



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

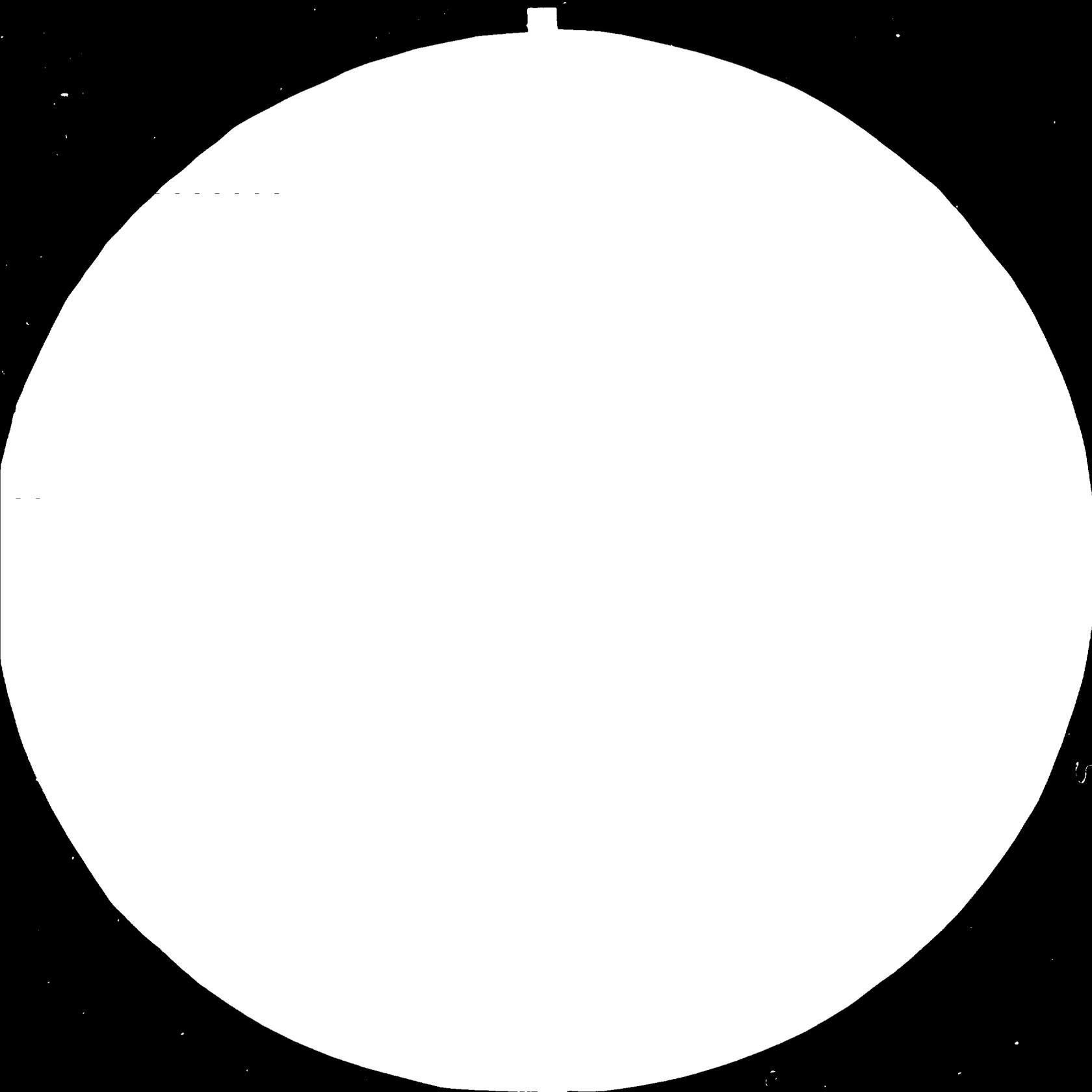
FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org





1.8



MICROSCOPY RESOLUTION TEST CHART

NATIONAL BUREAU OF STANDARDS
100 COLLEGE PARK, MARYLAND 20740
U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE

13484

ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

Distr. LIMITEE
UNIDO/IO.571
24 janvier 1984
Original : FRANCAIS

ETUDE DE LA PRODUCTION DU SEL DE MER
ET DIRECTIVES POUR LA CONSTRUCTION DE SALINS*

Etablie d'après les travaux
de J. Clain, Consultant de l'ONUDI

* Ce document n'a pas fait l'objet d'une mise au point rédactionnelle.

V.84-80801

TABLE DES MATIERES

- 1/ INTRODUCTION
 - DEFINITION DU SEL DE MER
 - DESCRIPTION SOMMAIRE DES AUTRES PROCEDES.

- 2/ SITUATION ACTUELLE DE LA PRODUCTION DU SEL DE MER ET DU MARCHE.

- 3/ ETUDE DE L'EAU DE MER
 - COMPOSITION
 - CONCENTRATION
 - SOLUBILITE DES DIFFERENTS SELS

- 4/ PROCEDE DE PRODUCTION DU SEL DE MER
 - DESCRIPTION DU PROCEDE

- 5/ CONDITIONS FAVORABLES REQUISES POUR LA CONSTRUCTION D'UN SALIN
 - CLIMAT
 - SITUATION ET QUALITES DES SOLS

- 6/ CALCULS DES DIFFERENTS ELEMENTS DU SALIN
 - SURFACES
 - VOLUMES D'EAU

- 7/ MESURES A PRENDRE POUR LE BON USAGE DE LA FABRICATION DU SEL.
 - STATION METEOROLOGIQUE
 - BILAN DES ELEMENTS DU SALIN

8/ METHODE DE CONSTRUCTION ET D'ENTRETIEN

- TERRASSEMENTS et OUVRAGES
- PRISE D'EAU A LA MER
- STATION DE POMPAGE
- ANNEXES

9/ MATERIELS DE MANUTENTION

- RECOLTE
- LAVAGE
- STOCKAGE
- REPRISE AU STOCK
- CHARGEMENTS.

10/ METHODE DE TRAITEMENT DU SEL

- SECHAGE
- BROYAGE - CRIBLAGE
- ENSACHAGE - EMPAQUETAGE - BLOCS
- IODAGE ET ANTIMOTTANT.

11/ FAUX MERES

12/ POSSIBILITE D'EVOLUTION DU SEL DE MER

13/ EXTENSION DE CERTAINES METHODES A LA PRODUCTION DE
SEL A PARTIR DE SAUMURE DE LAC

14/ CONCLUSIONS.

I N T R O D U C T I O N

DEFINITION DU SEL DE MER
.....

On appelle sel de mer, le sel obtenu à partir de l'eau de mer, après la concentration progressive de celle-ci par les éléments naturels.

A partir de l'eau de mer on ne fabrique pas de sels par éléments artificiels (Fuel, électricité ...) à cause du coût élevé du procédé.

Par contre, avec les éléments naturels on peut fabriquer du sel à partir de saumures souterraines ou provenant de lacs salés, si le climat le permet.

La composition de ces saumures sont différentes de celles de la mer et les sels cristallisés ont également des compositions différentes.

A U T R E S S E L S

.....

A part ces sels, ayant des provenances différentes (mers, lacs, sous-sols) mais obtenus par les éléments naturels, il existe des sels d'origine souterraine.

Ils sont extraits, soit par le procédé Minier, soit dissous par de l'eau douce et recristallisés au sol en utilisant le charbon, le fuel ou l'énergie électrique, dans des appareils à évaporation sous vide.

Dans ce qui va suivre nous ne nous préoccupons que du sel de mer.

Il ne peut être par définition produit que sur des terrains situés à proximité de la mer et jouissant d'un climat favorable à la concentration de l'eau de mer, et la cristallisation du sel.

Nous verrons plus loin que ces conditions excluent tous les pays ayant un climat froid et pluvieux et tous les pays équatoriaux ayant un climat humide et très pluvieux.

SITUATION ACTUELLE DE LA PRODUCTION DU SEL DE MER ET DU MARCHE
.....

A/ HISTORIQUE.

Depuis l'origine l'homme est consommateur de sel dont il s'est nourri soit directement, soit par celui contenu dans les aliments.

Le sel est utile pour l'équilibre des échanges intercellulaires indispensables à la vie. Le sang humain contient 6 grammes de sel par litre - soit environ 30 à 40 gr au total pour un adulte.

L'histoire romaine a été marquée par le sel, symbole de vie et de mort. La ville de Rome a été construite à un endroit stratégique permettant à ses premiers habitants de contrôler la route utilisée par les SABINS qui descendaient des montagnes vers l'embouchure du Tibre pour y chercher du sel à OSTIE. Cette route portait alors le nom de VIA SALARIA.

Le sel servit très longtemps de monnaie d'échange ou de paiement. Le mot français SALAIRE est dérivé du mot SEL.

La surface de la mer occupe 70 % de la surface total de la terre.

La mer contient 37 millions de milliards de tonnes de sel. Si tout le sel contenu dans les océans était cristallisé sur les surfaces immergées, il formerait une couche de 165 mètres de hauteur.

B/ PRODUCTIONS

On évalue environ à 7 kilos la consommation directe annuelle par individu. Si ce n'était que la seule utilisation du sel, la consommation mondiale aurait été de 28 millions de tonnes en 1978, or la consommation mondiale a été de 179 millions de tonnes. C'est dire que plus de 151 millions de tonnes ont été utilisées à d'autres fins.

Ces utilisations sont, pour ce qui concerne les plus importantes :

- la nourriture des animaux
- le salage des fourrages pour leur conservation
- le salage des peaux pour les tanneries
- la petite industrie
- la grande industrie (électrolyse)
- le déglacage et le déneigement des routes
- les adoucisseurs d'eau. etc ...

La consommation de sel d'un pays croît d'une façon directement proportionnelle avec le standing de vie des habitants. La consommation de sel de déneigement des routes croît d'une façon très importante dans les pays où le climat hivernal en impose l'utilisation ; elle peut atteindre 20 % de la consommation totale pendant les hivers rudes.

Les américains des USA ont consommé en 1978, 195 kilos de sel par personne et par an, les européens du marché commun 137 kg, le japonais 90 kg, les russes 54 kg, les chinois 26 kg et les africains 10 kg.

On voit donc que les pays gros consommateurs sont des pays industrialisés ou des pays très peuplés.

L'importance des consommations par pays a été en 1978, pour les principaux :

. Amériques du Nord et centrale	51 millions de tonnes
. Amérique latine.....	9 millions de tonnes
. Afrique	3 millions de tonnes

. Asie	44 millions de tonnes
. Europe	66 millions de tonnes
. Australie et Océanie	6 millions de tonnes

En 1978, la consommation mondiale a été de 179.720.000 Tonnes, pour une population de 4.000 millions d'habitants, soit une consommation unitaire de 45 kilos par personne et par an.

Nous donnons ci-après un tableau donnant les productions de sel de tous les pays du monde en 1978. (Dernières statistiques connues à ce jour).

PRODUCTION MONDIALE DE SEL EN 1978

Pays	Production (1 000 t)	
	Totale	dont sel non marin.
USA	38 890, 1	37 074, 8
Chine	30 000, 0	5 000, 0
URSS	14 500, 0	14 500, 0
Allemagne fédérale	12 657, 9	12 657, 9
Royaume Uni	7 310, 0	7 310, 0
France	6 894, 8	6 058, 3
Inde	6 693, 6	424, 9
Canada	6 452, 3	6 452, 3
Australie	5 930, 0	2 460, 0
Mexique	5 485, 0	190, 0
Italie	4 521, 3	3 721, 3
Roumanie	4 500, 0	4 500, 0
Pologne	3 834, 0	3 834, 0
Espagne	3 668, 8	2 116, 8
Pays Bas	3 558, 4	3 558, 4
Brésil	3 298, 7	571, 7
Allemagne Orientale	2 600, 0	2 600, 0
Bahamas	1 670, 0	-
Colombie	1 290, 3	440, 0
Argentine	1 147, 1	1, 6
Japon	1 072, 4	-
Turquie	929, 3	48,1
Corée du Sud	753, 0	-
Egypte	708, 7	-
Iran	700, 0	700,0
Bangladesh	678, 0	-
Pakistan	580, 0	428,9
Portugal	545, 0	325,5
Corée du Nord	540, 0	-
Formose	496, 1	-
Afrique du Sud	489, 9	489,9

Tunisie	442, 0	-
Antilles néerlandaises	400, 0	-
Chili	393, 5	393,5
Suisse	390, 6	390,6
Viet-Nam	375, 0	-
Tchécoslovaquie	348, 1	348,1
Danemark	325, 1	325,1
Autriche	322, 1	322,1
Pérou	310, 0	15,0
Yougoslavie	298, 0	280,0
Venezuela	241, 0	-
Indonésie	239, 9	-
Philippines	225, 7	-
Namibie	220, 0	30,0
Birmanie	201, 0	10,0
Yémen	200, 0	200,0
Grèce	191, 0	-
Sierra Leone	180, 0	180,0
Thaïlande	162, 0	11,8
Algérie	142, 0	130,0
Sénégal	140, 0	-
Sri Lanka	115, 3	-
Ethiopie	107, 7	10,0
Anglola	100, 0	-
Israël	100, 0	25,0
Bulgarie	100, 0	70,0
Soudan	91, 7	-
Afghanistan	81, 1	81,1
Yémen du Sud	75, 0	10,0
Nouvelle-Zélande	65, 0	-
Iraq	60, 0	-
I. Saint-Vincent	50, 0	-
Ghana	50, 0	-

Albanie	50,0	-
Syrie	48,4	48,4
Salvador	45,0	-
République Dominicaine	35,0	2,0
Liban	35,0	-
Jordanie	30,0	30,0
Kampuchea	30,0	-
Madagascar	30,0	-
Mozambique	28,0	-
Costa Rica	27,0	-
I. Canaries	27,0	-
Porto Rico	24,5	-
Kenya	19,8	15,0
Koweït	19,0	19,0
Maroc	17,2	17,2
Nicaragua	16,0	-
Panama	15,2	-
Mongolie	15,0	15,0
I. du Cap Vert	14,2	-
Tanzanie	14,2	14,2
Guatemala	11,0	-
Libye	10,0	-
Laos	10,0	-
I. Maurice	6,0	-
Mali	5,0	5,0
Autres pays	-	7,5
Total	179 720,0	118 480
Chiffres 1973	151 650	110 900
Chiffres 1950	48 000	33 528

TOTAL SEL DE MER EN 78 : 61. 240 M.T.

EVOLUTION DE PRODUCTIONS DE SEL DANS LE MONDE

ENTRE 1950 et 1978

(Chiffres exprimés en milliers de
tonne).

Années	Productions totales	Décompositions		Proportion du sel de mer par rapport au Total.	Augmentation du sel de mer Base 100 en 1950	Base 100 en 1973
		Sel de mer	Autres			
1950	48.000	14.472	33.528	30,1 %	100	-
1973	151.650	40.750	110.900	26,9 %	281	100
1978	179.720	61.240	118.480	34 %	423	150

C/ MARCHES INTERIEURS et EXPORTATIONS

Beaucoup de pays satisfont leurs besoins avec le sel de leur propre production, qu'il soit de mer, de lac, de mines, ignigènes ou sous forme de saumure.

Toute leur production est consommée sur le marché intérieur.

Par contre, dans d'autres pays, la production est supérieure à la consommation et dans la troisième catégorie les pays sont importateurs car leur consommation est supérieure à la production.

Il faut faire là une constatation importante concernant la qualité des sels.

Les pays qui possèdent des gisements de sels sont des pays qui peuvent se suffire à eux-mêmes car la production est considérée comme non limitée, au moins pour les prochains siècles.

Par contre, ce sont des pays qui exportent peu de sel provenant des gisements, car ceux-ci sont bien souvent situés loin de la mer, c'est-à-dire que le sel ne peut pas être expédié par bateaux.

Les exportations, quand il y en a, se font par route ou par fer et portent en général sur de petits tonnages.

Toutefois il arrive aussi que ces pays importent du sel de mer, quand ils ne peuvent pas en produire, sel de mer qui est destiné à des usages bien précis : conserves de poissons et sel pour la consommation humaine, partiellement.

La corrélation de cette constatation est que les grands transports se font avec du sel de mer, à partir des pays qui peuvent disposer de conditions favorables pour sa production, vers des pays qui ne disposent pas de production suffisante en sel souterrain.

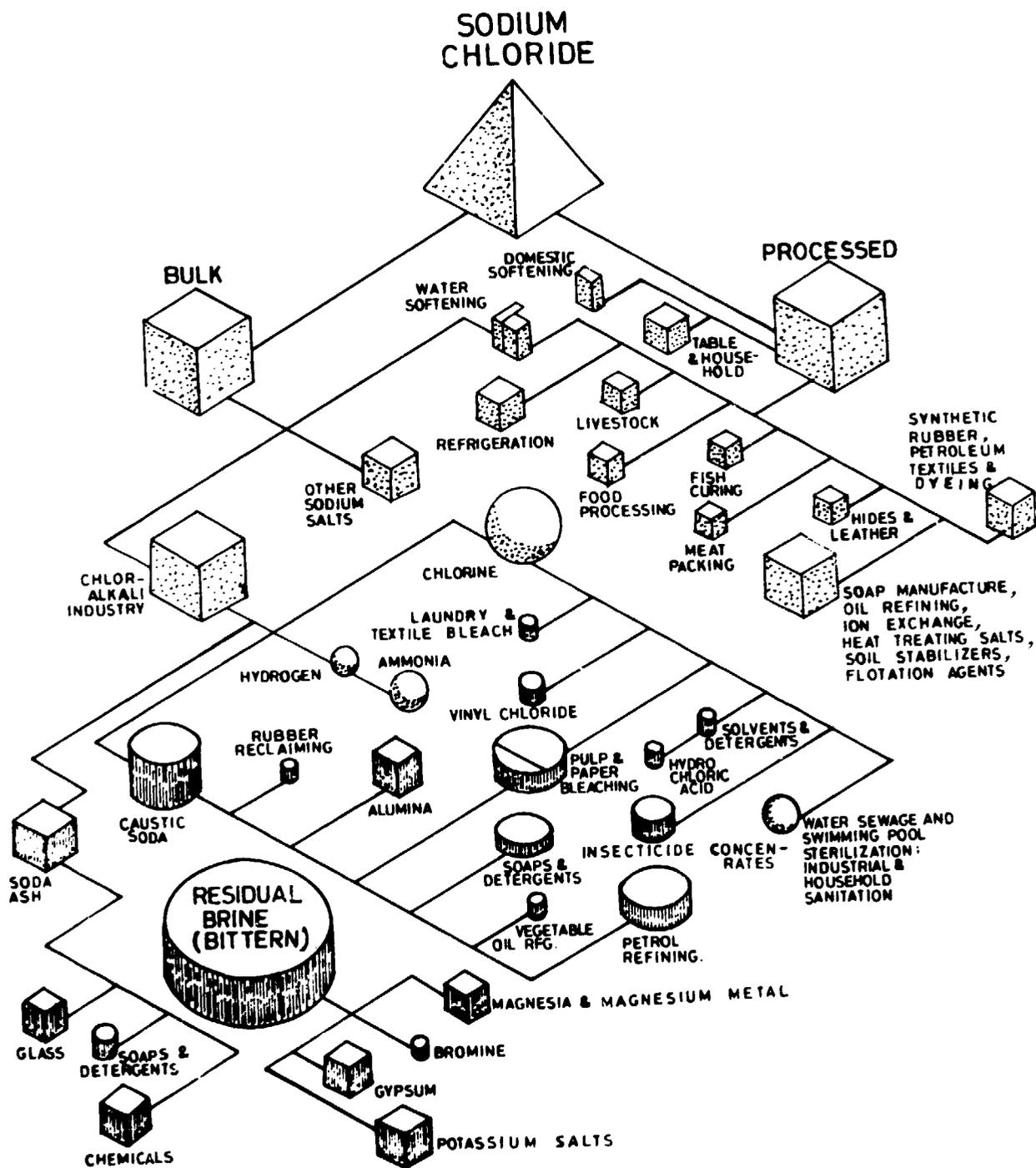


FIG.1.1. USES OF SODIUM CHLORIDE.

COMPOSITION DE L'EAU DE MER

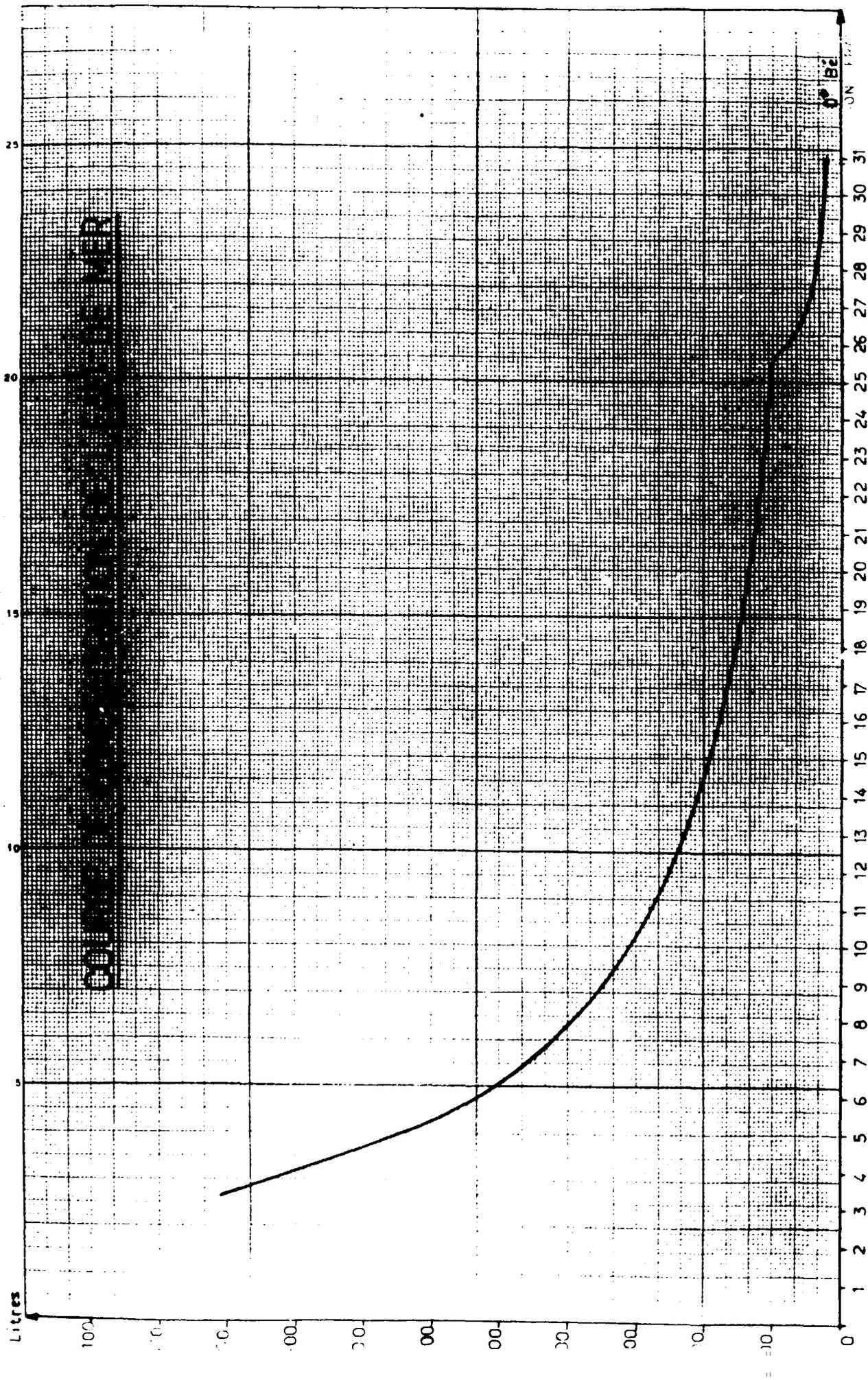
L'eau de mer contient outre du chlorure de Sodium (NaCl) d'autres sels, formés par les ions principaux = Calcium (Ca) Magnésium (Mg) sulfate (SO_4) Potassium (K) outre ceux-là, l'eau de mer contient également des oligots éléments, iode, brome etc...

La concentration et la composition des eaux de mer varient très peu d'une mer à une autre, sauf dans les mers fermées et sauf aux alentours des embouchures des fleuves. La densité de l'eau de mer varie de 1,026 (3,6 degrés baumé) à 1,024 (3,4 degrés baumé).

Le tableau ci-après donne pour différentes densités les compositions chimiques correspondantes.

CONCENTRATION DE L'EAU DE MER

Degrés Beaume	Densités	IONS gr/l.						NaCl gr/l.	Total Sels	H ₂ O gr/l.
		Cl	Ca	SO ₄	Mg	K	Br			
3,6	1,026	20,40	0,43	2,80	1,40	0,38	0,06	28,46	36,69	998,80
4	1,028	22,73	0,47	3,12	1,56	0,43	0,07	31,17	40,87	937,63
5	1,036	28,63	0,59	3,92	1,97	0,54	0,09	39,94	51,46	984,42
6	1,043	34,00	0,71	4,73	2,32	0,65	0,11	48,27	62,20	931,18
7	1,051	40,67	0,83	5,54	2,79	0,77	0,13	56,74	73,09	977,88
8	1,059	46,84	0,96	6,36	3,22	0,88	0,15	65,33	84,14	974,55
9	1,066	53,10	1,08	7,19	3,65	1,00	0,17	74,05	95,35	971,16
10	1,074	59,46	1,20	8,02	4,09	1,12	0,19	82,91	106,73	967,72
11	1,082	65,91	1,33	8,86	4,52	1,24	0,21	91,89	118,29	964,22
12	1,091	72,49	1,45	9,70	4,96	1,37	0,23	101,02	130,01	960,68
13	1,099	79,17	1,58	10,55	5,44	1,49	0,25	110,29	141,93	957,07
14	1,107	86,07	1,68	11,37	5,91	1,62	0,28	119,91	154,16	953,26
15	1,116	93,61	1,59	11,90	6,46	1,77	0,30	130,99	167,59	948,40
16	1,125	101,99	1,51	12,49	7,00	1,93	0,33	142,29	181,29	943,40
17	1,133	110,15	1,42	12,96	7,57	2,08	0,35	153,64	195,03	938,49
18	1,142	118,42	1,33	13,50	8,14	2,24	0,38	165,21	209,06	933,43
19	1,152	126,82	1,24	14,03	8,71	2,39	0,41	176,96	223,31	928,30
20	1,161	135,05	1,15	14,57	9,30	2,56	0,43	188,89	237,77	923,10
21	1,170	144,05	1,06	15,11	9,90	2,72	0,46	201,00	252,46	917,83
22	1,180	152,88	0,97	15,66	10,50	2,89	0,49	213,30	267,39	912,46
23	1,190	161,86	0,88	16,19	11,12	3,06	0,52	225,80	282,56	907,02
24	1,199	171,00	0,79	16,74	11,75	3,23	0,55	238,53	297,00	901,46
25	1,209	180,30	0,70	17,33	12,39	3,40	0,58	251,45	311,70	895,83
25,5	1,215	185,71	0,65	17,56	12,71	3,49	0,59	259,32	321,64	892,97
26	1,219	186,00	0,60	19,12	15,29	4,80	0,72	248,20	323,64	896,10
27	1,230	186,00	0,51	28,04	23,23	6,38	1,09	218,62	332,11	890,03
28	1,241	186,00	0,41	38,31	31,09	8,54	1,45	189,65	340,79	899,92
29	1,251	186,00	0,31	48,16	39,27	10,77	1,83	159,49	349,53	901,94
30	1,262	186,00	0,21	58,13	47,48	13,04	2,22	128,87	358,43	903,92
31	1,274	186,00	0,17	63,37	55,88	15,35	2,61	98,04	366,68	906,88



MASSES ATOMIQUES

Rappelons ici les masses atomiques des différents composants et leurs groupements possibles.

$$\text{Cl} = 35,5$$

$$\text{Na} = 23$$

$$\text{Ca} = 40$$

$$\text{Mg} = 24$$

$$\text{K} = 39$$

$$\text{Br} = 80$$

$$\text{S} = 32$$

$$\text{O} = 16$$

GROUPEMENTS

$$\text{NaCl} = 58,5$$

$$\text{SO}_4 = 96$$

$$\text{CaSO}_4 = 136$$

$$\text{MgSO}_4 = 120$$

$$\text{MgCl}_2 = 95$$

$$\text{NaBr} = 103$$

UNITES DE MESURE

La mesure de la concentration de l'eau de mer s'exprime toujours en densité (masse de l'unité de volume du corps). Seules les graduations des densimètres varient de l'un à l'autre.

DEGRES BAUME

L'aréomètre a été gradué Zéro dans l'eau distillée pure et 66 dans l'acide sulfurique ($\text{SO}_4 \text{H}_2$) de densité 1,8428 - L'intervalle a été divisé en 66 parties égales.

Les Saliniers ont adopté cet appareil à leur profession. L'aréomètre est gradué zéro dans l'eau distillée à 15 degrés centigrade et 15 dans une solution d'eau de mer concentrée par évaporation et contenant 15 % en poids de sels dissous.

DENSITE

C'est le poids de l'unité de volume, comparé à celui de l'eau qui est de 1 dans le système métrique.

Pour passer des degrés BAUME aux densités et réciproquement on utilise les formules :

$$\text{DENSITE} = \frac{144,32}{144,32 B^{\circ}}$$

$$\text{DEGRE BAUME} = 144,32 \left(\frac{d - 1}{d} \right)$$

SALOMETRE

Mesure utilisé surtout par les Américains .

Le Salomètre est gradué zéro dans l'eau distillée pure et 100 au point de saturation en NaCl d'une saumure marine. (correspondant à 25,5 degré BAUME ou à une densité de = 1,215

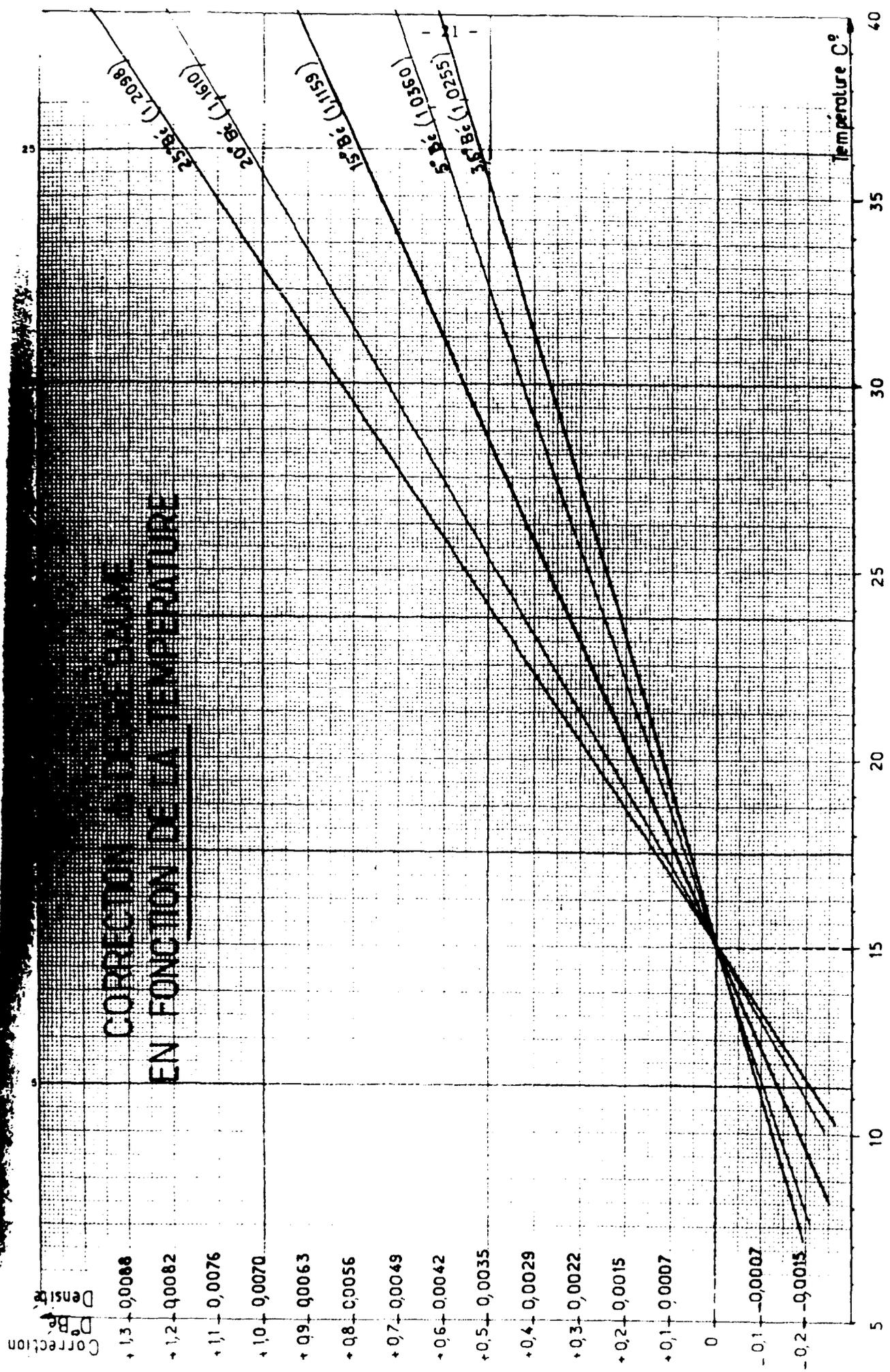
CORRECTION DE TEMPERATURE

La graduation (15) de l'anomètre Baumé ayant été faite à 15 degrés centigrades, il est nécessaire lorsque la température de la saumure varie en plus ou en moins de corriger la densité lue pour obtenir la densité réelle .

Les courbes ci-après donnent les corrections a apporter.

Correction
D_B Be.
Density

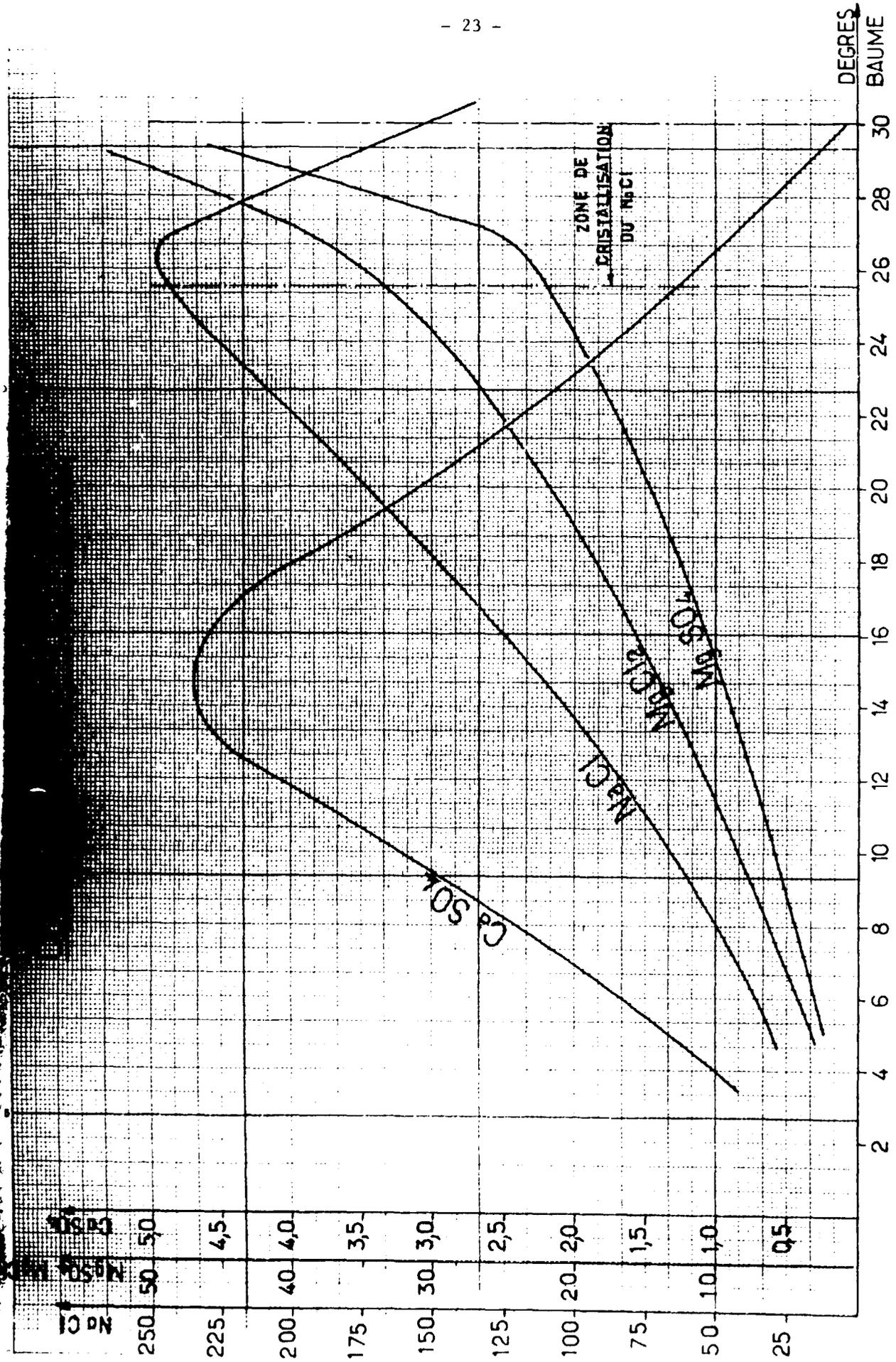
CORRECTION DE LA DENSITÉ EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE



SOLUBILITE DES SELS

Le graphique ci-après donne les concentrations des principaux sels / NaCl, Ca SO₄, Mg SO₄, Mg Cl₂) en fonction de la concentration de l'eau de mer.

Etant donné les différentes teneurs en sels, les échelles en ordonnées sont différentes.



NOTIONS DE VOLUMES DE SAUMURE

Les calculs dont on se sert pour établir l'importance des différents éléments du salin (surface des évaporateurs, surface des cristallisoirs, volume des réservoirs, volumes à pompes à la mer ...) font appel à la notion de volumes de saumure.

Par exemple :

100 litres de saumure saturée à 25,5 degrés BAUME ($d = 1,215$) sont obtenus à partir de la concentration par évaporation d'un volume de 909 litres d'eau de mer à 3,6 degrés BAUME ($d = 1,025$).

Nous donnons ci-après à titre indicatif un tableau donnant les volumes relatifs à différentes concentrations.

TABLEAU des VOLUMES en FONCTION des DENSITES

Degrés BAUME	Densités	Volumes	Degrés BAUME	Densités	Volumes livrées.
2,5	1, 018	1 318	16	1, 125	182
3,0	1, 021	1 073	17	1, 133	168
3,5	1, 025	936	18	1, 142	156
3,6	1, 026	909	19	1, 152	146
4	1, 028	815	20	1, 161	137
4,5	1, 032	723	21	1, 170	129
5	1, 036	647	22	1, 180	121
6	1, 043	536	23	1, 190	115
7	1, 051	456	24	1, 199	108
8	1, 059	396	25	1, 209	103
9	1, 066	350	25,5	1, 215	100
10	1, 074	313	26	1, 219	84
11	1, 082	282	27	1, 230	55
12	1, 091	256	28	1, 241	41
13	1, 099	235	29	1, 251	33
14	1, 107	216	30	1, 262	26
15	1, 116	198	31	1, 274	23

BASE de CALCUL POUR 100 LITRES DE SAUMURE SATUREE

PRODUCTION DU SEL DE MER

DESCRIPTION DU PROCEDE

L'eau de mer, si elle n'est pas diluée par l'eau venant du voisinage de l'embouchure d'une rivière, contient 28,5 g/litre de chlorure de sodium (3,6 degrés Baumé).

Lorsque la concentration de l'eau atteint 259 g/litre, la saumure est dite saturée et toute évaporation provoque ensuite la cristallisation du chlorure de sodium. Pour fabriquer du sel à partir de l'eau de mer il faut donc d'abord l'amener à saturation par l'action de l'évaporation naturelle, provoquée par les différents éléments du climat (température, vent, humidité de l'air ...)

Cette concentration se réalise en plaçant l'eau sur des surfaces appelées évaporateurs, surfaces préparatoires ou chauffoirs. Ensuite, il faut amener la saumure saturée sur des surfaces où le chlorure de sodium se déposera. Ces surfaces s'appellent tables salantes, cristallisoirs ou oeillets.

Pendant cette opération, la saumure continue à se concentrer en sels de magnésium (chlorure et sulfate de magnésium) ; la saumure, alors appelée eau-mère, doit donc être évacuée avant le dépôt de ces sels dits "secondaires" (en général à 30° Bé).

Les sels de calcium (CaSO_4) se sont déposés dans les évaporateurs avant la saturation de la saumure en chlorure de sodium.

Le rapport de la surface des évaporateurs et de la surface des cristallisoirs est fonction de la concentration de l'eau de mer à l'entrée du salin, des quantités d'eau infiltrée dans le sol et de la concentration des eaux-mères évacuées. Suivant les cas, ce rapport peut varier de 8 à 15.

La topographie naturelle du salin impose une certaine disposition des évaporateurs. Ces parties sont divisés en un grand nombre de pièces, séparées par des digues. L'eau circule de pièce en pièce sous l'effet de la gravité ; l'épaisseur de la couche d'eau est constante au cours de la période de concentration et varie suivant les cas de 20 à 30 centimètres. Le sol ne subit pas d'opération de nivellement lors de la construction du salin. Il est laissé dans son état naturel.

Suivant les altitudes des différentes pièces, l'eau doit être pompée quelquefois au cours de son cheminement. Dans la plupart des cas elle est pompée à la mer en premier lieu, surtout dans les mers où il n'y a pas de marées. L'eau passe d'une pièce dans l'autre par des ouvrages de passage, en bois ou en béton, équipés de portes réglables. Celles-ci servent à contrôler le débit de l'eau et permettent de régler hauteurs d'eau et concentrations au cours de la période de fabrication.

Les cristallisoirs ont, par contre, des surfaces géométriques régulières. Le sol est soigneusement nivelé et compacté pour faciliter les opérations de récolte du sel. La saumure est amenée sur les cristallisoirs par pompage, dans un système de canaux appelée couroirs. Les eaux-mères sont évacuées des tables salantes

par un réseau de drains ou d'égouts puis, soit rejetées vers la mer, soit utilisées pour l'extraction des autres sels secondaires et spécialement du magnésium.

Dans les salins établis dans des régions où l'on enregistre de fortes pluies hivernales, les saumures provenant des évaporateurs sont stockées en fin d'été dans des réservoirs. La hauteur d'eau peut y varier de 1 à 2 mètres. Les chutes de pluies hivernales affectent ainsi peu la concentration des saumures stockées et on peut ainsi, au printemps suivant, étaler ces saumures sur les évaporateurs pour les ramener à saturation. Cette méthode permet de disposer de saumures saturées plus tôt dans la saison pour les mettre sur les cristallisoirs, augmentant ainsi la production du salin.

Dans les salins à fonctionnement continu les réservoirs sont inutiles.

Les saumures saturées provenant des réservoirs ou des évaporateurs sont placées sur les cristallisoirs au début de la saison sèche. Tout au long de celle-ci l'évaporation provoque le dépôt d'une couche de sel cristallisé. Une fois par an avant l'arrivée de la saison pluvieuse ou hivernale la couche de sel est récoltée, généralement maintenant par des engins mécaniques spécialement conçus pour ce travail. Dans les salins à marche continue la saumure saturée est placée sur les cristallisoirs au fur et à mesure de l'évaporation. Ici comme dans le cas précédent on maintient toujours une épaisseur de saumure de l'ordre de 20 centimètres sur les cristallisoirs.

Le cristallisoir est vidé de sa saumure une fois par an, pour permettre l'opération de récolte du sel.

Afin d'éviter la cristallisation avec le chlorure de sodium de sel de magnésium on contrôle régulièrement la qualité de la saumure et les eaux mères sont évacuées si elles titrent plus de 30 degrés BAUME.

CONDITIONS REQUISES POUR LA PRODUCTION DE SEL DE MER.

Pour produire du sel en grande quantité à partir de l'eau de mer par évaporation naturelle, il faut que plusieurs conditions impératives soient remplies.

- d'abord il faut que le climat soit favorable, ce que nous définirons plus loin
- ensuite il faut disposer de terrains situés à proximité de la mer, pour pouvoir les alimenter en eau de mer.

Ces terrains doivent être à une altitude voisine de celle de cette mer et ils doivent être bien nivelés (plats) et étanches, c'est à dire ne présenter ni fuites d'eau de haut en bas ni résurgences d'eau de bas en haut.

A ces deux conditions essentielles (climat et terrains) viennent s'ajouter deux autres conditions d'ordre économique.

- les terrains doivent avoir une surface telle que l'importance de l'exploitation puisse être rentable compte tenu des conditions économiques du pays sur lesquels ils se trouvent.
- ils doivent être situés de façon telle que le sel puisse être expédié facilement,
 - . soit par route ou par fer, pour le marché intérieur,
 - . soit par bateaux de gros tonnages pour l'exportation.

Nous allons examiner successivement les différentes conditions exposées plus haut pour la fabrication du sel de mer.

C L I M A T

Nous avons énoncé précédemment que pour produire du sel de mer par évaporation naturelle, le climat devait être "favorable".

L'évaporation de l'eau douce est fonction de l'état hygrométrique de l'air, de sa température et de la vitesse du vent. La combinaison de ces trois facteurs détermine l'importance de l'évaporation.

Pour évaporer de l'eau il faut qu'elle reçoive des calories qui, dans le cas des salins, sont dispensées par le soleil. Sur un site donné, l'énergie solaire reçue annuellement est pratiquement constante d'une année à l'autre, les différences de productions annuelles résultant essentiellement de la variation des chutes de pluies.

L'évaporation de l'eau douce contenue dans la saumure se fait à une vitesse plus réduite que sur l'eau douce pure.

Les chutes d'eau pluviales ont un effet négatif sur la production du sel. Finalement, celle-ci est directement proportionnelle à la différence entre les évaporations produites sur les saumures et les pluies.

Si l'on considère un cycle climatique annuel, on voit que l'on ne pourra produire du sel de mer que si cette différence est positive. Dans certains cas, toutefois, suivant la répartition de cette différence au cours de l'année, on pourra produire du sel pendant la saison sèche sous certaines conditions bien précaires, mais il ne s'agit là que de salins de faible rendement.

SITUATION ET QUALITE DES TERRAINS

Nous avons énoncé que les terrains constituant le salin doivent être en bordure de mer. C'est là une évidence pour pouvoir disposer d'eau de mer.

Les terrains situés en bordure de mer doivent être bien nivelés (plats) et étanches.

La première condition élimine pour la construction d'un salin, toute cote rocheuse d'une part, et tous terrains dénivelés.

Les salins sont situés en général sur des lagunes - qui furent autrefois recouvertes par la mer. On les trouve donc plutôt dans des endroits où la terre gagne progressivement sur la mer, plutôt que dans le cas contraire.

Il faut également que ces terrains soient étanches pour que l'eau de mer que l'on y aura placée pour la concentrer, ne parte pas par infiltration.

Cette infiltration est fonction de la qualité granulo-métrique du sol et aussi de son altitude par rapport à la nappe phréatique. C'est une autre raison pour laquelle les terrains situés à l'altitude de la mer sont favorables, car ils sont constitués de matériaux fins (argiles, silt) provenant souvent d'alluvions fluviaux et aussi parce que la mer maintient une nappe phréatique à une altitude proche du niveau des sols.

Il existe aussi, dans certains terrains, des arrivées d'eau, ce qui est aussi défavorable que les infiltrations dans des terrains situés en-dessous du niveau de la mer ou trop proches de montagnes importantes. On peut dans ce cas essayer de limiter ces arrivées d'eau en créant des fossés entourant le salin, mais ce n'est pas toujours efficace.

AUTRES CONDITIONS

Nous avons également dit que les surfaces devaient être suffisamment importantes pour pouvoir permettre la construction d'une exploitation rentable, compte tenu des conditions économiques du pays.

C'est un fait certain que partout la dimension des exploitations s'accroît pour qu'elles soient rentables. Ceci est dû principalement à l'augmentation continue des charges de main-d'oeuvre. L'augmentation de la taille des exploitations permet notamment :

- Une réduction des frais généraux
- Une meilleure utilisation des équipements mécaniques
- De meilleures possibilités d'entretien de ces équipements
- la possibilité de disposer de personnel qualifié en plus grand nombre.
- Une meilleure organisation limitant les pertes de temps.

Suivant les coûts de main-d'oeuvre et de charges sociales, les dimensions optima des salins ne sont pas les mêmes dans chaque pays, mais plus ces coûts sont élevés, plus l'exploitation doit avoir une dimension importante.

CONCLUSIONS SUR LES CONDITIONS DE PRODUCTION

Pour exploiter ou construire un salin de mer moderne, il faut que toutes ces conditions soient réunies.

On pourra donc dresser d'abord une carte climatique faisant apparaître sur le monde les côtes où l'on peut produire du sel de mer par évaporation naturelle. Le rendement du salin (production de sel par hectare de terrain) dépendra des conditions climatiques locales. Elles ne sont pas fonction des latitudes, car, d'un continent à l'autre, le climat varie pour beaucoup d'autres raisons

Le long des côtes où l'on peut produire du sel, on ne trouve pas forcément de terrains favorables et il faut que cette condition soit remplie.

Enfin, la position du salin par rapport aux marchés peut rendre sa construction non rentable.

CALCUL DES DIFFERENTS ELEMENTS DU SALIN

Deux types de problèmes sont généralement posés avant la construction d'un nouveau salin.

1/ La surface mouillable est connue et on veut connaître la quantité de sel que l'on produira annuellement avec des conditions climatiques moyennes.

2/ La surface utilisable est très supérieure aux besoins et on veut savoir qu'elle surface utiliser pour produire une quantité de sel déterminée, par an.

Dans les deux cas il faudra :

- calculer la production de sel par hectare de cristallisoirs.
- déterminer le rapport entre la surface des évaporateurs et celle des cristallisoirs.

- calculer les volumes d'eau mise en jeu.

CALCUL DE LA PRODUCTION DE SEL PAR UNITE DE SURFACE DE

CRISTALLISOIR

Généralement on utilise pour les calculs des salins, comme unité de surface l'HECTARE (10^4 mètres carrés). Quand une saumure saturée en chlorure de sodium est placée sous l'effet de l'évaporation naturelle, chaque départ d'eau douce entraîne le dépôt de sel cristallisé. Pour un LITRE d'eau douce évaporée à partir de la saumure on obtient un dépôt de 0, 35 Kilo de sel. L'évaporation d'un litre d'eau par mètre carré représente le départ d'un millimètre d'eau de la couche de saumure et le dépôt de 0, 35 Kg de sel.

NOTION DE TAUX D'EVAPORATION

Lorsque l'on place dans un bac d'évaporomètre (mesure de l'évaporation) d'une surface d'un mètre carré de l'eau douce et dans un autre bac de la saumure saturée la quantité d'eau partie par évaporation pendant une journée est inférieure dans le deuxième bac.

Le rapport d'évaporation de la saumure saturée par rapport à l'eau douce, s'exprime par un chiffre plus petit que un, dont la valeur est égale au rapport des quantités d'eau évaporées dans les deux bacs

$$R = \frac{\text{Ev. saumure}}{\text{Ev. eau douce}}$$

Ce rapport n'est pas un chiffre constant au courant de la journée et du mois, il dépend notamment;

- . de la température de la saumure
- . de la teneur en ions Mg de la saumure
- . de l'état hygrométrique de l'air.

CALCUL DU SEL DEPOSE

Pour une évaporation , E, d'un millimètre par jour, (1 litre par mètre carré) exprimée sur eau douce, la quantité d'eau évaporée à partir d'une saumure saturée sera : E R

La quantité de sel déposé sera : E R x 0,35

Pour connaître la quantité de sel déposé sur les cristallisoirs au cours d'une saison il faut déduire la quantité d'eau douce reçue sous forme de pluie.

$$Q = E.R. \times 0,35 - P$$

Si les chiffres ci-dessus sont exprimés en millimètres, il faut les multiplier à 10^4 pour avoir la production par hectare et les diviser par 10^3 pour avoir la production par tonne.

CALCUL DE LA SURFACE DES EVAPORATEURS

On connaît maintenant la quantité de sel déposé par hectare de cristalliseur au cours d'une saison sèche ou d'une année.

Pour utiliser au mieux la surface disponible il faut connaître le rapport nécessaire des surfaces entre les évaporateurs et les cristalliseurs.

Ce rapport dépend essentiellement de 3 facteurs :

- . la concentration de l'eau de mer à l'entrée du salin
- . La quantité d'eau à évaporer sur les évaporateurs d'une part et les cristalliseurs d'autre part
- . les pertes de saumures par infiltration dans le sol.

INFLUENCE DE LA CONCENTRATION DE L'EAU DE MER

Nous avons vu qu'un volume de 100 litres de saumure saturée à 25,5 BAUME représente un volume de 909 litres d'eau de mer à 3,6 BAUME. Pour passer d'une concentration à l'autre il faut évaporer 309 litres.

Si l'eau de mer ne titre que 3 BAUME, son volume est de 1 073 litres et il faudra évaporer 973 litres, soit 20 % de plus que dans le premier cas.

Le taux d'évaporation moyen sur les évaporateurs, contenant des eaux de 3,6 BAUME à 25,5 BAUME, est un chiffre voisin de 0,88 (LAMBERT).

CALCUL DE LA CONCENTRATION MOYENNE DES EAUX CONTENUS

SUR LES EVAPORATEURS

La concentration des saumures sortant étant constante, la concentration moyenne des eaux contenues sur les évaporateurs est fonction de la concentration des eaux à l'entrée.

Soit C_0 la concentration initiale

soit C_1 la concentration finale

La concentration moyenne C_m est donnée par la formule

$$C_m = \frac{C_0 - C_1}{\ln \frac{C_0}{C_1}}$$

Exemple

$C_0 = 909$ litres (3,6 BAUME)

$C_1 = 100$ litres (25,5 BAUME)

$L_n = \text{Log} \times 2,302$

$$C_m = \frac{909 - 100}{\ln \frac{909}{100}}$$

$C_m = 371$ litres correspondant à 8,6 BAUME contenant 70 gr/l de NaCl.

CALCUL DE L'EFFET D'INFILTRATION

On voit donc que l'on fait rentrer dans le salin des eaux à 3,6 BAUME (28,46 qt/l) et que les eaux qui s'infiltrent, titrent en moyenne 8,6 BAUME (70 gr/l). Si i , est l'infiltration journalière sur les évaporateurs, il faut pomper un volume supplémentaire de

$$V = i \times \frac{70}{28,46}$$

mais pour concentrer ce volume additionné, il faut augmenter la surface des évaporateurs pour recueillir la même quantité de saumure à la sortie.

On peut considérer que l'infiltration correspond à une évaporation négative.

Généralement on admet qu'il n'y a pas d'infiltration sur les cristallisoirs en régime normal après la perte d'eau due à l'imprégnation des terrains lors de la mise en eau.

EVAPORATION SUR LES CRISTALLISOIRS

Si on entre 100 litres de saumure à 25,5 BAUME contenant 0,893 gr/litre d'eau douce, et que l'on sort 26 litres d'eau mères à 30 degrés BAUME contenant 0,904 gr/litre d'eau douce, il faudra donc évaporer.

100 x 0,893 =	89,3	litres
- 26 x 0,904 =	23,5	litres

	65,8	litres.

RAPPORT EVAPORATEURS / CRISTALLISOIRS

Si on ne tient pas compte des infiltrations ce rapport tiendra compte des quantités d'eau à évaporer sur chaque surface en fonction des rapports d'évaporation

Si le rapport d'évaporation sur les saumures des cristallisoirs est de 0,5, compte tenu de ce qui précède le rapport sera :

$$K = \frac{\frac{909 - 100}{0,88}}{\frac{65,8}{0,5}} = 6,98$$

Si la concentration de l'eau de mer n'est que 3 degrés BAUME le rapport devient

$$K = \frac{\frac{1073 - 100}{0,88}}{\frac{65,8}{0,5}} = 8,40$$

Si on tient compte des infiltrations ce rapport va augmenter. Les infiltrations sont constantes d'un jour par rapport à un autre, alors que les évaporations varient au cours d'un nombre n de jours, l'évaporation moyenne sur les évaporateurs est :

$$e = \frac{E \times 0,88 - P}{n}$$

Pour obtenir le nouveau rapport il faudra multiplier le numérateur $\frac{909 - 100}{0,88}$

par un chiffre tenant compte de l'infiltration et de l'évaporation déterminé par la formule. $I = \frac{e + i \times \frac{78}{28,5}}{e}$

CALCUL DES VOLUMES D'EAU

Pour les EVAPORATEURS les volumes d'eau à considérer sont les suivants :

- Vo : le volume d'eau à l'entrée (mètre cube)
- Vs : le volume d'eau à la sortie (mètre cube)
- S : la surface des évaporateurs (mètre)
- e : l'évaporation journalière sur les évaporateurs (mètre)
- i : l'infiltration journalière (mètre)

Le volume Vo est donné par la formule :

$$Vo = Vs + (e + i) S$$

Ce calcul est applicable à toutes les pièces des évaporateurs prises séparément.

Pour les CRISTALLISOIRS , nous avons vu au chapitre Evaporation sur les cristallisoirs que si l'on fait pénétrer un volume de 100 litres d'eau saturée à 25,5 Baumé ; le volume évaporé est de 65,8 litres.

Mesure a prendre pour le bon usage de la fabrication du sel

La production de saumure à partir de l'eau de mer et la production du sel sur les cristallisoirs demandent un soin très spécial de la gestion des eaux.

Cette gestion se fait à l'aide de contrôles effectués quotidiennement

Les contrôles portent sur :

- . Les volumes d'eau pompées à la mer
- . La concentration en sel de ces volumes
- . Les hauteurs d'eau dans les différentes pièces des évaporateurs.
- . La concentration en sel de ces eaux
- . Les volumes d'eau pompées sur les cristallisoirs et leur concentration.
- . La concentration en magnésium des saumures stagnantes sur les cristallisoirs.
- . Les volumes d'eau extraits des cristallisoirs et leur concentration.
- . Les hauteurs de sels déposés sur les cristallisoirs, ainsi que la densité de la couche, et sa composition chimique etc..

En plus de ces contrôles, le climat est relevé chaque jour à l'aide d'une station météorologique.

La gestion consiste à déterminer en fonction du climat régnant et de la situation du salin :

- Quels sont les volumes d'eau à pomper à la mer ?
- Elle consiste à s'assurer que les évaporateurs sont couverts par une couche d'eau de hauteur satisfaisante, et qu'à chaque porte séparant deux pièces la concentration de l'eau qui passe est bien la concentration théorique déterminé par le calcul.

Sur les cristallisoirs la gestion consiste à fabriquer du sel de bonne qualité physique et chimique en contrôlant en permanence les hauteurs des couches de saumures et de sel et leur composition.

Les outils indispensables pour cette gestion sont :

- 1/ - Les DEBITMETRES des stations de Pompages (à défaut de débit mètres on calcule le débit instantané des pompes et on enregistre le nombre d'heures de pompage)
- 2/ - Les DENSIMETRES ou AREOMETRES BAUME.
- 3/ - La station de relevés climatologiques
- 4/ - Les échelles graduées placées de part et d'autre des portes des digues des évaporateurs pour donner l'altitude des plans d'eau.
- 5/ - Des DENSITOMETRES pour donner la densité de la couche de sel déposé sur les cristallisoirs.
- 6/ - Un laboratoire d'ANALYSES pour les saumures et les sels, capable d'analyser les différents ions : Cl, Na, Mg, Ca, K,...

Grâce à tous ces éléments recueillis sur place régulièrement on peut établir à période régulière le bilan du salin, c'est à dire :

- La quantité de sel contenu dans les eaux et les saumures.
- La quantité de sel déposé sur les cristallisoirs.
- La quantité de saumure saturée que l'on peut extraire des évaporateurs en fonction du temps.

- Les prévisions de production de sel pour l'année en cours en fonction des moyennes climatiques etc..

Dans les salins modernes ces éléments de contrôle sont confiés à un ORDINATEUR, qui fait un point quotidien de la situation présente et donne les prévisions pour l'avenir à l'aide des statistiques climatiques moyennes relevées les dernières années.

STATION DE RELEVES CLIMATIQUES

La station météorologique doit être établie sur le SITE du SALIN.

Généralement près du Centre d'Exploitation pour permettre une surveillance facile, mais néanmoins éloignée des bâtiments et des arbres pour éviter toute perturbation due aux vents.

Les appareils qui composent cette station doivent être :

- Un BAC d'EVAPORATION sur eau douce (surface 1 mètre carré)
- Un BAC d'EVAPORATION sur saumure à 25 BAUME
- Un PLUVIOMETRE
- un ANEMOMETRE (ENREGISTREUR)
- Un HELIOGRAPHE

Et également placé dans un abri spécial :

- Un HYGROMETRE (Enregistreur)
- Un THERMOMETRE sec
- Un THERMOMETRE humide
- Un THERMOMETRE maxi mini

Tous ces appareils sont entourés d'une clôture grillagée empêchant l'approche des animaux ou de personnel étranger à l'exploitation.

Etant donné qu'il existe des variations importantes de pluie d'un point à un autre du salin, il est préférable de placer plusieurs PLUVIOMETRES, à des endroits différents.

Les relevés doivent être faits quotidiennement :

- Le matin à 7 h pour :

- Les EVAPORATIONS Sur eau douce et saumures
- La PLUIE
- et tous les appareils enregistreurs.

Si on ne dispose pas d'appareils enregistreurs pour les vents, les températures, l'humidité - les relevés doivent être faits trois fois par jour, le matin, à midi, et le soir.

METHODE DE CONSTRUCTION DES SALINS

A/ TERRASSEMENTS ET OUVRAGES

Les trois principales surfaces constituant un salin = évaporateur, réservoirs, cristallisoirs, sont aménagées par des travaux dit de terrassements exécutés par des engins de génie civil.

Les principaux engins utilisés sont BULLDOZERS

NIVELEUSES (GRADERS)

PELLETEUSES (MECANICAL SHOVEL)

CHARGEURS (PAY LOADERS)

ROULEAUX COMPRESSEURS (COMPACTER)

CAMIONS (TRUCKS)

AUTO CHARGEURS (TURNAPULLS)

Ces engins servent à la construction des salins et par la suite à son entretien.

EVAPORATEURS

Nous avons eu l'occasion de dire que ces surfaces ne recoivent pas d'aménagement du sol naturel, à part ceux consistant à le débarasser de la végétation du type arbres ou roseaux. Avant toute construction on effectue des travaux de relevés topographiques qui permettent de dresser une carte du terrain faisant apparaître les courbes d'égal niveau. La différence d'altitude entre deux courbes ne doit pas dépasser 0,10 mètre.

C'est à l'aide de cette carte que l'on peut étudier le mouvement et le sens de circulation qui suivront les eaux depuis la prise d'eau jusqu'aux cristallisoirs.

Nous avons dit que l'épaisseur moyenne de l'eau au dessus du sol doit être de l'ordre de 0,20 à 0,30 mètre. Comme le sol n'est jamais d'une platitude absolue, on admet que l'épaisseur de l'eau sur les points les plus hauts est de l'ordre de 0,10 mètre. Cela conduit à une première conclusion. Les différentes pièces des évaporateurs ne doivent pas avoir une différence d'altitude du sol de 0,20 mètre entre les points hauts et les points bas. Le plan des courbes de niveau établi par les topographes sert à dessiner les différentes pièces des évaporateurs et le mouvement des eaux de l'une vers l'autre.

Le projeteur s'évertue d'établir un mouvement des eaux utilisant au maximum la GRAVITE. Dans le cas où cela n'est pas possible de la prise d'eau jusqu'au cristallisoirs on peut établir des mouvements en parallèle et enfin prévoir des stations de pompage au cours des mouvements pour re-élever l'eau de quelques dizaines de centimètres.

Au cours du PROJET, en même temps que l'étude topographique on doit mener une étude sur la qualité des sols et leur capacité d'étanchéité.

Nous avons vu dans un chapitre précédent l'importance de la valeur de l'infiltration sur le calcul du SALIN et sa capacité de production.

Il s'agit donc pour le projeteur d'établir une ETUDE PEDOLOGIQUE donnant une valeur estimée de l'infiltration journalière dans le sol. Si certaines parties du terrain présentent des infiltrations trop importantes, le projeteur n'hésitera pas à les éliminer du circuit des eaux.

Le mouvement des eaux doit être établi, quand la topographie le permet, en utilisant les parties ayant les plus fortes infiltrations, pour y placer les eaux ayant les plus faibles concentrations.

Les pièces sont limitées entre elles par des digues en terre. Ces digues ont une altitude telle qu'elles supportent les plans d'eau de part et d'autre et leur variation de niveau due à l'effet des vents.

Les pentes des digues sont fonction de la qualité des matériaux constituant la digue.

Pour des digues réalisées en argile les pentes recommandées sont de 1 pour 2 ou 1 pour 3.

Si elles sont faites en sable, les pentes peuvent aller jusqu'en 1 pour 4.

Enfin la largeur des digues ne contribue pas à leur tenue ni à leur résistance, mais est seulement fonction des possibilités de circulation par des piétons, des véhicules à deux roues, à quatre roues ou sur chenilles.

Les digues principales permettent d'aller d'un point à un autre pour transporter les engins d'entretien du salin.

Sur les salins de faible production les digues de séparations sont constituées par un mur de terre, maintenue latéralement par des piquets de place en place et des fascines de branchages.

Ce système n'est appliqué que dans le cas de pièces de petites surfaces, contenant un faible niveau d'eau.

Lorsque, dans les grands salins, la dimension des pièces est importante on protège les pentes des digues par des pierres. L'effet de vents violents sur les plans d'eau peut créer sur des grandes distances des élévations de niveau et des effets de vagues de plusieurs dizaines de centimètres.

Les pierres ont pour but de briser les vagues et d'empêcher l'attaque par l'eau de la terre constituant la pente de la digue.

RESERVOIRS

Nous avons expliqué que ce type de surfaces n'est prévu que dans des SALINS dit à MARCHE DISCONTINUE, c'est à dire que pendant une certaine période de l'année les pluies sont supérieures aux évaporations. Il faut donc à la fin de la saison sèche stocker les saumures provenant des évaporateurs dans des bassins de fortes profondeurs (1 à 2 mètres) pour éviter la dégradation des saumures pendant la saison pluvieuse.

Le type de construction de ces surfaces dépend de la qualité naturelle du sol.

Si le sol est étanche, c'est à dire argileux, on peut construire des digues autour de la surface et les protéger par des pierres sur les pentes intérieures.

Si le sol n'est pas étanche, c'est à dire sablonneux, il faut alors creuser les surfaces et faire de petites digues sur le plan du sol. Il va sans dire que ce type de construction est beaucoup plus onéreux que le précédent à cause de la grande quantité de terre à transporter. On peut adapter également une autre méthode qui consiste à faire cristalliser du sel pendant la saison sèche sur le sol des réservoirs. Au cours de l'hiver, ce sel est dissout par les pluies et les deux éléments constituent une saumure qui sera utilisée au printemps pour être placée sur les cristallisoirs, avant que les évaporateurs ne produisent leur propre saumure saturée.

Dans le cas de réservoirs recouverts d'une couche de sel l'épaisseur de saumure qui le recouvre pendant la saison pluvieuse est de l'ordre de UN mètre.

Les méthodes de construction des digues des réservoirs sont semblables à celles pratiquées pour les évaporateurs.

CRISTALLISOIRS

Ce sont les surfaces sur lesquelles on place les saumures qui vont déposer du sel et sur lesquelles on va le récolter.

Nous ne traiterons ci-après que le cas où la récolte du sel se fait mécaniquement et non plus manuellement comme c'était le cas autrefois.

Il faut donc que le sol de ces cristallisoirs soit étanche et ait une capacité de portance leur permettant de supporter sans dommage le passage des engins mécaniques de récolte et de transport du sel. Enfin contrairement aux évaporateurs et aux réservoirs il faut que le sol soit parfaitement nivelé et horizontal.

Le tracé des cristallisoirs demande une étude particulière, compte tenu de la disposition des lieux.

Il comprend trois réseaux distincts :

- un réseau pour les chemins et les digues séparant les différentes pièces,
- un réseau pour les canaux d'alimentation des pièces avec la saumure (FEEDERS)
- un réseau pour les canaux de vidange des eaux mères (drains).

En principe chaque pièce doit avoir un élément de chaque réseau longeant un de ses côtés.

Pour un même cas on peut imaginer beaucoup de dessins différents les uns des autres - sans qu'il soit possible vraiment de vanter telle solution par rapport à une autre tant les paramètres sont nombreux.

Le meilleur est choisi en fonction d'impondérables locaux :

- forme du terrain
- position de l'aire de stockage du sel
- position de la station de pompage des saumures.
- direction des vents dominants
- dimension et formes des pièces
- altitude des différentes pièces les unes par rapport aux autres etc...

Les travaux de construction commencent toujours par des opérations de nivellement du sol pour l'amener à une platitude presque **absolue** (1 à 2 centimètres sur 100 mètres). Les différentes pièces peuvent avoir une petite différence d'altitude les unes par rapport aux autres mais elles doivent être tout à fait plates.

Lorsque le sol a été nivelé on procède aux opérations de compactage pour augmenter la capacité de résistance. Cette opération se réalise avec des rouleaux (pieds de moutons, vibrants et lisses). A la suite de cette opération certaines parties du terrain s'enfoncent et il faut procéder à un apport de matériaux et recomparer. Parfois cet ensemble d'opérations est à réaliser plusieurs fois consécutivement.

Les digues bordant les pièces, les canaux d'alimentation et de drainage peuvent être faites soit en terre naturelle avec une pente de chaque côté, soit en mur de terre, fixé latéralement par des piquets et des planches, ou par des piquets et des branchages. Le type de bordures utilisé pour cerner les différentes pièces est conditionné par le système de récolte et de transport du sel prévu. Nous y reviendrons dans le chapitre relatif au matériel de manutention.

Il faut mentionner que dans les SALINS à MARCHE CONTINUE, le climat permet de conserver toute l'année des saumures saturées sur les cristallisoirs (Elles ne sont évacuées que pour permettre l'opération de récolte). Dans ce cas on laisse sur le sol, la couche de sel cristallisée pendant la première année - et on ne récolte que la deuxième année.

Cette première couche de sel est appelée CONTRE-SEL (SALT FLOOR)
C'est évidemment une perte de temps d'une année pour l'obtention de la première récolte, mais c'est un gain énorme sur les frais d'entretien du sol des cristallisoirs à réaliser après la récolte du sel, lorsque celui-ci est constitué par le sol naturel.

OUVRAGES

On appelle ouvrages, les installations ou construction qui permettent de faire passer l'eau d'une pièce dans une autre à travers une digue ou un chemin ou qui permettent également de faire croiser deux mouvements d'eau.

Dans les évaporateurs nous avons dit que les différentes pièces sont séparées par des digues en terre. Pour faire passer l'eau d'une pièce à une autre il faut donc construire un ouvrage de passage.

Cet ouvrage aura deux fonctions :

- il permettra la circulation des voitures, camions ou engins sur la digue.
- il permettra le passage de l'eau d'un côté à l'autre de la digue.

La longueur des ouvrages varie en fonction de la largeur du chemin sous lesquels ils passent.

Leur section est calculée pour permettre le passage d'une quantité d'eau suffisante pour alimenter la partie du salin se trouvant en aval.

En principe le calcul tient compte de l'évaporation à compenser pendant les périodes où elles sont les plus fortes. Mais dans les SALINS à MARCHE DISCONTINUE la section ainsi définie est trop faible pour tenir compte des périodes de mise en eau et également des périodes où l'eau recule vers la prise d'eau après les fortes chutes hivernales. La section ainsi calculée ne doit pas imposer une perte en charge trop importante (2 à 3 centimètres) car les niveaux des plans d'eau en aval seraient rapidement trop bas - après leur passage dans plusieurs ouvrages.

On comprend donc que les sections des ouvrages tiennent compte des quantités d'eau mise en jeu, c'est à dire des dimensions du salin et conditions climatiques qui y régissent.

Tous ces ouvrages sont équipés de portes qui permettent le réglage du DEBIT de l'eau en fonction des conditions climatiques régnantes sur le site.

Les matériaux de construction constituant ces ouvrages peuvent être BOIS, BETON ARME, CIMENT AMIANTE. etc...

Leur choix dépend du prix de ces matériaux dans le pays où ils sont construits.

Dans les pays désertiques où le bois est rare, le béton armé ou le ciment amiante sont généralement moins chers.

Dans les cristalliseurs, les ouvrages installés sont de plus faibles dimensions que dans les évaporateurs.

Ils sont de deux types :

- ouvrages d'alimentation faisant passer la saumure du canal d'alimentation vers le cristalliseur.

- ouvrages de vidange faisant passer les eaux mères du cristalliseur vers le canal de drainage.

- Tous ces ouvrages sont équipés de portes qui permettent le réglage du débit de l'eau en fonction des conditions climatiques régnantes.

Les ouvrages de vidange sont également munis de surverses qui en cas de fortes pluies, permettent l'évacuation de l'eau zénithale plus légère que la saumure et restant en surface.

Cette opération permet d'enlever une partie de l'eau douce reçue sur le cristalliseur, et le démarrage plus rapide de la cristallisation du sel après la pluie.

Dans les évaporateurs et également dans les cristalliseurs il arrive que l'on soit obligé de faire croiser deux circuits d'eau. Cette opération se fait à l'aide d'ouvrages appelés, "SIPHONS " .

Le cas le plus fréquent d'utilisation de ces siphons se trouve dans la zone des cristalliseurs pour faire croiser un canal d'alimentation (SUPERIEUR) et un canal de drainage (INFERIEUR).

Ces ouvrages plus compliqués que les autres sont généralement construits en béton armé.

Les ouvrages en bois installés dans les eaux de faible concentration sont traités avec des produits spéciaux (bitumeux) pour éviter l'action dévastatrice des tarets qui s'attaquent directement au matériau

PRISES D'EAU A LA MER

C'est l'ouvrage principal du SALIN puisqu'il permet d'y faire entrer les quantités d'eau de mer nécessaires pour :

- compenser l'évaporation sur les surfaces
- compenser les pertes par infiltrations
- produire du sel sur les cristallisoirs
- assurer la sortie d'une certaine quantité d'eau mères.

Il existe deux types principaux d'ouvrages :

- . Alimentation du salin par GRAVITE
- . Alimentation du salin par POMPAGE.

Le premier cas est plutôt rare, car il nécessite que les terrains des évaporateurs soient plus bas que le niveau des plus hautes mers. Cela se produit le long des cotes bénéficiant de marées bi-quotidiennes.

Dans le cas le plus courant l'eau de mer pénètre sur le SALIN par POMPAGE.

Suivant la nature de la cote, l'emplacement des pompes peut être situé différemment.

Les cotes peuvent être constituées de terrains argileux, sablonneux ou graveleux.

Dans le cas de terrain sablonneux la cote n'est pas stable et la position du littoral peut bouger lentement sous l'effet des vents, des marées, ou des courants marins.

La station de pompage peut être située en mer sur un ouvrage en pilotis (bois ou béton) et l'eau pompée par les pompes verticales est amenée à la cote par une tuyauterie, elle même soutenue par des pieux.

C'est un ouvrage qui s'exécute le long de rivages instables, mais il est assez fragile, et risque de souffrir des coups de tempêtes.

La station de pompage peut être située sur le littoral - si celui-ci est stable - mais le plus souvent la station est placée légèrement à l'intérieur des terres.

Elle est reliée à la mer par un canal d'aspiration dont les berges sont stabilisées par des pierres.

Dans le cas de cote sablonneuse les bords du canal sont prolongés jusqu'en mer et constitués par deux épis formés par des rochers.

L'emplacement d'une prise d'eau à la mer justifie dans CHAQUE CAS une étude particulière, tenant compte des conditions locales - pour bien choisir son emplacement.

Le calcul des pompes se fait en fonction des surfaces, des conditions climatiques et des infiltrations.

Souvent il faut prévoir que la prise d'eau à la mer soit aménagée de façon à pouvoir rejeter vers la mer les quantités d'eau zénithales excédentaires tombées pendant l'hiver.

STATIONS DE POMPAGE

Outre la station de pompage de la prise d'eau à la mer, il est nécessaire d'équiper le salin d'autres stations pour pouvoir réaliser le mouvement des eaux.

Les principales sont :

- stations de pompage dans les évaporateurs permettant de relever les plans d'eaux pour permettre le passage d'une pièce dans l'autre.

- stations de pompage pour alimenter les cristallisoirs et les réservoirs.

- stations de pompage pour permettre la décharge des eaux mères des cristallisoirs et les envoyer, soit vers la mer si on ne les utilise plus - soit vers des surfaces de concentration - si on veut en extraire d'autres sels que le chlorure de sodium.

Les éléments principaux qui constituent une station de pompage sont :

1/ un ouvrage en bois ou en béton armé permettant de supporter les pompes et permettant de séparer les eaux à pomper des eaux pompées.

Cet ouvrage est généralement équipé de portes en bois, et de grilles du côté du canal d'aspiration pour éviter que des corps étrangers ne pénètrent dans les pompes.

2/ Les pompes proprement dites - qui peuvent être des pompes à hélice à axe horizontal ou à axe vertical.

Les matériaux qui les constituent sont : la fonte, le cuivre, l'acier inoxydable.

3/ Les moteurs entraînant ces pompes.

Ils peuvent être thermiques, fonctionnant au fuel ou à l'essence, ou électriques.

Dans ce dernier cas, une ligne électrique est aménagée entre le lieu de production de l'énergie et la station de pompage. Généralement cette ligne est à haute tension et est amenée à basse tension à l'aide d'un transformateur situé près de la station de pompage.

L'entraînement des pompes par les moteurs se fait soit par l'intermédiaire d'un réducteur mécanique soit par un jeu de poulies et de courroies

4/ Les dispositifs de protection des installations électriques ou de stockage et de distribution de fuel dans le cas de moteurs thermiques.

5/ Enfin dans certains cas, la station de pompage est recouverte d'un bâtiment ou d'un toit pour protéger les installations des intempéries.

Etant donné les progrès réalisés dans le domaine de l'étanchéité des appareils électriques, ces bâtiments deviennent de plus en plus rares.

On ne peut pas terminer ce chapitre sur les stations de pompage sans mentionner que tout le plus grand soin est apporté à leur engineering et à leur dessin, notamment en ce qui concerne :

- l'emplacement
 - les calculs des débits d'eau
 - les calculs des puissances installées
 - la détermination des niveaux d'eau d'aspiration et de refoulement
 - le choix des matériaux.
- etc...

ANNEXES

Nous avons appelé ANNEXES, toutes installation ou équipements qui ne contribuent pas directement à la production du sel, mais dont la construction est néanmoins indispensable

TRAVAUX PUBLICS

Aire de stockage du sel
Route d'accès au salin
Voie ferrée entre la voie d'intérêt public et le lieu de chargement sur le salin
Aire et terre pleins pour recevoir les bâtiments.

INSTALLATIONS

Lignes électriques haute et basse tension
Poste de transformation
Centrale de production d'énergie électrique (le cas échéant)
Réseau d'alimentation en eau potable.

BATIMENTS

- Ateliers d'entretien mécanique et électrique
- Hangar pour garage des véhicules
- laboratoire
- Bureaux de direction, administratifs et techniques.
- cantine
- vestiaires et lavabos
- Infirmerie
- Logements sociaux (le cas échéant)
- Ateliers pour traitement et conditionnement du sel éventuellement.

On appelle **MANUTENTION** toute opération consistant à lever, transporter, laver, stocker, reprendre et charger le sel depuis les cristallisoirs jusqu'aux camions, wagons, bateaux ou usine de traitement et de conditionnement.

Ces opérations sont classées en 5 grands chapitres différents

- RECOLTE et TRANSPORT
(entre les cristallisoirs et l'atelier de lavage)
- LAVAGE
- STOCKAGE
- REPRISE AU STOCK
- CHARGEMENTS

Autrefois toutes ces opérations d'exécutaient manuellement - c'est encore le cas dans certains pays en voie de développement. Dans ce qui va suivre nous ne traiterons que d'opérations mécanisées.

RECOLTE

C'est l'opération qui consiste à ramasser le sel en couche sur le sol du cristalliseur et à l'élever et le charger dans des camions, bennes, wagons, en toiles transporteuses évoluant également sur le sol du cristalliseur.

Les appareils qui exécutent cette opération s'appellent RECOLTEURS MECANQUES (HARVESTERS).

Il existe dans le monde un très grand nombre de TYPES de RECOLTEURS MECANQUES différents.

A/ On peut néanmoins les classer en deux grandes familles :

- ceux qui ramassent la couche de sel déposée sur le sol des cristalliseurs, composés de sable ou d'argile.
- ceux qui ramassent la couche de sel déposée sur une autre couche de sel abandonnée la première année pour servir de CONTRESEL

Ce deuxième type de sol - ne peut être fait que dans des pays où la pluie hivernale est très faible.

Il existe donc une première constatation.

Les récolteurs de la première famille ramassent des couches de sel dont l'épaisseur varie de 4 à 10 centimètres. Les récolteurs de la deuxième famille évoluant dans des climats beaucoup plus favorables, ramassent des couches de sel dont l'épaisseur varie de 10 à 25 centimètres.

Les récolteurs de la première famille évoluent généralement sur le sol et poussent leur lame de récolte. Ceux de la deuxième famille évoluent sur le sel et tirent leur lame de récolte.

B/ Les capacités horaires des récolteurs sont fonction de l'importance du salin et également du temps que l'on a fixé préalablement pour réaliser l'opération de récolte. Moins le climat du site est favorable, plus vite doit être faite la récolte à la fin de la saison sèche et avant les premières pluies importantes.

La deuxième constatation est : à importance de la production annuelle de sel égale, les récolteurs de la première famille doivent avoir une capacité horaire supérieure à ceux de la seconde.

On voit donc qu'un récolteur est défini par :

- sa possibilité de ramasser une couche de sel d'une certaine valeur
- sa capacité de débit horaire

Il existe des récolteurs de capacité horaire variant de 50 à 2 500 tonnes/heure.

C/ La troisième caractéristique d'un récolteur est fournie par sa faculté de charger des camions, des bennes, des wagons ou des tapis transporteur.

Suivant le type de transporteur adopté la forme et les dimensions du récolteur en dépendent.

Les systèmes adoptés pour élever le sel depuis la LAME jusqu'au tapis roulant de chargement sont généralement

- des transporteurs à palettes mobiles
- des chaînes à godets
- des tapis roulants inclinés.

Les LAMES des RECOLTEURS qui séparent la couche de sel du sol ou d'une autre couche de sel ont fait l'objet d'études théoriques et empiriques très poussées. Leur forme, leur dimension, leur angle d'attaque, sont fonction de la granulométrie du sel, de la résistance de la couche, et également de la qualité du sol. C'est un problème qui a été très étudié et qui a reçu maintenant des solutions satisfaisantes pour les différents cas existants.

TRANSPORT DU SEL DU RECOLTEUR A L'ATELIER DE LAVAGE

Le choix du système est déterminé par la QUALITE DES SOLS DES CRISTALLISOIRS.

Si les sols sont PORTANTS (SABLE ou CONTRE SELS) les camions ou les bennes tirées par des tracteurs sur pneus peuvent pénétrer sur le cristalliseur et être remplis directement par le récolteur.

Si les sols ne sont pas PORTANTS (ARGILE) il faudra amener le sel depuis le récolteur mobile, jusqu'au chemin bordant le cristalliseur par un autre système.

Il en existe deux :

Le premier est constitué par un ensemble de tapis transporteurs mobiles, montés sur pneus ou sur chenilles.

Le second par des wagons évoluant sur des rails, tirés par un locotracteur.

L'ensemble se déplace sur la couche de sel.

La capacité globale du système est déterminée par la quantité de sel à transporter dans le temps imposé par les conditions climatiques.

Sur les sols dit PORTANTS, les appareils de transports (CAMIONS ou BENNES) sont néanmoins équipés de pneus basses pressions (type AVIATION) pour éviter de détériorer le sol par leur passage.

Dans un salin de grande production, situé dans un climat imposant une MARCHE DISCONTINUE, l'opération de récolte doit être réalisée au cours d'une période la plus courte possible. Etant donné que la quantité de sel à transporter est très importante, ceci impose un PARC de camions ou de bennes considérable. Au cours du reste de l'année, (10 ou 11 mois) ce matériel ne peut pas être utilisé pour d'autres usages. On peut alors constituer sur les chemins bordant les cristalliseurs, des stocks de sel provisoires, qui seront repris pour être transportés à l'atelier de lavage, postérieurement à l'opération de récolte et pendant un temps plus long.

Comme pour le problème de récolte du sel nous dirons que chaque cas de salin est un cas particulier et qu'il doit être étudié comme tel.

LAVAGE DU SEL

On appelle LAVAGE du SEL l'opération qui consiste à enlever du sel récolté par le récolteur.

1/ Des impuretés physiques (SABLE - ARGILE - SULFATE DE CHAUX)

2/ Des impuretés chimiques (SELS de CHAUX et de MAGNESIUM).

Cette opération se fait à l'aide de saumures saturées dont les caractéristiques physiques et chimiques ont été contrôlées. On utilise des saumures saturées pour ne pas dissoudre le chlorure de sodium. Toutefois, en fin de l'opération de lavage on utilise, pour parfaire la purification chimique, de l'eau de mer ou de l'eau douce, mais en petites quantités pour éviter la dissolution du sel.

La saumure ayant servi au lavage est en général recyclée après avoir subi une opération de décantation par gravité pour éliminer les impuretés physiques (SABLE et ARGILE). Sa composition chimique est contrôlée en permanence et une purge des eaux mères et un apport d'eau douce permet de conserver à la saumure de lavage sa capacité de dissolution des sels de magnésium.

Les procédés mécaniques utilisés pour brasser le sel dans la saumure de lavage sont très variés.

Ils peuvent se diviser en deux grands types :

- Brassage par vis hélicoïdales
- Brassage à l'intérieur d'une pompe centrifuge et d'une tuyauterie.
- Les procédés utilisés - ensuite pour séparer le sel de la saumure de lavage, et l'égoutter sont également très variés.
Ils peuvent se diviser en 3 grands principes
- transport du sel par un transporteur à palettes sur des grilles comportant des trous.
- transport du sel par gravité sur grilles courbes inclinées comportant des trous.
- séparation du sel et de la saumure par hydrocyclone.

Après cette opération de séparation on peut ou non parfaire l'égouttage en faisant passer le sel dans uneessoreuse centrifuge. Cette dernière opération assure au sel une grande pureté chimique. Il faut en effet prendre conscience que les sels de magnésium (sulfate de magnésium et chlorure de magnésium) ne sont, en général, pas cristallisés dans les cristaux de chlorure de sodium, mais se trouvent en solution dans la saumure mère qui accompagne le sel. Il faut donc pour obtenir du sel pur le débarasser au maximum de la saumure de lavage qui l'accompagne. L'opération d'essorage contribue activement à cette purification. Si le sel a été cristallisé sur les cristallisoirs d'une façon contrôlée et si l'opération de lavage est réalisée avec de bons matériels, on peut obtenir un sel dont la pureté est de 99,5 à 99,7 % de ClNa (sur BASE SECHE).

La capacité horaire des installations de lavage dépend du tonnage à laver et du temps que l'on se donne pour réaliser cette opération. La pureté du sel, mis sur le marché, est très appréciée non pas pour la consommation humaine - mais par les Industries chimiques (ELECTROLYSES) - qui évitent ainsi des frais très importants de purification à l'entrée de l'usine.

La pureté du sel est un point très important à développer dans le futur à cause de la concurrence internationale. Les industries chimiques modernes s'accommodent mal de sel de mauvaise qualité et chaque pays possédant ces industries s'évertuera de produire ou d'acheter du sel convenable.

Le lavage constitue donc un élément indispensable d'un salin moderne. Il faut toutefois bien préciser, qu'avant l'opération de lavage il faut s'évertuer de fabriquer sur les cristallisoirs du sel de bonne qualité, physiques et chimiques en contrôlant régulièrement la composition des saumures saturées.

En effet l'installation de lavage enlève du sel une certaine proportion d'impuretés. Plus le sel est pur à l'entrée plus on a la possibilité d'atteindre de bons résultats à la sortie (99,7 %).

Avec du sel moins pur à l'entrée on peut aussi atteindre de bons résultats, mais au prix de pertes importantes de sel dans l'installation, dues à la dissolution.

STOCKAGE DU SEL

- Une fois le sel lavé, il doit être stocké.

Ce stockage a trois avantages :

- 1/ il permet aux eaux mères de s'égoutter et aux pluies de venir parfaire la purification du sel en dissolvant en priorité les sels de magnésium.

2/ Il permet en créant un VOLANT DE SEL, de stocker le sel excédentaire produit les bonnes années pour compenser le sel déficitaire des mauvaises.

3/ Il permet de compenser les accoups des ventes de sel, en permettant de placer sur le marché le sel demandé.

Sous les climats où la marche du salin est discontinue il est recommandé à la fin de la période de récolte, d'avoir en stock une quantité de sel correspondant à deux années de ventes moyennes.

Sous les climats où la marche du salin est continue le stock peut être inférieur et calculé surtout en fonction des accoups du marché.

En France le stock est appelé CAMELLE et l'engin de stockage ENCAMELLEUR ou STOCKEUR.

Les formes données au stock peuvent être très différentes les unes des autres.

Le stock peut être :

- circulaire
- rectiligne simple ou double

Plus la hauteur de la CAMELLE (T S) est importante et plus les transporteurs à courroies entre l'atelier de lavage et l'encameilleur sont courts.

Plus la hauteur de la camelle est importante et plus la dissolution du sel par la pluie au cours de l'hiver est faible.

Pour une quantité de sel à stocker déterminée, l'engineering de l'ensemble de l'installation de stockage doit tenir compte :

- de l'importance de la place disponible
- des prix de l'encameilleur
- du prix des transporteurs à courroies
- de la quantité de pluie hivernale
- du prix de l'appareil de déstockage en fonction de sa hauteur.
- de la capacité de portance des sols.

L'étude tient compte de la dimension du salin, des conditions locales, du montant des investissements des différents appareils.

DESTOCKAGE DU SEL

Les caractéristiques de l'installation de déstockage du sel sont fonction de :

- la hauteur de la camelle
- la capacité horaire de reprise nécessaire
- les engins en installations à approvisionner.

Au chapitre précédent nous avons examiné les éléments qui la détermination de la hauteur du stock.

Le prix de l'appareil de déstockage varie rapidement en fonction de sa hauteur.

La capacité horaire de reprise est fonction

- de la quantité annuelle de sel à déstocker
- du nombre d'heure de travail

Mais aussi du type d'appareil à charger.

Par exemple s'il faut charger des bateaux de haute mer, dont le coût d'immobilisation au PORT est très élevé la capacité horaire de déchargement tiendra compte de cet impératif.

Il se peut aussi que l'installation de déstockage alimente des usines d'ensachage de détraitement de sel qui fonctionnent 24 heures sur 24.

Dans ces conditions pour éviter à l'appareil de reprise du stock un fonctionnement continu un silo TAMPON est monté entre l'appareil et l'usine.

L'utilisation d'un tel silo est également nécessaire pour le chargement de camions de wagons ou de petits bateaux.

Sa présence diminue la capacité horaire de l'appareil de reprise et régularise les possibilités de chargement.

CHARGEMENT DES SELS

Pour être livré depuis le salin jusque chez l'utilisateur on utilise des moyens de transport dont les principaux sont :

- . Les camions
- . Les wagons
- . Les péniches (évoluant sur les rivières)
- . Les bateaux.

Jusqu'à présent nous n'avons vu que les chargements de sel en vrac - nous verrons plus loin les chargements de sacs ou de boîtes. Les camions ont besoin d'utiliser une route convenable et asphaltée pour aller du réseau routier national au point de chargement généralement situé près du stock de sel.

Les trains ont besoin d'utiliser une voie ferrée privée allant également du réseau national au point de livraison sur le salin.

Pour les péniches et les bateaux deux cas se présentent :

1/ La rivière : le canal ou la mer sont à proximité du stock et on utilise des tapis transporteurs entre le déstockeur et l'appareil de chargement.

2/ La rivière, le canal ou la mer, sont loin du stock et on utilise des camions pour transporter le sel du déstockeur à l'appareil de chargement.

CONCLUSIONS SUR LES MATERIELS DE MANUTENTION DU SEL

Dans les différents chapitres précédents, nous avons largement attiré l'attention du lecteur sur le fait que chaque salin présente un cas particulier en fonction

- du climat
 - de sa dimension
 - de la qualité de ses sols
 - de son emplacement
 - de son environnement
 - de la qualification de la main d'oeuvre locale.
- etc...

Chaque élément de la manutention du sel entre le cristalliseur et le point de chargement doit donc être soigneusement étudié en fonction de ces impératifs.

Il n'existe pas de solution standard et un engineering sérieux doit précéder tout investissement de machines et d'installations.

METHODE DE TRAITEMENT DU SEL

Lorsque le sel lavé est mis en stock, il est en principe livrable en l'état aux industries chimiques, après quelques semaines d'égouttage.

Si la fabrication du sel sur cristallisoirs a été bien menée et si l'installation de lavage est satisfaisante, sa pureté du sel en stock est supérieure à 99,5 % de NaCl (sur base sèche)

Comme les Industries chimiques dissolvent en principe le sel qu'elles achètent pour leur utilisation, il n'est pas besoin de broyer le sel avant son chargement.

Par contre d'autres utilisateurs demandent du sel :

- . broyé
- . séché
- . Mis en sacs
- . Mis en boites
- . Mis sous forme de blocs.

Certains utilisateurs demandent du sel broyé - mis en sacs jutes ou polyéthylène de 25 ou 50 kilos. En général le sel n'est pas séché - mais a l'humidité qu'il contient au moment de sa reprise au stock. C'est le cas des sels utilisés par les petites Industries ou l'Agriculture.

Depuis quelques années on constate un développement des sels livrés en boites pour la cuisine ou la table.

A/ Après son prélèvement au stock le sel est relavé, car il contient du sable et des poussières qui ont été amenés sur le stock par le vent.

L'installation de lavage de petit débit est constituée soit par un laveur à vis, soit par une pompe à mixture. Le sel lavé est ensuite égoutté ou essoré.

B/ Les sels en boite étant en général des sels fins (inférieur à 0,8 mm) ou des sels de faible granulométrie (inférieure à 3 mm), il est nécessaire de broyer le sel après son lavage.

Les broyeurs sont des broyeurs à cylindres parallèles ou des broyeurs à hélice centrifuge.

Toute opération de broyage est généralement suivie d'une installation de criblage pour égaliser la dimension des différents grains. Les grains les plus gros qui sont refusés par la maille du crible sont recyclés pour repasser au broyeur.

C/ Le sel criblé est ensuite séché. Les types de SECHOIRS utilisés sont très différents les uns des autres. En général on trouve

- SECHOIR à TAMBOUR
- SECHOIR PNEUMATIQUE
- SECHOIR VIBRANTS
- SECHOIR A LIT FLUIDISE.

Pour les sels fins, l'humidité est amenée en dessous de 0,05 %
Le combustible utilisé est le plus souvent le FUEL.

D/ Le sel ainsi lavé, broyé, séché doit être additionné d'un ANTIMOTTANT pour éviter l'effet de reprise en masse par la suite, sous l'effet des variations hygrométriques ambiantes.
Les antimottants les plus fréquemment utilisés sont des SILICATES ou des CARBONATES - dans la proportion de 1 % (en poids).
Ils sont introduits et mélangés au sel dans des appareils à VIS BRASSEUSES, pour assurer une parfaite homogénéité du produit final.

D/ Pour certains pays le SEL est additionné d'IODE, spécialement pour les pays éloignés de la mer pour lutter contre le GOITRE.

L'Iode est utilisé sous forme d'IODURE de SODIUM ou d'IODURE de POTASSIUM dans la proportion de 10 à 15 milligrammes par kilo de SEL.
Il est dissous dans l'eau et pulvérisé sur le sel. Cette opération se réalise dans des appareils à VIS BRASSEUSE.
Les débits d'eau iodée et de sel sont soigneusement contrôlés pour assurer la constance et l'homogénéité du mélange.

F/ Le produit final est en général stocké en silos (Béton - acier - bois) pour permettre son refroidissement après séchage.

Il est ensuite mis en boites ou en sachets.

. Les poids unitaires les plus fréquemment utilisés sont :
1 KILO et un DEMI KILO.

. Les boites sont en carton, cylindriques ou parallélépipédiques.

. Les sachets sont en papier ou en polyéthylène.

Maintenant toutes ces opérations sont exécutées par des machines complètement automatiques.

Certains sels sont placés dans des sachets ou sacs de 5, 10 ou 20 kilos, généralement en POLYETHYLENE.

Ces emballages sont destinés aux gros consommateurs (RESTAURANTS, CANTINES, COMMUNAUTES...).

G/ Pour les animaux, le sel est souvent utilisé sous forme de blocs de 5 , 10 ou 20 Kilos - cylindriques, cubiques ou tronc ou pyramidaux.

Cette opération est réalisée par des PRESSES HYDRAULIQUES assurant sur le sel séché une pression de 1 000 Kilos par centimètre carré. Parfois, avant la compression, certains produits sont ajoutés au sel à la demande des SERVICES VETERINAIRES : magnésium, calcium, oligo éléments.

Dans certains pays, le sel prélevé au stock est dissous et recristallisé par des évaporateurs sous vide.

Cette opération évite celles mentionnées plus haut de re-lavage, broyage et criblage - mais elle consomme beaucoup d'énergie (FUEL) qui coûte cher .

On peut dire que la présentation de sels en boites va se développer considérablement dans tous les pays du monde et que les types de matériels utilisés pour réaliser l'opération varient beaucoup d'une exploitation à une autre.

EAUX MERES

Nous avons l'occasion de dire que les saumures saturées séjournent sur les cristallisoirs tant que leur concentration n'a pas atteint 30 degrés BAUME (d = 1,262).

Elles sont ensuite évacuées, sous le nom "d'eaux mères".

Elles sont alors rejetées vers la mer ou bien utilisées pour en extraire les sels dits secondaires".

Suivant les conditions climatiques régnant sur le site on peut on peut continuer la concentration par les éléments naturels sur des cristallisoirs.

La composition des eaux mères à 30 degrés BAUME est :

Cl	=	186 gr/l
Ca	=	0,21 gr/l
S04	=	58,18 gr/l
Mg	=	47,48 gr/l
K	=	13,04 gr/l
Br	=	2,32 gr/l.

Suivant les climats, les conditions de températures, les écarts de températures, la longueur de la période sèche au cours de l'année, il existe plusieurs procédés utilisés à travers le monde pour extraire les sels secondaires des eaux mères.

Sous les climats tempérés on extrait

- Le sulfate de magnésie - $MgSO_4 (7 H_2O)$
- Le chlorure de magnésium - $MgCl_2 (6 H_2O)$
- L'oxyde de magnésium - $Mg O$
- La magnésie hydratée $Mg (OH) 2$
- Le Brome liquide (Br).

Le sulfate de magnésie est utilisé comme engrais, pour la diététique animale, pour le traitement des cuirs, pour les ciments magnésiens, dans l'industrie textile etc...

Le chlorure de magnésium est utilisé pour le traitement des eaux, pour les ciments à prise rapide, dans la papeterie, pour la diététique animale etc...

les sels de magnésie sont utilisés dans les engrais, pour les industries chimiques et pharmaceutiques, pour la fabrication des réfractaires, dans les industries textiles etc...

Le Brome est utilisé pour la fabrication des Bromures alcalins, pour les extincteurs, pour l'industrie photographique etc...

Sous les climats plus chauds on peut pousser la concentration sur les cristallisoirs et faire cristalliser.

La KAINITE - $KCl, MgSO_4, 3 H_2O$

La CARNALITE - $KCl, MgCl_2, 6 H_2O$

Ces sels peuvent être utilisés comme engrais et on peut aussi en tirer KCl et K_2SO_4 .

D'autres sels doubles peuvent aussi être cristallisés dans certaines conditions.

La SCHONITE - $K_2SO_4, MgSO_4, 6 H_2O$

La LEONITE - $K_2SO_4, MgSO_4, 4 H_2O$

La LANGBENITE - $K_2SO_4, 2 MgSO_4$

La GLAUBERITE - $Na_2SO_4, CaSO_4$ etc....

Il est important de souligner que l'extraction des sels secondaires, ne peut être rentable que sur des exploitations de grande capacité. Les frais de constructions et d'usines ne peuvent être amortis que dans cette condition. On estime généralement que la capacité minimum de production du salin doit être de 500.000 tonnes de sel .

EXTENSION DE CERTAINES METHODES A LA PRODUCTION DE SEL A PARTIR
DE SAUMURES DE LACS

Nous avons vu au début de cet ouvrage que l'on pouvait obtenir par évaporation naturelle du sel à partir de saumures de lac ou de saumures souterraines.

Les saumures souterraines sont en général plus chargées en calcium que les saumures marines et moins en magnésium.

De plus elles ne sont pas toujours saturées. Après leur extraction du sol, il faut donc avant de les placer sur les cristallisoirs les mettre sur des évaporateurs où elles finissent de se concentrer et où elles déposent leur sel de calcium (généralement CaSO_4).

Les qualités physiques (cristallisation) et chimiques (composition) des sels déposés sont très différentes de celles du sel de mer. Cela peut avoir une influence sur la qualité du produit final après lavage - car l'élimination du calcium, surtout si il est déjà cristallisé n'est pas une opération facilement réalisable par lavage.

Les saumures de lacs ont des compositions très différentes d'un cas à l'autre.

En général elles sont beaucoup plus chargées en magnésium, potassium que les saumures marines.

On ne peut pas réaliser l'engineering des évaporateurs et des cristallisoirs tant que l'on a pas fait une étude poussée en LABORATOIRE sur les solubilités réciproques des ions contenus dans la saumure et de leur façon de s'associer compte tenu des conditions climatiques régant que le site.

Les procédés de manutention du sel entre les cristallisoirs et le stock peuvent être exactement semblables à ceux utilisés pour le sel de mer - à l'exception de l'opération de lavage qui doit être en conformité avec la qualité du sel que l'on veut obtenir à partir du produit brut particulier à l'exploitation.

L'opération de récolte doit être également bien étudiée. Généralement, le sel de lac est cristallisé sur une couche de contre sel. L'épaisseur de la couche déposée est importante car les lacs salés sont presque toujours situés dans des pays chauds.

Il faut donc que les récolteurs soient particulièrement robustes. Dans certains cas, où le sel est trop dur, on fait des cordons de sel à l'aide de gros bulldozers et ces cordons sont enlevés par des CHARGEURS, pour être mis dans des wagons ou des camions qui évoluent sur la couche de sel.

POSSIBILITE D'EVOLUTION DU SEL DE MER

C'est un problème délicat où les prévisions peuvent être les plus fantaisistes. L'évaluation dépendra de la croissance démographique d'une part et de la croissance industrielle d'autre part.

Si l'on essaie d'estimer la consommation de l'an 2 000 les chiffres différeront énormément suivant les taux de croissance adoptés.

En prenant pour base la production de 1978 de 179 millions de tonnes, on obtient, pour 2000, les chiffres suivants :

Taux de croissance	1 % par an :	220	Mt	
"	"	2 % par an :	271	Mt
"	"	3 % par an :	323	Mt

On voit que si l'on adopte un taux de 3 % au lieu d'un taux de 1 % les chiffres varient dans la proportion de 1 à 1,46 . Toute prévision est donc périlleuse puisqu'une faible variation du taux peut créer des différences très importantes.

En réalité, il faut mener le calcul de prévisions autrement. Il faut dissocier l'augmentation de la consommation due à l'accroissement de la population et celle due à la croissance industrielle.

Sur la base de la croissance démographique actuelle, la population du globe sera en l'an 2 000 de 6,5 milliards d'habitants. Nous avons vu précédemment qu'en 1978 la consommation unitaire était de 45 kilogrammes par personne et par an. Si cette consommation restait constante en 2 000, compte tenu de l'accroissement démographique la consommation totale serait de :

$$6,5 \times 10^9 \times 0,045 = \underline{292 \text{ millions de tonnes.}}$$

Si l'on adopte non pas une stagnation de la consommation unitaire, mais une croissance de 1 % par an elle serait en l'an 2 000 de 55 kilogrammes, ce qui porterait la consommation globale à 357 millions de tonnes supplémentaires.

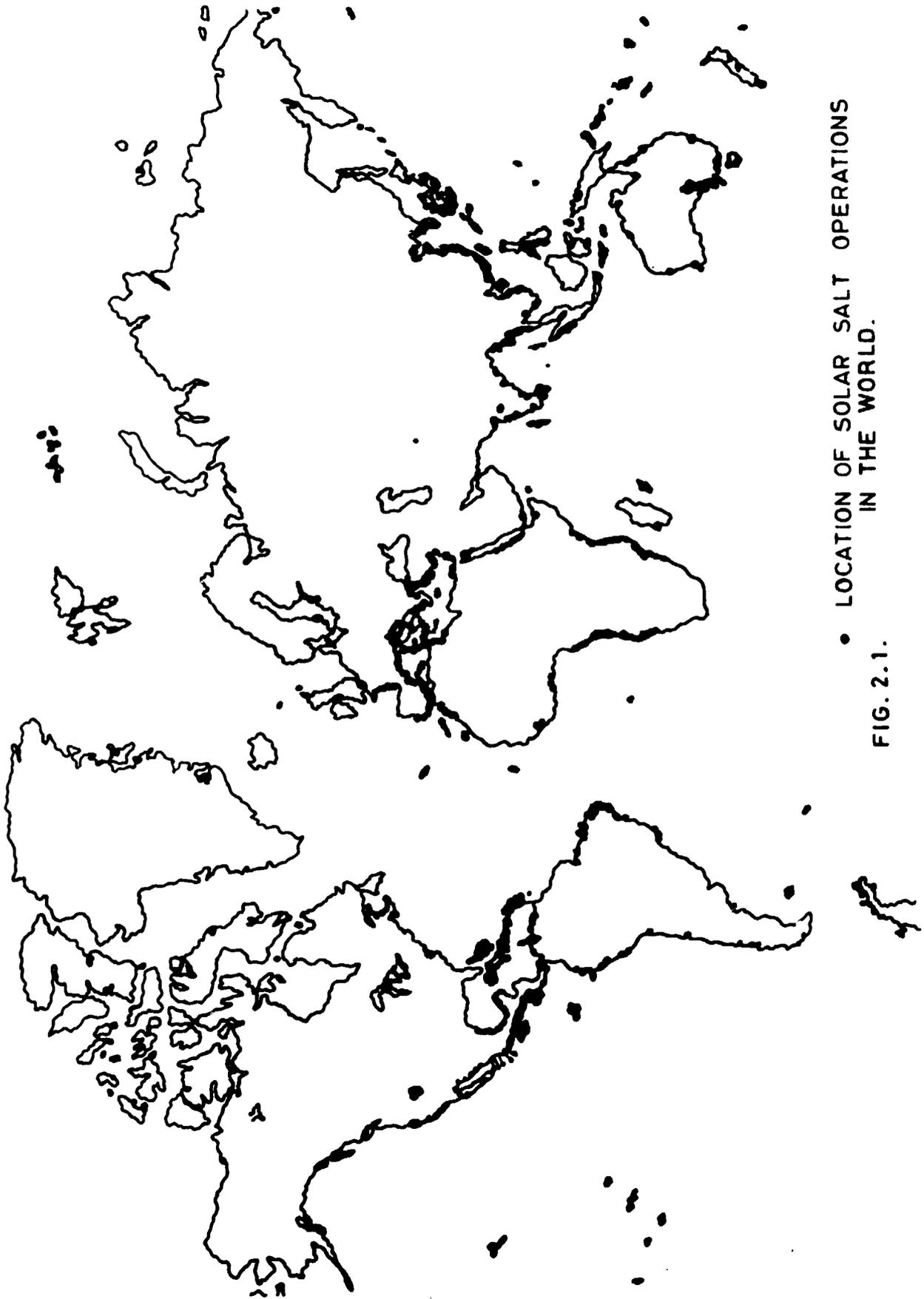
Nous pouvons donc raisonner sur un chiffre dépassant 350 millions de Supposons que la production de sel de mer reste constante par rapport à la production totale. Il faut produire en l'an 2 000 en supplément près de 60 millions de tonnes.

Années	Production totale	Sel de mer	%
1978	179.720	61 240	34 %
2000	357.000	121 140	34 %
Différence	177.280	59.900	

Comme nous l'avons dit précédemment pour établir de nouvelles exploitations il faut disposer de climat et de sites favorables. Nous pouvons dire, bien que cette liste ne soit pas complète que les principaux lieux favorables sont :

- 1°/ La côte Pacifique du MEXIQUE
- 2°/ Les côtes Nord et Ouest de L'AMERIQUE LATINE
- 3°/ La partie Sud du Bassin Méditerranéen
- 4°/ La Mer Rouge et le Golfe Arabe
- 5°/ La côte Nord-Ouest de L'INDE
- 6°/ La côte Sud-Est de La CHINE
- 7°/ La côte Ouest de L'AUSTRALIE.

Si le sel de mer doit connaître une expansion, il ne pourra se développer qu'avec des exploitations de très grandes dimensions produisant un sel de haute qualité à bon marché, ceci pour compenser l'éloignement géographique des pays de forte consommation. D'autre part, ces exploitations devront pouvoir bénéficier d'un port en eau profonde à proximité.



• LOCATION OF SOLAR SALT OPERATIONS
IN THE WORLD.

FIG. 2.1.

CONCLUSIONS

La production du sel de mer a été pratiquée depuis la plus haute antiquité.

Il y a peu d'années que les producteurs se sont penchés sur les procédés capables de produire un sel de bonne qualité physique et chimique. Ceci a été imposé par la clientèle - consommation humaine en industrie chimique - qui est devenue de plus en plus exigeante, ce qui a stimulé la compétition entre les producteurs. Les découvertes et les mises au point d'engins mécaniques ont permis en outre d'abaisser les prix de revient et d'éliminer les interventions de la main de l'homme.

Ainsi en quelques décennies la production du sel est passée de la méthode antique et artisanale à la méthode industrielle moderne.

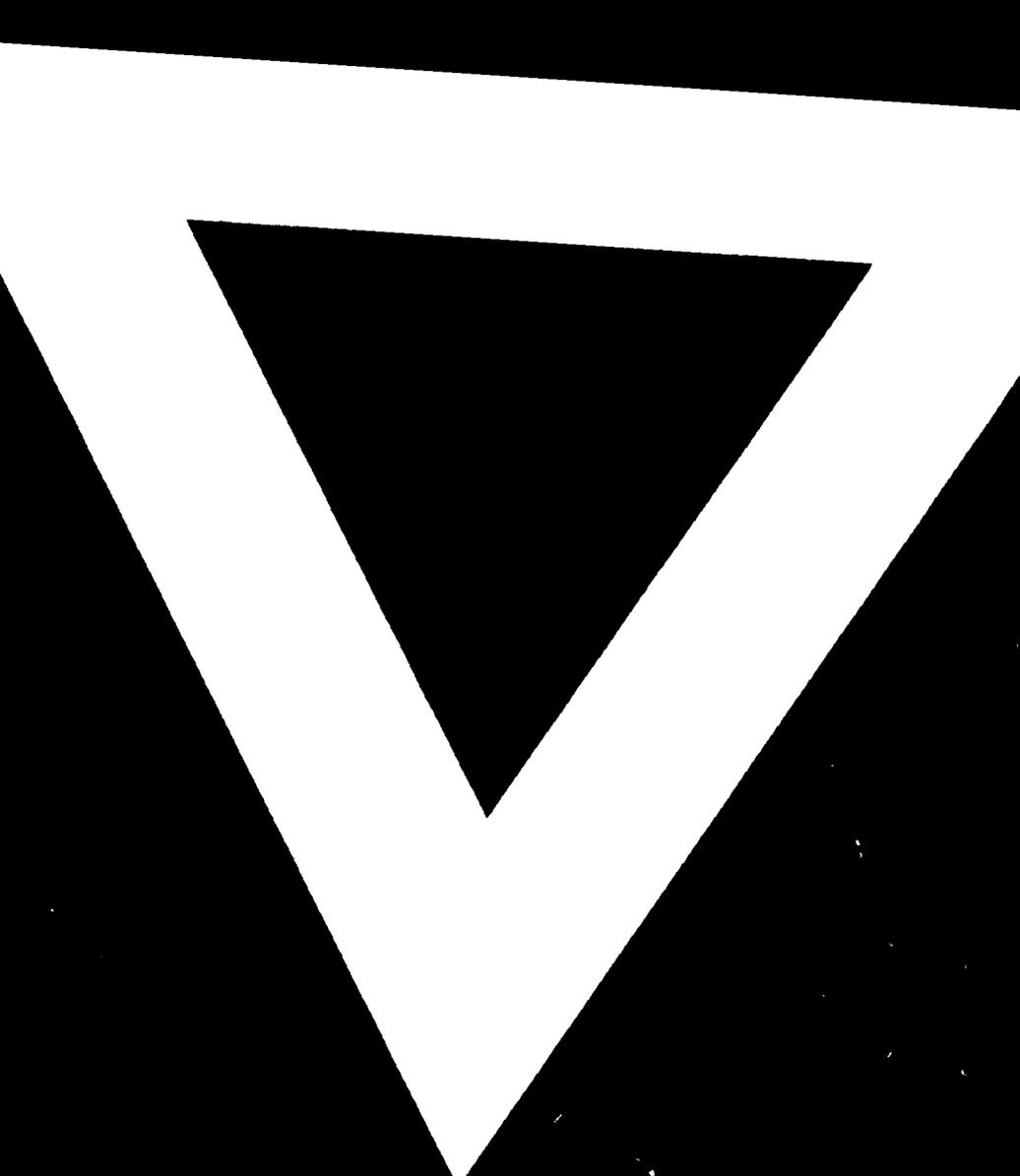
Beaucoup de choses restent encore à découvrir et beaucoup de procédés à mettre au point mais on peut dire qu'un pas très important a été franchi ces dernières années.

Toutefois le sel de mer va rester en compétition très vive avec le sel de mine et le sel cristallisé à partir de saumures souterraines par la thermo compression.

Son avenir dépendra du dynamisme de ses producteurs pour moderniser les salins existants et produire du sel sur de nouveaux sites non encore exploités.

La crise de l'énergie actuelle est un élément qui favorise le sel de mer par rapport aux autres à condition que les problèmes de manutention soient réglés avec soin.

Nous pensons avoir dans cet ouvrage fait le tour des principaux problèmes de cette belle profession séculaire - mais il faut bien garder à l'esprit que le temps amènera d'autres questions qui devront être résolues avec les moyens dont on disposera dans le futur.



.05.03

AD. 85.03