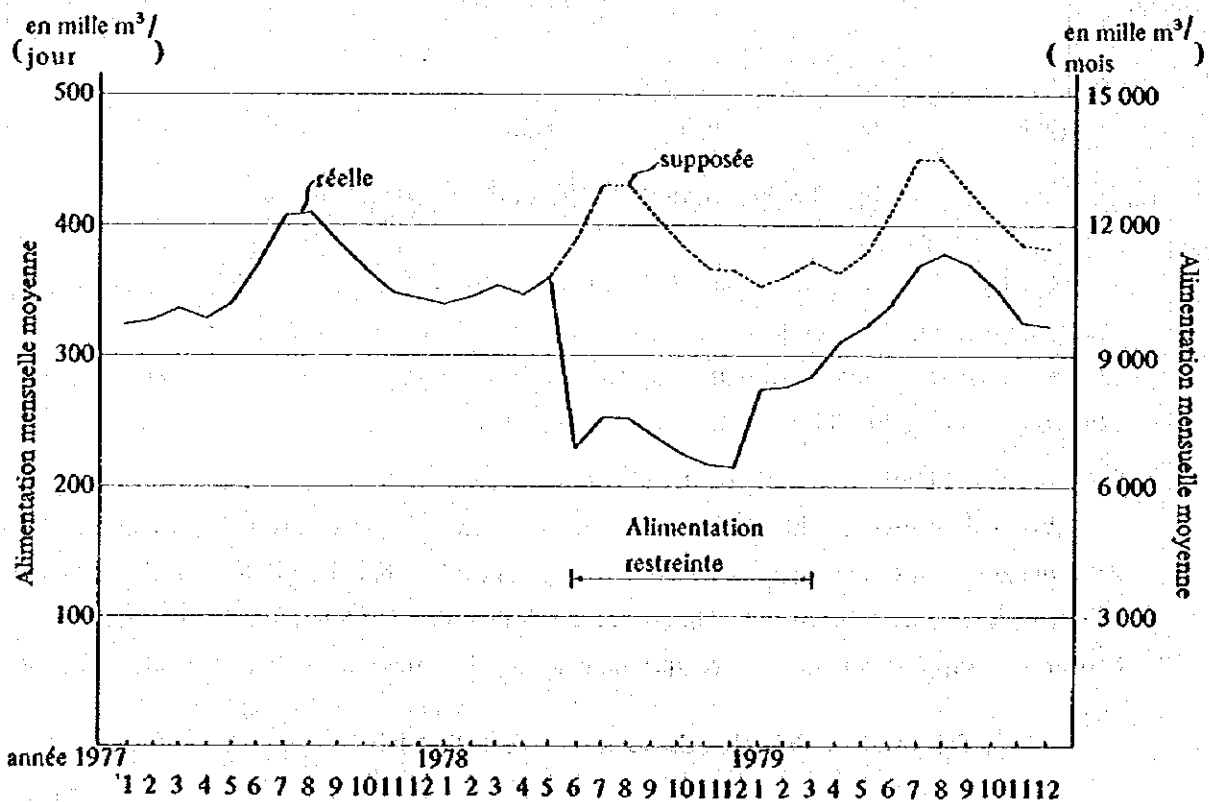


Fig. 3-4 Exemple des résultats d'alimentation en eau au Japon à l'occasion de la sécheresse

En face de cet impératif social qui est la mise en oeuvre de l'Unité dessalement, la réflexion sur le rendement économique signalé aux (1) et (2) ci-dessus et sur l'exemple donné au (3) nous amène à penser qu'il n'est pas nécessaire de donner à l'Unité la taille couvrant la totalité de quantité insuffisante juste pour monter à 100% le taux de satisfaction en 1986.

Ce qui suit est la taille de l'Unité en fonction de taux de satisfaction en moyenne de l'été. Nous prenons ici le taux à 85%, 90 % et 95 % qui se situent autour de 88 % , celui de 1980 indiqué au tableau 3-4.

Taux de satisfaction (%)	Taille de l'Unité (m <sup>3</sup> /jour)
85	106 000
90	136 500
95	167 000

Afin de saisir quantitativement l'évaluation sur la pénurie d'eau, nous avons la formule suivante dont le produit sert d'indice:

Evaluation sur la pénurie d'eau An (% · jour)

$$= \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{Si}{Di}\right) \times 100 = \sum_{i=1}^n Wi$$

An = Total de taux d'insuffisance jusqu'au n<sup>ème</sup> jour (%·jour)

Di = Demande au i<sup>ème</sup> jour

Si = Alimentation réelle au i<sup>ème</sup> jour

Wi = Taux d'insuffisance au i<sup>ème</sup> jour (%)

La limite dans laquelle l'homme supporte la pénurie est généralement fixée en valeur de l'évaluation sur la pénurie d'eau de l'ordre de 1 000 % · jour à 1 500 % · jour. La formule ci-dessus et le Document 3.1 nous permettent de définir l'évaluation sur la pénurie en été où montent les besoins pour les années 1980, 1985 et 1986. Pour cette dernière qui bénéficie de la mise en service de l'Unité, nous l'avons définie en fonction du taux de satisfaction sur la demande moyenne à 85 %, 90 % et 95 %. Voir le tableau 3-5 pour les valeurs relevées.

Tableau 3-5 Taux d'insuffisance et l'évaluation d'insuffisance en été

Année / Mois	1980	1985	1986		
			Taux de satisfaction 85 %	Taux de satisfaction 90 %	Taux de satisfaction 95 %
6	12,2 %	27,8 %	14,6 %	9,6 %	4,5 %
7	12,3 %	27,8 %	15,0 %	10,0 %	5,0 %
8	12,1 %	27,7 %	14,6 %	9,6 %	4,5 %
9	10,2 %	26,1 %	12,4 %	7,0 %	1,7 %
Evaluation d'insuffisance	1 428 % Jour	3 338 % Jour	1 728 % Jour	1 106 % Jour	481 % Jour

Tout ce qui précède montre que l'Unité devrait avoir la taille susceptible de ramener l'évaluation sur la pénurie à moins de 1000 %·jour, ce qui correspond à la capacité de plus de 141 700 m<sup>3</sup>/jour (seréfère à la figure 3-5). Il en résulte donc que la taille convenable de l'Unité

est de 150 000 m<sup>3</sup>/jour dans le cadre de la F/S.

Le tableau 3-6 et la figure 3-6 montrent la prévision à l'horizon 2000 de l'offre et de la demande à l'agglomération algéroise après la mise en service de l'Unité.

Il est à noter que l'Unité sera exploitée sans interruption toute l'année à la priorité sur le barrage de Keddara qui se mettra en service en 1987. Celui-ci va compléter, d'après notre hypothèse, uniquement un déficit dans l'alimentation, l'Unité (150 000 m<sup>3</sup>/jour) et les puits (371 700 m<sup>3</sup>/jour) ne pouvant satisfaire à eux seuls (521 700 m<sup>3</sup>/jour) la demande du Grand Alger. La quantité alimentée à partir du barrage va donc augmenter en fonction de la demande qui monte d'une année à l'autre, mais il se peut que le barrage mette à la disposition du Grand Alger la quantité dépassant son besoin. Le surplus ainsi créé peut servir à d'autres fins.

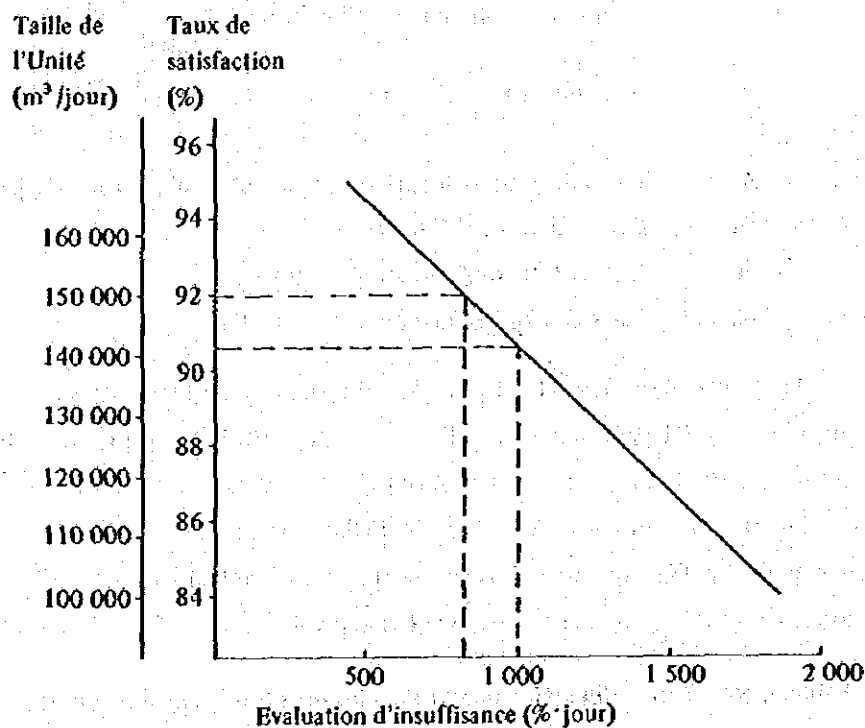


Fig. 3-5 Rapport entre l'évaluation d'insuffisance et la taille de l'Unité



Tableau 3-6 Prévion de l'offre et de la demande à l'agglomération algéroise après la mise en service de l'Unité (m<sup>3</sup> /jour)

Année		1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
Demande	Moyenne annuelle	539.900	574.000	608.100	642.200	676.200	688.300	700.500	712.600	724.700	736.800	748.900	761.000	773.100	785.300	797.400	
	Moyenne en été	610.100	648.600	687.100	725.600	764.100	777.800	791.500	805.200	818.900	832.600	846.300	860.000	873.700	887.300	901.000	
	Unité dessalement	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Alimentation en fonction des sources	Puits	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700	371.700
	Barrage de Keddara	-	52.300	86.400	120.500	154.500	166.600	178.800	190.900	203.000	215.100	227.200	239.300	251.400	263.600	275.700	
Déficit	Moyenne annuelle	18.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Moyenne en été	51.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

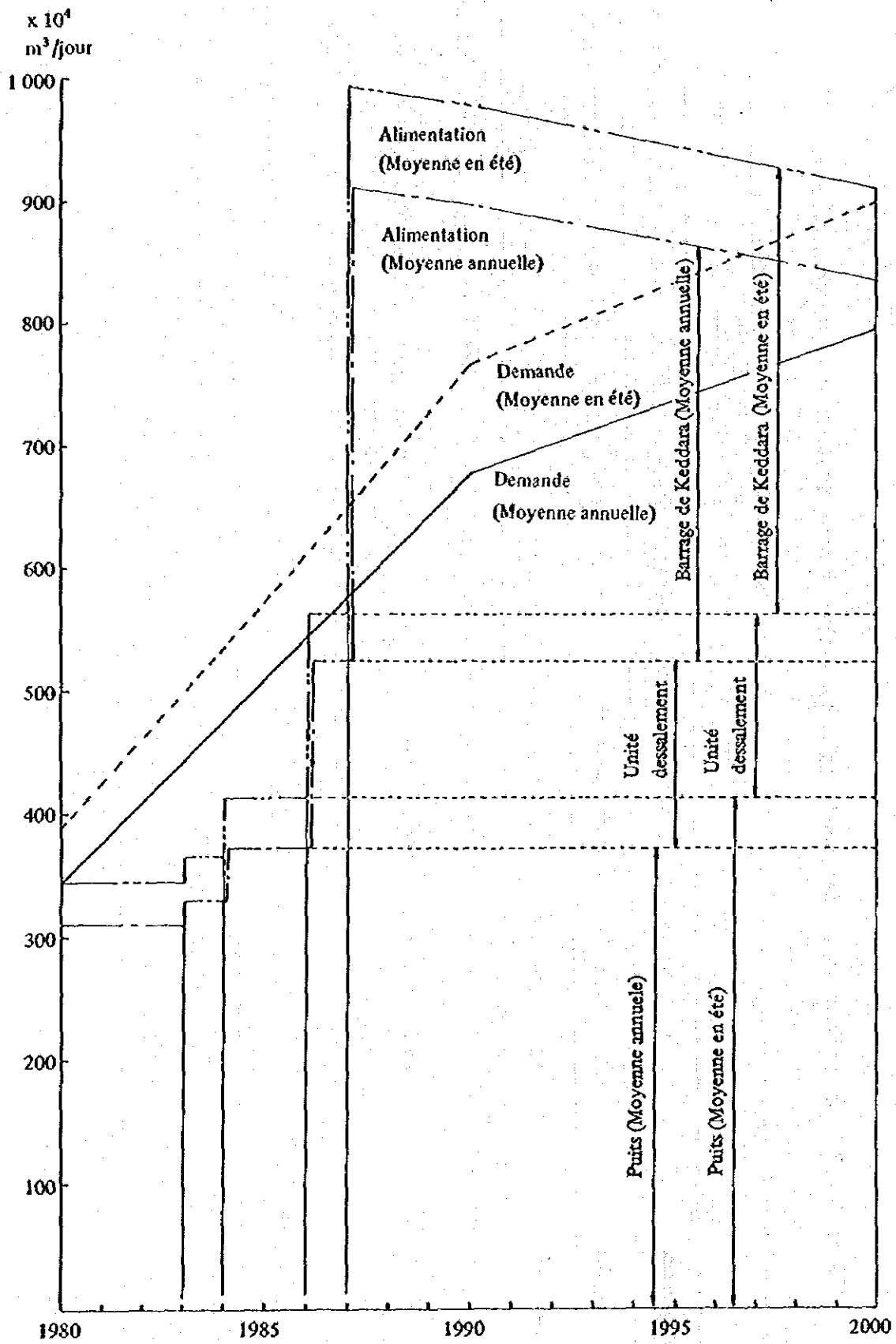


Fig. 3-6 Prévion de l'offre et de la demande en eau du Grand Alger

## **Chapitre 4**

### **Procédés de dessalement d'eau de mer**



## Chapitre 4. Procédés de dessalement d'eau de mer

### 4.1 Description générale des divers procédés de dessalement d'eau de mer

#### 4.1.1 Généralités

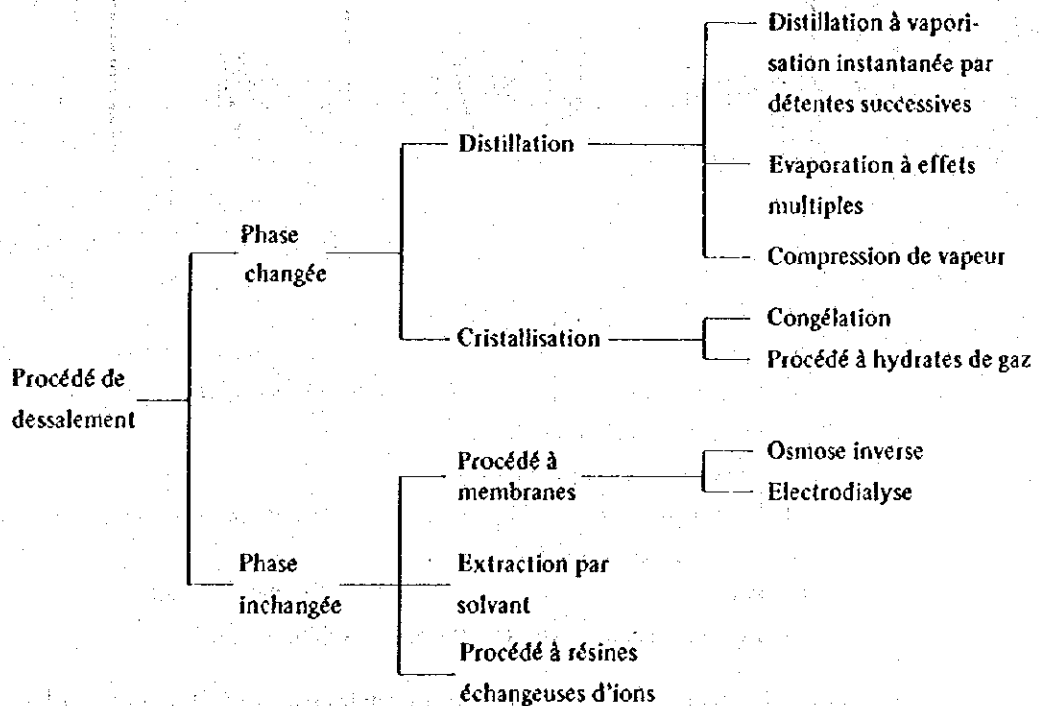
L'eau de mer est une solution aqueuse contenant généralement 3,5 % de différents sels dissous. Le dessalement de l'eau de mer consiste à éliminer de celle-ci les sels dissous. Les méthodes de dessalement largement connues sont la distillation, la cristallisation, l'osmose inverse, l'extraction par solvant, l'électrodialyse et le procédé à résines échangeuses d'ions.

Pour la séparation d'eau de l'eau de mer, la distillation et la cristallisation utilisent le changement de phase de l'eau, tandis que l'osmose inverse la réalise par le passage sous pression de l'eau de mer à une membrane semipermeable. L'électrodialyse sépare, par différence de potentiel, les ions dans l'eau de mer avec le passage de celle-ci aux membranes échangeuses d'ions. Ces deux dernières méthodes qui emploient les membranes spéciales (d'osmose inverse et échangeuses d'ions) sont appelées généralement "procédés à membranes".

L'extraction par solvant emploie un solvant organique dans lequel la solubilité de l'eau change grandement suivant la variation de température. Le procédé à résines échangeuses d'ions utilise, comme sa désignation l'indique, la fonction d'échange ionique des résines échangeuses d'ions.

Le tableau 4-1 représente la classification des procédés de dessalement d'eau de mer.

Tableau 4-1 Classification des procédés de dessalement d'eau de mer

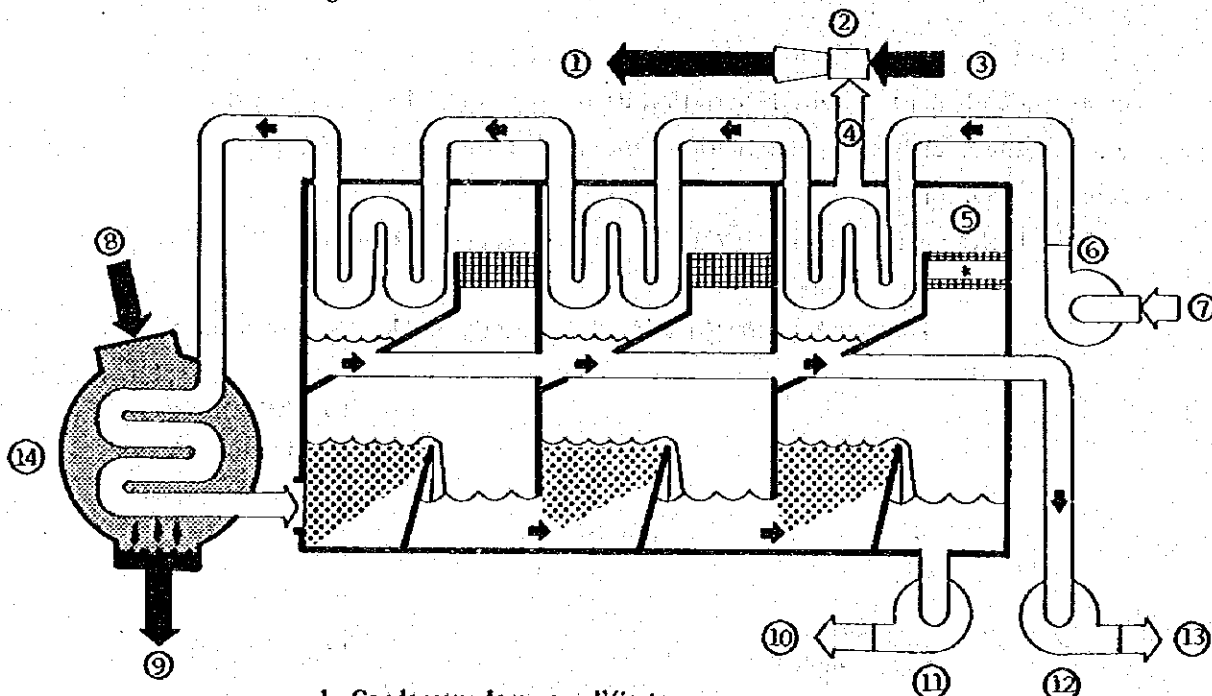


#### 4.1.2 Distillation

Les procédés par distillation consistent à évaporer l'eau à partir de l'eau de mer chauffée et à obtenir l'eau douce par condensation de la vapeur produite. Les procédés mis au point actuellement sont la distillation à vaporisation instantanée par détentes successives, l'évaporation à effets multiples et la compression de vapeur dont le principe respectif est décrit ci-après:

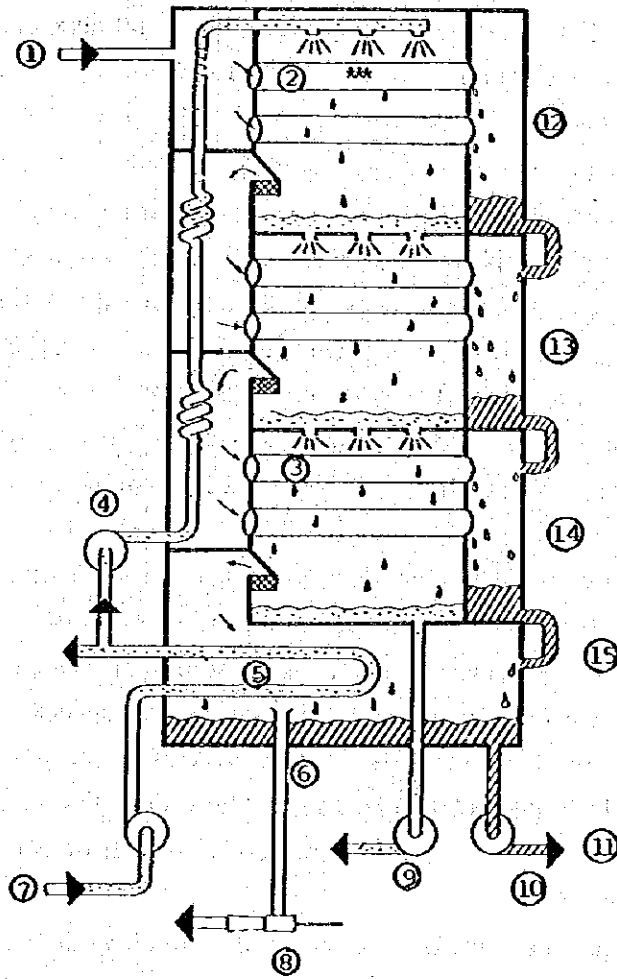
##### (1) Distillation à vaporisation instantanée par détentes successives

L'alimentation en eau de mer d'un évaporateur en dépression donne lieu au phénomène de vaporisation flash par ébullition instantanée. Les installations industrielles de distillation par détentes successives réalisent une évaporation efficace par la reprise de vaporisation instantanée en nombreux étages, à partir de la pression et température légèrement plus élevées qu'à la pression atmosphérique (de l'ordre de  $2,7 \text{ kg/cm}^2$ ,  $120^\circ\text{C}$ ) jusqu'à celles entrant dans le domaine de vide (de l'ordre de  $0,04 \text{ kg/cm}^2$ ,  $32^\circ\text{C}$ ). Le principe de distillation par détentes successives est représenté schématiquement à la figure 4-1.



- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 1. Condenseur de vapeur d'éjecteur       | 3. Vapeur d'éjecteur                  |
| 2. Ejecteur                              | 5. Séparateur de vapeur               |
| 4. Extraction de vapeur                  | 6. Pompe d'alimentation en eau de mer |
| 6. Pompe d'alimentation en eau de mer    | 7. Eau de mer (de la prise d'eau)     |
| 7. Eau de mer (de la prise d'eau)        | 8. Vapeur chauffée                    |
| 8. Vapeur chauffée                       | 9. Réservoir de vidange               |
| 10. Saumure (vers le fossé d'évacuation) | 11. Pompe à saumure                   |
| 11. Pompe à saumure                      | 12. Pompe à eau douce                 |
| 12. Pompe à eau douce                    | 13. Réservoir d'eau douce             |
| 13. Réservoir d'eau douce                | 14. Réchauffeur de saumure            |
| 14. Réchauffeur de saumure               |                                       |

Fig. 4-1 Schéma de principe du procédé de distillation par détente à étages multiples (à reflux)



1. Vapeur chauffée
2. Tube échangeur de chaleur
3. Tube échangeur de chaleur
4. Pompe d'alimentation en eau
5. Condenseur
6. Purge d'air
7. Eau de mer
8. Ejecteur
9. Pompe d'évacuation de saumure
10. Pompe à eau produite
11. (Réservoir d'eau douce)
12. Evaporateur de premier effet
13. Evaporateur de deuxième effet
14. Evaporateur de troisième effet
15. Degagement de chaleur.

**Fig. 4-2 Schéma de principe du procédé d'évaporation à effets multiples en colonne à tubes horizontaux**

(2) Evaporation à effets multiples

Au procédé d'évaporation à effets multiples, nombreux évaporateurs sont disposés en série successivement à partir du côté haute température, avec la pression maintenue basse. Le chauffage de l'eau de mer est réalisé au moyen de la vapeur produite à l'évaporateur précédent, sauf l'évaporateur de premier effet qui utilise la vapeur produite par chaudière. En d'autres termes, la chaleur latente que la vapeur produite à un évaporateur à haute pression dégage lors de la condensation à l'évaporateur suivant sert, à plusieurs reprises, de la chaleur requise pour la vaporisation de l'eau de mer à un évaporateur à basse pression (chaleur latente de vaporisation). Ainsi, le procédé est conçu de façon à obtenir l'eau douce en aussi grande quantité que possible, au moyen d'une énergie thermique déterminée. La figure 4-2 représente le principe du procédé d'évaporation à effets multiples en colonne à tubes horizontaux.

(3) Compression de vapeur

La vapeur soumise à la compression adiabatique s'échauffe et se condense à haute température. Le procédé de compression de vapeur qui utilise ce phénomène soumet la vapeur produite de l'eau de mer dans l'évaporateur à la compression et élévation de température dans le compresseur. La vapeur est retournée dans le même évaporateur pour servir au chauffage. La chaleur nécessaire au démarrage est apportée de l'extérieur. La vapeur étant une fois produite dans l'évaporateur, sa compression et élévation de température par le compresseur permet de réaliser la vaporisation d'une manière continue.

(4) Caractéristiques et actuelle mise au point technologique des procédés par distillation

Les procédés de distillation sont les techniques de dessalement mises en oeuvre depuis longtemps qui ont fait l'objet du plus grand nombre de réalisations (environ 76 % des installations de dessalement réalisées dans le monde entier). Notamment, le procédé de distillation à vaporisation instantanée par détente successives se trouve à un niveau très élevé de perfectionnement technologique C'est ce procédé qui est adopté par la plupart des installations en fonctionnement industriel. Généralement, les installations à moyenne échelle utilisent le procédé d'évaporation à effets multiples, et celles à petite échelle le procédé de compression de vapeur. Les caractéristiques des procédés de distillation sont les suivantes:

- 1) L'eau produite présente une bonne qualité proche de l'eau distillée;
- 2) Le procédé de distillation par détente successives qui permet l'augmentation avantageuse à l'échelle est approprié aux grandes installations;
- 3) Malgré la grande consommation des énergies, les procédés sont favorables aux régions où les énergies peuvent s'acquérir à bas prix. En effet, ils sont largement utilisés au Moyen-Orient;
- 4) La vapeur chauffée nécessaire peut être d'une pression relativement basse;
- 5) La haute température de fonctionnement demande la protection contre la corrosion des équipements et contre l'entartrage des tubes échangeurs de chaleur, ce



qui implique l'utilisation de matériaux de haute qualité. Il faut en outre le prétraitement de l'eau de mer, constitué par la désaération et le contrôle du pH ou l'injection d'un inhibiteur d'entartrage;

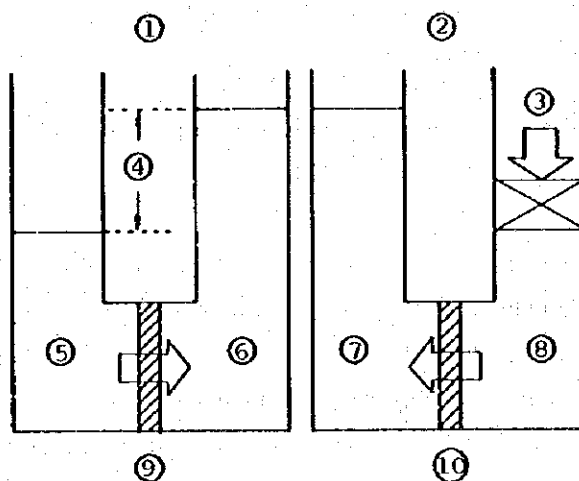
- 6) La nécessité en grande quantité de l'eau de mer refroidie implique un grand ouvrage de prise et rejet d'eau.

#### 4.1.3 Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé permettant d'obtenir l'eau douce à partir de l'eau de mer, au moyen d'une membrane semi-perméable qui laisse passer facilement l'eau et difficilement les sels.

##### (1) Principe de l'osmose inverse

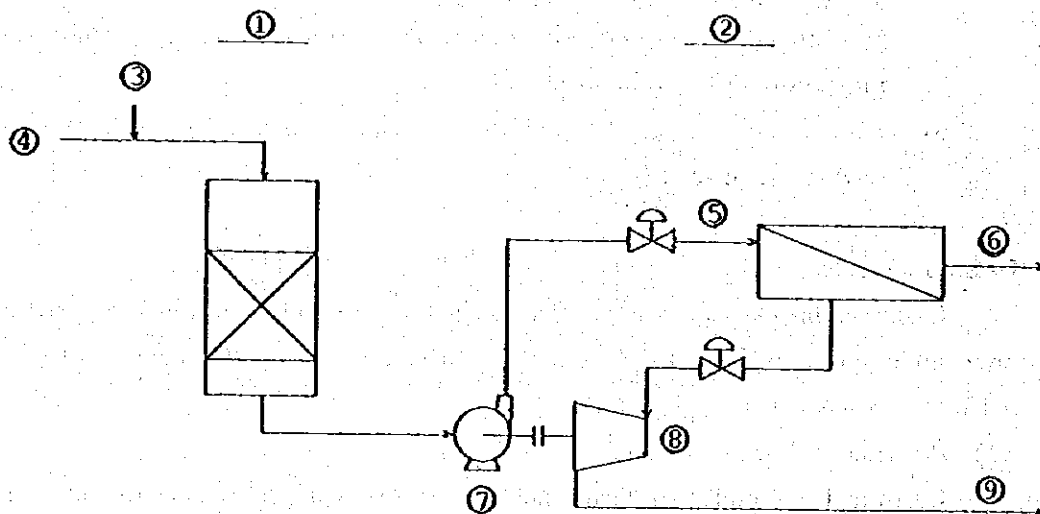
Lorsque l'eau douce et l'eau saline se trouvent séparées par une membrane semi-perméable, l'eau douce pénètre la membrane pour passer au côté eau saline. Comme le montre la figure 4-3, la pénétration d'eau arrête à un niveau déterminé correspondant à la différence de concentration. On appelle ce phénomène "osmose" ou "osmose directe" et la différence de niveau d'eau (pression) "pression osmotique".



- |                           |                            |
|---------------------------|----------------------------|
| 1. Osmose                 | 3. Osmose inverse          |
| 2. Pression               | 4. Pression osmotique      |
| 5. Eau douce              | 6. Eau saline              |
| 7. Eau douce              | 8. Eau saline              |
| 9. Membrane semipermeable | 10. Membrane semipermeable |

Fig. 4-3 Schéma de principe du procédé d'osmose inverse

Si on exerce sur l'eau salinè une pression dépassant la pression osmotique, la pénétration d'eau se produit dans le sens inverse. Ce phénomène est appelé "osmose inverse". Ledit phénomène d'osmose inverse est utilisé pour dessaler l'eau de mer. La figure 4-4 représente en gros le fonctionnement du procédé d'osmose inverse.



- |                                      |                            |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1. Prétraitement                     | 2. Module d'osmose inverse |
| 3. Injection de produits chimiques   |                            |
| 4. Eau de mer                        | 5. Eau d'alimentation      |
| 6. Eau de pénétration                | 7. Pompe à haute pression  |
| 8. Turbine de récupération d'énergie |                            |
| 9. Eau concentrée                    |                            |

Fig. 4-4 Schéma de fonctionnement du procédé d'osmose inverse

(2) Caractéristiques et mise au point technologique actuelle du procédé par osmose inverse

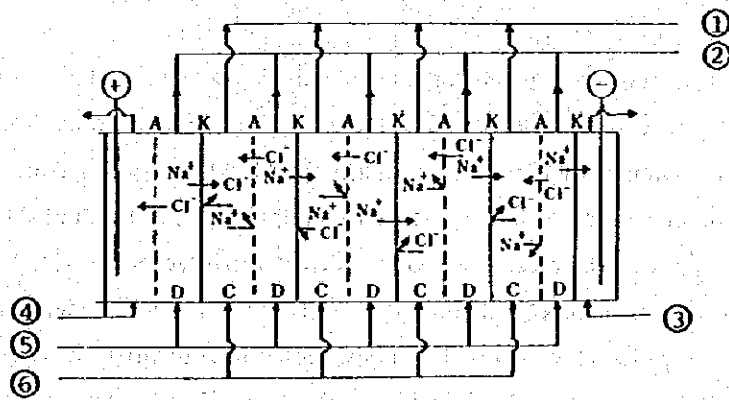
Le procédé d'osmose inverse a fait ces dernières années un progrès technologique remarquable grâce au perfectionnement de la membrane d'osmose inverse. Il en est arrivé à représenter environ 20 % de la capacité totale de production d'eau des installations de dessalement d'eau de mer et de saumure réalisées dans le monde entier. Outre ces installations à osmose inverse existantes dont la plupart sont destinées à l'eau de mer se voient ces jours-ci projetées ou construites. Compte tenu des efforts poursuivis pour perfectionner les grands modules, l'osmose inverse est une technique laissant espérer que le coût de production d'eau sera réduit davantage au futur. Les caractéristiques du procédé d'osmose inverse sont les suivantes:

- 1) De son principe, l'osmose inverse est un procédé qui consomme les énergies le moins. Dans le cas de production d'eau en grande quantité, la récupération d'énergie de l'eau concentrée évacuée à haute pression permet la réduction plus poussée de la consommation d'énergie;
- 2) L'exploitation, maintenance et contrôle sont simples et aisés;
- 3) Le fonctionnement étant à froid, la corrosion des matériaux n'est pas grave;
- 4) Le procédé permet d'élever le taux de récupération d'eau douce et ne demande qu'un ouvrage de prise et rejet d'eau de taille relativement petite;

- 5) Pour maintenir la qualité des modules d'osmose inverse durant longtemps, il faut effectuer rigoureusement l'élimination du composant troublant de l'eau de mer;
- 6) Les modules d'osmose inverse se dégradent graduellement suivant que l'utilisation se prolonge. Les éléments-membranes doivent donc être remplacés à des intervalles de quelques années.

#### 4.1.4 Electrodialyse

L'eau de mer est versée entre la membrane échangeuse de cations qui laisse passer exclusivement les cations et la membrane échangeuse d'anion dont le passage est limité aux anions. Les deux côtés des membranes sont mis sous tension continue. Comme montré sur la figure 4-5, les cations et anions dans l'eau de mer se déplacent vers les électrodes chacun à travers la membrane perméable à eux. L'eau douce est ainsi obtenue. Voilà le principe de l'électrodialyse. Dans une installation industrielle, les membranes échangeuses de cations et d'anions sont disposées en quelques dizaines ou centaines de paires à des intervalles étroits de 0,5 à 2 mm pour constituer une cuve d'électrodialyse. Celle-ci est composée des cellules d'eau concentrée et d'eau douce disposées en alternance. La production se termine par l'extraction d'eau de la cellule d'eau douce.



1. Sortie d'eau de mer concentrée
  2. Sortie d'eau dessalée
  3. Catholyte
  4. Anolyte
  5. Entrée d'eau de mer (côté dilution)
  6. Entrée d'eau de mer (côté concentration)
- A: Membrane anionique  
K: Membrane cationique

Fig. 4-5 Schéma de principe du procédé d'électrodialyse

Le procédé d'électrodialyse a été mis en oeuvre plus tôt que l'osmose inverse. Il est destiné le plus souvent à la saumure. Pour le dessalement d'eau de mer par électrodialyse on connaît la réalisation peu nombreuse de petites unités et le développement en cours d'un système à faible consommation d'énergie. Le procédé d'électrodialyse a les caractéristiques suivantes:

- (1) Le taux de récupération d'eau est élevé;
- (2) Le fonctionnement étant à froid sous pression atmosphérique, la corrosion des équipements n'est pas grave. Cela permet d'utiliser les matériaux à bas prix tels que le chlorure de polyvinyle;
- (3) La consommation d'électricité est proportionnelle à la concentration de l'eau brute. Elle est donc grande au dessalement d'eau de mer;
- (4) Les membranes échangeuses d'ions doivent être lavées périodiquement pour enlever les impuretés déposées;
- (5) L'augmentation à l'échelle est peu avantageuse.

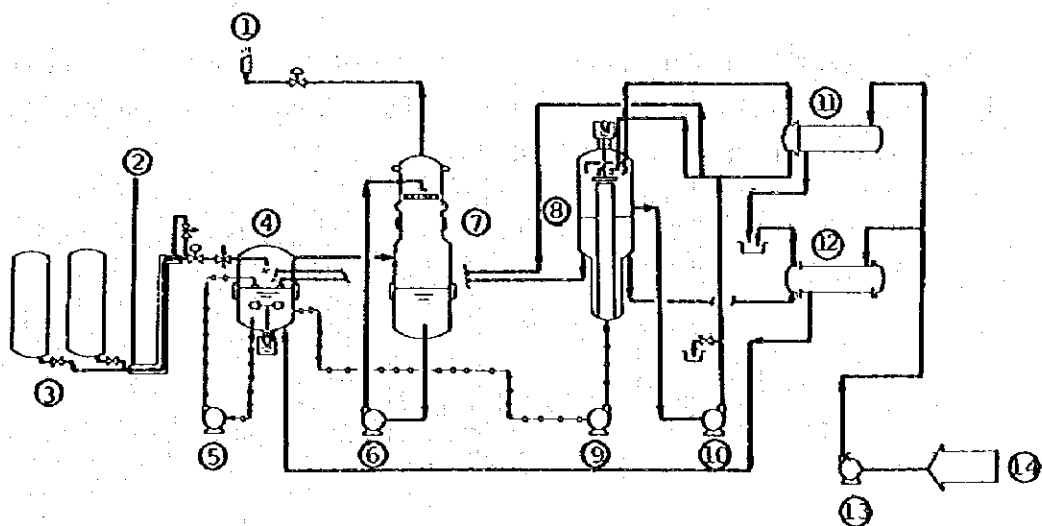
#### 4.1.5 Congélation

Le procédé de congélation utilise le fait que les cristaux de glace ne contiennent pas de sels. Il réfrigère l'eau de mer pour précipiter les cristaux de glace et obtient l'eau douce par séparation et fusion de glace.

L'énergie requise pour la cristallisation de glace correspond à environ 1/6 (80 à 100 kcal/kg) de celle pour l'évaporation d'eau. L'utilisation d'un cycle de congélation efficace permet le dessalement d'eau de mer à bas prix à faible consommation d'énergie.

Le procédé de congélation est divisé en les modes indirect et direct selon le procédé de réfrigération d'eau de mer. Le mode indirect réfrigère et congèle l'eau de mer par l'intermédiaire d'une surface échangeuse de chaleur. Il y a le problème que la couche de glace déposée sur cette surface accroît la résistance à la transmission de chaleur. Le mode direct est subdivisé en la méthode de contact direct à réfrigérant secondaire et la méthode sous vide. Pour la première méthode, les techniques employant comme réfrigérant les gaz liquéfiés tels que butane et Fréon ont été mises au point. En outre, la technique au gaz naturel liquéfié (GNL) est en cours de développement au Japon. La figure 4-6 représente le schéma de fonctionnement d'une unité expérimentale de dessalement d'eau de mer par congélation en contact direct au GNL.

Le procédé de congélation a des difficultés dans la cristallisation, lavage et séparation de glace. La recherche et développement technique sont en cours, mais il n'existe pas encore d'installations industrialisées.



- |  |                        |
|--|------------------------|
| 1. Emission dans l'air                   | 2. Emission dans l'air |
| 3. Réservoir de GNL                      | 4. Cristalliseur       |
| 5. Pompe de circulation de cristalliseur |                        |
| 6. Pompe de circulation de réchauffeur   |                        |
| 7. Réchauffeur de gaz                    |                        |
| 8. Cuve de séparation - lavage - fusion  |                        |
| 9. Pompe à boue liquide                  | 10. Pompe à eau douce  |
| 11. Réchauffeur                          | 12. Prérefroidisseur   |
| 13. Pompe d'alimentation en eau de mer   |                        |
| 14. Eau de mer                           |                        |

**Fig. 4-6 Schéma de fonctionnement d'une unité expérimentale par congélation en contact direct au GNL**

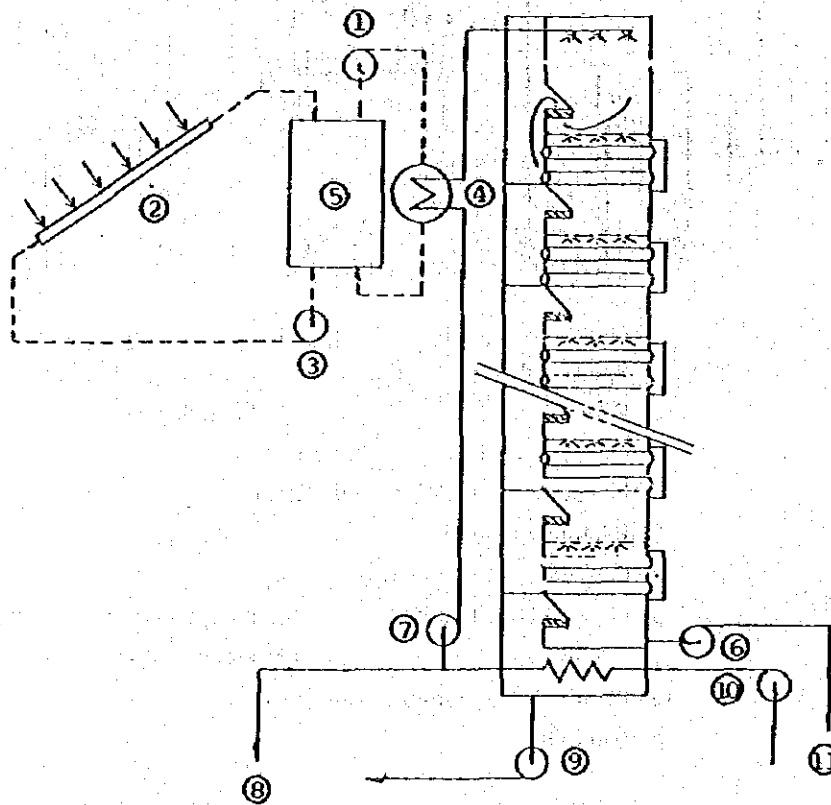
#### 4.1.6 Procédé à énergie solaire

Le procédé à énergie solaire se divise en les modes direct et indirect.

L'installation de dessalement à bassin est une matérialisation typique du mode direct. Elle a deux fonctions: la collection de chaleur solaire et le dessalement d'eau de mer, combinées en monobloc. Ses composants sont un large bassin horizontal rempli d'une mince couche d'eau de mer et une couverture transparente. Très simple, mais de faible capacité de production d'eau par surface unitaire, ce mode ne convient pas aux grandes installations. Suivant la mise au point des collecteurs de chaleur en vue de l'utilisation efficace de l'énergie thermique du soleil, le mode indirect dont le rendement est meilleur fait des progrès rapides.

Le mode indirect est matérialisé par la combinaison d'une installation de dessalement d'eau de mer au procédé de distillation courant, soit par détentes successives soit à effets multiples, avec un collecteur de chaleur solaire servant au chauffage. La figure 4-7 montre une combinaison de celui-ci avec une installation de dessalement par évaporation à effets

multiples. Par ailleurs, l'utilisation de la chaleur solaire est étudiée pour le préchauffage de l'eau de mer à dessaler par le procédé d'électrodialyse dont le rendement peut être amélioré par l'élévation de température de l'eau de mer.



1. Pompe de circulation d'eau chauffée
2. Collecteur de chaleur
3. Pompe collectrice de chaleur
4. Réchauffeur d'eau d'alimentation
5. Accumulateur de chaleur
6. Pompe d'évacuation de saumure
7. Pompe d'alimentation en eau
8. Evacuation
9. Pompe à eau distillée
10. Pompe à eau de mer
11. Evacuation

**Fig. 4-7** Combinaison du collecteur de chaleur solaire avec le procédé à effets multiples

Les collecteurs de chaleur solaire ont un encombrement extrêmement grand et leur construction est donc coûteuse. Le développement technique est mené pour mettre au point un collecteur à meilleur rendement, des matériaux à bas prix et à haute durabilité. Il existe de petites installations industrielles au mode direct. Le mode indirect est encore au stade expérimental.

En ce qui concerne l'utilisation de l'énergie thermique du soleil en dehors de la collection de chaleur, les recherches sont faites sur le dessalement d'eau de mer en combinaison de la production d'électricité à cellules solaires avec le procédé d'osmose inverse.

#### 4.1.7 Autres procédés de dessalement d'eau de mer

Les autres procédés de dessalement d'eau de mer, à savoir, le procédé à hydrates de gaz qui entre dans le groupe de cristallisation, l'extraction par solvant et le procédé à résines échangeuses d'ions ne sont pas encore industrialisés.

##### (1) Procédé à hydrates de gaz

Le procédé à hydrates de gaz utilise la caractéristique des gaz tels que gaz carbonique, chlore, flon, éthane et propane qui en coexistence avec l'eau, se cristallisent en hydrate à une température d'environ 10°C ou moins. La formation d'hydrate est exothermique. Les recherches visent à mettre l'eau de mer en contact direct avec le gaz liquéfié de propane ou flon servant également de réfrigérant pour la refroidir par la chaleur latente de vaporisation et à former l'hydrate de ce gaz.

##### (2) Extraction par solvant

Le procédé d'extraction par solvant consiste à extraire l'eau de l'eau saline au moyen d'un solvant tel que triéthylamine dans lequel la solubilité d'eau varie grandement suivant le changement de température. Dans le cas de triéthylamine, l'eau saline et le solvant sont mélangés à 20°C. Après une dissolution suffisante d'eau, la phase de solvant séparée est chauffée à 50°C. Cela permet de séparer l'eau dissoute. Pour les solvants autres que la triéthylamine, on peut citer le phénol et la benzène.

##### (3) Procédé à résines échangeuses d'ions

Le procédé à résines échangeuses d'ions consiste à adsorber et éliminer les ions dans l'eau saline au moyen des résines échangeuses de cations et d'anions. La régénération des résines est faite généralement à l'acide et à l'alcali. En outre, les résines à régénération thermique à eau chaude ont été mises au point. Le procédé satisfait à la demande d'une eau de pureté élevée à partir d'une eau saline de concentration relativement faible, mais il ne convient pas au dessalement d'eau de mer.

#### 4.2 Procédés de dessalement d'eau de mer s'adaptant aux grandes unités

La présente F/S étudie la faisabilité du projet ayant pour objet l'alimentation sûre en eau de robinet par une grande unité de dessalement d'eau de mer de capacité 150 000 m<sup>3</sup>/jour à construire à bref délai avant le mois de juin 1986 en vue de combler d'urgence l'insuffisance d'eau du Grand Alger. Les procédés de dessalement s'adaptant audit Projet doivent donc remplir les conditions suivantes:

- (1) Echelle : appropriée aux grandes unités
- (2) Fiabilité : haute fiabilité prouvée par nombre d'unités industrielles
- (3) Exploitation, maintenance et contrôle : exploitation, maintenance et contrôle aisés,

demandant peu de techniciens et personnel qualifié d'ordre supérieur

(4) Rentabilité : les coûts de construction et de production d'eau ne sont pas élevés.

(5) Délai de construction : réalisable dans un délai aussi court que possible

Les procédés qui satisfont aux conditions ci-dessus sont la distillation à vaporisation instantanée par détentes successives et l'osmose inverse. Une description plus détaillée des deux procédés sera donnée ci-après:

#### 4.2.1 Distillation à vaporisation instantanée par détentes successives

Pour obtenir l'eau douce à partir de l'eau de mer, le procédé de distillation évapore l'eau par chauffage de l'eau de mer et condense la vapeur produite. L'eau douce ainsi obtenue présente une qualité meilleure que celle par la cristallisation ou le procédé à membranes. Sous l'atmosphère, l'eau de mer bout à une température d'environ  $100,5^{\circ}\text{C}$  ou plus. Dans un évaporateur en diminution progressive de pression, elle bout et se vaporise à moins de  $100^{\circ}\text{C}$ , comme montré sur la figure 4-8. Pour que l'eau de mer se vaporise, il lui faut la chaleur de vaporisation. La vapeur produite garde la chaleur de vaporisation comme chaleur latente et la dégage lors de la condensation. Cette chaleur peut être réutilisée pour le chauffage (préchauffage) d'eau de mer ou l'évaporation.

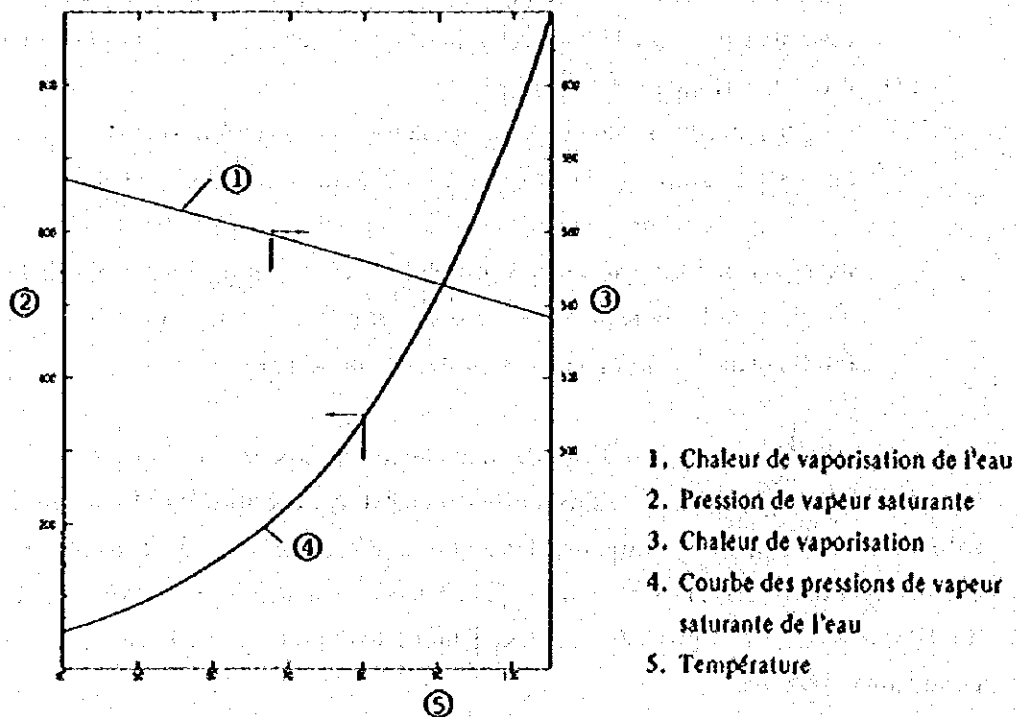


Fig. 4-8 Courbe des pressions de vapeur saturante de l'eau de mer et chaleur de vaporisation de l'eau



### (1) Procédé de dessalement

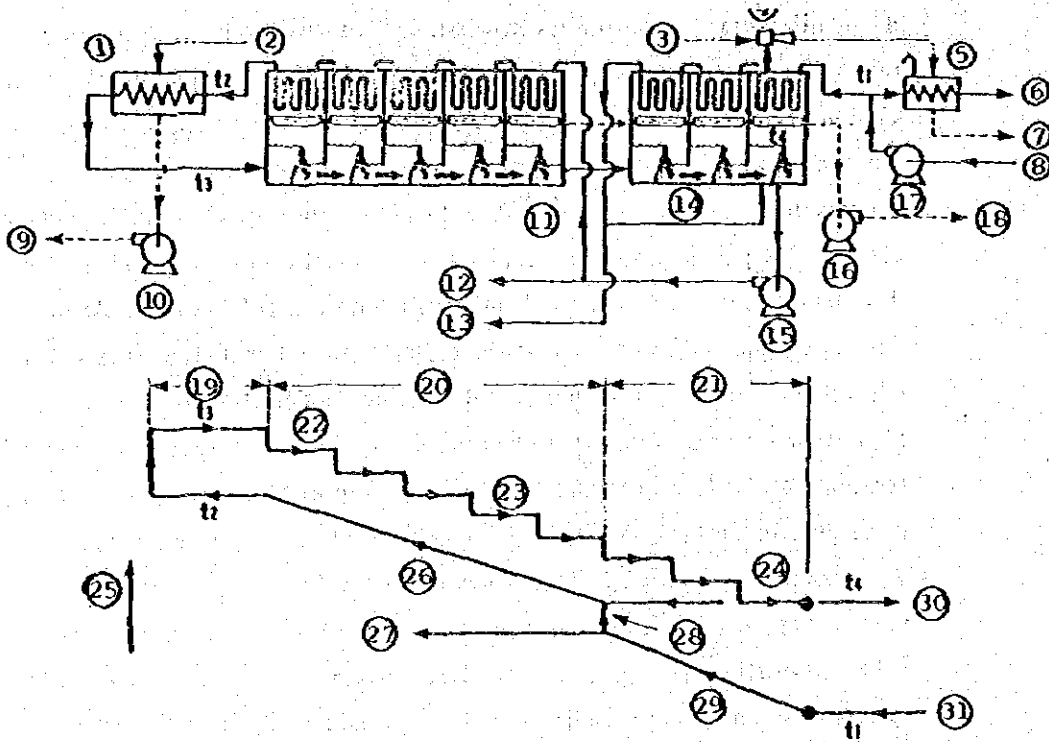
Alimenter en eau de mer chauffée un récipient de pression réduite. Une portion de l'eau bouillira et se vaporisera vivement en prenant la chaleur de vaporisation à l'eau de mer et la température de celle-ci s'abaissera. Ce phénomène de détente adiabatique est ladite "vaporisation instantanée (flash)".

La figure 4-1 est une illustration simplifiée de l'installation de dessalement par distillation à vaporisation instantanée. Elle montre une installation composée de trois étages de distillateurs, tandis que les distillateurs constituant les installations de dessalement terrestres sont disposés généralement de plusieurs étages à quelques dizaines d'étages. Chaque distillateur se compose d'une chambre de vaporisation et d'une chambre de condensation. L'eau de mer apportée par la pompe à eau de mer s'écoule dans le tube échangeur de chaleur de la chambre de vaporisation de chaque étage et s'échauffe successivement par la vapeur produite dans les chambres de vaporisation. Elle est chauffée davantage par le réchauffeur d'eau d'alimentation (réchauffeur de saumure) et entre dans la chambre de vaporisation du premier étage. Les distillateurs sont maintenus à la dépression requise par l'équipement de vide de l'éjecteur de vapeur et le diaphragme régulateur de pression dans la chambre de condensation. Le mécanisme d'étranglement (diaphragme) placé entre les chambres de vaporisation est destiné à maintenir leurs pressions différentes. Ainsi, l'eau de mer chauffée s'écoule du premier étage à haute température au troisième étage à basse température, tout en se donnant à la vaporisation instantanée successivement dans les chambres de vaporisation. L'eau de mer concentrée constitue la saumure à évacuer. La vapeur produite dans la chambre de vaporisation et ayant passé l'éliminateur de brouillard transfère la chaleur gardée à l'eau de mer et devient de l'eau condensée qui s'accumule dans le plateau. L'eau condensée aussi se donne en partie à la vaporisation instantanée pendant le déplacement de l'étage haute température à l'étage basse température et se refroidit successivement en cédant la chaleur gardée à l'eau de mer dans le tube échangeur de chaleur. Elle devient l'eau douce extraite du troisième étage (étage final) par la pompe à eau douce.

### (2) Système à recyclage de saumure et système sans recyclage

L'installation de distillation à vaporisation instantanée décrite ci-dessus sur la figure 4-1 est dite le système sans recyclage du fait que l'eau de mer est évacuée après passage simple dans l'installation. Ce système demande une grande quantité de l'eau de mer d'alimentation et le prétraitement en totalité de celle-ci. Les installations industrielles utilisent le plus souvent la distillation à vaporisation instantanée par détentes successives du système à recyclage de saumure. Comme montré sur la figure 4-9, leurs évaporateurs constituent les sections récupération de chaleur et dégagement de chaleur. Tout en se livrant à la vaporisation instantanée, la saumure dans la section dégagement de chaleur se refroidit par le transfert à l'eau de mer froide de la chaleur qu'elle possède en puissance. Elle est envoyée, avec l'eau de mer d'appoint, au tube échangeur de

chaleur à l'étage final de la section récupération de chaleur. La section dégagement de chaleur, qui absorbe la variation de température de l'air ambiant et de l'eau de mer, assure le fonctionnement stable de l'installation. Le système à recyclage de saumure offre un autre avantage suivant. En ce qui concerne la désaération, la décarbonisation ou la protection antitartre par le contrôle du pH ou l'addition d'un inhibiteur d'entartrage, il suffit de les effectuer sur l'eau de mer d'appoint, ce qui permet de réduire la consommation des produits chimiques.



- |   |  |                                   |
|---|--|-----------------------------------|
| 1. Réchauffeur d'eau d'alimentation         | 15. Pompe de circulation de saumure    |                                   |
| 2. Vapeur chauffée                          | 3. Vapeur d'éjecteur                   | 16. Pompe à eau douce             |
| 4. Ejecteur                                 | 17. Pompe d'alimentation en eau de mer | 18. Vers le réservoir d'eau douce |
| 5. Condenseur de vapeur d'éjecteur          | 19. Chauffage                          | 20. Récupération de chaleur       |
| 6. Eau de mer (vers le fossé d'évacuation)  | 21. Dégagement                         | 22. (1 <sup>er</sup> étage)       |
| 7. Condensat                                | 23. Alimentation en eau                | 24. (Etage final)                 |
| 8. Eau de mer (de la prise d'eau)           | 25. Température                        | 26. Saumure recyclée              |
| 9. Vers le réservoir de condensat           | 27. Eau de mer                         | 28. Eau d'appoint                 |
| 10. Pompe à condensat                       | 11. Saumure recyclée                   | 29. Eau de mer froide             |
| 12. Saumure (vers le fossé d'évacuation)    | 30. Saumure usée                       | 31. Eau de mer                    |
| 13. Eau de mer (vers le fossé d'évacuation) |  |                                   |
| 14. Eau d'appoint                           |  |                                   |

Fig. 4-9 Schéma de fonctionnement d'une installation de dessalement d'eau de mer par distillation à vaporisation instantanée par détentes successives à recyclage de saumure

### (3) Prétraitement

Les problèmes à résoudre pour assurer le fonctionnement stable d'une installation de dessalement par distillation sont l'entartrage des tubes échangeurs de chaleur et la corrosion due à l'eau de mer de ceux-ci et des corps d'évaporateur.

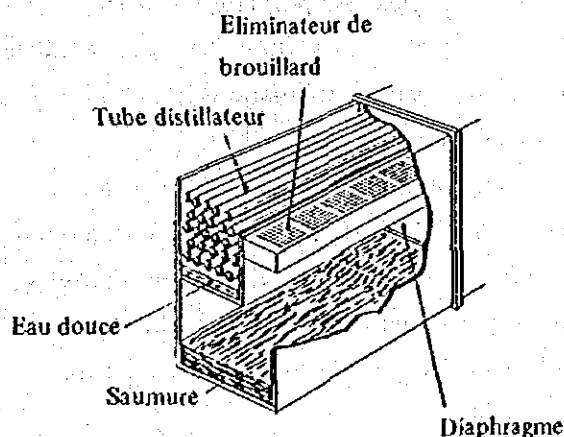
Parmi les sels contenus dans l'eau de mer, ceux difficilement dissolubles tels que le carbonate de calcium et l'hydrate de magnésium se séparent à l'occasion du chauffage et concentration de l'eau de mer. Le dépôt de ces tartres sur les tubes échangeurs de chaleur nuit considérablement à la transmission de chaleur et diminue beaucoup le rendement thermique de l'installation. Pour une installation de dessalement d'eau de mer, il est donc indispensable de prendre les mesures préventives contre l'entartrage. La méthode efficace à cet effet est en général, la décarbonisation/ contrôle du pH par addition d'acide ou l'injection d'un inhibiteur d'entartrage.

La corrosion des matériaux métalliques due à l'eau de mer varie selon la température, la concentration et le pH de celle-ci. Le plus important facteur est la quantité d'oxygène dissous. La désaération qui élimine l'oxygène dissous dans l'eau de mer pour diminuer la corrosion est un prétraitement indispensable de l'eau de mer.

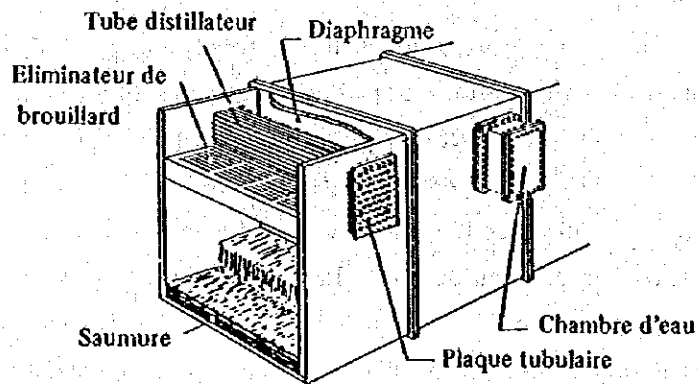
### (4) Construction des évaporateurs

Pour la distillation à vaporisation instantanée par détente successives, la construction est généralement à longs tubes ou à courts tubes. Le type à longs tubes est utilisé aux grandes unités plus souvent que le type à courts tubes. Les illustrations de ces types sont données aux figures 4-10 et 4-11.

Une équipe japonaise d'étude sur les grands projets a établi les techniques de conception et de construction des usines de distillation à vaporisation instantanée par détente successives à longs tubes, ayant une capacité par unité de 100 000 m<sup>3</sup>/jour.



**Fig. 4-10** Construction d'une installation de production d'eau à vaporisation instantanée par détente successive (à longs tubes)



**Fig. 4-11** Construction d'une installation de production d'eau à vaporisation instantanée par détente successives (à courts tubes)

#### 4.2.2 Osmose inverse

L'eau de mer, dont la teneur en sels exprimée par la quantité totale de matières dissoutes (TDS) est de 35 000 mg/l, présente une pression osmotique d'environ 25 kg/cm<sup>2</sup>. La pression de fonctionnement d'une unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse est généralement de l'ordre de 55 kg/cm<sup>2</sup>.

L'osmose inverse permet d'éliminer, non seulement les ions et les matières de petit poids moléculaire, mais encore les matières polluantes telles que bactéries, virus et microbes.

##### (1) Type des membranes et modules

Parmi les diverses membranes semi-perméables mises au point, celles destinées au dessalement en vue de la production d'eau potable sont à l'acétate de cellulose, au polyamide et au complexe de polyéther. La forme des membranes et la construction des modules sont également variées. Les types actuellement en vente et mis en oeuvre sont spiral, à fibres creuses, tubulaire et plat. Le dessalement d'eau de mer utilise les types spiral et à fibres creuses.

##### 1) Construction du module spiral

La figure 4-12 montre la construction d'un module spiral représentatif. L'élément-membrane d'osmose inverse a la forme d'enveloppe aux lettres. Pour lui réaliser une surface utile maximale, il est enroulé en spirale avec une maille d'écartement autour du tube collecteur d'eau. L'ouverture de la membrane est raccordée avec ce tube.

L'eau saline est apportée sous pression à l'extérieur de la membrane en forme d'enveloppe. L'eau de pénétration qui sort à l'intérieur de la membrane est conduite vers le tube collecteur d'eau. Un module est constitué par les éléments spiraux montés en série dans le récipient sous pression, au nombre de 2 à 6 selon la nécessité.

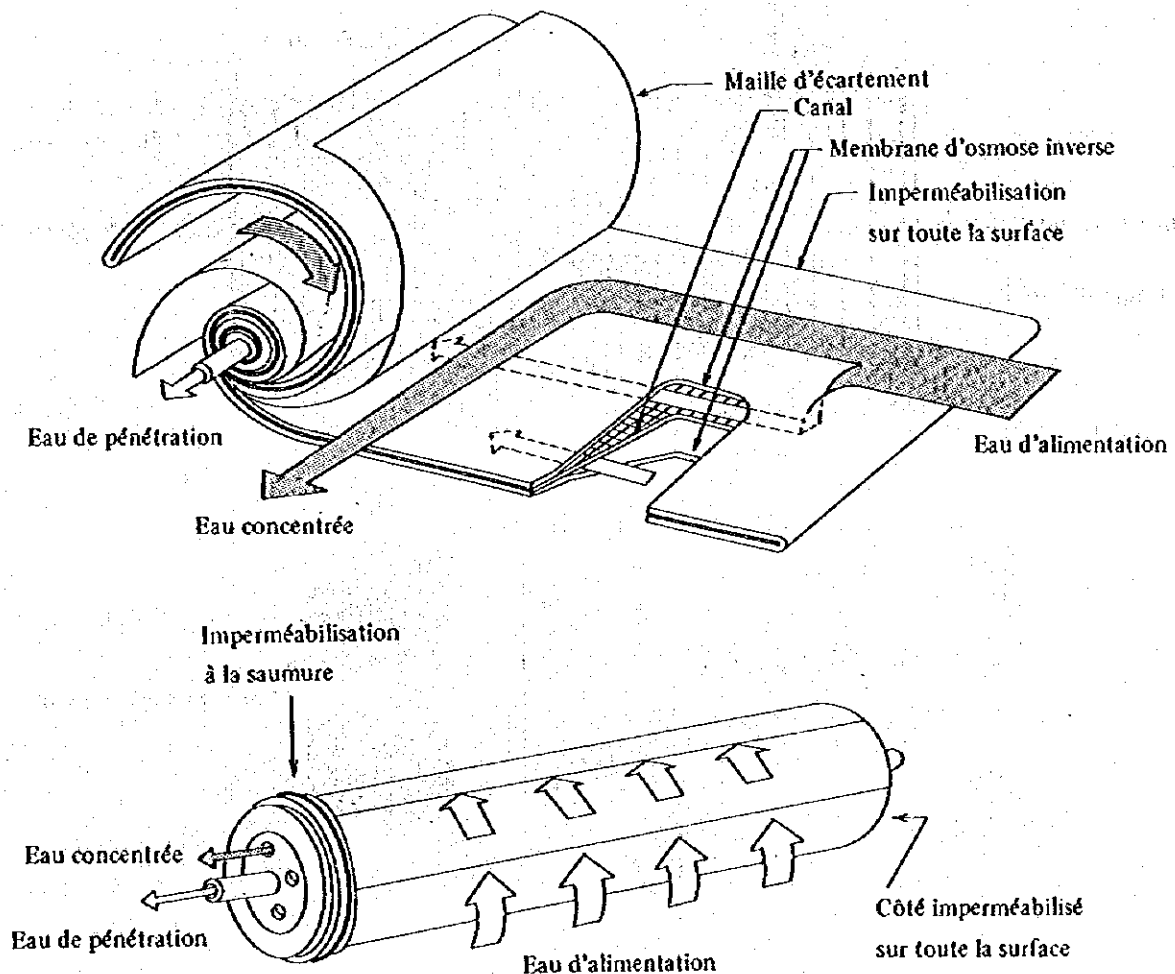


Fig. 4-12 Construction du module spiral

## 2) Construction du module à fibres creuses

La figure 4-13 montre la construction d'un module à fibres creuses représentatif et la vue agrandie d'une fibre creuse constituant la membrane d'osmose inverse. Celle-ci est un faisceau de fibres creuses formé autour du tube de dispersion. Le diamètre extérieur d'une fibre creuse est de 90 à 160 microns.

L'eau salée mise sous pression est apportée dans le récipient sous pression et s'écoule le long de la fibre creuse. Entre-temps, l'eau pénètre à l'intérieur de la fibre et y circule. Elle est collectée et enfin extraite.

## (2) Installation et processus de dessalement

Une installation de dessalement d'eau de mer par osmose inverse se compose généralement des trois parties suivantes:

- 1) Prétraitement
- 2) Osmose inverse
- 3) Traitement ultérieur

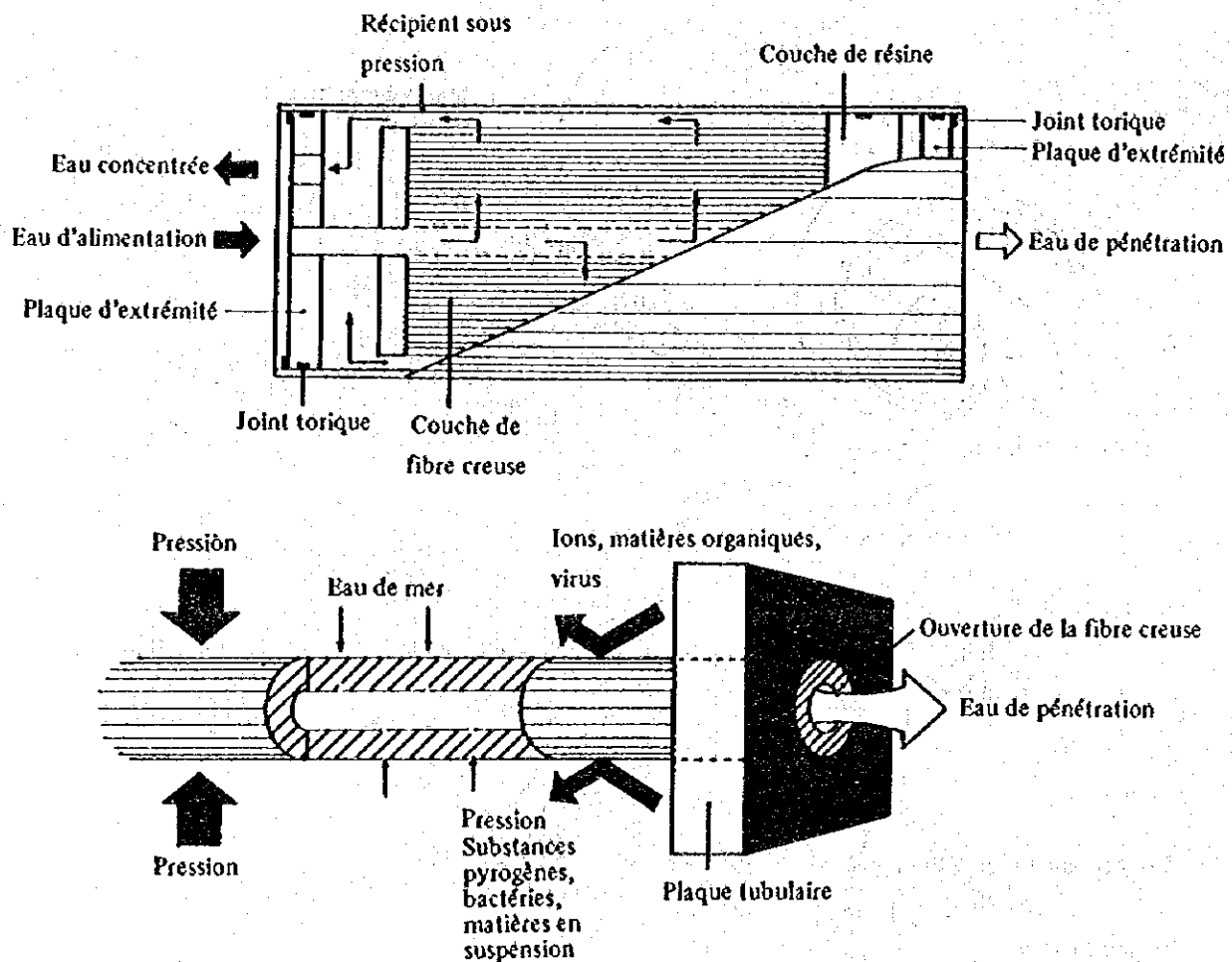


Fig. 4-13 Construction du module à fibres creusés

### 1) Prétraitement

Pour le dessalement efficace par osmose inverse, il est important d'effectuer sur l'eau d'alimentation, un prétraitement adapté au type des modules et au matériau des membranes. Les modules spiraux et à fibres creuses demandent un prétraitement rigoureux tel que décrit ci-après:

Le prétraitement a pour but de contrôler l'eau d'alimentation par l'élimination non seulement des matières en suspension mais encore des substances pouvant obstruer les modules ou diminuer leur rendement. Les opérations principales de prétraitement sont la coagulation, la filtration et l'injection de produits chimiques à effectuer en combinaison selon la nécessité.

### 2) Osmose inverse

Une installation d'osmose inverse est constituée par les modules d'osmose inverse, la pompe à haute pression, les régulateurs de pression et de débit. Pour faciliter l'exploitation, maintenance, contrôle et remplacement, les modules d'osmose inverse sont généralement disposés convenablement sur une monture. Ce système

est appelé "banc de modules". Les facteurs qui déterminent la quantité d'eau de pénétration obtenue au moyen d'un module sont la température, la pression, la concentration de l'eau d'alimentation, la vitesse d'écoulement de celle-ci et le type du module. Le bon fonctionnement d'une unité d'osmose inverse est assuré par le contrôle de la pression de fonctionnement et du débit d'eau d'alimentation. L'énergie nécessaire à l'osmose inverse est la pression à appliquer sur l'eau de mer brute par la pompe à haute pression. Ainsi, les frais de production d'eau, c'est-à-dire, les frais de dessalement dépend beaucoup du rendement de la pompe à haute pression. La saumure concentrée sortant des modules d'osmose inverse possède encore une suffisante énergie sous forme de pression. En vue de la réduction des frais, de grandes unités effectuent généralement la récupération d'énergie de la saumure. L'énergie récupérée est réutilisée, soit directement comme force motrice soit après transformation en énergie électrique.

### 3) Traitement ultérieur

L'eau de pénétration sortant des modules d'osmose inverse peut être soumise, selon sa destination, au traitement ultérieur comme suit:

- Minéralisation : assaisonnement
- Contrôle du pH : contrôle de la qualité
- Chloration : stérilisation

La figure 4-14 montre schématiquement le fonctionnement d'une unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse.

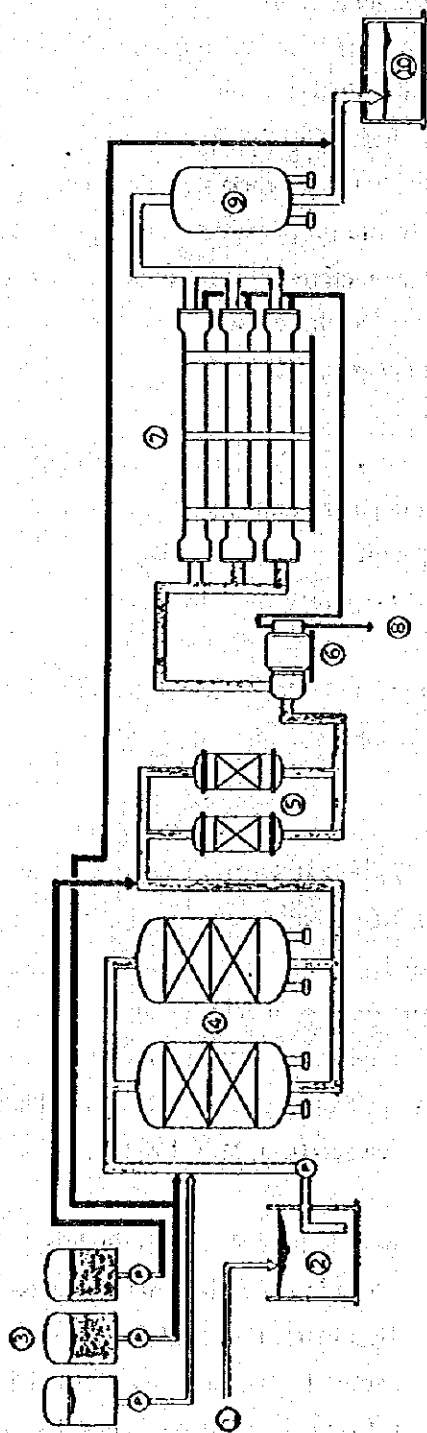
## 4.3 Etat des unités de dessalement d'eau de mer réalisées dans le monde entier

Les tableaux 4-2 et 4-3 donnent l'état des principales usines de dessalement d'eau mer réalisées par distillation à vaporisation instantanée et par osmose inverse. Pour la distillation à vaporisation instantanée, l'enquête a été menée sur les usines de capacité par unité supérieure à 20 000 m<sup>3</sup>/jour. Par contre, les usines réalisées par osmose inverse dont l'échelle n'est pas comparable à celles par distillation dans la plupart des cas, figurent sur le tableau à partir d'une capacité de 650 m<sup>3</sup>/jour. Le document ayant servi à l'enquête est le "Desalting Plants Inventory Report No. 7 (National Water Supply Improvement Association, May 1981)".

### (1) Procédé par distillation

C'est dans le Moyen Orient que sont réalisées le plus les usines de dessalement de l'eau de mer par distillation. Les grosses usines dont la capacité unitaire dépasse 20 000 m<sup>3</sup>/jour adoptent toutes le procédé à vaporisation instantanée à étages multiples.

Les usines de telle taille existent à l'heure actuelle dans le monde dans 15 sites dont les deux se trouvent respectivement à Hong Kong et en Italie. Les 13 autres sont au Moyen Orient regroupant 109 unités qui produisent dans l'ensemble plus de 2 636 000 m<sup>3</sup>/jour (plus de 92 % de la totalité des grosses usines).



- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eau de mer brute</li> <li>2. Réservoir d'eau brute</li> <li>3. Installation d'injection de produits chimiques</li> <li>4. Filtre à deux lits</li> <li>5. Filtre de sûreté</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Pompe à haute pression et turbine de récupération d'énergie</li> <li>7. Modules d'osmose inverse</li> <li>8. Eau concentrée à évacuer</li> <li>9. Minéralisateur</li> <li>10. Réservoir d'eau traitée</li> </ol> |
|--|--|

Fig. 4-14 Schéma de fonctionnement d'une unité de dessalement d'eau de mer par osmose inverse



La capacité unitaire la plus importante au moment de notre étude est de 36 000 m<sup>3</sup>/jour de l'Italie (Port Torres), mais une usine dotée de la capacité similaire de 33 400 m<sup>3</sup>/jour est en construction à l'Iran (Bushehr). Par contre, c'est l'Arabie Saoudite (Al-Jobail Phase I - II) qui connaîtra la plus grande taille des installations réalisées dans un site avec 46 unités qui produisent chacune 23 000 m<sup>3</sup>/jour, donc 1 082 000 m<sup>3</sup>/jour dans l'ensemble (cette usine de dessalement de l'eau de mer par distillation se mettra complètement en service en 1983).

Par ailleurs, les fabricants japonais ont fournis et construisent au Moyen Orient 76 unités (plus de 1 859 000 m<sup>3</sup>/jour) qui représentent 70,5 % des grosses usines de la région.

## (2) Procédé par osmose inverse

Bien qu'il existe de grandes usines à osmose inverse pour le dessalement de l'eau souterraine salée ou des eaux fluviales, il est encore rare de voir son application dans le dessalement de l'eau de mer et sa capacité unitaire y reste faible comme montre le tableau 4-4. On peut citer comme la première installation de taille importante à osmose inverse destinée au dessalement de l'eau de mer celle créée en 1978 à Jeddah en Arabie Saoudite ayant comme capacité de 12 000 m<sup>3</sup>/jour (9 unités x 1 346 m<sup>3</sup>/jour). Elle est toujours la plus importante au Moyen Orient à être exploitée pour dessaler l'eau de mer avec ce procédé. En outre, l'Arabie Saoudite a deux usines importantes en exploitation et en construction à Yanbu et à Al Birk. Ce pays dispose donc de trois usines ayant la capacité unitaire de 1 000 à 1 300 m<sup>3</sup>/jour dont l'ensemble s'élève à 19 305 m<sup>3</sup>/jour avec 16 unités installées.

La capacité unitaire la plus importante au moment de notre étude est de 1 900 m<sup>3</sup>/jour pour le dessalement de l'eau de mer qui existe à Key West de la Floride (Etats-Unis). Par ailleurs, les fabricants japonais n'ont pas encore réalisé les grandes usines au Moyen Orient, mais nous avons au Japon une usine pilote en exploitation avec deux unités de 800 m<sup>3</sup>/jour chacune et le perfectionnement dans la technologie de fabrication des modules et d'ingénierie permet aujourd'hui une réalisation des installations de taille importante.

Tableau 4-2 Etat des grandes usines de dessalement d'eau de mer à vaporisation instantanée par détentes successives

Fournisseur		Client					Capacité d'une unité (m <sup>3</sup> /jour)	Nombre d'unités	Capacité de l'usine (m <sup>3</sup> /jour)	Destination de l'eau produite	Etat	Année de mise en service
Nom	Pays	Pays	Région	Utilisateur								
Sasakura	Japon	Hong-Kong	Loc On Pai	Water Authority	30 280	6	181 680	Eau potable	En service	1975		
"	"	Iran	Bushehr	Atomic Energy organization	33 400	6	200 400	"	En construction	1981		
"	"	Arabie Saoudite	Al Jobail (Phase I)	Saline Water Conversion Corporation (SWCC)	22 746	6	136 476	"	"	1981		
Sasakura/Mitsubishi Heavy Industries	Japon	Arabie Saoudite	Al Jobail (Phase II)	SWCC	23 639	10	236 390	Eau potable	En construction	1983		
"	"	"	Yanbu	"	23 639	10	236 390	"	"	1983		
"	"	"	"	"	22 746	5	113 730	"	"	1981		
Ishikawajima-Harima Heavy Industries	Japon	Kuwait	Doha	Min. of Elec. & Water	27 290	3	81 870	Eau potable	En service	1978		
"	"	"	"	"	27 290	4	109 160	"	"	1980		
"	"	"	Shuaiba South-E-F	"	22 710	2	45 420	"	"	1975		
"	"	Arabie Saoudite	Al Jobail (Phase II)	SWCC	23 664	10	236 640	"	En construction	1981		
Hitachi Shipbuilding/Westinghouse	Japon/U.S.A.	Arabie Saoudite	Al Jobail (Phase II)	SWCC	23 618	10	236 180	Eau potable	En construction	1980		
Mitsui Shipbuilding/Envirogenics	Japon/U.S.A.	Arabie Saoudite	Jeddah (Phase IV)	SWCC	22 710	10	227 100	Eau potable	En construction	1980		
Wear Westgirth	Angleterre	Qatar	Ras Abu Fontas Jeddah (Phase III)	Min. of Elec. & Water SWCC	22 710	4	90 840	Eau potable	En service	1978		
"	"	Arabie Saoudite	"	"	22 710	4	90 840	"	"	1980		
Mannesmann	Allemagne fédérale	Oman	Ghubrah	Sultanate	22 710	1	22 710	Eau potable	En service	1975		

Fournisseur		Client			Capacité d'une unité (m³/jour)	Nombre d'unités	Capacité de l'usine (m³/jour)	Destination de l'eau produite	Etat	Année de mise en service
Nom	Pays	Pays	Région	Utilisateur						
SIDEN	France	Emirats Arabes Unis	Umm Al-Nar, Abu Dhabi	Water & Elec. Dept.	27 000	3	81 000	Eau potable	En service	1979
"	"	Arabie Saoudite	Al Khobar (Phase II)	SWCC	22 300	10	223 000	"	En construction	1982
"	"	Emirats Arabes Unis	Umm Al-Nar, Abu Dhabi	Water & Elec. Dept.	24 981	4	99 924	"	"	1983
Compagnie générale d'automatisme	France	Kuwait	Shuaiba North C	Min. of Elec. & Water	23 896	1	23 896	Eau potable	En service	1971
"	"	"	Shuaiba South A-D	"	23 846	4	95 384	"	"	1971
SIR/Eureco	Italie	Italie	Port Torres	Societa Italiana Resine	36 000	1	36 000	Eau industrielle	En service	1973
Franco Tosi	Italie	Emirats Arabes Unis	Sharjah		24 470	2	48 940	Eau potable	En service	1981

Tableau 4-3 Etat des grandes usines de dessalement d'eau de mer par osmose inverse

Fournisseur		Client				Capacité d'une unité (m <sup>3</sup> /jour)	Nombre d'unités	Capacité de l'usine (m <sup>3</sup> /jour)	Force motrice	Etat	Année de mise en service
Nom	Pays	Pays	Région	Utilisateur							
UOP	U. S. A.	Arabie Saoudite	Jeddah	Saline Water Conversion Corporation (SWCC)	1 346	9	12 114	Diesel	En service	1978	
Kobe Steel	Japon	Japon	Chigasaki	Water Re-Use Promotion Center	800	1	800	Electricité	En service	1979	
Kurita	Japon	Japon	Chigasaki	Water Re-Use Promotion Center	800	1	800	Electricité	En service	1979	
Water Service of America	U. S. A.	U. R. S. S.	Baku	v/o Makino import	1 514	7	10 598	Electricité	En service	1979	
"	"	"	"	"	1 041	2	2 082	"	"	1979	
"	"	U. S. A.	Key West	Florida Keys Aqueduct	1 893	6	11 358	"	"	1981	
Pennwalt	U. S. A.	Venezuela	Punta Moron	Cadafé-Plant Centro n° 1	654	4	2 616	Electricité	En service	1979	
"	"	"	"	" n° 2	756	1	756	"	En construction	1979	
"	"	"	"	" n° 3	757	5	3 785	"	"	1981	
Hager + Elasser	Allemagne fédérale	Allemagne fédérale	Bonn	Min. Forschung & Tech.			14 307	Electricité	En construction	1980	
Buckau-Wolf/Machinenfabrik	Allemagne fédérale	Kuwait	Doha		1 000	1	1 000	Electricité	En construction	1980	
Polymetrics	U. S. A.	Arabie Saoudite	Yanbu	Royal Commission	1 009	3	3 027	Electricité	En service	1980	
"	"	"	"	"	946	2	1 892	"	En construction	1980	
Al-Kawther Water Treatment	Arabie Saoudite	Arabie Saoudite	Al Birk	SWCC	1 136	2	2 272	Electricité	En construction	1982	

## **Chapitre 5**

### **Choix du site de l'Unité**



## Chapitre 5. Choix du site de l'Unité

Nous avons choisi pour la F/S les 5 sites possibles de l'Unité qui se situent sur la ligne côtière de 80 km de l'est à l'ouest ayant le Grand Alger à mi-chemin (voir la figure 5-1). Ils sont Sidi Ferruch, Grande Plage, Stamboul, Jean Bart et Zemmouri, sur lesquels a été effectué un examen comparatif.

### 5.1 Conditions naturelles environnantes du Grand Alger

L'étude relative aux conditions naturelles de la zone périphérique du Grand Alger a donné comme résultats ce qui suit.

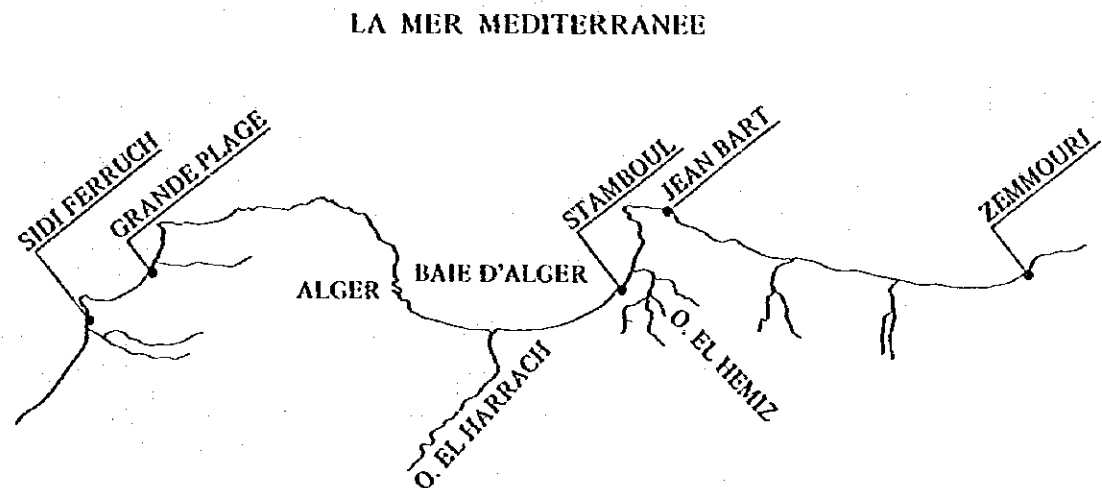


Fig. 5-1 Situation géographique des sites possibles

#### 5.1.1 Etude de la mer

Nous avons détaché les 23 et 24 mars 1983 un bateau en vue d'étudier la mer aux larges de Sidi Ferruch et de Stamboul. Voici la description selon laquelle a été réalisée l'étude.

- (1) Contenu de l'étude : profondeur, distance de la côte jusqu'à différentes profondeurs, température d'eau, pH, analyse de la qualité d'eau, analyse de la qualité de fond
- (2) Points de prélèvement de l'eau et de la boue : Voir les figures 5-2 et 5-3.
- (3) Etablissements ayant réalisé l'analyse :

Analyse des eaux      Ministère de l'Hydraulique d'Algérie (Les échantillons Nos. D-B1, D-B5, D-B8, SF-B1, SF-B5, SF-B8 ont été également analysés par la JICA.)

Analyse de la qualité de fond      JICA

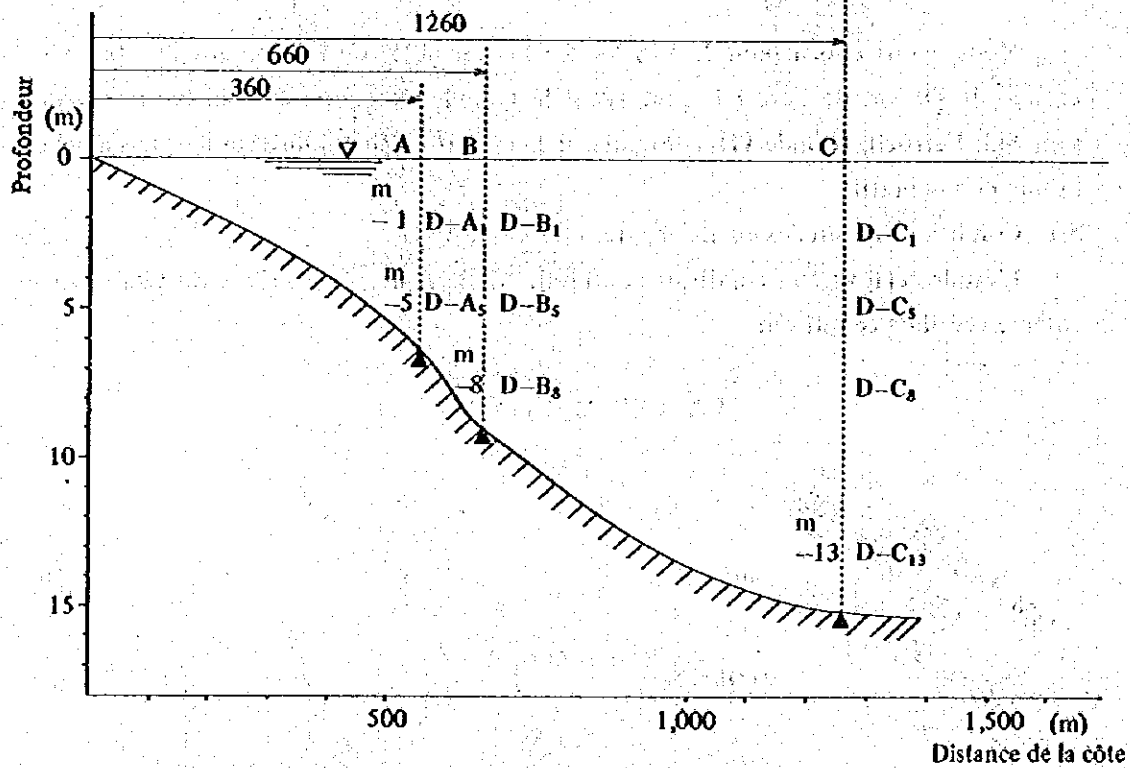


Fig. 5-2 Points de prélèvement de l'eau et de la boue (au large de Stamboul)

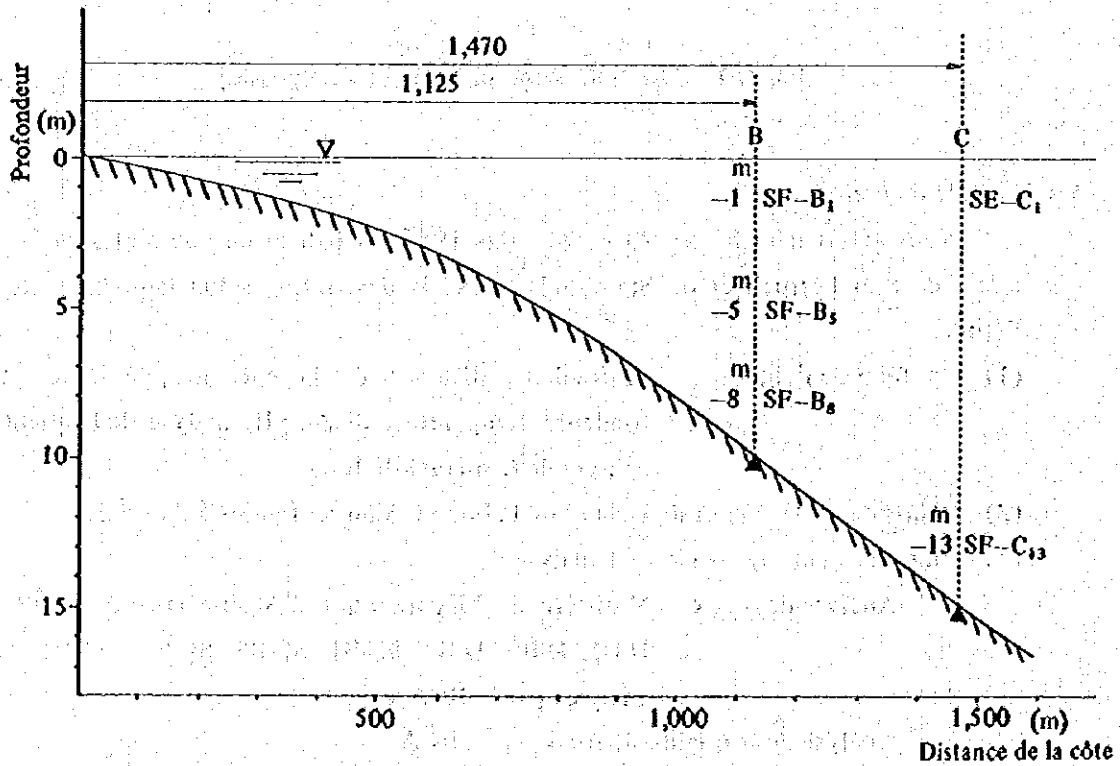


Fig. 5-3 Points de prélèvement de l'eau et de la boue (au large de Sidi Ferruch)



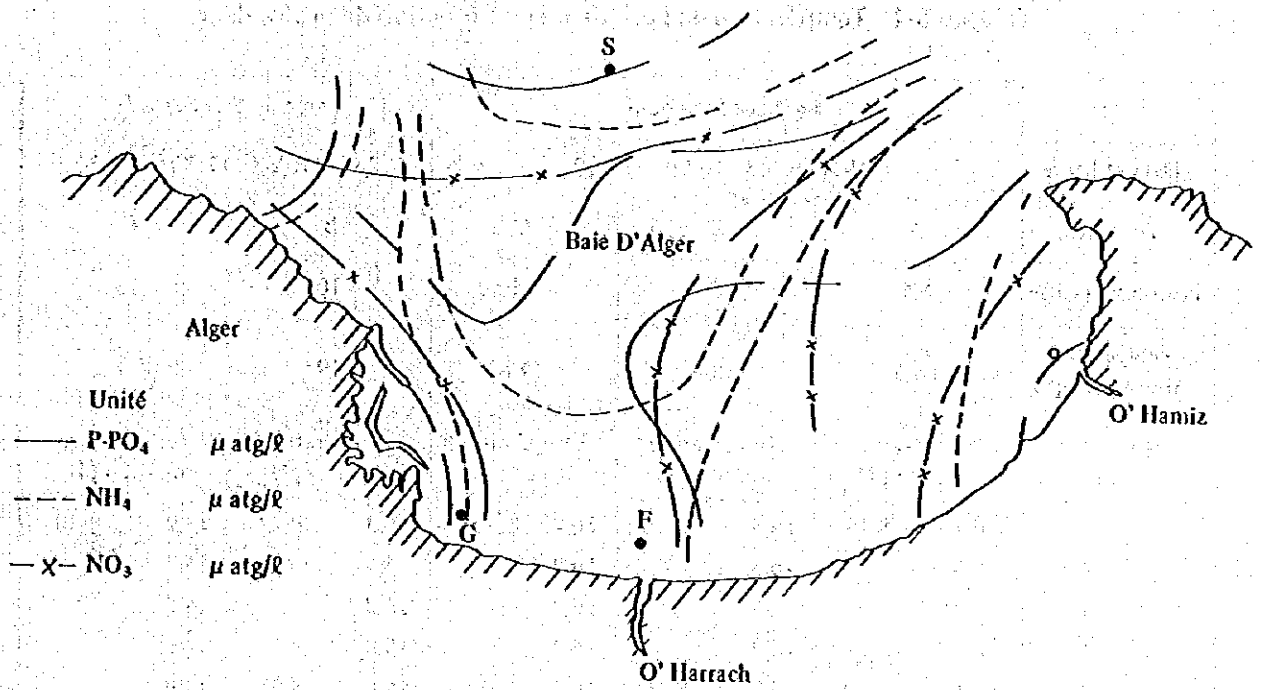


Fig. 5-4 Etat de contamination dans la Baie d'Alger

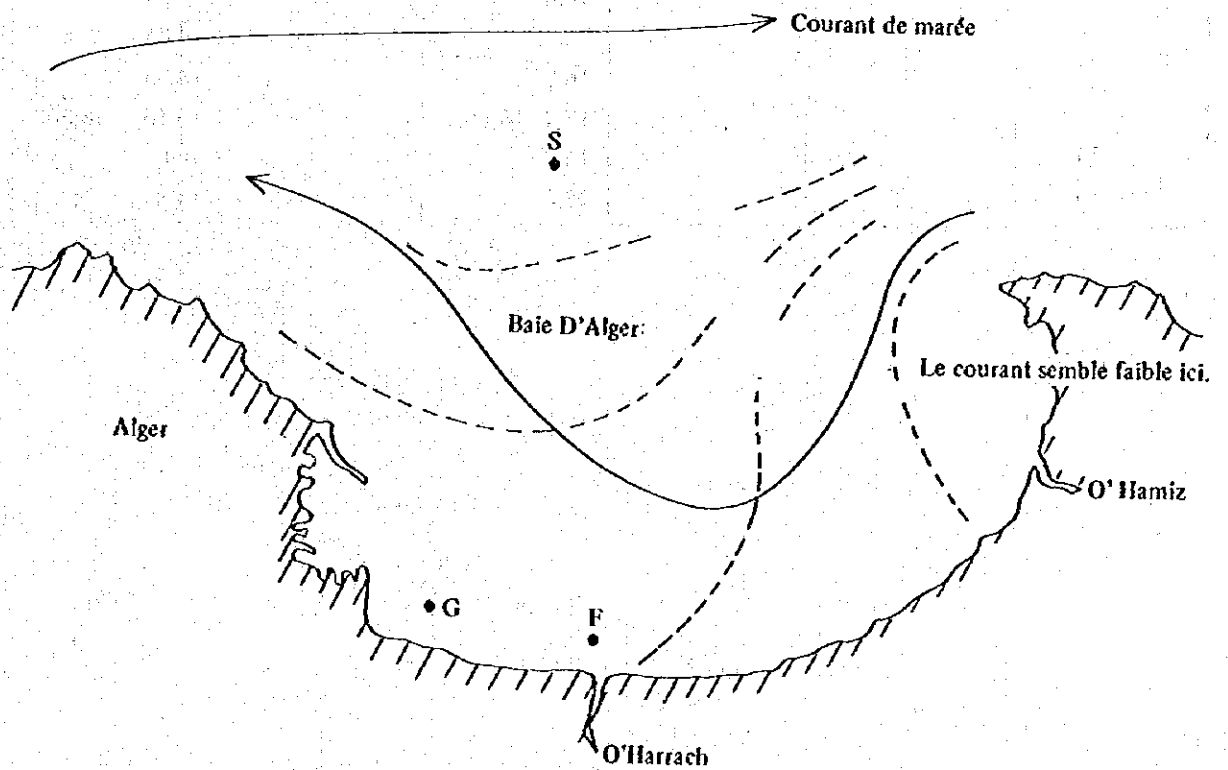


Fig. 5-5 Répartition de la teneur en sels et le courant prévisible dans la Baie d'Alger



Tableau 5-2 Résultats de l'analyse de la qualité de fond

Item	Unité	Stamboul			Sidi Ferruch			
		A	B	C	B	B	C	
Apparence	—	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse	
Odéur	—	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	Nulle	
Couleur	—	Brune 2,5Y3/2	Brune 2,5Y3/2	Brune 2,5Y3/2	Brune 2,5Y3/2	Brune 2,5Y3/2	Brune 2,5Y3/2	
Teneur en eau	% (boue humide)	16,9	19,3	16,8	14,7	16,2	11,8	
Perte au feu	% (boue sèche)	5,7	5,4	6,3	4,7	4,5	4,8	
Demande chimique en oxygène	mg/g (boue sèche)	1,3	1,4	1,8	0,8	0,9	1,1	
Sulfure	mg/g (boue sèche)	<0,02	<0,00	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Gravité spécifique	—	2,74	2,74	—	2,74	2,75	—	
Composition de terre granuleuse	Gravier 2,0 mm	%	0,0	0,0	—	0,0	0,0	—
	Sable à gros grains 2,0mm ~ 0,42mm	%	1,0	1,5	—	0,5	0,5	—
	Sable à grains fins 0,42mm~0,074mm	%	91,5	89,5	—	96,5	93,5	—
	Vase 0,074mm~0,005m	%	7,5	9,0	—	3,0	6,0	—
	Argile et colloïde 0,005mm	%	0,0	0,0	—	0,0	0,0	—
Diamètre des grains	60%	mm	0,150	0,145	—	0,140	0,130	—
	30%	mm	0,110	0,110	—	0,115	0,100	—
	10%	mm	0,081	0,078	—	0,093	0,078	—
	50%	mm	0,135	0,130	—	0,130	0,120	—

### 5.1.2 Conditions océanographiques

Voici les conditions de l'eau brute définies par l'étude sur place décrite plus haut et par le document offert par l'Algérie (Du Doctorat De 3e Cycle Spécialité Océanographie "Variations Saisonnières des Matières Nutritives de la Baie d'Alger -- Recherche des Facteurs Contrôlant le Développement du phytoplancton").

#### (1) Qualité de l'eau de mer

L'analyse de l'eau prélevée aux larges de Sidi Ferruch et de Stamboul a donné les résultats qui se trouvent dans Annexe I-1 (celle réalisée par les algériens) et Annexe I-2 (celle réalisée au Japon avec les échantillons rapportés), selon lesquels l'eau de Stamboul donne une valeur plus élevée que celle de Sidi Ferruch dans la demande chimique en oxygène et sel nutritif. L'état de contamination dans la baie d'Alger donné dans le document cité plus haut se montre dans la figure 5-4. On peut dire que la contamination actuelle n'est pas de nature à poser des problèmes à l'eau brute destinée au dessalement. La teneur en sels dont la répartition dans la baie d'Alger se trouve dans la figure 5-5, est plus élevée de 0,2 % environ que celle de la côte du Japon, mais c'est une valeur courante dans la Méditerranée.

#### (2) Température de l'eau de mer

Condition importante dans un projet de dessalement, la température de l'eau de mer a besoin d'être suffisamment suivie toute l'année. Sa valeur relevée lors de l'étude sur place se donne au tableau 5-1.

Par ailleurs, la température de l'eau dans la baie d'Alger relevée par mois d'après le document (figure 5-6) fait comprendre qu'elle ne varie pas d'un point à l'autre de la mer. Son maximum, 22 à 23° C, est atteint en juin et octobre, tandis que son minimum, 13 à 14°C est constaté en janvier et février.

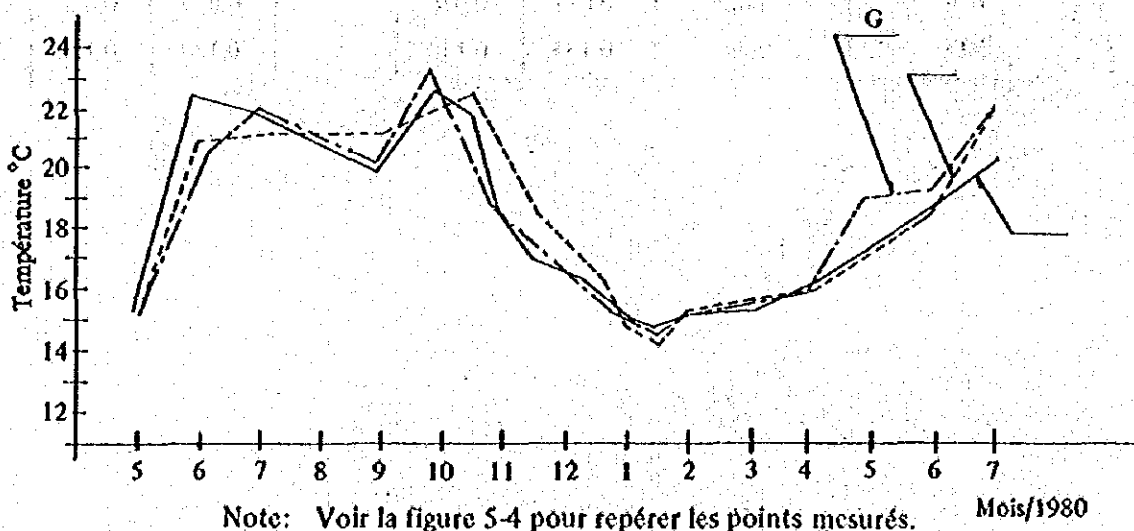


Fig. 5-6 Température de l'eau par mois dans la Baie d'Alger

### (3) Situation du fond de la mer

Nous ne disposons pas de données relatives au sol du fond de la mer, mais l'état du bord de l'eau nous fait penser que l'entassement de terre est faible. La boue prélevée du fond aux larges de Sidi Ferruch et de Stamboul a été examinée au Japon, ce qui a donné les résultats montrés au tableau 5-2.

Il s'agit du fond sableux extrêmement fin pour l'un et l'autre des sites concernés. Ses caractères chimiques (demande chimique en oxygène, perte au feu, sulfure) sont les mêmes que le sol incontaminé de la côte japonaise.

Pour ce qui est de la profondeur, les figures 5-2 et 5-3 montrent qu'à Sidi Ferruch la mer s'étend à pente douce, la profondeur de 10 m s'y trouvant à 1 130 m de la côte, lorsqu'à Stamboul elle est à 700 m à peu près.

#### 5.1.3 Conditions météorologiques

C'est l'Annexe I-3 qui regroupent les données relatives à la direction et la vitesse du vent, température atmosphérique et du sol, précipitation, celles relevées à l'observatoire de Dar El Beida près de Stamboul et au poste météorologique de Bouzarea près de Grande Plage.

Par ailleurs, le seisme dont les données ne sont pas à notre disposition doit être pris en considération, car il peut bien se produire à Alger qu'à El Asnam qui en a été frappé en 1980.

#### 5.2 Conditions générales des sites possibles

En général, on procède, après avoir déterminé le procédé et la capacité de l'Unité, au choix d'un site qui leur convient. Les paramètres à en tenir compte généralement dans le choix du site sont les conditions naturelles telles que la topographie, la géologie, la météorologie terrestre et maritime, ainsi que les conditions sociales comme la disponibilité du terrain, la fourniture des utilités, le transport et la main-d'oeuvre.

A quels paramètres de l'importance est accordée, cela diffère bien entendu selon les points de vue de la nation et la nature du projet. En fin de compte, on devra choisir un site permettant de minimiser les frais de production d'eau sans inconvénient à l'exploitation et l'influence nuisible sur le voisinage.

Compte tenu des facteurs ci-dessus mentionnés, nous avons effectué une analyse comparative des cinq sites possibles (voir la figure 5-1). Leurs caractéristiques sont décrites ci-dessous, d'après les résultats de l'étude sur place:

##### (1) Sidi Ferruch

Le site possible se situe à environ 2 km à l'ouest du district urbain de Sidi Ferruch écarté d'environ 20 km à l'ouest de la ville d'Alger. Le voisinage est une station balnéaire magnifique. L'accès au site qui est d'environ 1 km à partir de la grande route ne pose pas de problème.

Le terrain, à peu près plat, a un suffisant espace et le sol favorable. A l'ouest, il y a une colline haute d'environ 10 m derrière laquelle des bâtiments qui paraissent maisons de repos sont en construction. Un terrain agricole s'étend à l'arrière-pays du sud au sud-est.

La plage devant le site s'étend à pente douce et le point qui présente la profondeur de 8 m nécessaire à la prise d'eau est éloigné d'environ 900 m de la côte. Il est supposé que le rocher s'étale au fond avec une faible sédimentation. Cette condition rendra assez difficile la construction de l'ouvrage de prise et rejet d'eau. L'eau de mer est propre.

D'après les caractéristiques mentionnées ci-dessus, on pourrait classer le site possible comme prometteur, mais il présente les inconvénients majeurs suivants:

- Le réseau de distribution existant à proximité n'a pas la capacité pouvant recevoir un débit de 150 000 m<sup>3</sup>/jour et le raccordement ne sera donc pas facile;
- Le voisinage qui est une zone balnéaire subira une grande influence sur le paysage.

### (2) Grande Plage

Le site possible se situe à environ 5 km au nord-est de Sidi Ferruch. De même que Sidi Ferruch, il est voisin d'une zone balnéaire. Il est de facile accès à partir de la grande route. Le terrain est incliné de la terre vers la mer. Le sable destiné à l'agrégat fin est pris actuellement dans une bande d'environ 200 m à compter de la côte. Cette partie est donc très accidentée. Le niveau du sol creux est abaissé sensiblement.

Les conditions de la mer devant le site seraient similaires à Sidi Ferruch.

Le site possible présente les inconvénients suivants:

- Le voisinage qui est une zone balnéaire subira une grande influence sur le paysage;
- Le raccordement au réseau de distribution existant sera difficile;
- L'aménagement du terrain y compris l'évacuation des eaux pluviales de la colline arrière demandera un grand travail.

En conclusion, il n'est pas favorable comme site de l'Unité.

### (3) Stamboul

Le site possible est voisin du district urbain d'Alger. Le transport terrestre des matériaux et matériels est aisé, s'ils sont débarqués au port d'Alger.

Le terrain est plat et constitué par un herbage pour la quasi-totalité. Il sert en partie au dépôt des matériaux avec de petits entrepôts. Pour la mise en oeuvre du terrain, il faut les enlever. Le niveau général du terrain est aussi bas qu'il demande un remblayage d'au moins 1 m environ.

La plage devant le site s'étend à pente douce et le point qui présente la profondeur de 8 m nécessaire à la prise d'eau est éloigné d'environ 600 m de la côte. Par endroits vers la côte, il y a l'affleurement de rocher, laissant supposer une faible sédimentation au fond.

Ainsi, on ne peut dire que le site possible ne pose aucun problème sur les travaux de construction. Cependant, il est à examiner en outre sur la praticabilité du raccordement au réseau de distribution existant laquelle constitue un des paramètres importants pour

le Projet. De ce point de vue, il est très intéressant, car le raccordement avec la conduite du barrage de Keddara est facilement réalisable, permettant l'amenée d'eau à El Harrach qui assure l'alimentation majeure du Grand Alger. En conclusion, il est très prometteur comme site de l'Unité.

(4) Jean Bart

Le site possible se situe sur une falaise abrupte proche du cap se trouvant à l'extrême est de la baie d'Alger. D'ailleurs, des rangées de maisons qui l'entourent ne permettent pas de réserver à l'Unité un terrain de superficie suffisante. Il est donc inadéquat comme site de l'Unité.

(5) Zemmouri

Le site possible se situe à environ 50 km à l'est de la ville d'Alger. Il est assez éloigné de la grande route. La route d'accès, de largeur insuffisante, a sur son chemin deux ponts à voie unique à une charge maximale d'environ 4 tonnes. A l'état actuel, il est impossible de réaliser le transport terrestre des matériaux de construction et des équipements de l'Unité.

Le site lui-même a une vaste étendue.

Il donne sur la haute mer. L'eau de mer est propre, mais la mer orageuse est à redouter pour les travaux sur mer et sous-marins. Le nombre de jours où ces travaux sont réalisables est un facteur important pour respecter le court délai de construction de l'Unité. Sur ce point, le site laisse à craindre.

Pour résoudre le problème du transport terrestre mentionné ci-dessus, il est indispensable de mettre en place une installation de débarquement pour les travaux de construction. De plus, le raccordement au réseau de distribution existant n'est pas très facile. Avec ces inconvénients, le site ne peut être prometteur.

### 5.3 Etude comparative des sites possibles et choix du site optimal

Sur la base de la documentation d'étude comprenant les résultats de l'investigation sur place, les conditions naturelles et sociales indiquées au paragraphe précédent 5.1 ont été subdivisées comme suit:

– Conditions naturelles

(1) Conditions naturelles terrestres

La topographie, la géologie et la météorologie ne posent pas de problème sur la construction de l'Unité.

(2) Conditions océanographiques

La topographie et géologie sous-marines et la météorologie maritime ne posent pas de problème sur la construction de l'ouvrage de prise et rejet d'eau.

(3) Qualité et température de l'eau de mer brute

– Conditions sociales

**(4) Disponibilité du terrain**

Le terrain peut être acquis sans entrave.

**(5) Conditions d'alimentation de l'eau produite**

Le raccordement aux réseaux de distribution existants est réalisable.

**(6) Conditions de fourniture des utilités**

La fourniture nécessaire en électricité et combustible est réalisable.

**(7) Conditions de transport des matériaux et matériels de construction et des produits chimiques**

L'infrastructure comme les routes et ports est mise au point.

**(8) Influence sur l'environnement**

L'Unité ne cause pas la pollution d'eau ou d'air et ne nuit pas au paysage du voisinage.

**(9) Main-d'oeuvre**

La main-d'oeuvre est disponible aux régions périphériques.

Aux fins de la présente F/S, nous avons donné à chacun des paramètres à évaluer cités ci-dessus, une valeur (multiplicateur) correspondant à son importance. L'étude comparative des sites possibles a été effectuée ainsi quantitativement. Ses résultats sont indiqués au tableau 5-1. L'évaluation ne porte pas sur la main-d'oeuvre dont l'embauchage est estimé facilement réalisable au district urbain.

Suivant les résultats de l'étude, la présente F/S sera poursuivie désormais sur la base du site fixé à Stamboul.



Tableau 5-3 Comparaison des sites possibles

Paramètres à évaluer	Répercussion	Importance	Multi-plicateur	SIDI FERRUCH	GRANDE PLAGE	STAMBOUL	ZEMMOURI
Disponibilité du terrain	Faisabilité du projet	AA	3	Nulles données disponibles			
Superficie du terrain	Faisabilité du projet et frais de construction	A	2	10	10	10	10
Topographie (terrestre/sous-marine)	Frais et programme de construction	A	2	10	6	6	6
Géologie (terrestre/sous-marine)	idem	A	2	Nulles données disponibles			
Raccordement aux réseaux de distribution existants	Frais et programme de construction, Frais d'exploitation	A	2	6	6	10	2
Fourniture des utilités	Programme de construction et frais d'exploitation	A	2	10	10	10	6
Transport	Frais et programme de construction	B	1	1	1	1	0
Conditions océanographiques	idem	B	1	3	3	3	3
Qualité de l'eau de mer	Frais d'exploitation	B	1	5	5	3	5
Influence sur l'environnement	Frais de construction	B	1	1	1	5	5
Evaluation globale				46	42	48	37

Nota: 1. JEAN BART, inadéquat comme site, est exclu de l'évaluation. 2) L'évaluation qualitative sur chaque paramètre est notée pour la représentation numérique:

2. Les sites possibles ont été évalués quantitativement par la méthode suivante:

1) Les paramètres à évaluer sont classés selon leur importance en les 3 rangs auxquels sont données les valeurs suivantes:

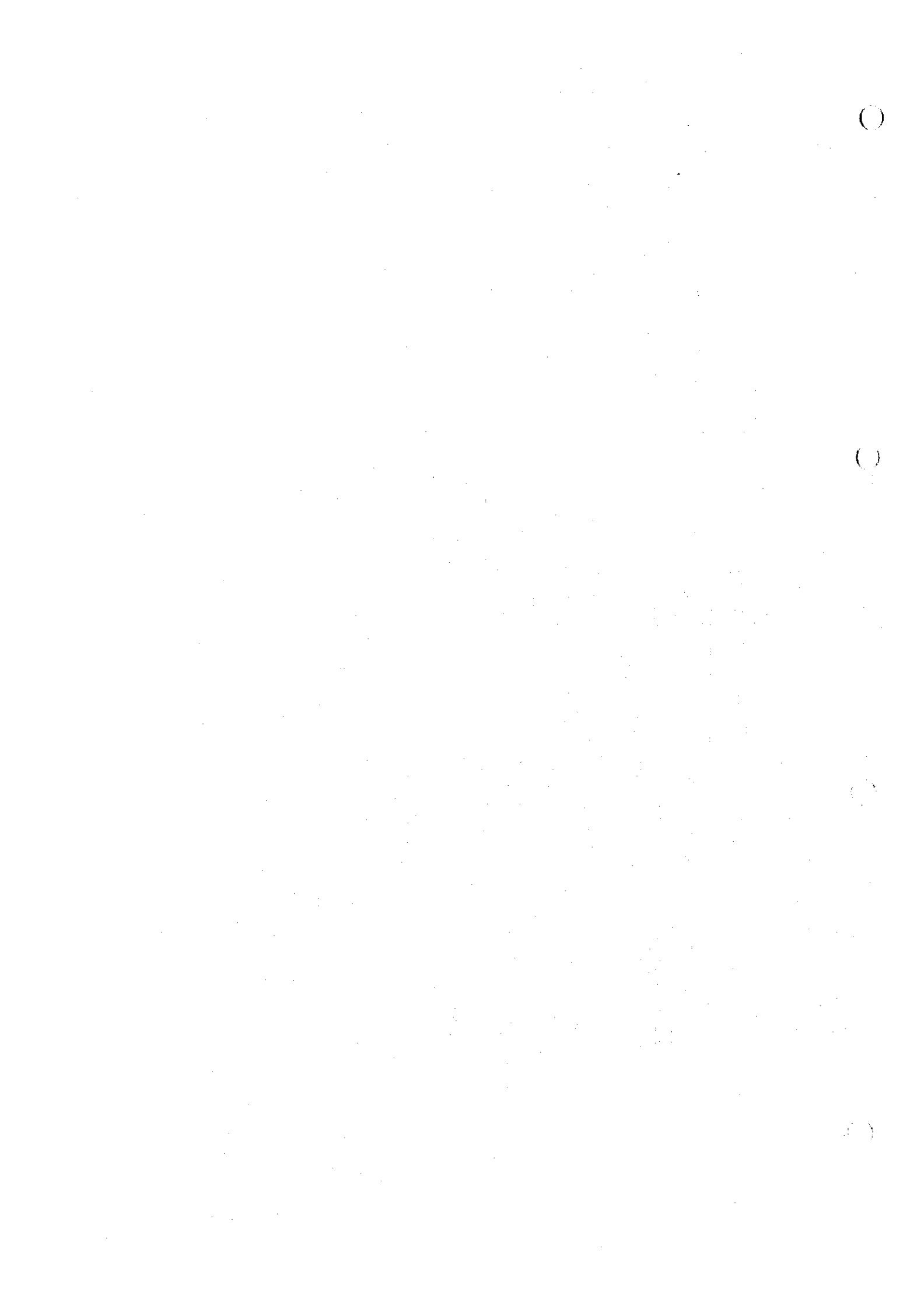
Rang	Valeur (multiplicateur)
AA	15
A	2
B	1

Evaluation qualitative

Note

○	(Très favorable)	5
◦	(Favorable)	3
△	(Passable)	1
x	(Défavorable)	0

3) On obtient le produit par le multiplicateur de la note sur chaque paramètre, puis le total de ces produits qui constitue l'évaluation globale du site.



## Chapitre 6

### Conditions de planning de l'Unité



## Chapitre 6: Conditions de planning de l'Unité

La présente F/S effectue l'étude conceptuelle des deux procédés: distillation à vaporisation instantanée et osmose inverse, portant sur:

- (1) Ouvrage de prise et rejet d'eau de mer
- (2) Unité de dessalement d'eau de mer
- (3) Installations de raccordement aux réseaux de distribution d'eau existants

Les conditions servant de base au planning de l'Unité seront décrites ci-après. Les utilités telles qu'électricité et gaz combustible seront fournies par les réseaux de distribution d'électricité et de gaz existants. La présente F/S ne comprend pas les canalisations de branchement sur ces réseaux.

### 6.1 Capacité de l'Unité

Comme l'étude au chapitre 3 l'indique, l'Unité aura une capacité de 150 000 m<sup>3</sup> par jour. L'Unité se composera de plusieurs séries d'unités ayant chacune une capacité définie. La capacité unitaire sera déterminée de façon qu'elle permette de réduire les frais de construction et d'exploitation, de raccourcir le délai de construction et de faciliter l'exploitation et la gestion.

### 6.2 Site de l'Unité

Le site de l'Unité se trouvera à Stamboul à l'est du Grand Alger.

La description générale du site est donnée au chapitre 5. Nous n'avons pas pu toutefois obtenir les données quantitatives sur les conditions géologiques qui constituent une grande incidence sur les frais de construction. La présente F/S sera donc poursuivie dans les suppositions suivantes:

- (1) Le sol est sableux jusqu'à une profondeur d'environ 2 m au-dessous de la surface actuelle, et constitué au-delà par une couche graveleuse ou calcaire;
- (2) La capacité portante admissible à la fondation est de 10 tonnes/m<sup>2</sup>. Elle est amenée à 20 tonnes/m<sup>2</sup> lorsque la fondation pénètre dans la couche graveleuse ou calcaire;
- (3) Le rocher au fond de mer n'est pas dur. Le dragage nécessaire pour la pose souterraine des conduites de prise et rejet d'eau est réalisable sans dérocheuse spéciale ni explosif.

### 6.3 Qualité de l'eau produite

Les standards de la qualité d'eau de robinet font actuellement l'objet d'une codification et vont bientôt être publiés. Les valeurs standard algériennes sont données au tableau 6-1. Les valeurs visées en attendant étant des standards O. M. S., la présente F/S utilise ceux-ci. Les valeurs standards O. M. S. sont indiquées au tableau 6-2.

**Tableau 6-1 Standards algériens de la qualité d'eau (préparés pour la promulgation)**

Eléments	Standards
Parasite	Nul
Coliformes	
<b>ESHERICHIA</b>	0 dans 100ml
Colibacille	3 au plus dans 100ml et 5% au plus du nombre d'échantillons
Streptocoques	0 dans 100ml
Chlore résiduel	0,1 mg/l au moins
pH	6,5 à 8,5
Odeur	Normale
Dureté totale (en CaCO <sub>3</sub> )	500 mg/l
Ion chlore	600 mg/l
Ion de sulfate	400 mg/l      *1
Résidu d'évaporation	1 500 mg/l
Matière trouble	5 mg/l
DBO	3,5 mg/l      *2
Ammoniac	0,2 mg/l      *3
Sulfure	0,02 mg/l
Fer	1 mg/l
Manganèse	0,5 mg/l
Fer + Manganèse	1 mg/l
Zinc	15 mg/l
Cuivre	1 mg/l
Nitrate	50 mg/l
Nitrite	1 mg/l
Fluor	2 mg/l De préférence 0,8 mg/l

\*1 : 250 mg/l au plus si la teneur en manganèse est supérieure à 50 mg/l.

\*2 : 15 mg/l au plus s'il a été vérifié que la pollution par infiltration ne peut se produire.

\*3 : 2 mg/l au plus s'il a été vérifié que la pollution par infiltration ne peut se produire.

**Tableau 6-2 Standards O.M.S. de la qualité d'eau**

Eléments	Standards
Parasite	Nul
Coliformes	10 maxi au nombre le plus probable pour toute l'année
Chlore résiduel	Non prévu
pH	6,5 à 9,2
Odeur	Non prévue
Dureté totale (en CaCO <sub>3</sub> )	100 à 500 ppm
Ion chlore	400 ppm
Ion de sulfate	400 ppm
Résidu d'évaporation	Non prévu
Azote nitreux	Non prévu
Azote ammoniacal	0,5 ppm
Azote nitrique (en NO <sub>3</sub> )	80 ppm
Fer	1,0 ppm
Manganèse	0,5 ppm
Fluor	1,5 ppm
Plomb	0,1 ppm
Arsenic	0,2 ppm
Sélénium	0,5 ppm
Chrome	0,05 ppm
Cuivre	1,0 ppm
Zinc	15,0 ppm
Phénol	0,002 ppm
Cyanure	0,01 ppm
Radioactivité	Rayons α 10 µc/ml Rayons β 10 µc/ml

#### 6.4 Qualité de l'eau de mer brute

Une analyse a été faite sur l'eau de mer prélevée à Sidi Ferruch et à Stamboul qui étaient sites possible de l'Unité. Les résultats sont indiqués à l'Annexe I-1 et I-2. D'après les données ci-dessus, le planning de l'Unité sera effectué sur la base de l'eau de mer brute ayant la qualité précisée au tableau 6-3.

**Tableau 6-3 Qualité de l'eau de mer brute**

Eléments	Qualité
Ca	345 mg/l
Mg	1 660 mg/l
Na	10 700 mg/l
K	600 mg/l
Cl	20 750 mg/l
SO <sub>4</sub>	2 800 mg/l
HCO <sub>3</sub>	140 mg/l
Conductibilité électrique	52 000 mg/l
TDS (Quantité totale de matières dissoutes)	3 700 mg/l
pH	8,2
NO <sub>2</sub>	0,04 mg/l
NH <sub>4</sub>	0,08 mg/l
Fe + Mn	0 mg/l
Turbidité	15
Température	13°C mini, 25°C maxi

## 6.5 Utilités et produits chimiques

### 6.5.1 Electricité

L'électricité sera fournie par les réseaux de distribution d'électricité de la SONELGAZ. Les conditions d'alimentation et le prix sont indiqués au tableau 6-4.

**Tableau 6-4 Conditions d'alimentation et prix d'électricité**

Eléments	Conditions et prix
Tension	60 kV
Fréquence	50 Hz
Phase	Triphasé
Prix	16,5 centimes/kWh

### 6.5.2 Gaz combustible

Le gaz combustible sera fourni par les réseaux de distribution de gaz de ville de la SONELGAZ. Les conditions d'alimentation et le prix sont indiqués au tableau 6-5.



**Tableau 6-5 Conditions d'alimentation et prix de gaz combustible**

Eléments	Conditions
Pouvoir calorifique	9 400 kcal
Composition	He 0,19 ± 0,02
	Ne 5,80 ± 0,20
	CO <sub>2</sub> 0,21 ± 0,03
	C <sub>1</sub> 83,00 ± 0,30
	C <sub>2</sub> 7,10 ± 0,15
	C <sub>3</sub> 2,25 ± 0,10
	iC <sub>4</sub> 0,40 ± 0,07
	nC <sub>4</sub> 0,60 ± 0,08
	iC <sub>5</sub> 0,12 ± 0,03
	nC <sub>5</sub> 0,15 ± 0,04
	C <sub>6</sub> 0,18 ± 0,05
	Poids spécifique (air 1,0) 0,660 ± 0,003
	H <sub>2</sub> S : 0,750 mg/m <sup>3</sup>
	Soufre : 30 mg/m <sup>3</sup>
Pression d'origine	40 Bar
Pression d'alimentation	4Bar
Prix	1 22 centimes/1000 kcal

### 6.5.3 Produits chimiques

Les spécifications et le prix unitaire des produits chimiques nécessaires à l'Unité sont indiqués pour les deux procédés: distillation et osmose inverse.

**Tableau 6-6 Spécifications et prix unitaire (en DA/kg) des produits chimiques**

- Procédé de distillation à vaporisation instantanée

Produits chimiques	Spécifications	Prix unitaire
Inhibiteur d'entartrage	—	18,00
Agent antimoussé	—	20,00

- Procédé osmosé inverse

Produits chimiques	Spécifications	Prix unitaire
Acide sulfurique	Concentration 98 %	0,41
Chlorure ferrique	Concentration 40 %	1,44
Acide citrique	Pouree de 100 %	5,67
Ammoniaque	Concentration 25 %	2,20
Coagulant	—	90,00

## 6.6 Protection de l'environnement

Les facteurs par lesquels l'exploitation de l'Unité peut affecter l'environnement sont les eaux résiduaires, les fumées et le bruit. La réglementation concernant ces facteurs n'existe pas en Algérie actuellement. A la place, la présente F/S prendra les mesures de protection satisfaisant aux valeurs réglementaires décrites ci-après:

### 6.6.1 Eaux résiduaires

Pour protéger les eaux littorales contre la pollution, nombreux pays ont institué les standards de la qualité des eaux résiduaires, parmi lesquels les plus sévères sont les standards japonais de la qualité des eaux résiduaires industrielles. La présente F/S utilise ceux-ci et reprend leurs valeurs réglementaires au tableau 6-7.

L'unité de dessalement dégorge une grande quantité d'eau de mer concentrée. La réglementation sur de telles eaux usées concentrées n'existe pas. La présente F/S prévoira un suffisant mélange avec l'eau de mer de façon à ne pas affecter l'environnement.

**Tableau 6-7 Standards de la qualité des eaux résiduaires**

Éléments	Limite admissible
pH	5,0 à 9,0
DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup>	160 mg/l (Moyenne journalière 120 mg/l)
DCO (mesure au Cr)	160 mg/l (Moyenne journalière 120 mg/l)
Matières en suspension	200 mg/l (Moyenne journalière 150 mg/l)
Huile extraite hexane	5 ppm
Phénol	5 mg/l

### 6.6.2 Fumées

Nombreux pays recommandent à leur nation de respecter les standards institués pour la protection de l'environnement et portant les dispositions sur les matières nuisibles dans l'air. Le tableau 6-8 montre les standards américains et japonais dont la réglementation est la plus avancée.

Pour respecter ces standards, il faut contrôler le débit des matières nuisibles à partir de leur générateur respectif. Le contrôle est défini compte tenu des conditions spécifiques locales (naturelles et sociales).

Par ailleurs, le gaz combustible utilisé pour l'Unité est tel que précisé au tableau 6-5. Les fumées produites par la combustion de ce gaz ne contiennent l'oxyde de soufre, l'oxyde de carbone et les matières subdivisées en suspension qu'en une aussi faible teneur qui n'affecte pas l'environnement. Seul l'oxyde d'azote fera l'objet du contrôle adoptant comme valeur standard celle de la réglementation japonaise suivante:

Valeur standard de l'oxyde d'azote à l'émission 100 cc/Nm<sup>3</sup>

**Tableau 6-8 Standards de l'environnement**

Eléments	Japon	U. S. A.
Bioxyde de soufre	0,04 ppm au plus en moyenne journalière des valeurs horaires dont chacune ne doit pas dépasser 0,1 ppm.	0,03 ppm au plus en moyenne journalière des valeurs horaires dont chacune ne doit pas dépasser 0,14 ppm.
Oxyde de carbone	10 ppm au plus en moyenne journalière des valeurs horaires dont la moyenne sur 8 heures ne doit pas dépasser 20 ppm.	9 ppm au plus en moyenne journalière des valeurs horaires dont la moyenne sur 8 heures ne doit pas dépasser 35 ppm.
Matières subdivisées en suspension	0,10 ppm au plus en moyenne journalière des valeurs horaires dont chacune ne doit pas dépasser 0,20 ppm.	0,075 ppm au plus en moyenne journalière des valeurs horaires dont chacune ne doit pas dépasser 0,28 ppm.
Bioxyde d'azote	0,04 à 0,06 ppm en moyenne journalière des valeurs horaires	0,05 ppm en moyenne journalière des valeurs horaires

### 6.6.3 Bruit

La réglementation du bruit varie suivant les modes d'activités sociales d'alentour. Le site de l'Unité se trouve dans une région parsemée d'habitations du Grand Alger, mais celles-ci ne voisinent pas avec ses limites. Ainsi, le bruit produit par le fonctionnement de l'Unité (notamment des pompes, moteurs et chaudières) causera peu d'ennuis à l'environnement. Toutefois, la protection contre le bruit sera prise en considération dans l'implantation de l'Unité où les générateurs de bruit seront écartés des limites du site ou enfermés dans des bâtiments.

### 6.7 Autres conditions à en tenir compte dans le planning de l'Unité

Pour faciliter l'exploitation et ainsi maintenir élevé le taux d'utilisation, on prendra les mesures suivantes:

- (1) La commande sera complètement automatique sauf la mise en marche et arrêt;
- (2) Au moins un ensemble de réserve sera prévu pour chacun des équipements rotatifs de service permanent ou d'importance majeure;
- (3) L'Unité aura les pièces de rechange pour deux ans d'exploitation.

## Chapitre 7

### Etude conceptuelle de l'Unité de dessalement par distillation



## Chapitre 7. Etude conceptuelle de l'Unité de dessalement d'eau de mer par distillation

Différents paramètres sont à prendre en considération dans l'étude conceptuelle de l'Unité de dessalement par distillation à vaporisation instantanée par détente successive. Compte tenu des diverses exigences imposées au Projet, notamment des conditions de base économiques et techniques décrites au chapitre 4, paragraphe 4.2, la présente F/S a déterminé les spécifications générales mentionnées ci-après. Pour le détail des considérations ayant dirigé la conception, se reporter au présent chapitre, paragraphe 7.2.1.

### 7.1 Spécifications générales

#### 7.1.1 Spécifications de l'Unité

Procédé : distillation à vaporisation instantanée par détente successive à longs tubes

Capacité de production d'eau douce : 150 000 m<sup>3</sup>/jour

Nombre d'unités constituanes : 50 000 m<sup>3</sup>/jour x 3 unités

Fonctionnement : recyclage de saumure

Contrôle d'entartrage : injection d'un inhibiteur d'entartrage à haute température et nettoyage à boules

Nombre d'étages d'évaporation :

Récupération de chaleur 30 étages

Dégagement de chaleur 3 étages

Total 33 étages

Qualité de l'eau produite : satisfait aux standards de la qualité d'eau de l'O. M. S.

Bilan des eaux : Prise 1 248 000 m<sup>3</sup>/jour

Rejet 1 098 000 m<sup>3</sup>/jour

Conditions principales d'exploitation :

Rapport de production d'eau 8,0

Température maximale de la saumure recyclée 110 °C

Température de la saumure usée 34 °C (max.)

Température de l'eau produite 32 °C (max.)

Rapport de concentration de la saumure recyclée 1,82

#### 7.1.2 Composition de l'Unité

Installations de production d'eau:

Evaporateur

Réchauffeur de saumure

Purgeur d'air

Désaérateur