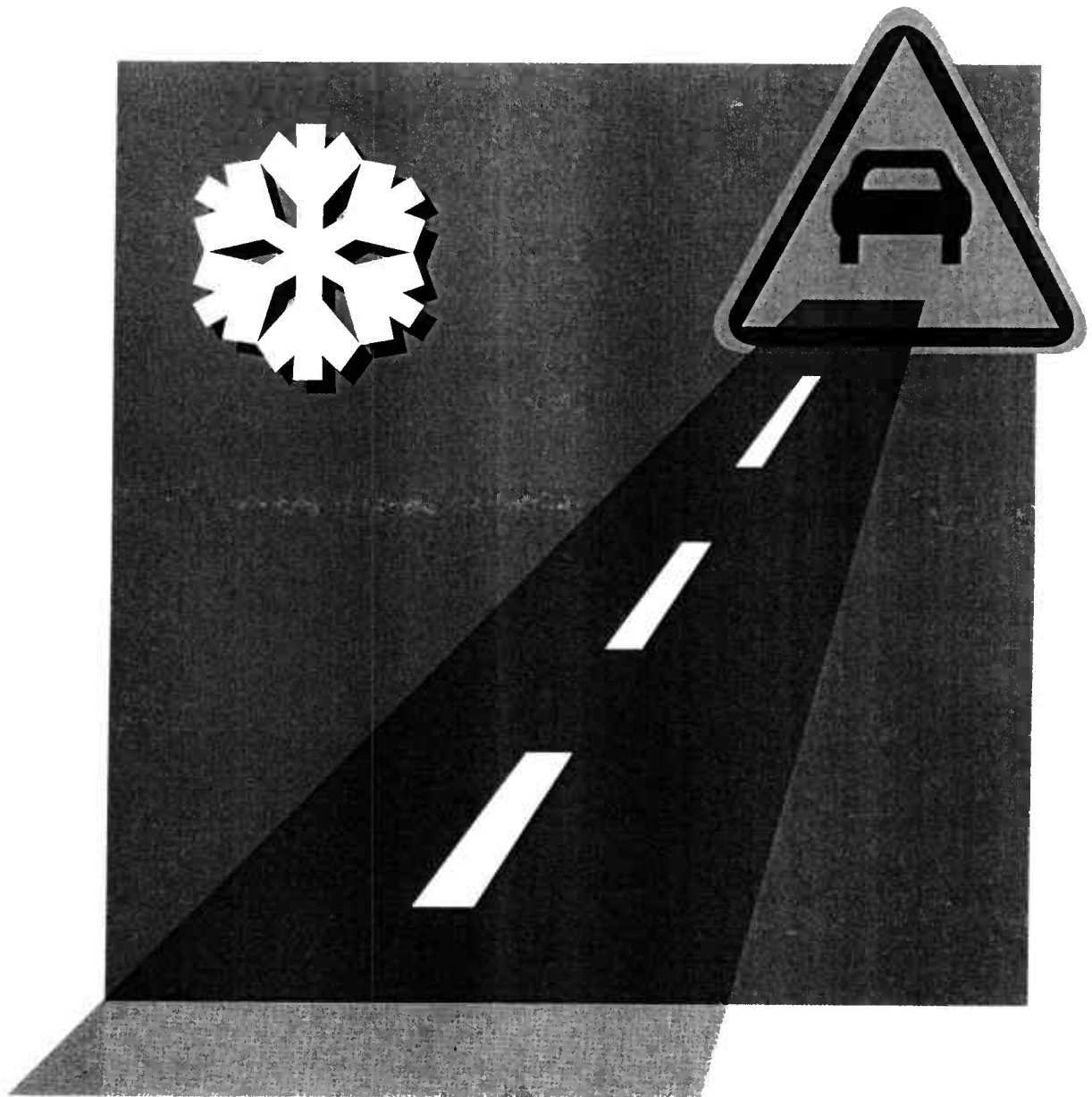


SETRA / CSTR
CETE DE L'EST
CETE NORD - PICARDIE

LA BOUILLIE DE SEL



GUIDE TECHNIQUE



Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes





LA BOUILLIE DE SEL

GUIDE TECHNIQUE

JANVIER 1991

Document réalisé par

Le Centre de la Sécurité et des Techniques Routières du SETRA,
Le CETE de l'Est,
Le CETE Nord - Picardie.

et diffusé par le

SERVICE D'ETUDES TECHNIQUES DES ROUTES ET AUTOROUTES
Centre de la Sécurité et des Techniques Routières
46, Avenue Aristide Briand - BP 100 - 92223 Bagneux Cedex - FRANCE

Ce document a été rédigé par :

Luc DURIEZ
Jean-Jacques ROUSSEL
Denis GELIN

CETE Nord - Picardie
CETE de l'Est
SETRA - CSTR



SOMMAIRE

Préambule

I - Principes de la bouillie de sel

- 1 - Le chlorure de sodium
- 2 - La bouillie de sel

II - La saumure de chlorure de sodium

- 1 - Dissolution des fondants
- 2 - Principaux procédés de dissolution des fondants
- 3 - Choix des fondants pour la fabrication de saumure

III - Fabrication de la saumure de chlorure de sodium

- 1 - Caractéristiques des installations de fabrication de saumure
- 2 - Critères de dimensionnement d'une installation de fabrication de saumure
- 3 - Construction d'une installation de fabrication de saumure
- 4 - Aspects économiques
- 5 - Eléments de prospective

IV - Epannage de la bouillie de sel

- 1 - Description générale des matériels d'épandage
- 2 - Stockage de la saumure dans la saleuse
- 3 - Extraction de la saumure
- 4 - Prix des équipements

V - Utilisation pratique de la bouillie de sel

- 1 - Choix des taux de mouillage
- 2 - La formation du personnel

Annexes

Page laissée blanche intentionnellement



PREAMBULE

L'emploi de sels sous forme de saumures dans le traitement hivernal des chaussées s'est développé depuis une quinzaine d'années.

A l'origine, on utilisait exclusivement des saumures de chlorure de calcium à 26%. La dissolution s'effectuait dans des cuves, à travers des paniers de dissolution.

Depuis 1976, la saumure de chlorure de calcium a été progressivement supplantée par la saumure de chlorure de sodium laquelle, pour une efficacité comparable jusqu'à une température de -12°C , est beaucoup plus économique.

La saumure de chlorure de sodium peut être utilisée seule, principalement en épandage précuratif sur chaussées sèches, ou en mélange au sel solide. Il s'agit alors de la «bouillie de sel».

Comparée à l'usage du sel en grains, la bouillie de sel présente un double avantage :

- efficacité accrue : attaque immédiate du verglas ou de la neige et effet prolongé,
- réduction des dosages efficaces.

Le présent document a pour objet de décrire les principes de la bouillie de sel et de donner tous les renseignements utiles à la fabrication de saumure de chlorure de sodium et à son utilisation.

Page laissée blanche intentionnellement



CHAPITRE I

Principes de la bouillie de sel

Sommaire

1 - Le chlorure de sodium

- 1 - 1 Dissolution
- 1 - 2 Congélation
- 1 - 3 Diagramme des phases
- 1 - 4 Comportement du sel sur la chaussée

2 - La bouillie de sel

Page laissée blanche intentionnellement

1 - LE CHLORURE DE SODIUM

Le sel a besoin d'eau pour agir.

Cette eau peut provenir :

- de l'humidité contenue dans l'air si l'humidité relative est supérieure à 75%,
- de l'humidité du milieu à traiter, glace ou neige,
- d'un apport artificiel : c'est le cas de la bouillie de sel comme nous le verrons plus loin.

1 - 1 Dissolution

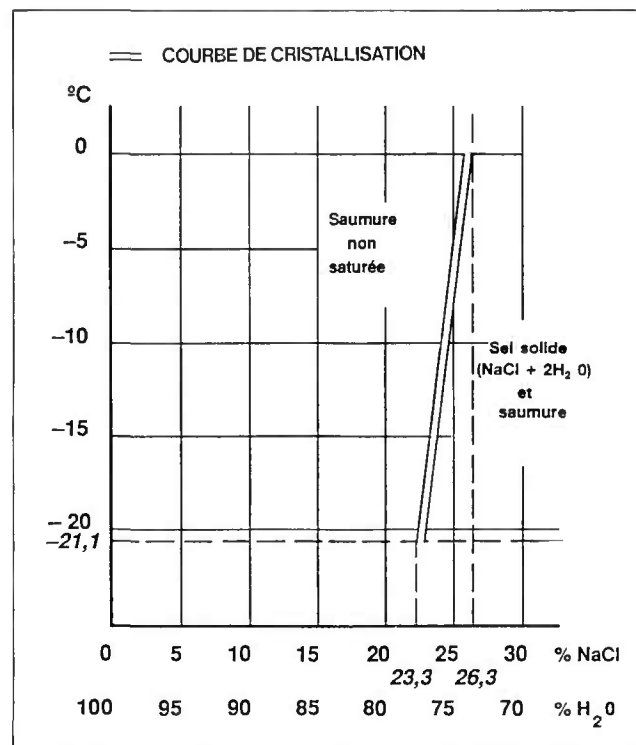
Le sel se dissout dans l'eau. La quantité dissoute s'exprime en pourcentage du poids du mélange obtenu : c'est la concentration de la saumure. Ainsi, une saumure à 5% contient, en poids, 5% de sel et 95% d'eau.

Cette concentration a une limite supérieure appelée concentration de saturation. Au-delà de cette limite, on ne peut plus dissoudre de sel dans la saumure.

La concentration de saturation dépend de la température de la saumure. Ainsi :

- à +20°C, elle est de 26,4%
- à 0°C, elle est de 26,3%
- à -21,1°C, elle n'est plus que de 23,3%

En reportant ces points sur un graphique, on obtient la courbe de cristallisation.



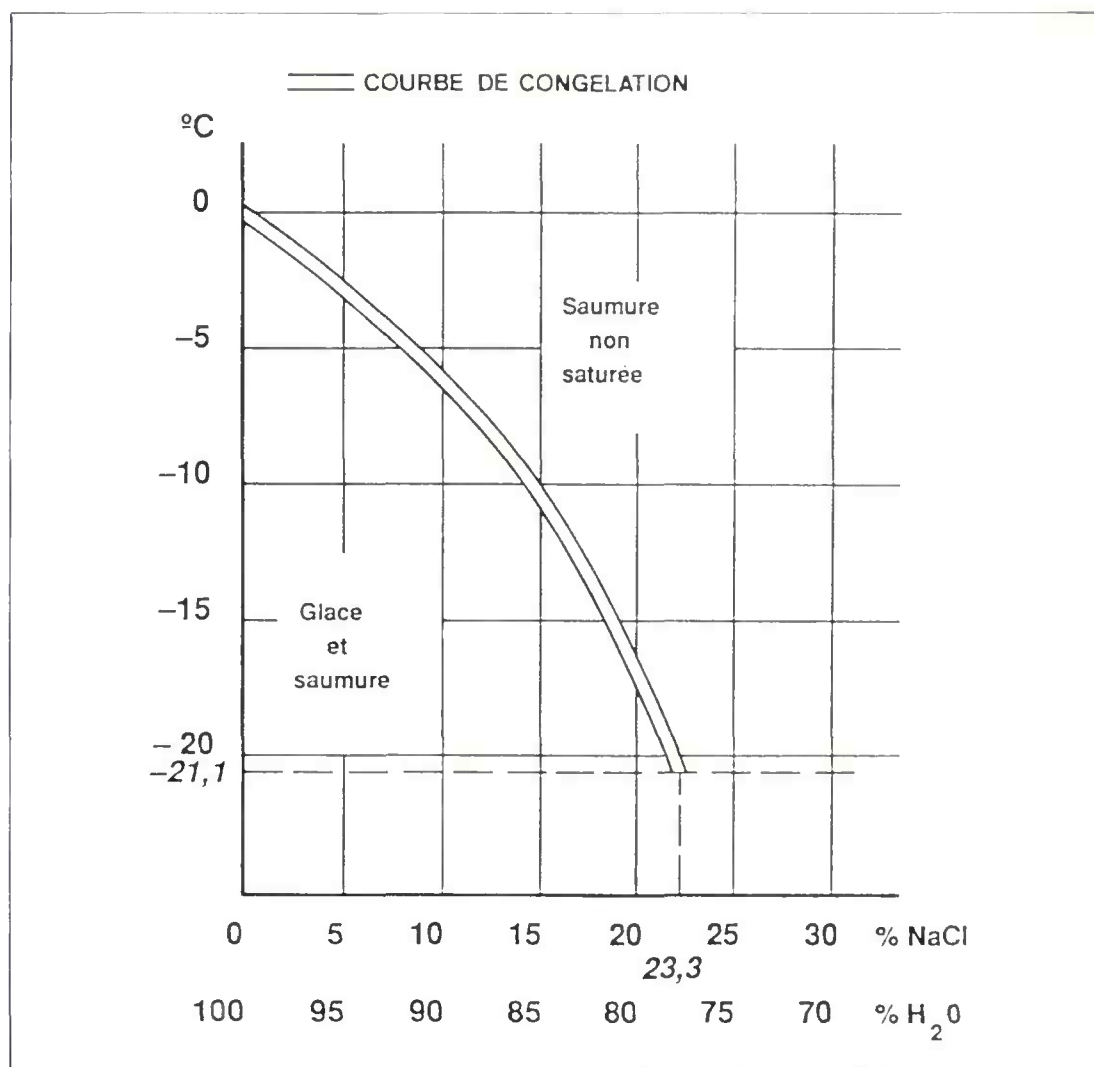
- à gauche de cette courbe, la saumure n'est pas saturée,
- sur la courbe, elle est juste saturée,
- à droite, la saumure reste saturée mais une partie du sel recristallise (d'où le nom de la courbe).

1 - 2 Congélation

Plus on dissout de sel dans l'eau, plus on abaisse la température de congélation du mélange. Cette température est de :

- 0°C pour l'eau pure,
- -10°C pour une saumure concentrée à 14%,
- -21°C pour une saumure saturée (23,3% à cette température).

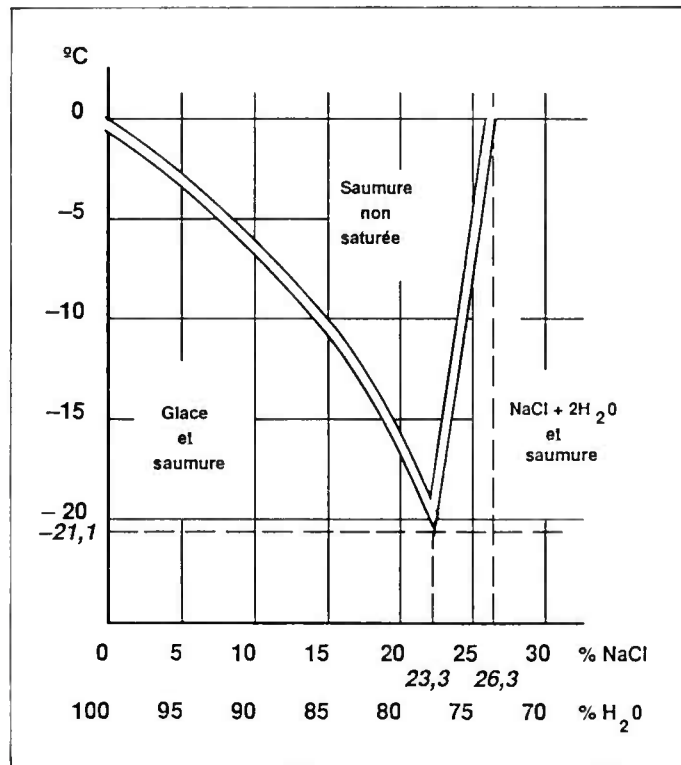
En reportant ces points sur un graphique, on obtient la courbe de congélation.



- à droite, la saumure est entièrement liquide.
- sur la courbe, il y a apparition des premiers cristaux de glace.
- à gauche, la saumure sera saturée à la température donnée et contiendra de la glace.

1 - 3 Diagramme des phases

La réunion de la courbe de cristallisation et de la courbe de congélation forme le diagramme des phases.



1 - 4 Comportement du sel sur la chaussée

Le diagramme des phases illustre le comportement du sel sur la chaussée.

Lorsque l'humidité relative de l'air est supérieure à 80%, le sel absorbe la vapeur d'eau et passe en solution. Il abaisse ainsi le seuil de congélation du milieu dit «température de protection».

Mais, la saumure ainsi formée se dilue par absorption de l'eau du milieu à traiter et de la vapeur d'eau contenue dans l'air environnant. Cette dilution entraîne une augmentation progressive de la température de protection du milieu.

Ainsi, à 0°C :

- avec 85% d'humidité relative de l'air, une saumure saturée se dilue jusqu'à 18%; la température théorique de protection n'est plus que de - 15°C,
- avec 95% d'humidité relative de l'air, elle se dilue jusqu'à 8% ; la température de protection n'est plus que de - 5°C.

Inversement, si l'humidité relative de l'air devient inférieure à 75%, la saumure s'assèche par évaporation d'eau et le sel recristallise.

La rapidité de l'action du sel est donc liée de façon étroite à la quantité d'eau disponible mais aussi à sa granularité.

ATTENTION : L'ensemble de ces résultats est indépendant de la quantité de sel répandu.

2 - LA BOUILLIE DE SEL

Pour amorcer le processus de fonte, le sel en grains capte l'eau dont il a besoin pour agir. Il s'écoule donc un certain délai après son épandage pour qu'il passe en solution et devienne actif (20 à 30 minutes dans les plages de températures faiblement négatives). Pendant ce temps :

- le verglas (ou la neige) subsiste sur la chaussée malgré l'apparence de sécurité donnée par le passage de la saieuse ;
- une partie du sel répandu est éliminé par la circulation.

Par ailleurs, en dessous de $-7 / -8^{\circ}\text{C}$, la teneur en eau libre est trop faible pour amorcer convenablement le processus de fonte. A ces températures l'effet du sel en grains est donc stoppé de fait.

Pour éviter ces inconvénients, une solution consiste à dissoudre le sel et à le répandre directement sous forme de saumure. Le sel ainsi dissous agit instantanément. Mais la saumure répandue va se diluer rapidement par l'apport d'eau provenant de la fonte de la glace ou de la neige traitée et de l'humidité de l'air. Son action est donc limitée dans le temps.

La bouillie de sel consiste à répandre simultanément du sel en grains et de la saumure conjuguant ainsi les avantages des deux procédés en supprimant les défauts de chacun :

- la saumure attaque immédiatement la couche de glace ou de neige ;
- au fur et à mesure de la dilution de la saumure, le sel en grains fond, maintenant une concentration suffisante de la saumure et prolongeant ainsi son efficacité ;
- du fait de l'apport d'eau, le mélange reste efficace jusqu'à des températures ambiantes voisines de $-10 / -12^{\circ}\text{C}$.

De plus, la présence de saumure améliore l'adhérence du sel en grains sur la surface de chaussée et limite son évacuation par le trafic. On pourra donc réduire le dosage de sel en grains et diminuer ainsi le coût du salage à efficacité égale.

Le dosage respectif de la saumure et du sel sec doit correspondre à la nature du phénomène à traiter. Ainsi :

- lorsqu'un traitement est nécessaire, on préférera utiliser le sel en grains sans saumure en cas d'abondance d'eau sur la chaussée (neige mouillée par exemple) ;
- on ajoutera 30% de saumure (voire plus) au sel sec pour assurer une intervention précurative sur une route sèche.

Entre ces deux extrémités, il suffit de limiter à deux valeurs le choix des taux de mouillage en les déterminant préalablement par des essais successifs pour prendre en compte le climat du secteur, sa géographie, la nature des intempéries généralement constatées, le niveau de service attendu...

Le Chapitre V donne quelques éléments d'appréciation à cet égard.



CHAPITRE II

La saumure de chlorure de sodium

Sommaire

1 - Dissolution des fondants

- 1 - 1 Principes
- 1 - 2 Solubilité et concentration des solutions
- 1 - 3 Vitesse de dissolution

2 - Principaux procédés de dissolution des fondants

- 2 - 1 Procédés discontinus
- 2 - 2 Procédés continus
 - 2 - 2.1 *Dissolution en courant ascendant ou à suspension de sel fin*
 - 2 - 2.2 *Fosses à dissolution en courant descendant*

3 - Choix des fondants pour la fabrication de saumure

- 3 - 1 Techniques de production
- 3 - 2 Humidité
- 3 - 3 Granularité
- 3 - 4 Teneur en particules insolubles
- 3 - 5 Stockage et transport de saumure

Page laissée blanche intentionnellement

1 - DISSOLUTION DES FONDANTS

1 - 1 Principes

Le chlorure de sodium est moyennement soluble dans l'eau (350 g par kg d'eau à 15°C).

Les solutions de chlorure de sodium, même saturées, contiennent donc une forte proportion d'eau, ce qui, rapporté au poids de sel efficace contenu, rend onéreux leur transport par route ou par fer sur de longues distances.

Pour cette raison, on préférera les préparer sur les lieux mêmes d'utilisation ou à proximité immédiate, ou directement sur les saieuses, à partir de sel solide.

1 - 2 Solubilité et concentration des solutions

La saumure est généralement utilisée sous forme de solution proche de la saturation. Elle est d'ailleurs plus facile à fabriquer qu'une saumure faiblement concentrée. De plus, la teneur en sel actif est plus importante.

Mais, comme nous l'avons vu au chapitre I, la solubilité du chlorure de sodium varie en fonction de la température.

Ainsi, une saumure saturée à 0°C (26,3 % de NaCl) libère progressivement une faible partie du sel solide sous forme de dihydrate lorsque la température baisse.

A sa limite de congélation (-21,1°C), elle ne contiendra plus que 23,3% de NaCl en solution (voir diagramme des phases : chapitre I).

On ne s'attachera donc pas à rechercher la complète saturation lors de la fabrication de saumure par température positive. une teneur en sel de 22 à 23 % est cependant nécessaire pour éviter tout risque de recristallisation.

TEMPERATURE	g NA CL dans 100 g H ² O	% (pds) NA CL dans l'eau saturée
0	35,76	26,34
10	35,78	26,35
20	35,92	26,43

Solubilité du chlorure de sodium dans l'eau

Dans certains cas, on peut être amené à rechercher une plus grande dilution de la saumure. Le tableau suivant donne les quantités d'eau à ajouter à la saumure saturée pour parvenir à la concentration souhaitée.

Saumure saturée et eau à mélanger		Saumure Saturée (m ³)	Eau à ajouter (m ³)	Saumure Saturée (en t)	Eau à ajouter (en t)
Concentration souhaitée					
NaCL % en poids de solution	NaCL g/l				
1	10	0,032	0,967	0,036	0,965
2	20	0,063	0,936	0,076	0,935
3	31	0,098	0,902	0,117	0,900
4	41	0,129	0,871	0,155	0,869
5	52	0,164	0,837	0,197	0,835
6	62	0,196	0,806	0,235	0,804
7	73	0,230	0,772	0,277	0,770
8	84	0,265	0,737	0,318	0,735
9	96	0,303	0,699	0,364	0,698
10	107	0,338	0,665	0,405	0,663
11	119	0,375	0,627	0,451	0,625
12	130	0,410	0,592	0,492	0,591
13	142	0,448	0,554	0,538	0,553
14	154	0,486	0,516	0,583	0,515
15	166	0,524	0,478	0,629	0,477
16	179	0,565	0,437	0,678	0,436
17	191	0,603	0,399	0,724	0,398
18	204	0,644	0,358	0,773	0,357
19	217	0,685	0,316	0,822	0,316
20	230	0,726	0,275	0,871	0,274
21	243	0,767	0,234	0,920	0,233
22	256	0,808	0,192	0,970	0,192
23	270	0,852	0,147	1,023	0,147
24	283	0,893	0,106	1,072	0,106
25	297	0,937	0,062	1,125	0,061
26	311	0,981	0,017	1,178	0,017

Dilution d'une saumure

*Obtention d'une saumure de concentration
déterminée par dilution de saumure saturée (à 20°C)*

Inversement, on peut vouloir reconcentrer une saumure accidentellement diluée. Le tableau suivant donne les quantités de sel à ajouter selon la concentration initiale.

Densité de la saumure à régénérer	Teneur en NaCl % en poids de solution	Teneur en NaCl en g/L	Quantité de NaCl en kg à rajouter pour arriver à une saumure à 23,3% en partant d'1 m ³ de saumure à régénérer	Volume de saumure à 23,3% en m ³ obtenu à partir d'1 m ³ de saumure à régénérer	Volume de saumure à régénérer en m ³ pour obtenir 1 m ³ de saumure à 23,3%.	Quantité de NaCl en kg pour obtenir 1 m ³ de saumure à 23,3%.
1.0053	1	10	293.11	1.102	0.907	265.93
1.0124	2	20	282.23	1.099	0.910	256.80
1.0196	3	31	270.07	1.095	0.913	246.68
1.0268	4	41	259.22	1.092	0.916	237.44
1.0340	5	52	247.06	1.087	0.920	227.18
1.0413	6	62	236.24	1.084	0.922	217.83
1.0486	7	73	224.11	1.080	0.926	207.43
1.0559	8	84	221.98	1.076	0.929	196.95
1.0633	9	96	198.58	1.071	0.934	185.38
1.0707	10	107	186.49	1.067	0.937	174.74
1.0782	11	119	173.12	1.062	0.941	162.97
1.0857	12	130	161.05	1.058	0.945	152.17
1.0932	13	142	147.68	1.053	0.949	140.20
1.1008	14	154	134.34	1.049	0.954	128.12
1.1085	15	166	121.03	1.044	0.958	115.96
1.1162	16	179	106.42	1.038	0.964	102.53
1.1240	17	191	93.14	1.033	0.968	90.14
1.1319	18	204	78.58	1.028	0.973	76.47
1.1398	19	217	64.03	1.022	0.979	62.66
1.1478	20	230	49.51	1.016	0.984	48.71
1.1559	21	243	35.01	1.011	0.989	34.64
1.1640	22	256	20.52	1.006	0.994	20.41
1.1722	23	270	4.76	0.999	1.001	4.76

Reconcentration d'une saumure

*Obtention d'une saumure saturée à 20 °C
par concentration de saumure diluée*

Notons que la densité d'une saumure croît avec sa concentration.

% NaCL en poids de solution	Densité	NaCL g/l de solution	H2 O g/l de solution	NaCL g/1000 g d'eau	TEMPERATURE DE CONGELATION
1	1.0053	10	995	10.10	
2	1.0124	20	992	20.41	- 1.2
3	1.0196	31	989	30.93	- 1.9
4	1.0268	41	986	41.67	- 2.5
5	1.0340	52	982	52.63	- 3.18
6	1.0413	62	979	63.83	- 3.5
7	1.0486	73	975	75.27	- 4.7
8	1.0559	84	971	86.96	- 5.1
9	1.0633	96	968	98.90	- 6
10	1.0707	107	964	111.11	- 6.6
11	1.0782	119	960	123.60	- 7.8
12	1.0857	130	955	136.36	- 8.3
13	1.0932	142	951	149.43	- 9.95
14	1.1008	154	947	162.79	- 10.2
15	1.1085	166	942	176.47	- 11.4
16	1.1162	179	938	190.48	- 12
17	1.1240	191	933	204.82	- 13
18	1.1319	204	928	219.51	- 14
19	1.1398	217	923	234.57	- 15.5
20	1.1478	230	918	250.00	- 16.2
21	1.1559	243	913	265.82	- 17.5
22	1.1640	256	908	282.05	- 19
23	1.1722	270	903	298.70	- 20.7
23.31	1.1780	275		303.92	- 21.12
					TEMPERATURE D'APPARITION DU DIHYDRATE
24	1.1804	283	897	315.79	- 15.8
25	1.1888	297	892	333.33	- 8
26	1.1972	311	886	351.35	- 1.5
26.43	1.2008	317	883	359.25	0,1

Densité des saumures

*Composition et densité des solutions
de chlorure de sodium à 20° C*



Un contrôle de la concentration de chlorure de sodium dans la saumure doit être effectué lors de la mise en route d'une installation de fabrication. Il doit être régulièrement répété par la suite pour s'assurer du bon fonctionnement de cette installation.

Ce contrôle s'effectue de deux manières :

- soit en lecture directe

Le pourcentage de NaCl est lu directement sur le matériel de contrôle.

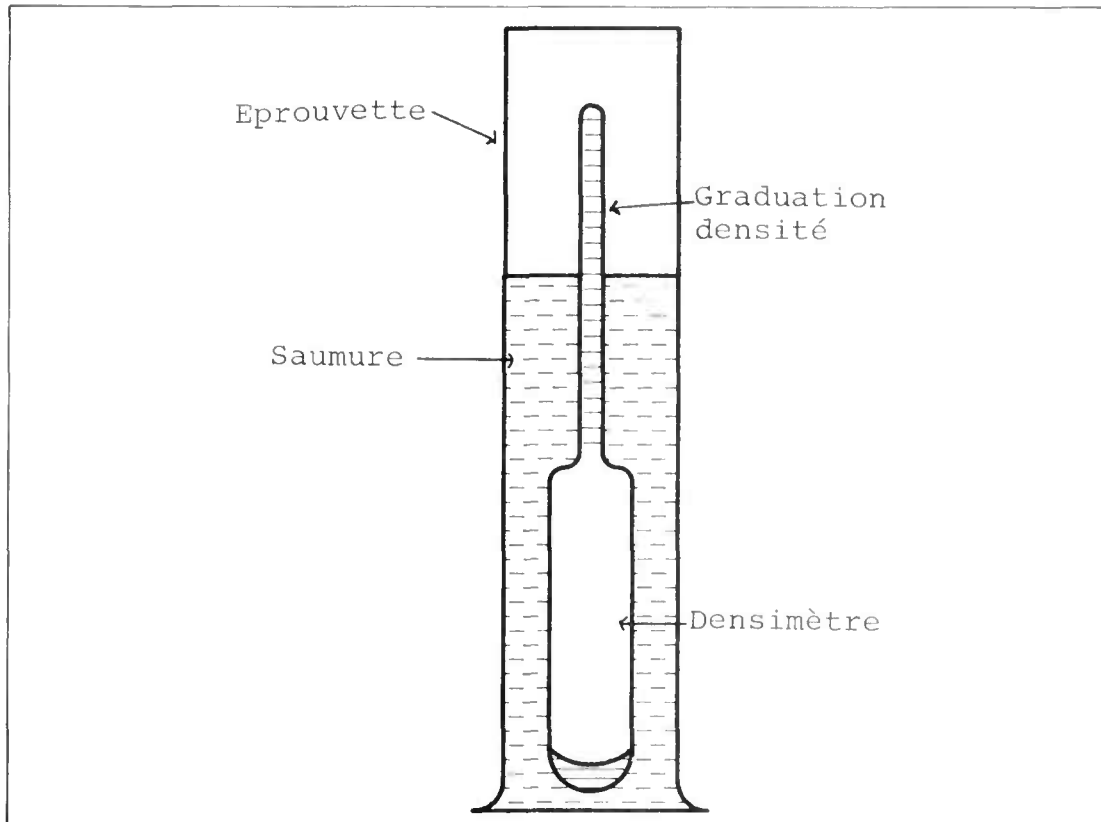
- soit en lecture indirecte

La valeur d'un paramètre lue sur l'appareil de contrôle est corrélée avec une table donnant le pourcentage de NaCl correspondant.

Il existe actuellement plusieurs procédés et matériels de contrôle de concentration de NaCl dans la saumure ; les différents procédés sont :

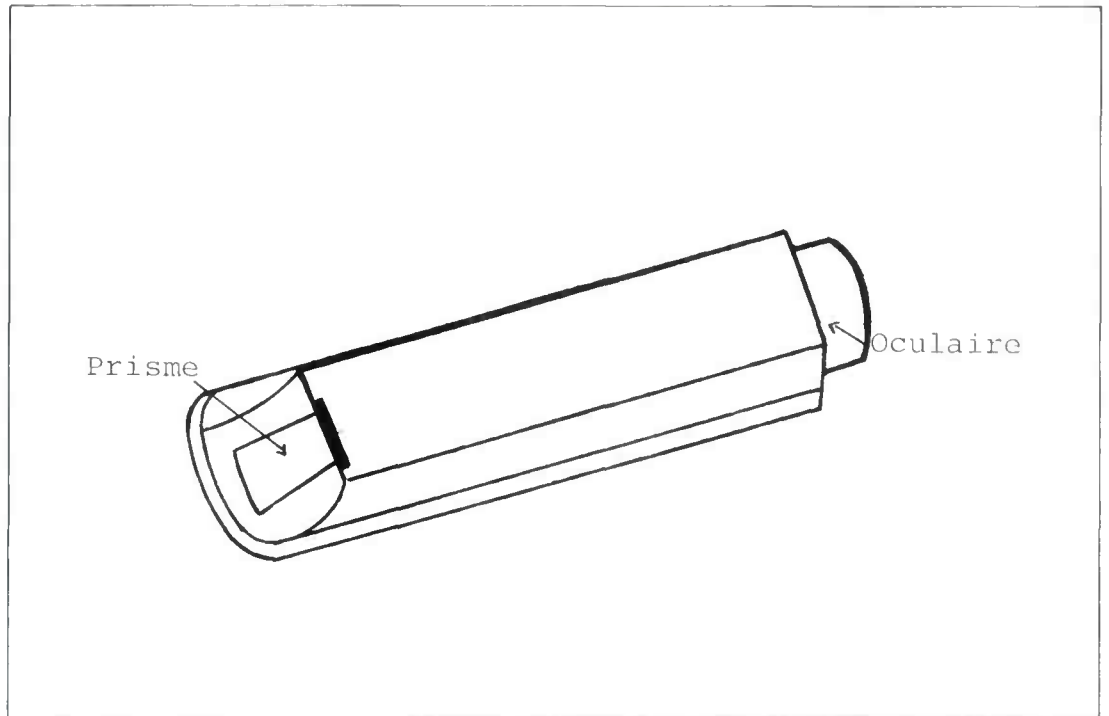
- le densimètre :

Instrument servant à mesurer directement la densité des liquides. Pour obtenir le pourcentage de la concentration de la solution il suffit d'avoir une table de correspondance de la densité et du pourcentage de NaCl en poids de solution (cf tableau page 18), ou de procéder en lecture directe sur les parois de l'éprouvette servant pour le prélèvement de saumure.



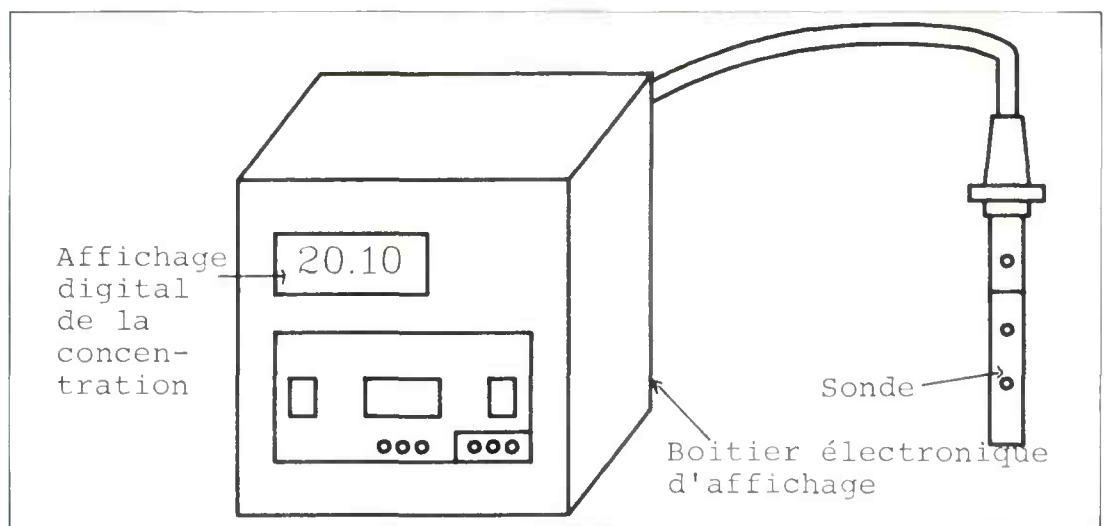
- le «réfractomètre» :

Instrument de mesure des indices de réfraction (changement de direction de la lumière passant d'un milieu dans un autre). Le contrôle de la concentration de NaCl s'effectue en lecture directe après avoir mis quelques gouttes de saumure dans l'instrument. Dans le champ visuel de l'oculaire, une ligne de séparation entre une plage obscure et claire indique la graduation de la concentration.



- l'analyseur de concentration :

Instrument constitué d'un système électronique qui analyse la concentration de saumure par des mesures de conductivité et de résistivité. La sonde est située sur la canalisation de refoulement de la pompe pour permettre une analyse en continu.





1 - 3 Vitesse de dissolution

La vitesse de dissolution d'un sel dans l'eau dépend de nombreux facteurs. En particulier, elle est liée à la température, donc à la viscosité, à la concentration de la solution et à la granularité du sel utilisé.

Plus le sel est fin, plus la surface de contact est importante et plus grande est sa vitesse de dissolution.

D'un point de vue pratique, on accélère la vitesse de dissolution en favorisant la circulation des saumures au sein de la masse de sel par :

- gravité (la densité des saumures augmente avec leur concentration),
- percolation d'un courant d'eau à travers une masse de sel,
- agitation du milieu.

La vitesse de dissolution est elle-même liée à la viscosité, qui dépend de la température. On peut donc également accélérer la vitesse de dissolution par chauffage du milieu.

Le gain n'est cependant pas en rapport avec l'énergie calorifique nécessaire, et il est préférable d'utiliser un sel plus fin ou d'augmenter l'agitation du milieu.

Enfin, le temps de contact théorique entre un poids de sel en excès par rapport à un poids d'eau ne doit jamais être inférieur à 20/35 minutes selon la turbulence.

En pratique, le temps du contact est porté de 50 à 60 minutes.

Dans le cas où le milieu n'est pas agité, la présence de courants préférentiels de circulation de la saumure dans la masse de sel réduit la durée de contact entre le sel et l'eau : la saumure risque de ne pas être saturée. Il est alors préférable d'utiliser du sel gros dont le poids et la granularité limitent l'apparition de tels courants.

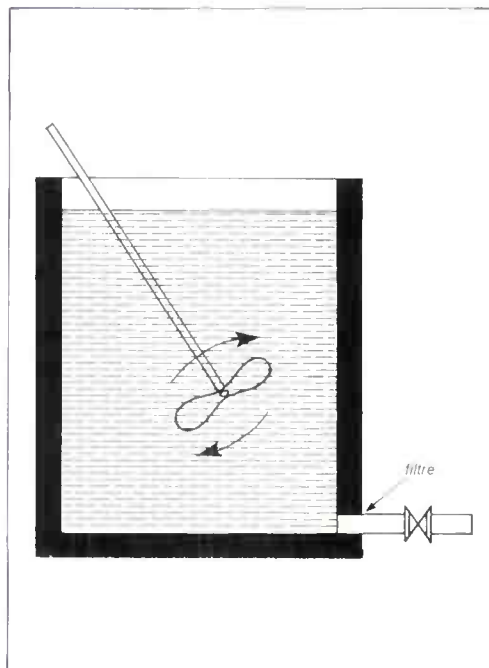
2 - PRINCIPAUX PROCÉDES DE DISSOLUTION DES FONDANTS

2 - 1 Procédés discontinus

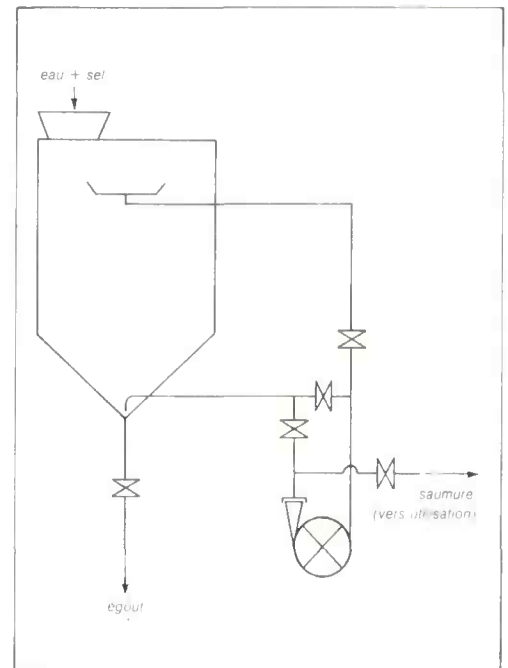
Les procédés discontinus permettent la fabrication successive d'une même quantité de saumure à intervalles répétés. Leur alimentation est donc interrompue entre chaque cycle de fabrication.

Ils servent à l'obtention de faibles quantités de saumure directement à la concentration désirée. La dissolution peut être :

- dynamique
 - par agitation
 - par suspension et recyclage



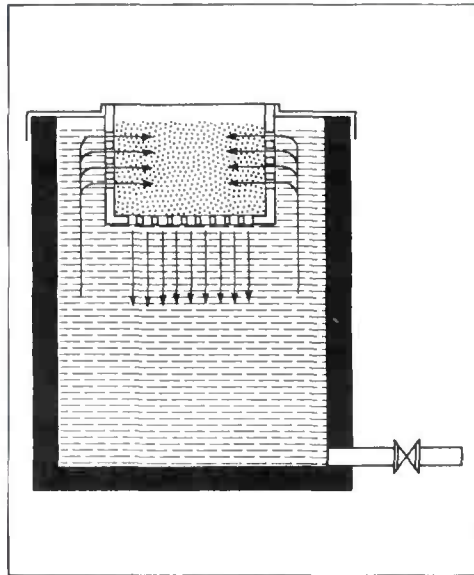
Dissolution par agitation



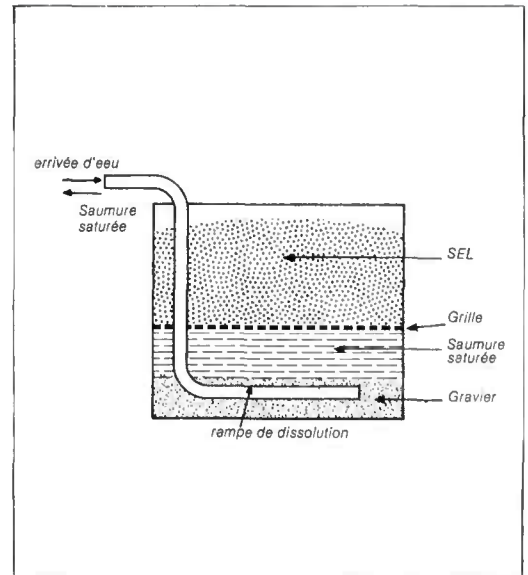
Dissolution par suspension et recyclage

Dissolution dynamique

- statique
 - par gravité
 - par bacs à sel



Dissolution par gravité



Bac à sel séparé (adoucisseur d'eau)

Dissolution statique

Ces procédés sont surtout utilisés par les fromageries, les tanneries mais aussi dans les appareils ménagers, (adoucisseurs d'eau et lave-vaisselles).

2 - 2 Procédés continus

Ils permettent la dissolution de grandes quantités de sel sans interruption. Dans ce cas, la production est asservie à l'arrivée d'eau. On distingue 2 types de dissolution :

- dissolution en courant ascendant
- dissolution en courant descendant

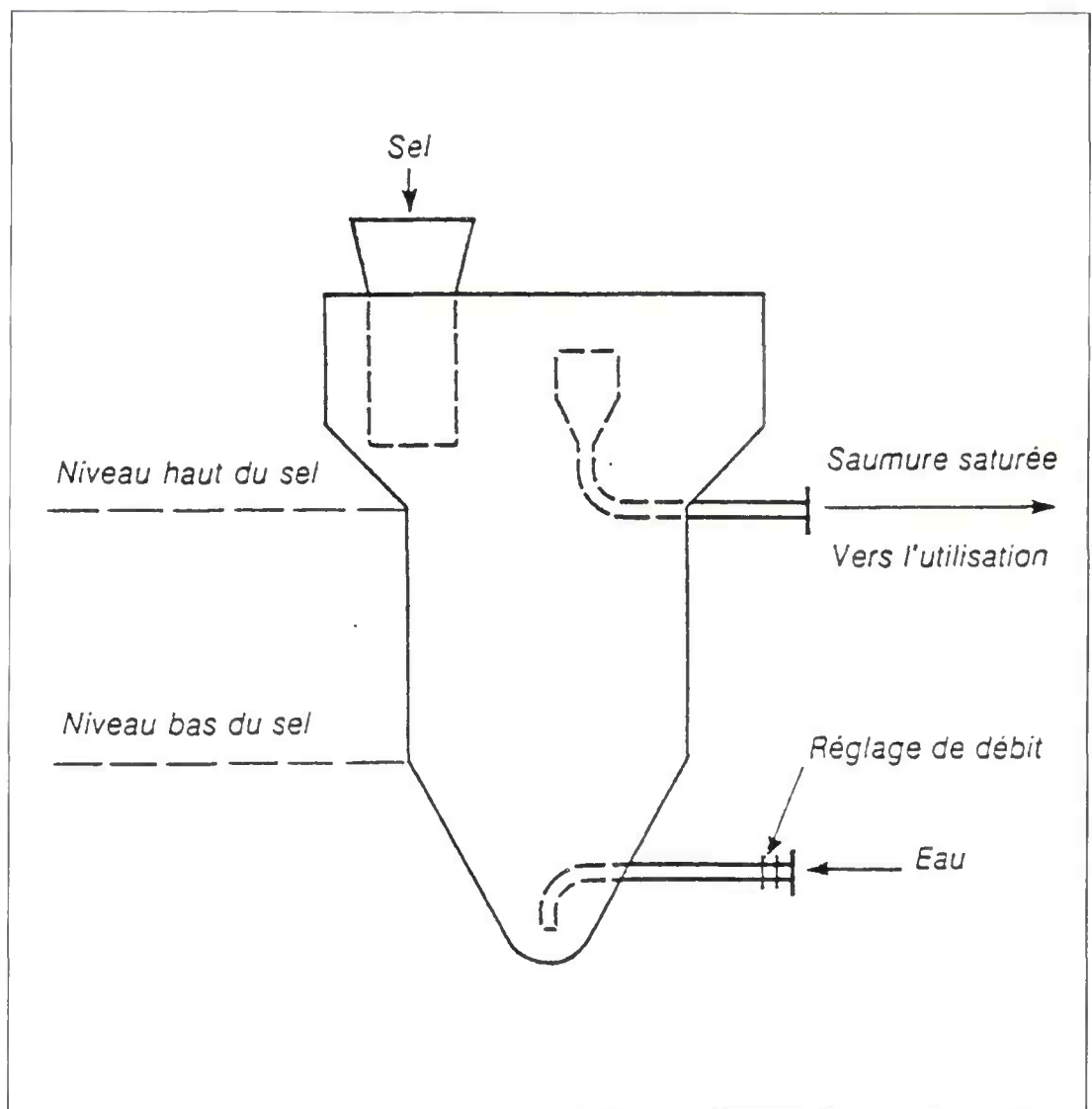
2 - 2.1 Dissolution en courant ascendant ou à suspension de sel fin

Le procédé consiste à introduire l'eau en bas du dissolvant de telle façon qu'elle traverse la masse de sel en percolant lentement.

La section du dissolvant est calculée en fonction du débit de saumure saturée à produire, de manière à éviter un entraînement des cristaux de sel par la saumure. La vitesse ascensionnelle de l'eau doit être inférieure à une vitesse limite qui entraînerait du sel solide. Cette vitesse limite est fonction de la granularité du sel utilisé.

Pour assurer la saturation, le niveau de sel ne doit pas descendre en dessous d'un niveau minimum. L'excès de sel doit être important en vue d'éviter le risque de courants préférentiels amenant en haut de l'appareil des saumures non saturées. Pour un débit fixe, le temps de contact avec le sel en excès ne doit pas être inférieur à 35 minutes. En pratique, il pourra atteindre 50 à 60 minutes.

La saumure saturée est collectée dans le haut du dissolvant et stockée par simple surverse dans un bac adjacent.

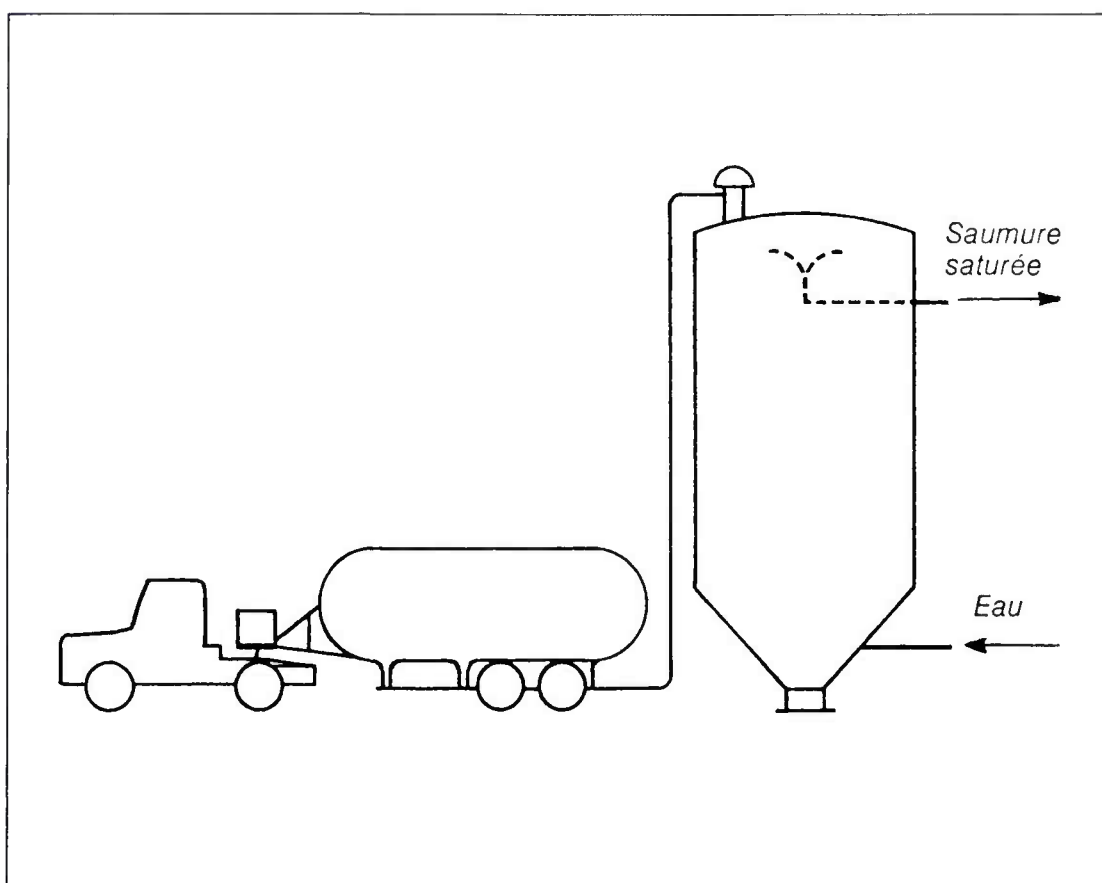


Principe de dissolution en courant ascendant

a) Les silos dissolvants à chargement pneumatique

Les dissolvants à suspension par recyclage (2.1 page 22) peuvent également servir pour le stockage du sel. Dans les installations de grande capacité, la dissolution se fait directement dans les silos de stockage équipés en dissolvants.

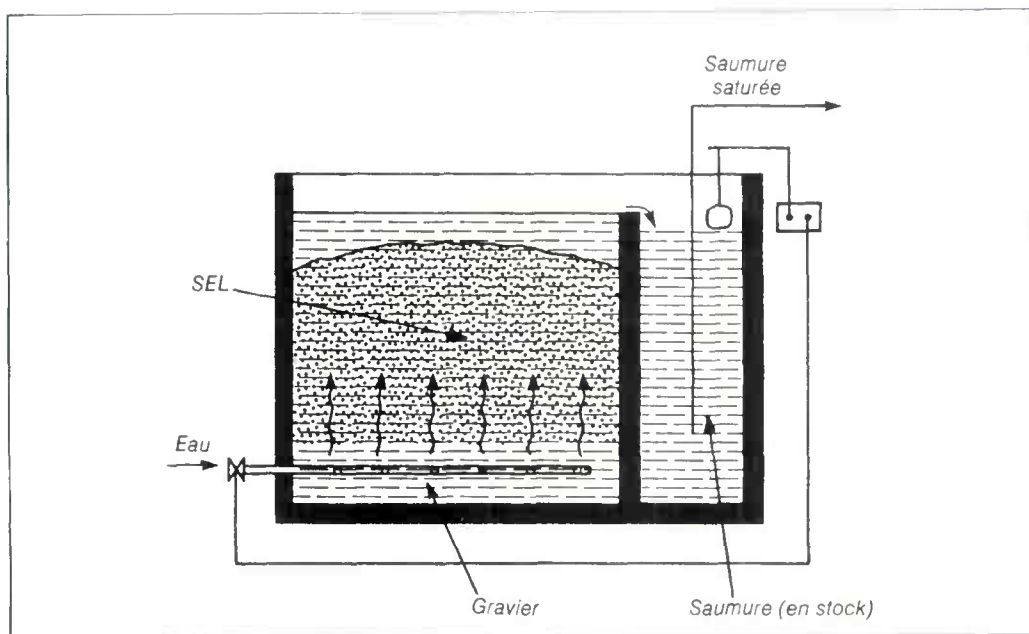
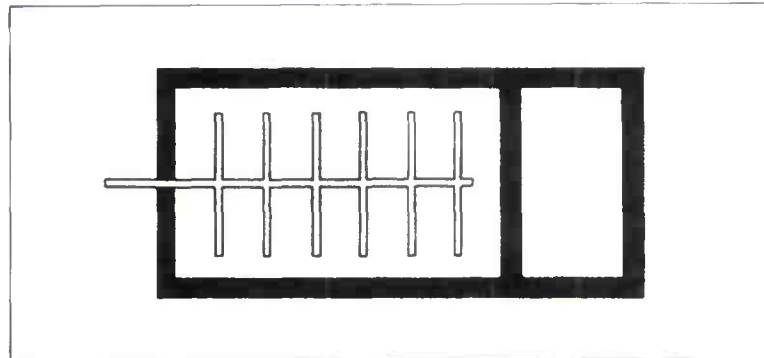
L'alimentation en sel par transport pneumatique est particulièrement bien adaptée à un tel dispositif.



Silo dissolvant à remplissage pneumatique

b) Les fosses à dissolution en courant ascendant

C'est le procédé généralement retenu pour le service hivernal. La dissolution s'effectue en courant ascendant avec récupération de la saumure par surverse. C'est la méthode la plus simple pour obtenir de grandes quantités de saumure. La dissolution se fait dans des cuves, dans des fosses ou dans divers containers de récupération.



Fosse à dissolution en courant ascendant

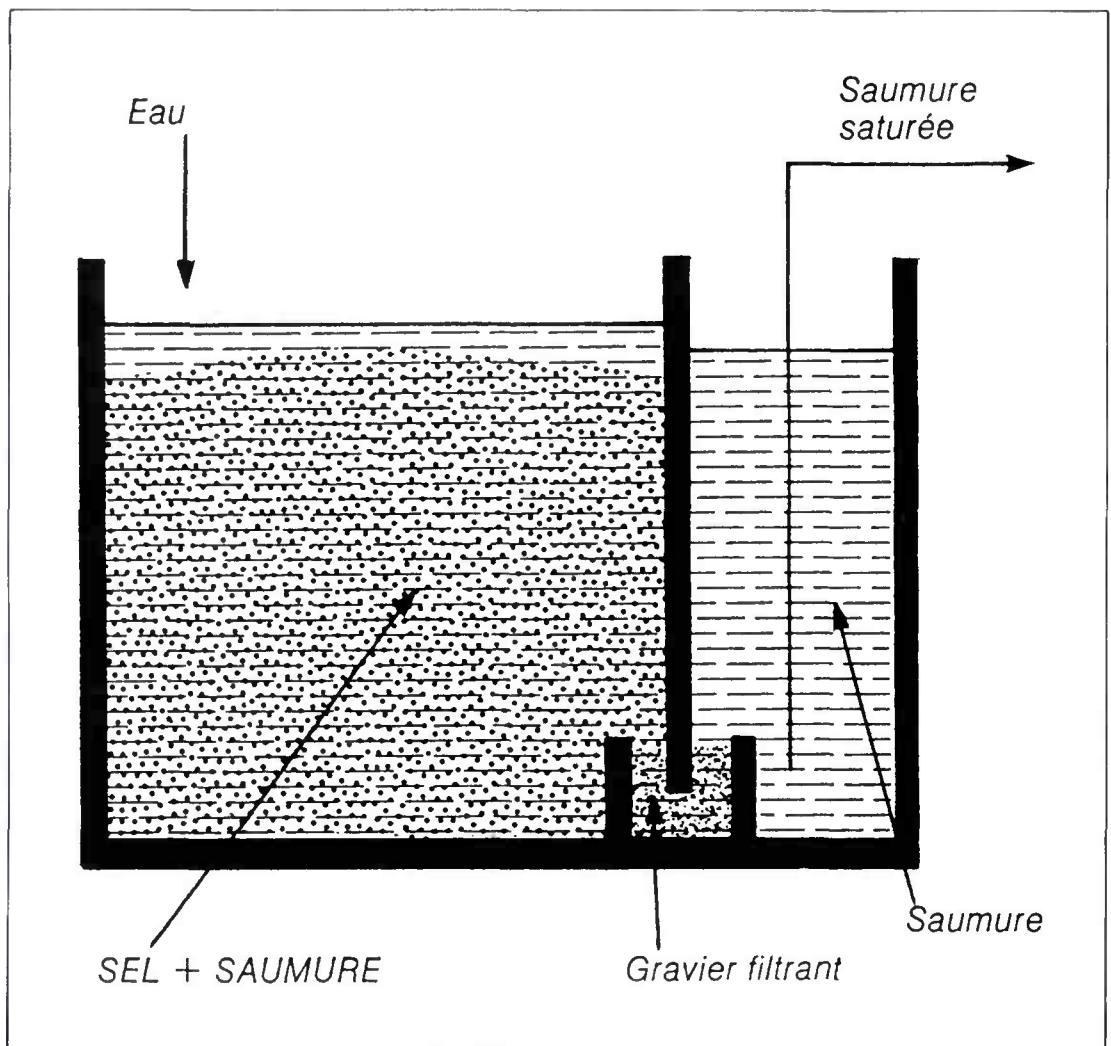
2 - 2.2 Les fosses à dissolution en courant descendant

Le sel est stocké dans une fosse remplie d'eau. On prélève la saumure saturée à la partie inférieure de la fosse. Ce prélèvement est compensé par un apport régulier d'eau à la partie supérieure.

Deux conceptions de fosses sont possibles :

a) La fosse à dissolution à bac de saumure latéral

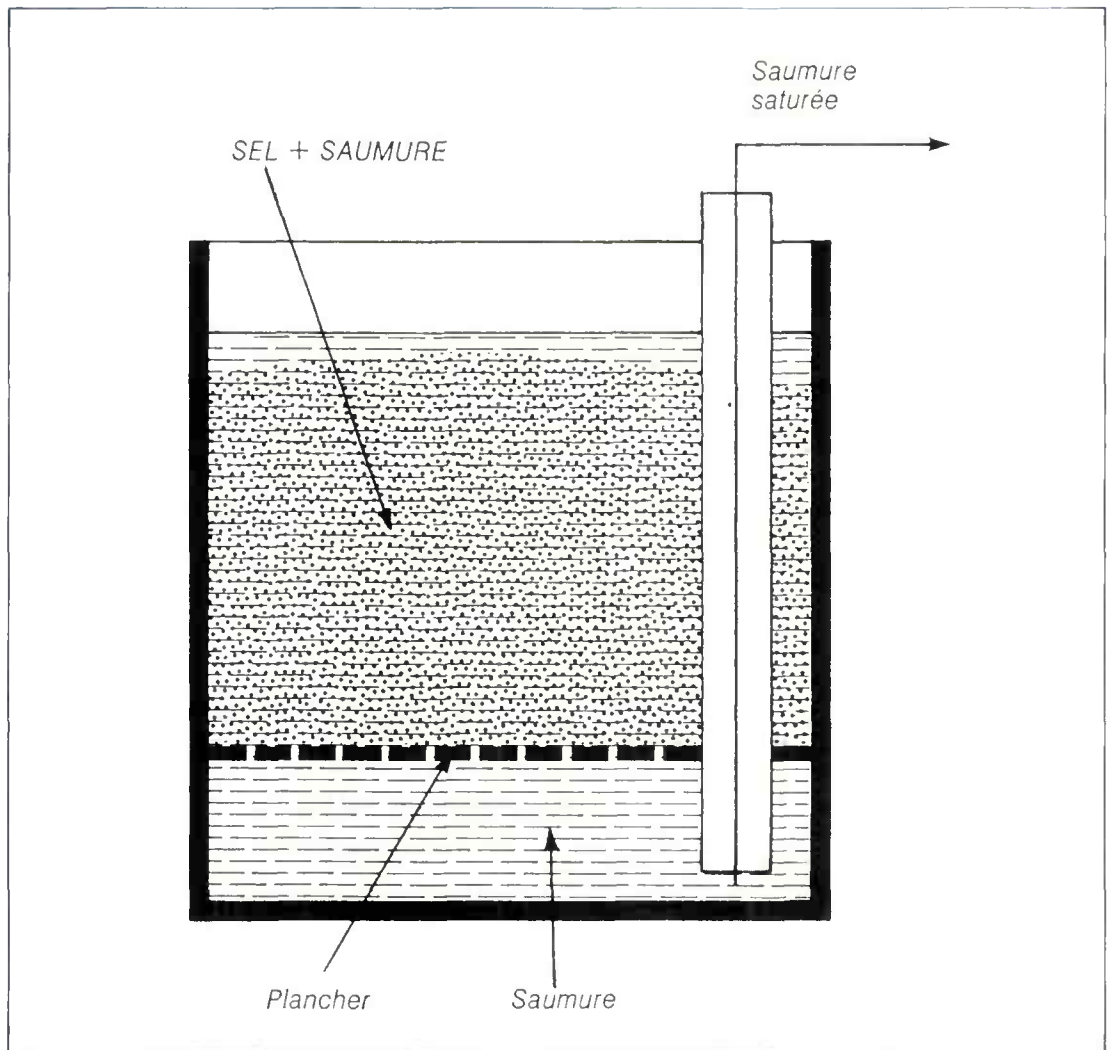
La réserve de saumure saturée peut être constituée par une séparation verticale laissant passer la saumure à sa partie inférieure à travers une couche de gravier qui assure sa filtration.



b) La fosse à dissolution avec réserve de saumure à la partie inférieure

On peut également concevoir une fosse unique dans laquelle le sel est supporté par un plancher perforé recouvert d'une toile jouant le rôle de filtre.

Un tube en matière plastique permet le passage de la tuyauterie de pompage, ainsi qu'éventuellement un dispositif à flotteur pour la régulation de l'arrivée de l'eau.



Fosse à dissolution à courant descendant avec réserve de saumure dans la partie inférieure

Ces fosses de conception simple peuvent être approvisionnées par camions-benne. Elles n'ont pas besoin d'être couvertes : l'eau de pluie ne perturbe en rien leur fonctionnement et la percolation de la saumure à travers la couche de sel, suivie d'une filtration sur gravier ou toile filtrante, met à l'abri d'une salissure accidentelle.

NOTA :

Le type de procédé par courant descendant a été quasiment abandonné par tous les utilisateurs car ces fosses ne fonctionnent correctement qu'avec du sel gros (le sel fin forme des blocs et des voûtes ainsi que des courants préférentiels, ce qui ne donne pas une saturation complète).

Le procédé par courant ascendant plus simple d'utilisation permet d'employer tous types de sel.



3 - CHOIX DES FONDANTS POUR LA FABRICATION DE SAUMURE

Les sels disponibles pour la fabrication de la saumure peuvent être classés en fonction de leur technique de production, leur humidité, leur granularité et leur teneur en particules insolubles.

3 - 1 Techniques de production

Il existe 2 types d'exploitation du sel :

- la technique agricole de marais salants qui donne le «sel de mer»,
- l'exploitation des gisements de sel gemme par :
 - technique minière classique qui donne le sel gemme (sel de mines ou sel égrugé),
 - technique de sondage qui consiste à le dissoudre in situ, à pomper la saumure saturée obtenue et à l'évaporer (sels raffinés ou ignigènes),
 - exploitation des gisements potassiques en séparant par procédé thermique ou de flottation, le chlorure de sodium de la sylvinite (chlorure de potassium).

3 - 2 Humidité

Les sels sont plus ou moins humides suivant leur lieu de production leur temps de séjour à l'air libre, les conditions de transport et de stockage.

Ils peuvent être séchés industriellement par évaporation de la saumure à haute température.

Il n'est pas nécessaire d'utiliser un sel séché pour fabriquer de la saumure excepté dans les silos-dissolveurs-stockeurs à courant ascendant et à remplissage par citernes pneumatiques.

3 - 3 Granularité

On distingue principalement 2 granularités :

- les sels gros dont le grenage est compris entre 1 et 5 mm
- les sels fins dont le grenage est compris entre 0 et 1 mm.

Les sels fins se dissolvent beaucoup plus rapidement que les sels gros (cf II.1.3).

Les installations prévues pour dissoudre du sel gros ne peuvent pas en général recevoir du sel fin sans une légère modification du débit de l'eau et des diamètres des trous dans la rampe de dissolution pour éviter d'entraîner des grains de sel avec la saumure.

Le choix de la granularité dépend du procédé et du type de matériel de fabrication de saumure utilisés.

Pour les procédés discontinus :

- la dissolution dynamique :

Le sel à utiliser pour la dissolution de type dynamique est de préférence le sel fin car la dissolution sera plus rapide.

- la dissolution statique :

Les sels grenés ou gros permettent une meilleure circulation de la solution dans la masse de sel.

Pour les procédés continus :

- le dissolvant à courant ascendant et silos dissolvants :

Toutes les granularités peuvent être utilisés avec ce type de dissolvant. Cependant, la percolation à travers du gros sel se faisant beaucoup plus rapidement, la hauteur minimum de la couche de sel doit être plus grande. En fait, ces dissolvants sont surtout utilisés pour la dissolution des sels fins, dont la dissolution en courant descendant risquerait de provoquer des colmatages.

- les fosses à dissolution à courant ascendant :

Ces fosses sont surtout utilisées pour l'obtention de saumures saturées à partir de sel fin qui laisse un temps de contact avec l'eau plus important ce qui permet d'obtenir une meilleure saturation.

- les fosses à dissolution à courant descendant :

Les fosses à courant descendant dans lesquelles le mouvement de l'eau se fait par simple gravité, ne fonctionnent, dans de bonnes conditions, qu'avec des sels gros qui permettent une meilleure circulation de la solution dans la masse de sel.

3 - 4 Teneur en particules insolubles

Les sels utilisés pour la production de saumure doivent contenir de très faibles quantités de matières insolubles à l'eau.

Les particules insolubles ne constituent pas des matières actives. Elles ne contribuent donc pas à l'efficacité de la saumure.

De plus, elles encrassent l'installation de fabrication (il est toujours délicat d'interrompre la production de saumure en plein hiver pour nettoyer la centrale...)

Le cas échéant, une saumure limpide peut être obtenue par décantation ou filtrage.



3 - 5 Stockage et transport de saumure

Au stockage, il convient bien entendu de protéger les saumures d'une dilution par la pluie; la concentration par évaporation de l'eau n'est pas gênante avec des saumures saturées, celles-ci déposent du sel proportionnellement au poids d'eau évaporée, mais leur concentration ne varie pas.

Sous réserve de tenir compte de la densité plus forte et de l'agressivité de la saumure vis-à-vis de certains métaux, les matériels employés pour le transport de liquides tels que l'eau conviennent très bien pour le transport des saumures.

Page laissée blanche intentionnellement

CHAPITRE III

Fabrication de la saumure de chlorure de sodium

Sommaire

1 - Caractéristiques des installations de fabrication de saumure

- 1 - 1 Schéma de principe
- 1 - 2 Description
- 1 - 3 Principes de fonctionnement
- 1 - 4 Schémas de principe d'installations existantes

2 - Critères de dimensionnement d'une installation de fabrication de saumure

- 2 - 1 Calcul des besoins en saumure
- 2 - 2 Calcul des approvisionnements en saumure
- 2 - 3 Calcul du volume de stockage et du débit de fabrication
- 2 - 4 Dimensionnement des cuves

3 - Construction d'une installation de fabrication de saumure

- 3 - 1 Implantation
- 3 - 2 Matériaux de construction
- 3 - 3 Montage
- 3 - 4 Protection contre le froid
- 3 - 5 Sécurité d'utilisation
- 3 - 6 Entretien des installations

4 - Aspects économiques

- 4 - 1 Coût d'une installation
- 4 - 2 Seuil de rentabilité économique d'une installation
- 4 - 3 Choix entre construction d'une centrale de fabrication ou transport de saumure

5 - Eléments de prospective

Page laissée blanche intentionnellement

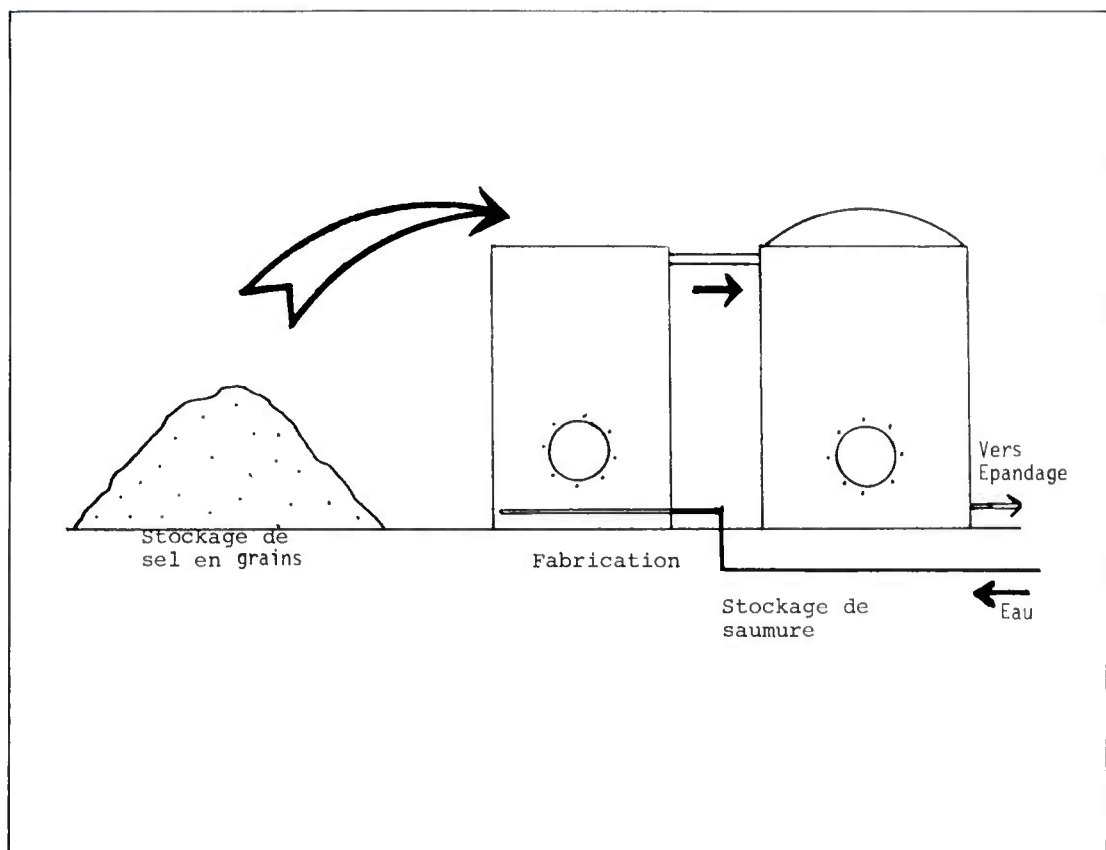
1 - CARACTERISTIQUES DES INSTALLATIONS DE FABRICATION DE SAUMURE

Comme il a été dit dans le chapitre II, c'est le principe de dissolution en courant ascendant qui est le plus souvent adopté en viabilité hivernale car il donne le plus de satisfaction.

1 - 1 Schéma de principe

Chaque installation de moyenne importance est composée :

- d'un stock de sel (vrac ou silo),
- d'une unité de fabrication,
- d'une unité de stockage de saumure.



A cet ensemble, vient s'ajouter les éléments annexes de contrôle, de régulation et de pompage, les arrivées d'eau et de courant.

Le principe consiste à :

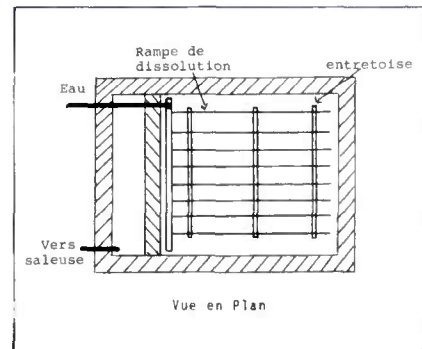
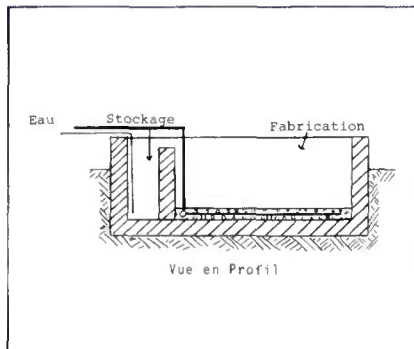
- produire de la saumure dans une unité de fabrication par injection d'un courant d'eau ascendant sous pression dans une masse de sel,
- garder la saumure fabriquée (prête à être utilisée) dans une unité de stockage,
- pouvoir recycler la saumure stockée en vue d'obtenir la concentration maximale si nécessaire,
- évacuer la saumure au fur et à mesure des besoins par pompage dans l'unité de stockage.

1 - 2 Description

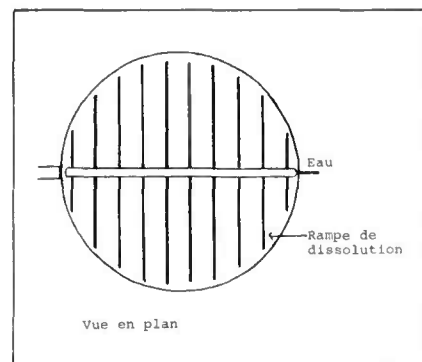
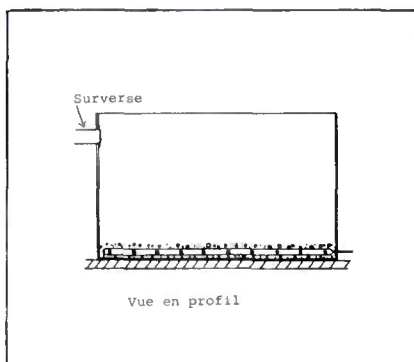
La cuve ou bac de dissolution à l'air libre comporte, à sa partie inférieure, une rampe de répartition d'eau d'alimentation appelée rampe de dissolution. Celle-ci est composée d'une série de tubes percés d'orifices à leur partie inférieure (ou légèrement de côté) alternativement de part et d'autre du tube. Cette rampe est alimentée en eau par une tubulure. Elle peut être réalisée soit en acier inoxydable (à très bas carbone) soit en P.V.C.

Le diamètre des trous (de l'ordre de 1.5 mm) implique l'utilisation d'une eau de dissolution très propre. Il est conseillé d'installer un filtre sur le circuit d'eau en cas de doute. Si les ramifications de la rampe sont longues, il est conseillé de les entretoiser.

La rampe de dissolution doit être recouverte d'une couche de gravillons propres (3/10 mm) d'une hauteur de 15 cm environ.



Exemple de rampe de dissolution pour fosse



Exemple de rampe de dissolution pour cuve

L'alimentation en eau de la cuve (ou fosse) de dissolution est prélevée sur l'arrivée d'eau courante et son débit doit être réglé par une vanne.

Un débitmètre permet le contrôle de la quantité d'eau écoulée par minute et garantit ainsi une parfaite concentration de la saumure.

Une électro-vanne commande le passage de l'eau dans la tuyauterie. Elle peut être pilotée par un flotteur contacteur de niveau situé à la partie supérieure de la cuve (ou fosse) de stockage de la saumure.

L'eau est ensuite acheminée vers la rampe de dissolution par 2 vannes d'isolation. Entre ces 2 vannes, il peut être raccordé une canalisation de recyclage qui provient de la sortie de la cuve (ou bac) de stockage. Un clapet anti-retour disposé sur cette canalisation n'autorisera que le passage dans le sens stockage vers dissolution.

A la partie supérieure de la cuve ou de la fosse de dissolution et à une certaine distance du bord (30 cm) est disposée une canalisation (Ø 200) de trop-plein pour la cuve, (ou une cloison pour la fosse dont la partie supérieure forme un déversoir à 40 cm du haut de la fosse), qui communique avec le réservoir de stockage de la saumure et qui alimente celui-ci.

La cuve peut être munie d'un densimètre qui permet de connaître le pourcentage de sel en poids de solution (voir Chapitre II page 18 tableau Densité des saumures).

L'extraction de la saumure depuis la cuve (ou bac) de stockage s'effectue par une tubulure comportant une vanne d'isolation soit simplement par gravité si la cuve (ou bac) est à niveau supérieur, soit par un groupe moto-pompe. Une vanne à trois voies en té permettra de diriger à volonté la saumure soit vers la saieuse par l'intermédiaire d'une vanne servant à régler le débit de saumure et une tuyauterie souple, soit vers la canalisation de recyclage.

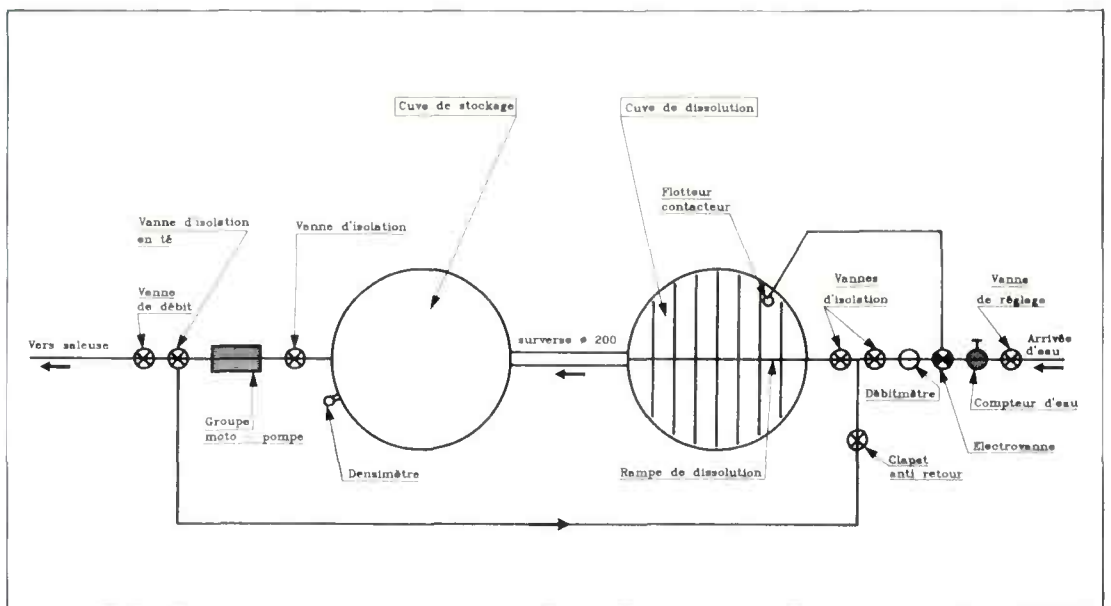


Schéma descriptif des organes de contrôle de régulation

1 - 3 Principes de fonctionnement

La cuve ou bac de dissolution est remplie de sel jusqu'à une hauteur de 10 cm environ en dessous du trop-plein. Le chargement s'effectue par des moyens traditionnels (chargeur, pelle hydraulique, sauterelle,...) ou spécifiques (pneumatiques...).

L'eau arrive par la vanne de réglage du débit, est contrôlée par le débitmètre, et est distribuée uniformément sur toute la surface du fond de la cuve (ou bac) par les rampes de dissolution.

Cette eau traverse à très faible vitesse toute l'épaisseur du sel et se sature progressivement.

La saumure saturée s'évacue, par simple surverse, par le trop-plein ou déversoir et remplit la cuve (ou bac) du stockage.

Lorsque le niveau de saumure atteint la hauteur du contacteur de niveau, ce dernier ferme l'arrivée d'eau grâce à une électro-vanne.

Le dispositif de recyclage permet de parachever éventuellement la concentration de la saumure avant son utilisation si la teneur en sel dissous est insuffisante.

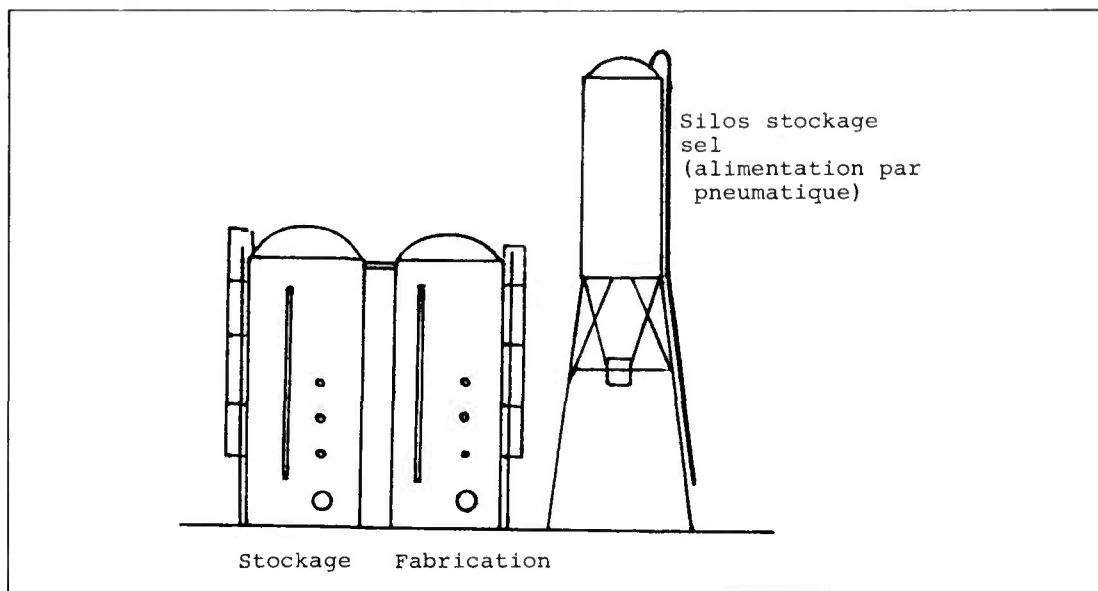
Lorsqu'il y a prélèvement de saumure, le contacteur de niveau commande l'ouverture de la vanne d'alimentation en eau.

Des contrôles de la concentration de la saumure sont effectués à plusieurs reprises soit par des prélèvements pour le densimètre et le réfractomètre, soit en lecture directe pour l'analyseur automatique de concentration.

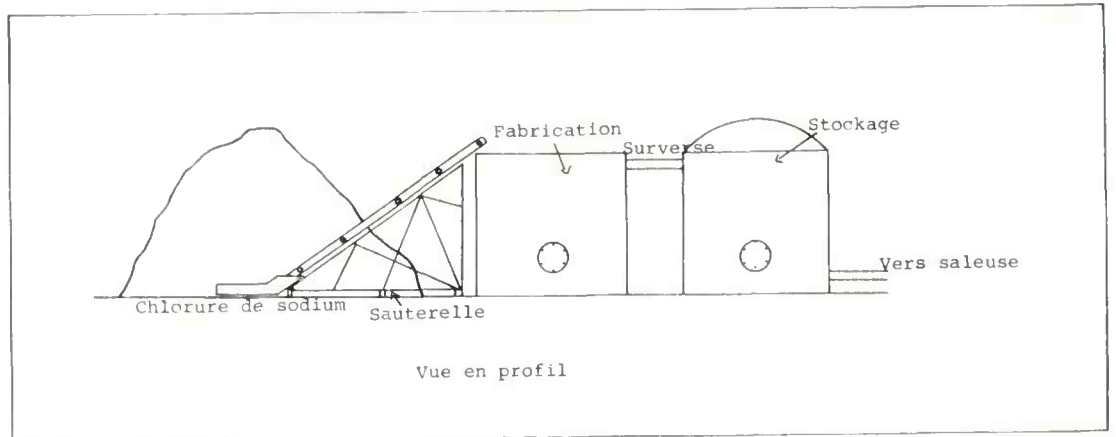
1 - 4 Schémas de principe d'installations existantes

Plusieurs types de réalisations peuvent être envisagées.

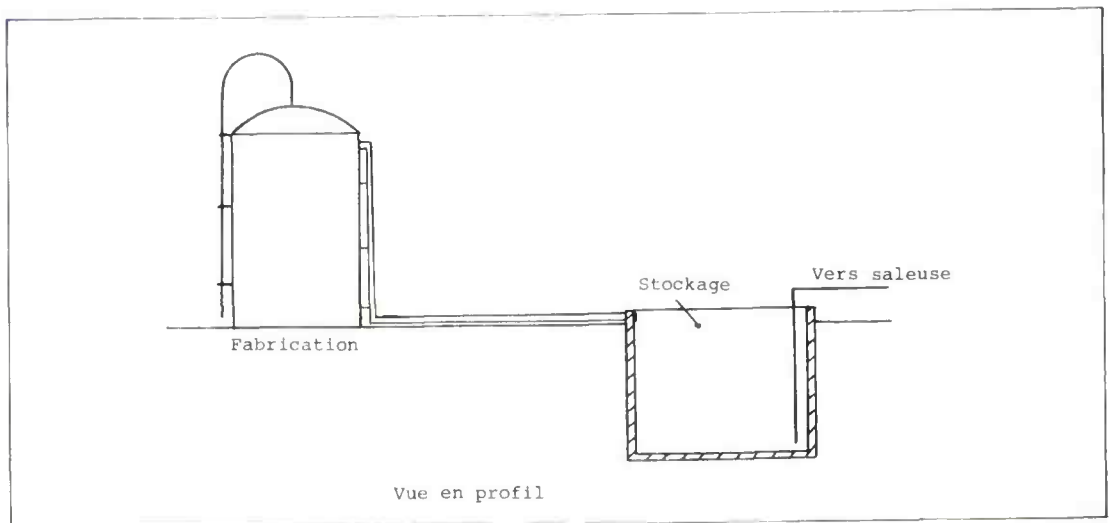
- utilisation de cuves horizontales et/ou verticales,
- utilisation de fosses en béton enterrées et/ou bacs résistant à la corrosion,
- utilisation de silos,
- utilisation de citernes...



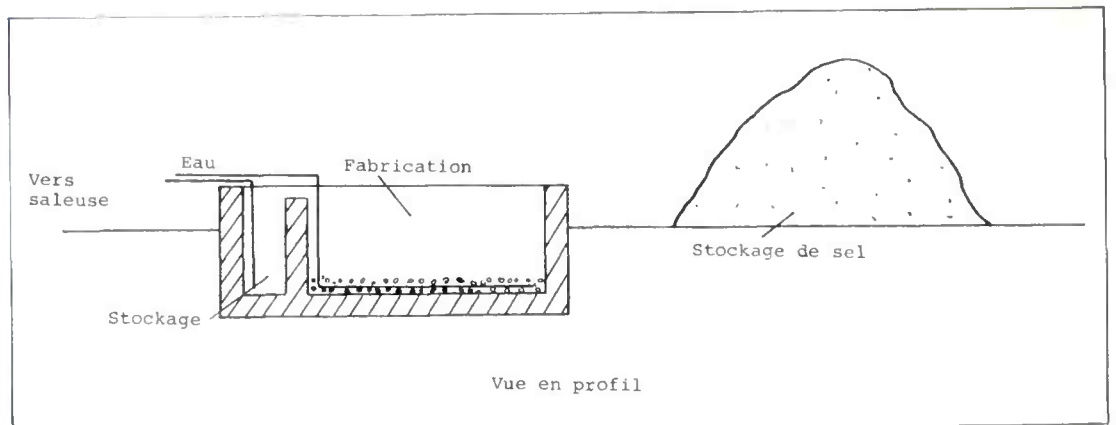
Installation avec silos et cuves



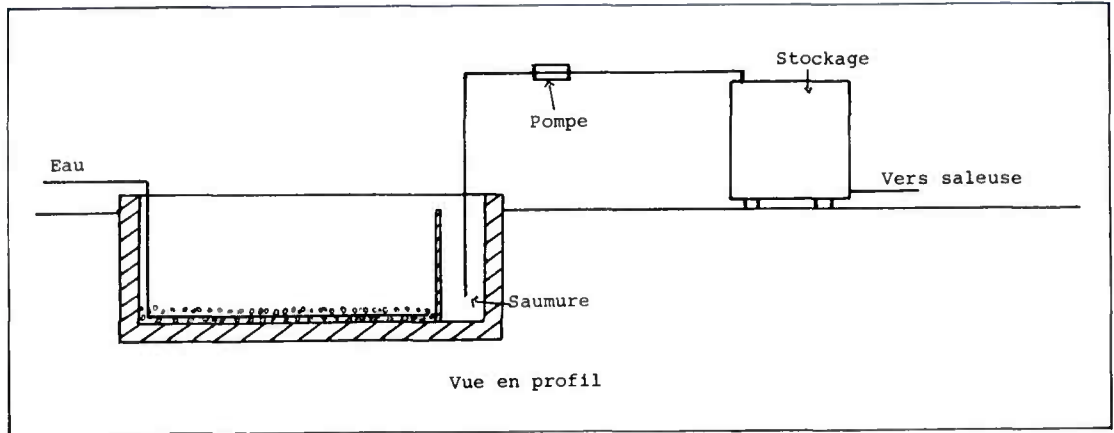
Installation avec cuves



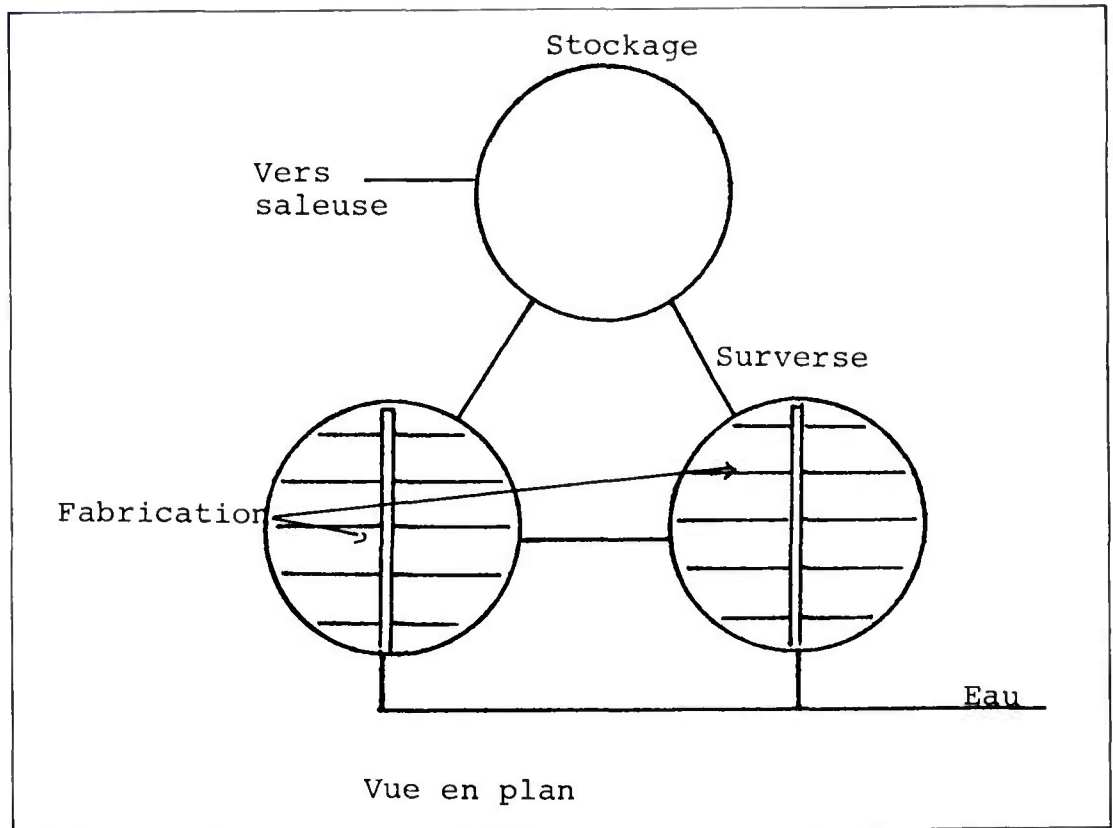
Installation avec cuve et fosse



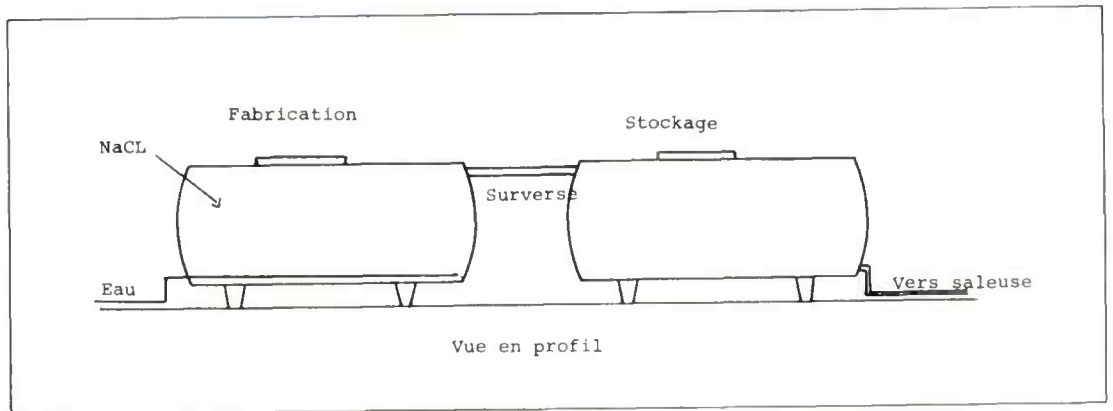
Installation avec fosse



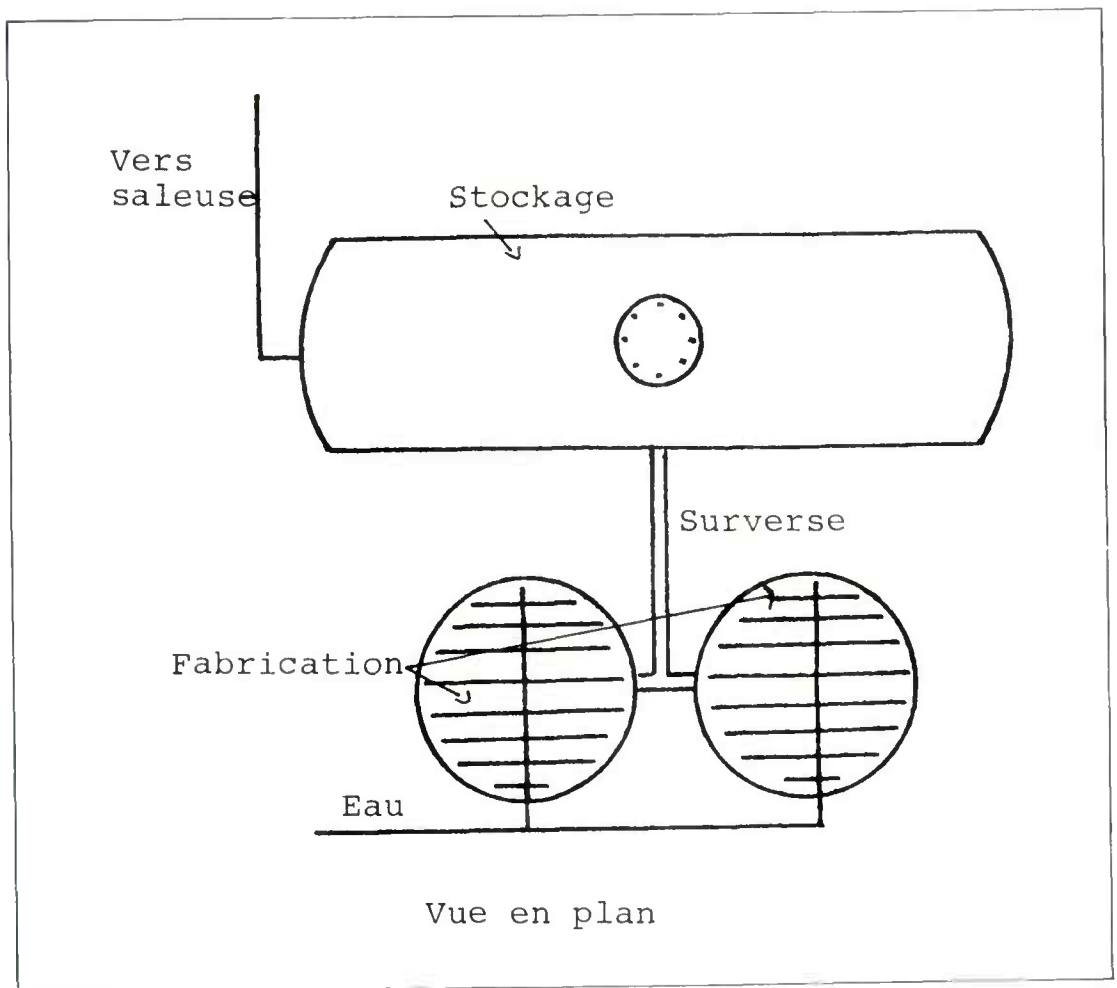
Installation avec fosse et bac



Installation avec 2 cuves de dissolution



Installation avec cuves horizontales



Installation avec une cuve horizontale et deux verticales (vue en plan)



2 - CRITERES DE DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION DE FABRICATION DE SAUMURE

L'installation de fabrication peut être calculée pour les besoins d'un site unique (Parc, Subdivision) ou de plusieurs sites (centre où se fabrique la saumure et sites proches qui possèdent uniquement une cuve de stockage). Dans ce dernier cas, l'installation est calculée en fonction des besoins et des possibilités de réapprovisionnement des cuves.

2 - 1 Calcul des besoins en saumure

Les besoins en saumure doivent être estimés pour les nécessités d'une intervention dans les conditions les plus défavorables. On procédera donc à une analyse des interventions antérieures pour définir la nature de ces conditions.

On calculera le volume utile à l'ensemble des saleuses pour réaliser un traitement de leurs circuits et on multipliera par le nombre de traitements présumés nécessaires au succès de l'intervention.

Le volume utile maximum de saumure pour une saleuse peut être évalué à 30% de sa capacité en sel.

Exemple :	3 saleuses : $6 \text{ m}^3, 6 \text{ m}^3, 4 \text{ m}^3$
	Volume total de sel 16 m^3
	Volume utile de saumure : $16 \times 30 \% = 4,8 \text{ m}^3$
	Volume utile de saumure pour 3 traitements successifs (conditions estimées les plus défavorables dans le cas d'espèce) : $4,8 \times 3 = 14,4 \text{ m}^3$

2 - 2 Calcul des approvisionnements en saumure

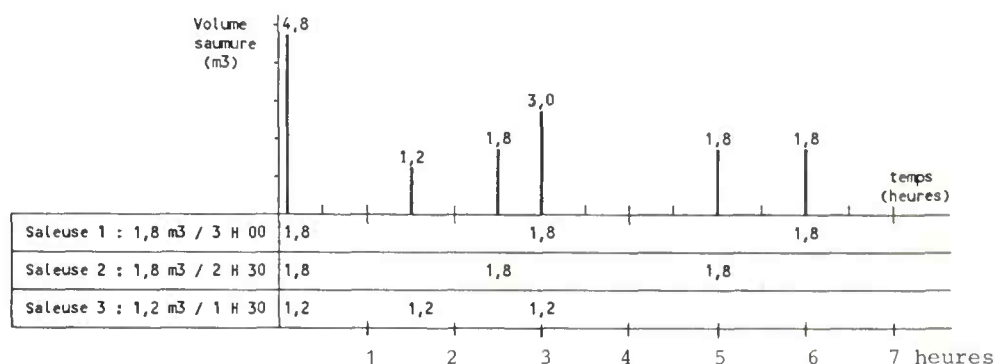
La durée de traitement des circuits est variable selon leur longueur. Les saleuses se réapprovisionnent donc en saumure à des intervalles différents.

On reportera sur un graphique (temps/volume) les approvisionnements successifs nécessaires à la totalité de l'intervention.

Exemple : Les 3 saleuses de l'exemple précédent traitent respectivement leur circuit en

- 3 H 00 (6 m³ de sel, 1,8 m³ de saumure)
- 2 H 30 (6 m³ de sel, 1,8 m³ de saumure)
- 1 H 30 (4 m³ de sel, 1,2 m³ de saumure)

Pour trois traitements successifs, on obtient le graphique suivant :



Les besoins en saumure (14,4 m³) s'échelonnent sur des approvisionnements successifs couvrant une période de 6 H 00.

2 - 3 Calcul du volume de stockage et du débit de fabrication

A chaque approvisionnement, le volume correspondant de saumure doit être disponible dans la cuve de stockage. Deux solutions sont possibles :

- dimensionner la cuve de stockage pour faire face à l'ensemble des approvisionnements. Une petite cuve de fabrication peut alors suffire pour reconstituer le stock en dehors des interventions,
- réduire le volume de stockage pour que les quantités prises soient compensées par la saumure produite par la cuve de fabrication. Celle-ci doit être dimensionnée de sorte à bénéficier d'un débit suffisant. Le volume de stockage minimal correspondant à l'approvisionnement initial de l'ensemble des saleuses.

On reportera sur le graphique précédent les quantités cumulées de saumure approvisionnées depuis le début de l'intervention.

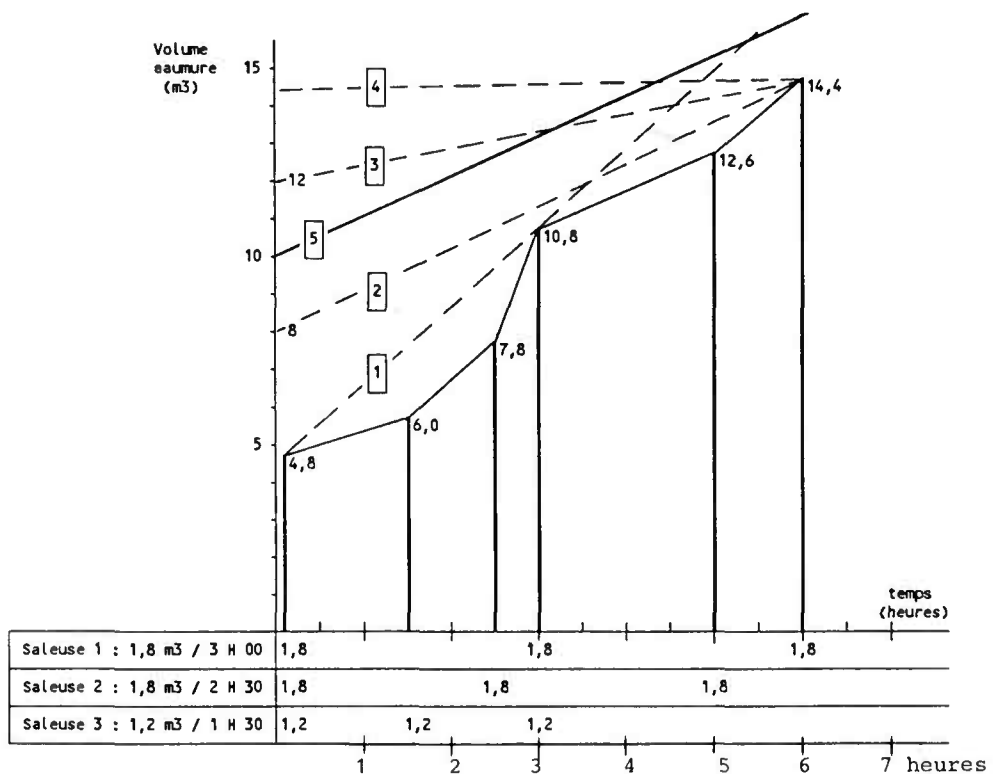
Sur l'axe des ordonnées, on disposera une valeur de volume de stockage. Par une droite, on reliera ce point au point correspondant à la plus forte demande instantanée de saumure. La pente de cette droite est égale au débit nécessaire de fabrication.

A chaque valeur de volume de stockage portée en ordonnée correspondra un débit de production de saumure.

Exemple :

Dans l'exemple précédent, $14,4 \text{ m}^3$ de saumure devaient être disponibles en 6 H 00.

Reportons les quantités cumulées sur le graphique :



- 1 4,8 m³ : le débit de fabrication doit être égal à 2 m³ / H (10,8 m³ - 4,8 m³ sur 3 heures)
- 2 8 m³ : débit = 1 m³ / H (14,4 m³ - 8 m³ sur 6 heures)
- 3 12 m³ : débit = 0,4 m³ / H (14,4 m³ - 12 m³ sur 6 heures)
- 4 14,4 m³ : tous les approvisionnements sont satisfaits. La production de saumure peut être interrompue pendant l'intervention.

Toutefois, ce calcul théorique conduit à estimer des valeurs minimales de débit de fabrication en fonction de la capacité de stockage de la centrale. Une marge de sécurité est nécessaire pour, d'une part, pallier d'éventuelles défaillances temporaires de la centrale et, d'autre part, s'assurer que le délai de reconstitution du stock initial de saumure est compatible avec l'échéance prévisionnelle de la prochaine intervention.

Dans le cas d'espèce, on pourra adopter un stockage de 10 m³ avec un débit de fabrication de 1 m³ / H (droite 5). Ainsi :

- après la troisième heure d'intervention (demande instantanée la plus forte en saumure depuis l'origine) le stock résiduel est de 2,2 m³.
- à l'issue de l'intervention, le stock résiduel est de 1,6 m³. La reconstitution complète du stock initial prendra 8 heures 30.

Le dimensionnement de la cuve de stockage et du débit de fabrication de saumure doit également tenir compte des valeurs standards liées aux éléments modulaires proposés par les constructeurs.

2 - 4 Dimensionnement des cuves

La saturation de la saumure dépend du temps de contact entre l'eau et le sel. Comme nous l'avons vu, ce temps de contact doit être proche d'une heure. Il est fonction :

- du débit d'arrivée d'eau,
- de la masse de sel à dissoudre,
- de la granularité du sel.

Pour assurer la saturation de la saumure, la masse de sel à dissoudre doit être largement excédentaire. Une règle simple pour dimensionner la cuve de fabrication consiste à prévoir trois fois le volume de sel théoriquement nécessaire pour saturer la saumure.

Exemple :

débit attendu : $2 \text{ m}^3/\text{h}$

quantité de sel théoriquement nécessaire :

$$2 \times 0,25 = 0,5 \text{ m}^3.$$

volume utile minimum de la cuve de fabrication :

$$0,5 \times 3 = 1,5 \text{ m}^3.$$

rechargement en sel : toutes les heures. Un volume supérieur réduira la fréquence des approvisionnements en sel.

Le volume utile de la cuve de dissolution doit être tel que la couche de sel ne descende jamais en dessous du niveau nécessaire pour permettre un temps de contact du sel avec l'eau suffisant pour obtenir la saturation.

La dimension de la cuve (ou bac) de stockage est fonction de la réserve de saumure souhaitée.

Elle doit être au moins égale à la somme du volume de saumure prélevé à chaque cycle, et du volume de saumure déplacé lors du rechargement en sel.

Les fabricants peuvent fournir des cuves horizontales ou verticales de toute dimension (diamètre et hauteur). Les volumes qui en découlent peuvent varier de quelques m^3 à plusieurs centaines de m^3 .

Une cuve de plus de 2,5 m de hauteur ne peut-être approvisionnée par un chargeur simple. Il faut donc enterrer la cuve ou disposer d'un quai de chargement ou utiliser une sauterelle.

Les cuves d'un diamètre supérieur à 2.40 m doivent être livrées par transport exceptionnel, ce qui occasionne un surcoût.

Page laissée blanche intentionnellement



3 - CONSTRUCTION D'UNE INSTALLATION DE FABRICATION DE SAUMURE

3 - 1 Implantation

L'implantation d'une installation de fabrication de saumure doit :

- se situer à proximité du stockage de sel,
- bénéficier d'un espace suffisamment grand pour la libre circulation, sans manœuvres excessives, des engins de chargement ou des véhicules venant s'approvisionner en saumure,
- limiter le circuit d'approvisionnement des véhicules (saleuses bouillies de sel),
- permettre de récupérer facilement la saumure émanant des tas de sel.

Il est important de prévoir une aire bétonnée quel que soit le type d'installation.

3 - 2 Matériaux de construction

De par leur nature électrolytique, les solutions de chlorure de sodium sont des accélérateurs de corrosion. Il convient toutefois de noter que, selon la nature des matériaux de construction, cette action est parfois moins importante pour les solutions saturées ou très concentrées, que pour les solutions à faible teneur en sel dissous.

En raison également de la diminution de la solubilité de l'oxygène avec la concentration des solutions, les récipients et appareils en contact avec des saumures concentrées seront peu à peu attaqués dans leur parties constamment immergées.

Pour éviter la corrosion et par là-même des dépenses d'entretien, l'emploi de matériaux adaptés s'impose :

- le bois :

N'est absolument pas attaqué par les solutions salines. Mais son emploi ne peut être envisagé en dehors de quelques utilisations très particulières.

- les matières plastiques : (P.V.C., polyéthylène, polypropylène, polyesters, etc...)

Elles constituent un matériau de choix qui doit être utilisé dans tous les cas où ses caractéristiques physiques le permettent (tuyauterie, robinetterie notamment).

Des peintures ou, mieux, des revêtements plastiques sont susceptibles d'apporter une protection valable.

- les aciers inoxydables ou, mieux encore, les alliages tels le Monel

Malgré leur coût élevé, ils peuvent être employés pour les parties en contact avec la saumure. Les fontes au chrome ont également une bonne résistance.

- le béton

Les fosses ou bacs peuvent être construits en béton. Dans ce cas, la classe de béton doit correspondre à une résistance mécanique élevée pour éviter l'apparition de désordres liés à l'effet corrosif des saumures. Il est impératif de veiller à ce que le recouvrement des armatures de fer soit supérieur à 5 cm. Dans le même ordre d'idées, il convient d'éviter l'emploi de fer pour les scellements. Il faut vibrer le béton soigneusement, de façon à obtenir une surface compacte. La longévité du béton sera d'autant plus grande que sa surface sera plus lisse.

Il est nécessaire d'attendre 2 à 3 mois avant la mise en service. Enfin, l'emploi d'un enduit protecteur imperméable est recommandé (émulsion bitumineuse, résine époxy, peinture caoutchouc,...).

MATERIAUX	CORROSION
Acier doux	Résistance moyenne
Aluminium	Résistance moyenne
Ciment	Bonne résistance
Butyl caoutchouc	Bonne résistance
Néoptène	Bonne résistance
Polyesters	Bonne résistance
Polyéthylène	Inattaque
Polystyrène	Bonne résistance
P.V.C. non plastifié	Inattaque
Résine Exposy	Bonne résistance

*Corrosion des matériaux
par les solutions de chlorure de sodium*

3- 3 Montage

Les installations peuvent être livrées complètes, ou en «kit», ou fabriquées entièrement sur place par le constructeur ou par les services de l'équipement.

Dans le cas de la livraison en kit, le constructeur peut demander d'assurer un volume suffisant de travaux afin de réduire ses prix de revient (alimentation en eau et en électricité, mise hors gel des canalisations, fourniture du gravier de dispersion, préparation de l'aire bétonnée...).

3 - 4 Protection contre le froid

Au dessous de -21.1°C la solidification de la saumure est totale (voir diagramme des phases chapitre 1 - 3). Elle s'accompagne d'une augmentation de volume de 6% par rapport à une saumure à la température de 15°C , donnant les mêmes inconvénients, pour les tuyauteries et installations, que les phénomènes de gel de l'eau au-dessous de 0° . Il est donc indispensable, si les saumures risquent d'être exposées à de très basses températures, de protéger les installations contre le gel.

3 - 5 Sécurité d'utilisation

Il convient de veiller particulièrement à mettre en place une protection efficace de l'installation entière afin d'éviter tout accident dû à la chute d'hommes ou de véhicules dans les bacs non recouverts, ou de chocs des porteurs ou des chargeurs dans les cuves.

Il est également nécessaire de prévoir l'éclairage approprié de l'installation et de ses alentours.

3 - 6 Entretien des installations

Les sels possèdent de plus ou moins fortes proportions de matières insolubles.

Lorsque l'on ne dispose que d'un silo ou d'une cuve à dissolution unique, des nettoyages en morte saison doivent être réalisés.

Dans le cas où il y a 2 cuves de dissolution, il est possible d'en nettoyer une pendant que l'autre fonctionne. Des trous d'hommes dans le bas des cuves ou dans les silos sont prévus à cet effet.

Les éléments annexes de contrôle et de régulation (vannes, moto-pompe, débitmètre, densimètre...) doivent avoir un accès facile pour toute réparation.

Les raccordements des tuyauteries doivent être en nombre suffisant pour permettre une intervention plus facile.

L'ensemble des éléments techniques et la partie électrique doivent être abrités et suffisamment protégés de la corrosion et du gel.

Des éléments chauffants peuvent être éventuellement installés dans ce local.

4 - ASPECTS ECONOMIQUES

4 - 1 Coût d'une installation

Le coût d'une installation de fabrication de saumure varie en fonction :

- de sa taille,
- de l'importance des travaux à réaliser (amenée d'eau, d'électricité, dalle de béton,...).

L'utilisation de matières plastiques (polyéthylène, polyester,...) pour la fabrication des cuves limite les coûts d'investissement.

Pour une installation de fabrication et stockage de moyenne dimension (20/25 m³), le prix de la fourniture des cuves et de leur équipement est compris dans une fourchette voisine de 235.000F à 300.000 F/TTC (valeur en 1990).

Pour une petite installation (3 à 6 m³), cette fourchette est plus large (100.000 à 270.000 F TTC) selon l'importance des travaux de génie civil.

Le coût des travaux connexes ne devrait pas excéder 30% du coût total de l'installation sous réserve de la proximité des réseaux d'eau potable et d'électricité.

4 - 2 Seuil de rentabilité économique d'une installation

La réduction des dosages liée à l'utilisation de la bouillie de sel génère des économies. Toutefois, celles-ci sont difficilement dissociables des gains procurés par les améliorations technologiques des nouveaux matériels (régulation électronique, facilité de réglage...) achetés pour utiliser la bouillie de sel (se reporter au chapitre IV). De plus, les gains provoqués sur l'amélioration des niveaux de service sont difficilement quantifiables.

Il est donc malaisé d'évoquer la rentabilité économique de la bouillie de sel et donc de calculer celle d'une installation de fabrication de saumure.

Cependant, les utilisateurs sont unanimes à reconnaître une réduction d'au moins 30% des consommations de sel après adoption de la bouillie de sel.

Sur cette base, bien qu'empirique, on peut tenter d'appréhender le seuil de rentabilité d'une installation par le calcul de son temps de retour. La méthode simplifiée, illustrée par l'exemple qui suit, constitue une bonne approche à cet égard.

Exemple :

L'installation de fabrication de saumure coûte 300.000 F (tous aménagements compris).

Cette station alimentera 6 saleuses dont le surcoût d'équipement unitaire est de 40.000 F, soit 240.000 F pour l'ensemble.

Le coût total de l'opération est donc de 540.000 F. On attend 30% d'économie de sel (coût : 400F/T). Le tonnage actuellement répandu par les 6 saleuses pour un hiver moyen est de 700 T .

L'économie attendue est donc de $700 \times 0,3 = 210$ T par an soit 84 000 F/an.

Le temps de retour de l'opération est donc de $540.000 \text{ F} / 84.000 \text{ F} \# 6 \text{ ans } 1/2$ (pour être plus précis, il conviendrait de prendre en compte les coûts prévisionnels de maintenance de l'installation).

En première analyse, on écartera les opérations dont le temps de retour est trop long (supérieur à 15 ans, par exemple). On pourra alors s'interroger sur l'opportunité de transporter de la saumure sur le lieu d'utilisation ou de la fabriquer sur place (voir paragraphe suivant). Si les deux analyses sont négatives, il vaudra mieux abandonner le projet d'adoption de la bouillie de sel

ATTENTION :

Ce raisonnement peut être tenu pour les cas courants. Par contre, pour les hauts niveaux de service, les améliorations d'efficacité des traitements (non quantifiables comme dit plus haut) justifieront, à elles seules, l'introduction de la bouillie de sel.

En pratique, selon le coût initial d'investissement et les quantités de sel répandues, on retiendra qu'une centrale de fabrication se justifie dès lors qu'elle alimente deux à quatre saleuses. En tout état de cause, il paraît inutile d'équiper un centre d'exploitation qui ne disposerait que d'une saleuse unique.

4 - 3 Choix entre construction d'une centrale de fabrication ou transport de saumure

D'une façon générale, le transport de saumure est à déconseiller (voir chapitre II page 15) au profit de la construction d'une centrale de fabrication sur le lieu d'utilisation.

Il est même à proscrire si la D.D.E. ne dispose d'aucune installation de fabrication et reste donc dépendante d'un fournisseur extérieur.

Pourtant, le transport de saumure peut être envisagé lorsque par exemple :

- le niveau d'investissement consenti à la D.D.E. est insuffisant pour multiplier le nombre de centrales de fabrication afin de couvrir les besoins des subdivisions.
- le parc dispose déjà d'un matériel susceptible d'assurer le transport de saumure (camion citerne par exemple),
- une centrale de fabrication n'est pas très éloignée du centre pour lequel on se pose la question,
- etc...

Dans ce cas, pour fixer les ordres de grandeur, on pourra utiliser la méthode suivante :

- on effectuera le calcul du paragraphe précédent pour évaluer le temps de retour d'une installation,
- on calculera la date au-delà de laquelle le coût cumulé du stockage et de l'ensemble des transports successifs dépasse les gains attendus par la bouillie de sel.

Exemples :

1. Le coût d'équipement d'un centre (centrale + surcoût saleuses) est de 175.000 F. Le gain annuel attendu par la bouillie de sel est estimé à 7.200 F.

Le temps de retour ($175.000 / 7.200$) avoisine 24 ans. L'investissement n'est pas jugé raisonnable.

2. Les besoins annuels en saumure du centre sont estimés à 18 m^3 que l'on pourra approvisionner en deux fois.

Le coût d'une cuve de stockage et de l'équipement des saleuses est évalué à 100.000 F. Chaque approvisionnement en saumure coûtera 500 F soit 1.000 F par an.

Le gain annuel attendu par la bouillie de sel est toujours de 7.200 F.

Au bout de N années, les coûts cumulés seront de : $100.000 + N \times 1.000$, les gains de $N \times 7.200$

Les coûts cumulés dépasseront les gains au bout de 16 ans. L'opération est envisageable.

En pratique, on écartera les opérations dont la durée N ci-dessus est trop faible (inférieure à 10 ans, par exemple).

Si la solution du transport de saumure est adoptée, le stock du centre sera réapprovisionné en période creuse de fabrication de l'installation centrale.

Une alternative intéressante au transport de saumure consiste à doter le centre de saleuses équipées d'une mini-cuve de dissolution, lesquelles sont aujourd'hui commercialisées par certains constructeurs (voir chapitre III page 57). Même si les délais de dissolution ou la saturation de la saumure ne sont pas parfaitement maîtrisés, cette solution permet d'introduire la bouillie de sel dans un centre, à moindre frais, lors du renouvellement des matériels.

Page laissée blanche intentionnellement

5 - ELEMENTS DE PROSPECTIVE

Parmi les évolutions marquantes, citons trois axes de développement du matériel de fabrication de saumure sans qu'il soit aujourd'hui possible d'en tirer des conclusions définitives.

Réduction de la taille des centrales de fabrication

Des «mini-centrales» sont proposées par certains fabricants.

Elles ont l'avantage de permettre l'introduction de la bouillie de sel dans une petite unité d'exploitation pour un coût modéré. De plus, elles prennent peu de place et, le cas échéant, peuvent être déplacées.

Fabrication de saumure dans les saleuses

Certains constructeurs proposent des saleuses permettant la dissolution du sel.

Principe : le sel est introduit dans une poche en tissu polyester perméable elle-même située dans une cuve en polyéthylène. L'eau dissout le sel contenu dans la poche et la saumure filtre dans la cuve au travers des parois en tissu.

L'avantage indéniable d'un tel procédé est d'éviter la construction d'une installation fixe de fabrication de saumure. Par contre, il faut veiller particulièrement à la concentration du chlorure de sodium dans la saumure en laissant notamment un temps suffisant pour la dissolution. Le chlorure de calcium donne de meilleurs résultats à cet égard.

Installations amovibles utilisables en été

La cuve de stockage entièrement fermée et indépendante de la cuve de fabrication est amovible. Montée sur un porteur, elle est alors utilisée en dehors de la période hivernale (désherbage chimique, lavage de la signalisation,...). Le coût de l'installation est ainsi amorti plus facilement.

Page laissée blanche intentionnellement



CHAPITRE IV

Épandage de la bouillie de sel

Sommaire

1 - Description générale des matériels d'épandage

2 - Stockage de la saumure dans la saleuse

- 2 - 1 Cuve(s) à saumure
- 2 - 2 Poids et volumes embarqués
- 2 - 3 Chargement en saumure

3 - Extraction de la saumure

- 3 - 1 Pompe d'extraction
- 3 - 2 Mouillage du sel en grains
- 3 - 3 Brassage
- 3 - 4 Réglage de l'épandage

4 - Prix des équipements

Page laissée blanche intentionnellement

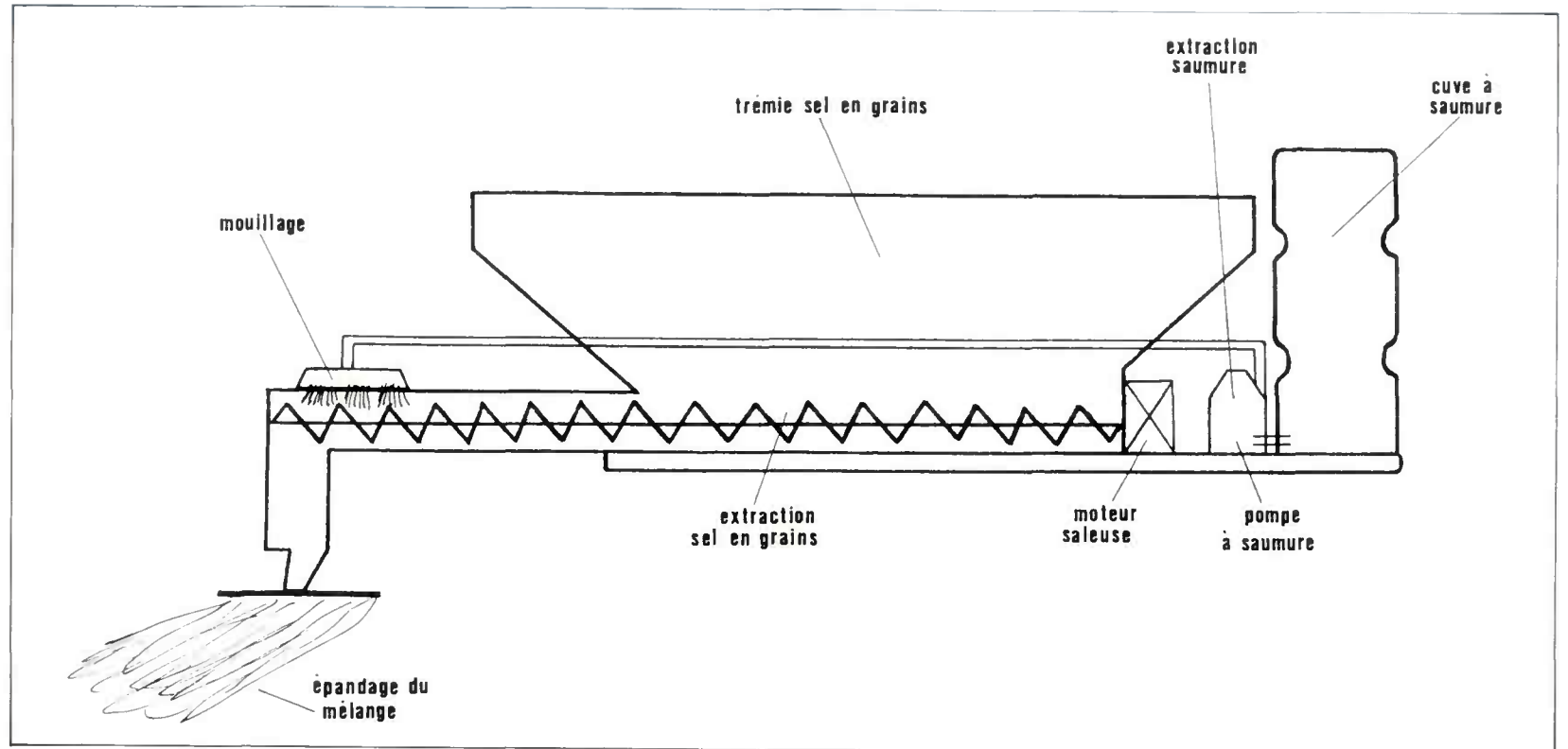
1 - DESCRIPTION GENERALE DES MATERIELS D'EPANDAGE

Les saleuses permettant l'épandage de la bouillie de sel, sont en fait très semblables aux saleuses classiques à produit solide.

Elles disposent d'un double système de stockage et d'extraction pour l'épandage simultané du sel en grains et de la saumure.

Une saleuse à bouillie de sel est toujours composée d'éléments assurant chacun une fonction précise.

FONCTION ASSUREE	PRODUIT	
	SEL EN GRAINS	SAUMURE
STOCKAGE	Trémie classique	2 cuves latérales ou 1 cuve située en général à l'avant de la trémie
EXTRACTION	Tapis ou vis ou racleurs à chaînes + goulotte	Pompe à piston ou centrifuge Circuit de circulation vers l'avant
EPANDAGE	Disque	Disque (exceptionnellement rampe d'épandage)



Modification des saleuses traditionnelles

Certains constructeurs proposent des kits d'adaptation pour les saleuses existantes (cuves à saumure à loger dans les flancs ou directement dans la trémie, ce qui réduit la masse de sel en grains emporté) qui permettent d'introduire cette technique sans gros investissement au départ.

Il est évident que cette solution doit être réservée aux saleuses modernes et en bon état, de façon à amortir cet investissement supplémentaire sur un nombre d'années suffisant.

NOTA : Souvent, l'introduction de la bouillie de sel dans un service apporte des changements de pratiques assez importants :

- découvertes de nouvelles possibilités techniques,
- apport de matériels modernes introduisant souvent la régulation électronique ou la possibilité de réglages fins,
- pour garantir le succès de l'opération, le personnel doit être associé au projet le plus tôt possible et formé en conséquence.

2 - STOCKAGE DE LA SAUMURE DANS LA SALEUSE

2 - 1 Cuve(s) à saumure

Selon le type de matériel, le stockage de la saumure sur une saleuse à bouillie est assuré par :

- 2 réservoirs latéraux (exceptionnellement un seul) en inox ou en polyéthylène,
- 1 réservoir situé à l'avant de la trémie en polyéthylène,

Ces réservoirs sont cloisonnés, voire dédoublés pour éviter le roulis de la saumure en cours de route.

Les volumes compartimentés ne devraient pas excéder 500 à 600 litres.

2 - 2 Poids et volumes embarqués

Les fournisseurs proposent un large éventail de saleuses à bouillie de sel présentant des poids et des volumes pouvant répondre à tous les cas de figures :

- de la plus petite : 1,5 m³ de sel et 0,6 m³ de saumure,
- à la plus grosse : 8 m³ de sel et 4 m³ de saumure.

Selon les matériels et les fournisseurs, le rapport $\frac{\text{volume de saumure}}{\text{volume de sel}}$

varie selon de 0,23 à 0,50 sans que de réelles nécessités technologiques aient véritablement guidé ces choix.

Un seul fournisseur propose une gamme au rapport constant de 0,50.

Ce même fournisseur propose aujourd'hui une saleuse mixte dont le rapport est égal à 1. Grâce à une rampe d'épandage amovible, elle peut se transformer en épandeuse liquide très simplement.

Le choix de la quantité de saumure à emporter dépendra :

- du taux maximal de mouillage du sel en grains que l'on souhaite réaliser (ce taux ne devrait guère dépasser 30%),
- des possibilités de réapprovisionnement en saumure en cours de traitement, si nécessaire.

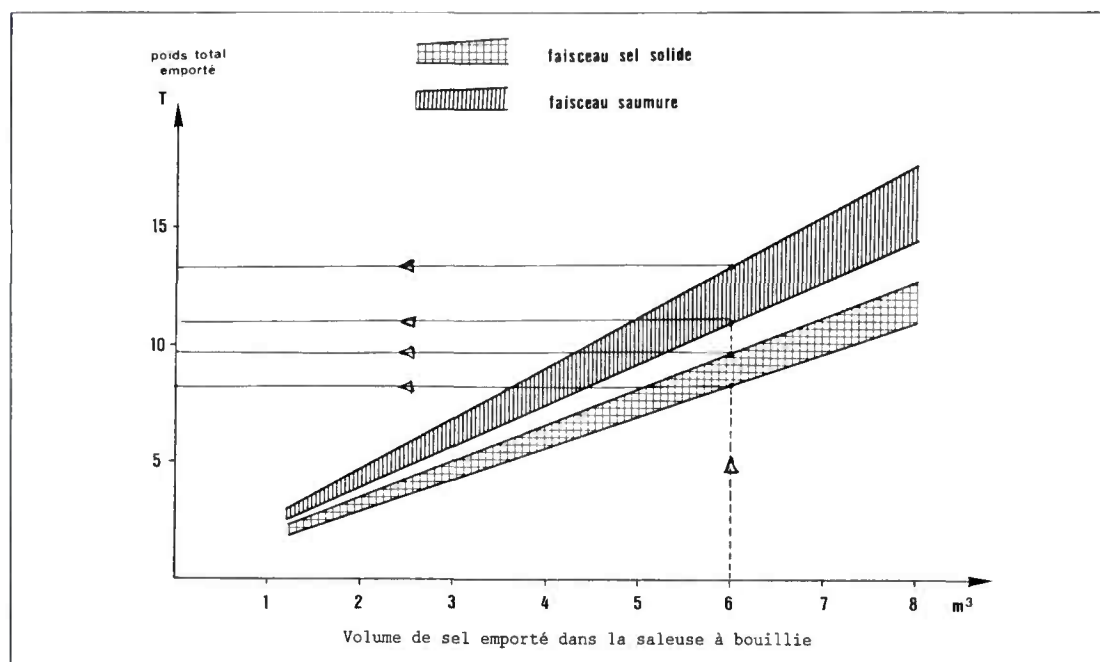
Dans tous les cas, le poids en charge de la saleuse (ajouté à celui de la lame de déneigement) ne devra jamais excéder la charge utile du véhicule porteur.

A charge utile constante (cas le plus fréquent où il n'est pas envisagé de changer de porteur), l'équipement du matériel en bouillie de sel tend donc à réduire la masse de sel en grains emportée.

Le graphique (A) donne les fourchettes d'augmentation de poids due à l'équipement en bouillie de sel.

Ainsi, une saleuse chargée de 6 m³ de sel en grains, pèsera en charge :

- entre 8 et 9,5 t sans équipement bouillie de sel,
- entre 11 et 13 t avec équipement bouillie de sel et réservoirs de saumure pleins.



Graphique (A)

A titre indicatif, retenons que :

- le poids à vide de la saleuse sans bouillie de sel varie de 200 kg/m³ de sel pour les plus grosses, à 300 kg/m³ de sel pour les plus petites,
- le poids à vide des éléments de stockage et d'extraction de la saumure se situe en-dessous de 100 kg/m³ de saumure pour les plus grosses, et de 200 kg/m³ de saumure pour les plus petites.

On pourrait s'inquiéter de cette augmentation sensible de poids emporté, mais l'adoption de la technique de la bouillie de sel réduit de fait la consommation (régulation souvent meilleure que les saleuses traditionnelles - efficacité à plus faible dosage) et donc le volume utile de la trémie.

Exemple (voir graphique B) :

- Sans bouillie de sel :

Une saleuse de 4 m³ traite 35 km de chaussée de 7 m de large au dosage de 20 g/m² de sel en grains.

(surface 35.000 × 7 = 245.000 m²
poids épandu 245.000 × 0,020 = 4.900 kg
densité du sel 1,25 : 4 m³ = > 5.000 kg).

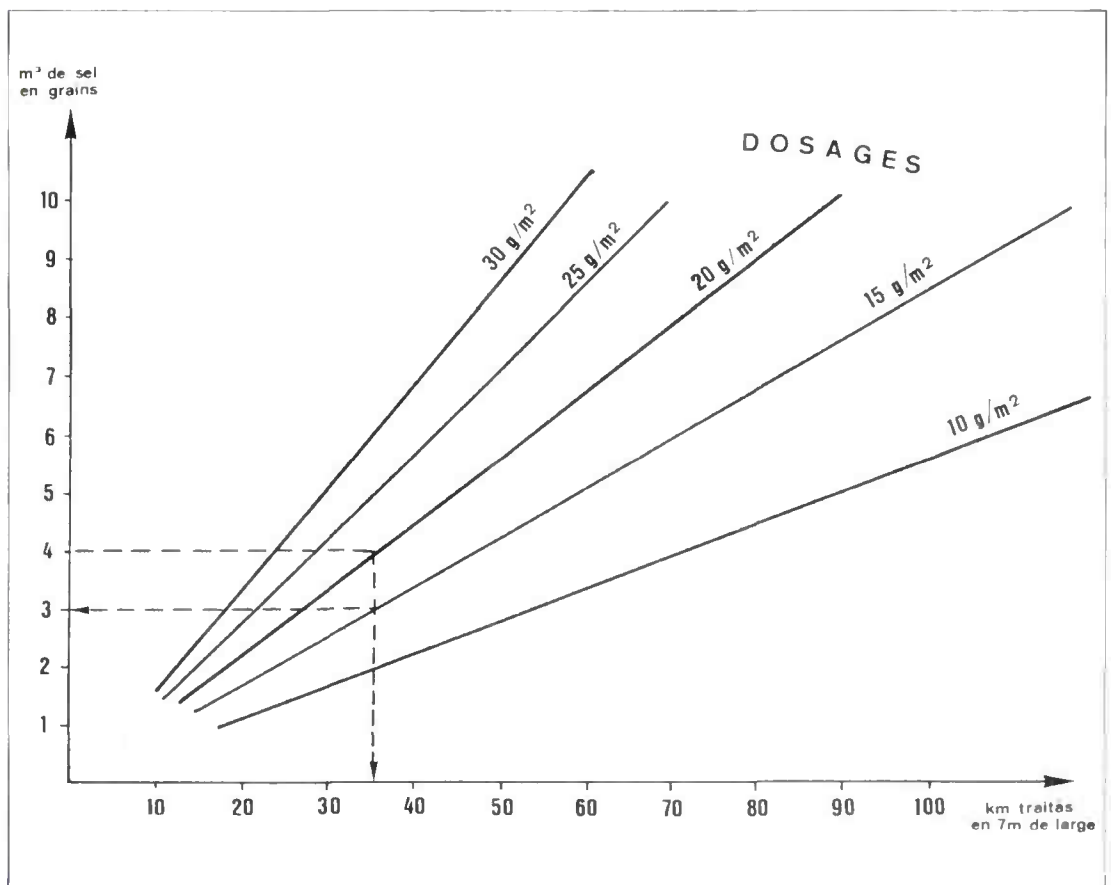
- Avec bouillie de sel :

La même section (35 km de chaussée de 7 m de large) peut être traitée au dosage de 15 g de sel en grains/m² additionnés de 20% de saumure (cf. chapitre V paragraphe 1.2).

La capacité nécessaire en sel est donc de 3 m³ et en saumure de 0,6 m³.

La lecture du graphique (A) montre que le véhicule peut supporter le poids de la nouvelle saleuse comme celui de l'ancienne.

Pour faciliter les calculs, le graphique (B) donne la longueur de chaussée de 7 m traitée en fonction du volume de sel en grains emporté et du dosage appliqué.



Graphique (B)

2 - 3 Chargement en saumure

Le chargement en saumure s'effectue en général par un raccord symétrique (type pompier) ou directement par un entonnoir.

Le débit des pompes de la saieuse ne permet pas un rechargement suffisamment rapide de saumure compte tenu des délais impartis en traitement curatif.

Le chargement sera donc effectué à l'aide de la pompe de la centrale de fabrication de saumure.

3 - EXTRACTION DE LA SAUMURE

3 - 1 Pompe d'extraction

L'extraction de la saumure des réservoirs est assurée par une pompe volumétrique ou à piston. L'avantage des premières est la suppression des mouvements mécaniques. Le moteur hydraulique permet une régulation précise du débit de la pompe.

La pompe doit permettre le passage d'éventuelles particules solides ($\varnothing = 2$ à 3 mm) en suspension dans la saumure.

L'extraction de la saumure par simple gravité (préconisée par certains constructeurs) est à proscrire. Le débit en saumure, fonction de la hauteur de remplissage des réservoirs, est alors variable et ne permet pas de maîtriser les dosages réellement appliqués.

3 - 2 Mouillage du sel en grains

Selon les matériels, la position du mouillage des grains du sel par la saumure se situe à la sortie du système d'extraction du sel (bout du tunnel de la vis ou après la trappe pour le tapis) ou sur le disque d'épandage directement.

En fait, il est difficile de dire si un système de mouillage est meilleur que l'autre. En effet, le temps de contact entre saumure et sel n'a qu'une importance relative dans la mesure où l'humidification du sel est très rapide à condition que la pulvérisation soit suffisante.

Dans le cas contraire, les gouttes de saumure se comportent d'une manière indépendante et similaire à celle des grains du sel, ce qui est préjudiciable au mouillage de ces derniers.

3 - 3 Brassage

Le brassage de la saumure est assuré par la circulation de la saumure dans le circuit d'alimentation de l'extraction sans arrosage. Il met en mouvement l'ensemble de la saumure des cuves pour permettre une homogénéisation finale, et surtout pour empêcher la recristallisation par un grand froid ($T_{\text{air}} < -10^{\circ}\text{C}$) pour les saumures saturées (cf. chapitre 1, paragraphe 1-1 page 9).

En pratique le brassage est assuré par la pompe à son débit maximal et arrosage fermé.

3 - 4 Réglages de l'épandage

Les réglages (dosage du sel en grains au mètre carré - largeur - asymétrie) sont identiques aux saleuses à sel en grains.

L'asservissement du débit de saumure au dosage de sel en grains, est réalisé soit hydrauliquement, soit électroniquement.

Il est indispensable à un bon résultat du travail effectué.

Pour des utilisations simples, le pourcentage de mouillage peut être fixe.

Sinon, le réglage du taux de mouillage peut être assuré :

- mécaniquement : nombre et calibre des buses du système de mouillage,
- électroniquement : par réglage sur la vanne retour du pourcentage de saumure recyclé dans le circuit d'alimentation,
- hydrauliquement : par modification des régimes d'alimentation des 2 moteurs montés en série via un diviseur hydraulique.

Il convient d'ajuster le principe à retenir en fonction de la souplesse d'utilisation recherchée.

En pratique, il ne paraît pas réaliste de multiplier le nombre de taux de mouillage, ce qui entraîne des difficultés d'interprétation et des risques d'erreur (cf. chapitre V - paragraphe 1.2).

4 - PRIX DES EQUIPEMENTS

Le surcoût d'un équipement bouillie de sel par rapport à une saleuse classique, s'approche de 50% pour une petite saleuse (+ 20 000 à 35 000 F) pour se limiter à 30-35% pour une grosse saleuse (+30 000 à 40 000 F).

En fait, l'écart de prix est extrêmement faible rapporté aux volumes transportés.



CHAPITRE V

Utilisation pratique de la bouillie de sel

Sommaire

1 - Choix des taux de mouillage

1 - 1 Définition du taux de mouillage

1 - 2 Choix des valeurs du taux de mouillage

1 - 2.1 Usage normal de la bouillie de sel

1 - 2.2 Usage simplifié de la bouillie de sel

1 - 3 Modulation le long d'un itinéraire hétérogène

2 - La formation du personnel

Page laissée blanche intentionnellement

La technique de la «Bouillie de sel» procure des avantages indéniables par rapport au sel en grains (cf. chapitre I paragraphe 2 page 12).

D'un point de vue pratique on peut évidemment simplifier l'utilisation de la bouillie de sel en systématisant le mouillage pour tous les traitements et en choisissant un taux de mouillage constant (cf. chapitre V paragraphe 1.2 ci-après).

Mais cette méthode simple ne correspond pas à l'optimisation des salages que l'on peut attendre de cette technique.

Le choix d'un dosage précis, la possibilité de mouiller ou non le sel, la modification du taux de mouillage, contribuent à rendre plus efficaces les traitements tout en diminuant leurs coûts.

Pour ne pas compliquer le travail du saleur, nous proposons une méthode simple.

1 - CHOIX DES TAUX DE MOUILLAGE

1 - 1 Définition du taux de mouillage

On appelle taux de mouillage le rapport :

$$\frac{\text{Quantité de saumure épandue}}{\text{Quantité de sel en grains répandue}}$$

Exemple : un épandage

de 20 g/m² de sel mouillé
par 4 cm³/m² de saumure soit
4,8 g/m² de saumure

correspond à un taux de $\frac{4,8}{20} = 24\%$

1 - 2 Choix des valeurs du taux de mouillage

En pratique, il est inutile de multiplier le nombre de taux de mouillage; l'utilisation de deux valeurs distinctes s'avère suffisante.

Dans ce qui suit, nous appellerons :

- taux 1 : la valeur du taux de mouillage qui permet de vider deux trémies de sel pour un seul remplissage des bacs à saumure,
- taux 2 : la valeur du taux de mouillage qui permet de vider simultanément la trémie de sel et les bacs à saumure sur le même traitement.

La valeur du taux 2 est donc double de celle du taux 1.

La détermination de la valeur pratique des taux 1 et 2 dépend de la situation du matériel :

- déjà acquis : le rapport des volumes emportés en sel et en saumure est fixé (cf. chapitre IV paragraphe 2.1 page 64). Le taux 2 se rapprochera de ce rapport des volumes. Le taux 1 sera égal à la moitié du taux 2.
- à acquérir : on visera une valeur du taux 2 voisine de 30% et un taux 1 voisin de 15%.

Lorsque les deux valeurs (taux 1 et taux 2) sont utilisées, on notera des repères correspondants sur le boîtier de commande.

Pour un usage normal de la bouillie de sel, on utilisera les deux valeurs (taux 1 et taux 2) selon la nature du traitement envisagé.

Pour un usage simplifié, on pourra se limiter à une valeur unique (taux 1 ou taux 2) quel que soit le traitement.

A titre d'exemple :

1 - 2.1 Usage normal de la bouillie de sel

Deux valeurs du taux de mouillage (taux 1 et taux 2) et absence de mouillage (taux 0).

En traitement précuratif

Selon le phénomène annoncé, on visera un dosage de 10 ou 20 g/m² de sel avec un mouillage dont le taux sera fonction de l'état de la chaussée au moment du traitement :

- route ruisselante : traitement déconseillé sauf urgence absolue,
- route mouillée : taux 0
- route humide : taux 1
- route sèche ou quasi sèche : taux 2



En traitement curatif

L'apport de saumure accélère la dissolution du sel, voire dans les cas d'absence d'eau libre, permet le démarrage de la fusion. Le taux de mouillage est fonction de la rapidité potentielle de mise en solution du sel en grains.

On retiendra, pour les différents phénomènes, les taux suivants :

- givre : taux 1
- film de verglas : taux 1 avec de préférence du sel assez fin
- verglas épais : taux 2 en resalant rapidement si la température de l'air n'a pas remonté (risque de dilution et de reprise en masse).
- neige mouillée : taux 0 attention salage uniquement si le sol est froid
- neige humide : taux 1
- neige froide : taux 2 (attention salage uniquement si collage sur la chaussée et tendance au compactage).

Grammage associé

Les quantités d'eau mises en jeu sont très importantes en traitement curatif ; il convient donc de ne pas descendre trop bas en dosage, une valeur de 15 ou 20 g de sel en grains (+ la saumure) paraissant une base compatible avec les rotations de traitement sur le réseau ordinaire.

Un dosage plus faible ($\approx 10 \text{ g/m}^2$) pourra être appliqué sur le givre ou le verglas très fin.

1 - 2.2 Usage simplifié de la bouillie de sel

Une valeur unique du taux de mouillage (taux 1 ou taux 2).

A titre indicatif, la valeur de ce taux unique pourra être celle :

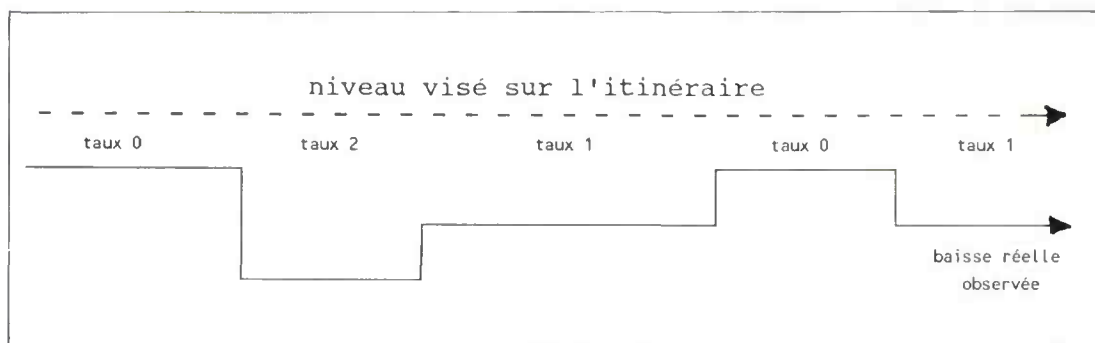
- du taux 2 :
 - sur les grands axes
 - dans les régions classées en zone H3 et H4 (cf. directive 1978 sur l'organisation et l'exécution du Service Hivernal),
- du taux 1 :
 - sur les axes secondaires : circuits plus longs = plus grande autonomie avec le taux 1, traitement plus tardif donc moins vigoureux,
 - dans les régions classées en zone H1 et H2 : la limitation volontaire de l'usage de la saumure au taux 1 ne nécessite qu'un investissement limité en matériel de fabrication et de stockage.

1 - 3 Modulation le long d'un itinéraire hétérogène

En service hivernal, le meilleur résultat doit rendre homogène l'état de la chaussée en évitant tout piège susceptible de surprendre l'utilisateur.

Le long de certains itinéraires, la variation des paramètres d'environnement micro-climatiques (altitude, exposition, humidité...) conduit à une manifestation différente des phénomènes.

Pour gommer ces différences, on peut être amené à moduler le taux de mouillage.



Exemples :

- route montant en altitude, chute de neige lourde en plaine, froide en montagne :

- en bas : taux 0.
- à mi-pente : taux 1.
- vers le haut : taux 2.

- route dont l'exposition varie :

- zone à l'ombre : taux 2
- zone bien exposée : taux 1 la nuit
taux 0 le jour

Il est évident que cette tactique de salage (qui peut d'ailleurs s'étendre aux dosages ou à la décision de saler ou non), suppose des personnels d'intervention bien formés, compétents et très motivés.

Si ne pèsent pas sur l'agent les risques d'une erreur d'intervention, cette approche du salage peut être extrêmement motivante.



2 - LA FORMATION DU PERSONNEL

L'arrivée de la technique bouillie de sel dans une unité d'exploitation rend indispensable une formation appropriée du personnel. Il s'agit d'abord de démystifier ce procédé : ce n'est pas dangereux (par référence à de vieux souvenirs sur la saumure de chlorure de calcium), c'est très efficace (contrairement à certains dires), cela ne remet pas en cause le travail à faire mais permet d'améliorer le service rendu à l'utilisateur.

L'apport de la formation se fera sur 3 niveaux :

- Connaissances théoriques :

Même simplifiées, il est nécessaire d'apporter quelques connaissances théoriques (fonctionnement du sel : rôle indispensable de l'eau, apport artificiel de la saumure voir dossier pédagogique "Saler moins, Saler mieux").

- Problèmes pratiques :

Utilisation pratique de la centrale (fabrication, chargement) et des saleuses (différence par rapport aux saleuses classiques).

On en profitera pour présenter une méthode de calibrage des saleuses. Quelques fiches pratiques pourront être élaborées en commun à cette occasion.

- Règles d'utilisation

Après une étude faite par les responsables du service hivernal et quelques agents très motivés, les règles d'utilisation (dosages, taux de mouillage) seront exposées avec leurs raisons.

Il faudra insister sur les réductions de dosage par rapport au salage classique que la technique permet de réaliser.

Page laissée blanche intentionnellement

ANNEXES

Sommaire

I - Liste des fournisseurs et fabricants

II - Renseignements pratiques

III - Bibliographie

Page laissée blanche intentionnellement

I - LISTE DES FOURNISSEURS ET FABRICANTS

1 Les fondants

- Compagnie des Salins du Midi et des salines de l'Est.
(C.S.M.E.)
51, rue d'Anjou
75008 PARIS
- Société Commerciale des Potasses et de l'Azote
(S.C.P.A.)
62, rue Jeanne d'Arc
75646 PARIS CEDEX 13
- SOLVAY et Cie
12, Cours Albert 1er
75383 PARIS CEDEX 08

2 Les fabricants de matériels et d'installations

- ACOMETIS
7, Place du 17 novembre
BP 7
68360 SOULTZ
- CHEVASSU SA
80, Rue des Champagnes
BP 37
73290 LA MOTTE-SERVOLEX
- D.I.C. SA
Rue Pasteur
St-André-le-Gaz
38490 LES ABRETS
- LEBON et Cie
2, Rue de Courmont
B.P. 3667
59022 LILLE CEDEX
- ROLBA
11 - 15, Boulevard Paul Langevin
BP 28
38601 FONTAINE CEDEX
- SCHMIDT France-Neige
109, Rue Louis-Neel
Z.I. du Levatel
BP 15
38140 RIVES-SUR-FURE

- SODIREL SA
Lot 17 - Z.I.
84100 ORANGE
- STOCKMANU
118, Avenue De Lattre de Tassigny
94121 FONTENAY-SOUS-BOIS

3 Les fabricants d'installations

- CARLIER PLASTIQUES
15, Chaussée Brunehaut
62470 CALONNE-RICOUART
- HERMEX
Zone industrielle
45270 BELLEGARDE
- PLASTIMARNE
Zone industrielle de Mardenil
51200 EPERNAY
- SOPIDIA
Usine de Laveyssière
BP 145
24130 LA FORCE



II - RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Préparation des saumures saturées à 26,43% de NaCl à 20°C

- **Caractéristiques du sel sec (sel de mer)**

Densité réelle : 2,12

Densité apparente : 1,13

Volume d'une tonne de sel : 0,472 m³

1 tonne de sel est dissoute par 2,78 tonnes d'eau

1 tonne de sel donne 3,17 m³ de saumure saturée.

- **Caractéristiques de la saumure**

Densité 1,2 à 20°C

1 m³ de saumure contient 317 kg de sel

1 m³ de saumure contient 883 kg d'eau

1 épandage de 12,5 cm³/m² donne environ 4 g de sel/m²

- **Caractéristiques de dissolution**

1 m³ d'eau douce dissout 359,25 kg de sel

1 m³ d'eau douce dissout 1,132 m³ de saumure.

III - BIBLIOGRAPHIE

- Note d'information SETRA (n° 2. série chaussées et terrassements) : Utilisation de la bouillie de sel en viabilité hivernale (1985)
- La fabrication de saumure de chlorure de sodium (CETE Nord-Picardie - 1982)



Cet ouvrage a été réalisé intégralement en P.A.O. sur micro-ordinateur

La composition et la mise en page des textes ont été exécutées avec le logiciel Page-Maker™.

Réalisation : Jean-Claude Neuts, Michel Rossigneux - SETRA Service Communication.

Page laissée blanche intentionnellement

Page laissée blanche intentionnellement

La technique de la bouillie de sel en viabilité hivernale est en net développement depuis quelques années.

Ce document est destiné à guider les choix lors de l'introduction de cette technique dans un service. Il traite successivement des principes du procédé, des caractéristiques et de la fabrication de la saumure, de l'épandage et de l'utilisation pratique de la bouillie de sel.