

République l'Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**



CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Génie de procédés

Spécialité : Génie de procédés

Option : **Génie de procédés**

Thème

Procède de production de sel à partir d'un
chott.

Réalisé par :

benmya omar
Meraghni Messaoud

Encadré par :

uanis abdelaliO

PROMOTION 2013

Remerciements

Arrivé au terme de ce travail, je veux remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont aidée dans la réalisation de ce projet.

En premier lieu, je remercie mon directeur de thèse, M. Ben mya pour son soutien inconditionnel qui a permis la réalisation de ce travail dans les meilleures conditions.

Je remercie Monsieur Saha mahdi, notre prof.

Mes remerciements vont également aux:

- Personnel de l'ENASEI d'El Meghaier
- Personnel de l'ITDAS d'El Arfiane- Djamaa ;
- Personnel de laboratoire d'analyses de l'ITAS ; Université de Ouargla.

Pour ses aides analytiques et documentaires utiles, pour leurs accueils et pour la mise à notre disposition de la bibliothèque et ses archives des travaux réalisés dans la région.

Je suis enfin reconnaissant envers tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu tout au long de ces études.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE D'EL-OUED



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES

DEPARTEMENT DE GENIE DE PROCEDE

Spécialité : génie de procédé

Mémoire

PROCEDE DE PRODUCTION DE SEL
A PARTIR D'UN CHOTT

PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE LICENCE

Présenté par :

- Ouanis abdelali
- Mreghni mesaoud

Encadré par :

- Mr. Ben mya ommar

Année universitaire

2012 /2013

INTRODUCTION:

Le sel est un condiment utilisé depuis longtemps pour ces propriétés et ses bienfaits pour la santé.

Le sel représente quasiment à lui seul une saveur : la saveur salée, qui est très appréciée par le consommateur.

Très tôt le sel a fait l'objet d'un commerce. Dès le néolithique, on savait non seulement obtenir du sel à partir de la mer, mais aussi à partir de gisements et des lacs (chottes, sebkhas).

Au Moyen-âge, le sel est devenu un produit de grande importance, puisqu'il permettrait par le salage, la conservation des aliments et en particulier du poisson.

A travers les âges, l'aspect universel de sa consommation en a fait une pompe à finance idéale pour les pouvoirs en place. Depuis les empereurs chinois jusqu'aux rois de France avec la fameuse gabelle, la fiscalité sur le sel a joué un rôle comparable, toutes proportions gardées, à celui aujourd'hui du pétrole.

Le sel était déjà une monnaie d'échange en Chine dès l'an mille, et le mot salaire a la même étymologie que le sel.

Le sel a de nombreux intérêts, il permet de conserver certains aliments, de donner une saveur particulière, de rehausser les couleurs, il entre aussi en jeu dans les systèmes de régulation du corps humains. C'est pourquoi, le sel est utilisé dans les industries agroalimentaires non pas comme additif mais plutôt comme auxiliaire technologique bien que ses particularités soient proches de celles des additifs.

Depuis que l'homme a reconnu l'intérêt et l'utilisation du sel, on a imaginé à chaque fois de la manière la plus efficace pour l'extraire, au début ça été un ramassage à la main pour des utilisations immédiates, puis avec la diversification de l'utilisation, on s'est rendu compte qu'il est nécessaire d'extraire de grandes quantités afin de les stocker, on a utilisé alors des moyens de raclage et de ramassage tel que les pelles en bois ou les lacs, ensuite on a utilisé des pelles métalliques.

La mécanisation de l'extraction n'a vu le jour qu'après la deuxième guerre mondiale, le premier récolteur mécanisé était une favouille.....

HISTORIQUE DU SEL IODE :

Les premières études épidémiologiques relatives au goitre endémique remontent au XIX^e siècle en Amérique et en Asie.

En France, dès 1820, Coindet mettait en évidence l'action préventive de l'iode en matière de goitre endémique. Toutefois, l'expérimentation la plus célèbre sur la prophylaxie du goitre par l'iode, fût faite en 1917 aux USA par Marine et Kendal.

En 1923, la Suisse a adopté l'iodation du sel de cuisine comme mesure de prévention de goitre. Cependant, l'idée d'enrichir le sel alimentaire par l'iode remontait à 1825 suite aux découvertes du physiologiste français Boussingault. Ce dernier remarqua que des habitants Colombiens

INTRODUCTION

utilisaient du sel extrait d'une mine abandonnée comme moyen thérapeutique et préventif du goitre.

L'analyse de ce sel lui a révélé la richesse de ce dernier en iode. Ainsi, il fût le premier à conseiller l'utilisation du sel enrichi en iode dans les régions d'endémie goitreuse.

Vers les années soixante, certains pays de l'Asie de Sud Est ont mis en œuvre des programmes de lutte contre les TDCI.

La stratégie régionale adoptée par L'OMS avait pour objectif principal de réduire la prévalence de goitre à 10% au moins d'ici l'an 2000.

En 1986, L'OMS et L'UNICEF en collaboration avec le gouvernement Australien ont créé un conseil international de lutte contre les troubles de carence en iode (ICCIDD) avec des représentants partout dans le monde.

En Afrique, il a fallu attendre les années 90 pour que la plupart des pays mettent en œuvre des programmes nationaux de lutte contre les TDCI.

I. Etude théorique :

I.1. Composition du sel

La molécule dite de sel est constituée de Na Cl (40 % de Na (sodium) et 60 % de Cl (chlore) due à sa structure cristalline). Selon la norme adoptée en 1985 par le Codex alimentaires, le sel de table doit être constitué de 97 % au minimum de Na Cl, le reste étant des molécules parasites récupérées lors de la récolte du sel dans les marais salants (principalement de l'iode et du fluor).

L'iode qui peut être rencontré dans le sel est un composé indispensable à la vie et en ingérant 4 g d'un sel dit iodé (qui contient 0,015 % d'iode), on consomme 0,6 mg/jour d'iode soit la dose recommandée.

De même le fluor est aussi essentiel à la vie et en consommant 4g de sel (qui contient 0,025 % en moyenne de fluor) on consomme 1 mg de fluor, soit la dose journalière recommandée.

Les cristaux de sel se présentent sous plusieurs formes :

- gros sel : pour un apport salé précis, croquant
- sel fin : pour un apport salé diffus, dilué
- fleur de sel : pour un apport raffiné, nuancé, délicat

Le sel fin pénètre les aliments en profondeur, tandis que le gros sel, parfois déliquescent, se répartit sur toute la surface de certaines préparations. Le gros sel est plutôt là pour donner la touche salée croquante à vos plats en fin de cuisson ou au moment de servir. Il est aussi nécessaire pour saler l'eau de cuisson des aliments. La fleur de sel donne une note délicate quand elle est consommée avec des radis ou un poisson au court bouillon.

Identification	
Nom IUPAC	chlorure de sodium
N° CAS	7647-14-5
N° EINECS	231-598-3
PubChem	5234
SMILES	[Na+].[Cl-]
InChI	Inch=1/ClH .Na/h1H;/q;+1/p-1/fCl.Na/h1h;/q-1;m [Click for Info]
Apparence	Poudre blanche ou cristaux cubiques transparents
Propriétés chimiques	
Formule brute	Na Cl
Masse molaire	58,443 ± 0,002 g·mol⁻¹ Cl 60,66 %, Na 39,34 %
Moment dipolaire	9,00117 D
Propriétés physiques	
T° fusion	801 °C
T° ébullition	1 465 °C
Solubilité	357 g·l ⁻¹ (eau, 0 °C), 357 g·l ⁻¹ (eau, 25 °C), 391,2 g·l ⁻¹ (eau, 100 °C), 0,65 g·kg ⁻¹ (éthanol , 25 °C), 71,5 g·kg ⁻¹ (éthylène glycol , 25 °C), 52,1 g·kg ⁻¹ (acide formique , 25 °C), 100 g·kg ⁻¹ (glycérol , 25 °C), 21,5 g·kg ⁻¹ (ammoniac liquide, -40 °C),

	14,0 g·kg ⁻¹ (méthanol , 25 °C), 18,6 g·kg ⁻¹ (monoéthanolamine, 25 °C), insol. dans l' acide chlorhydrique ^[3]
Masse volumique	2,17 g·cm ⁻³ (25 °C), 1,549 g·cm ⁻³ (liquide, 805 °C)
Viscosité dynamique	1,93 m Pa·s (solution aqueuse saturée)
Thermochimie	
S⁰_{gaz, 1 bar}	229,79 J/mol·K
S⁰_{liquide, 1 bar}	95,06 J/mol·K
S⁰_{solide}	72,11 J/mol·K
Δ_fH⁰_{gaz}	-181,42 kJ/mol
Δ_fH⁰_{liquide}	-385,92 kJ/mol
Δ_fH⁰_{solide}	-411,12 kJ/mol
Propriétés électroniques	
1 ^{re} énergie d'ionisation	8,92 ± 0,06 eV (gaz)
Cristallographie	
Système cristallin	Cubique
Réseau de Bravais	CF
symbole de Pearson	<i>cF8</i>
Classe cristalline ou groupe d'espace	<i>Fm3m</i> , (n°225) [- +] cubique Hermann-Mauguin : <i>F 4/m 3 2/m</i> Hermann-Mauguin court : <i>Fm3m</i> Schönflies : <i>O_h⁵</i>
Notation Schönflies	<i>O_h⁵</i>
Strukturbericht	B1
Paramètres de maille	<i>a</i> = 5,6402 Å
Propriétés optiques	
Indice de réfraction	<i>n</i> 1,5442
Précautions	
SIMDUT	
Inhalation	Peut causer des irritations
Peau	Peut causer des irritations
Yeux	Peut causer des irritations
Écotoxicologie	
DL₅₀	rats par ingestion 3,75 ± 0,43 g·kg ⁻¹

I.1.1. Cristal de sel :

Un cristal est un solide de matière homogène présentant une structure atomique ordonnée et définie, et une forme extérieure limitée par des surfaces lisses, planes, disposées symétriquement.

Figure 1 : Représentation symbolique d'un cristal de sel

La molécule Na-Cl de deux atomes n'existe pas telle quelle. Le sel étant un cristal, c'est une multitude d'atome de sodium et de chlore qui s'organisent pour former une structure stable.

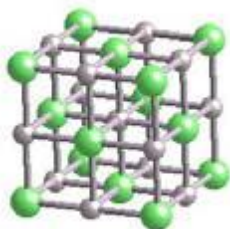


Figure 1(Représentation symbolique d'un cristal de sel)

I.2. Les besoins

Pendant très longtemps, le sel n'a guère eu d'autres applications que l'alimentation humaine et animale. Avec la sédentarisation, de nombreuses peuplades se sont mises à le rechercher pour donner du goût aux préparations les plus fades (bouillies, légumes) et pour conserver le poisson et la viande. En outre, il permettait de traiter les cuirs et peaux et d'embaumer les morts.

Une évolution se produisit au XIXe siècle avec la diversification des applications du sel et l'essor de la chimie minérale, on observe qu'entre la fin du XVIIIe et celle du XXe siècle, la consommation alimentaire de sel est passée de 140 à 400 kT alors que sa part dans les ventes totales tombait de 96 à 12 %. Actuellement les ventes de sel de qualité alimentaire représentent - importations comprises (80 kT) - près de 400 kT, dont 110-120 kT correspondant aux petits conditionnements destinés aux ménages.

I.3. L'utilisation

Le sel est utilisé dans différents domaines : en chimie, pour le déneigement, dans des industries diverses et enfin dans l'alimentation. Avec 32 % le domaine de la chimie est le plus gros consommateur de sel et en dernière position on trouve l'alimentation avec 14,5 % de sel utilisé.

Tableau 01: Ventes de sel cristallisé (en milliers de tonnes)

chimie	921
Industries. diverses	939
Déneigement	536
Alimentation	407
Total:	2803

Environ 15% du sel cristallisé vendu est utilisé dans l'alimentaire, il a des effets technologiques intéressants ce qui lui vaut d'être utilisé dans une large gamme de produits de consommation courante.

I.4 L'utilisation du sel en tant qu'additif dans les industries alimentaires

I.4.1. Effet du sel dans les aliments

Le sel destiné à l'alimentation humaine répond aux préoccupations d'alimentation de conservation et de prévention :

- alimentation : le sel est un aliment qui donne du goût aux aliments.
- conservation : le sel est un aliment qui permet de conserver de nombreux aliments.
- prévention : le sel est un aliment choisi par les pouvoirs publics pour être le vecteur des apports minéraux en iode et en fluor.

a. Diminution de l'activité en eau

Le sel est un composé hygroscopique ce qui exprime sa capacité à capter des molécules d'eau. Ainsi quand on rajoute du sel dans un aliment, celui a tendance à capter les molécules d'eau présentes et diminuer ainsi très fortement la disponibilité en eau de l'aliment donc son A_w . (L' A_w représente la capacité de l'aliment à retenir l'eau dans sa structure et à la maintenir pendant l'application des forces extérieures.)

Ce phénomène est intéressant pour les industriels car l'ajout de sel permet d'augmenter artificiellement la masse des produits en augmentant la rétention d'eau et donc de vendre ces produits à un prix plus élevé. De plus, le sel donne soif et permet dans l'industrie des boissons d'augmenter les ventes en jouant sur ce phénomène.

Cet effet hygroscopique permet aussi d'avoir un effet bactériostatique pour les aliments.

La plupart des bactéries ont besoin d'une certaine quantité d'eau disponible pour pouvoir se développer correctement, il leur est donc plus difficile voire impossible de croître sur un aliment présentant une A_w faible. Les industriels utilisent donc le sel pour diminuer artificiellement l' A_w des aliments afin d'augmenter leur conservation. Ce principe de conservation est d'ailleurs le premier à avoir été découvert et utilisé, c'est la salaison ou le saumurage. Cette méthode de conservation est toujours utilisée et principalement pour les charcuteries.

Il est important de noter que certaines bactéries sont résistantes à des concentrations en sel élevées.

A forte concentration, le sodium, qui constitue le sel, peut aussi avoir un effet bactériolytique.

b. Rehausseur des couleurs

En favorisant la dénaturation des protéines, le sel permet d'obtenir une coloration particulière. Par exemple, l'ajout de sel dans les pains permet de former la croûte à la couleur si caractéristique. De même l'ajout de sel sur les viandes cuites au four permet de former en surface une couleur de rôtie toute à fait appréciée. Le sel favorise aussi les réactions de Maillard et donne ainsi de la couleur aux aliments cuits.

c. Exhausteur de goût

Le Chlorure de sodium est la molécule de référence pour la saveur salée.

Le sodium (Na^+) assure la transmission de l'influx nerveux notamment en ce qui concerne l'intégration par le cerveau des informations sensibles et sensorielles dont celles du goût. Il conditionne donc notre perception des saveurs ce qui le fait souvent considérer comme un "exhausteur" de goût. Il agit comme un neurotransmetteur des saveurs et aiguise le plaisir que nous prenons à manger.

Le sel est un aliment qui rend agréable une nourriture qui, sans lui, ne serait que nécessaire.

Il permet aussi de rehausser d'autre saveur, c'est par exemple le cas pour les gâteaux, on rajoute une pointe de sel pour rehausser la saveur sucrée des gâteaux, c'est aussi pour cela que le mélange sucré salé dans les plats est apprécié.

I.5 Effet du sel sur la santé.

I.5.1. Effets Bénéfiques

Le sel joue un rôle essentiel dans l'organisme humain en maintenant l'équilibre hydrominéral. Il intervient dans la régulation de la pression et du volume sanguin. Toute carence est nuisible à la santé. L'insuffisance de sel est en effet à l'origine de troubles allant du malaise léger à la prostration, qui peut être fatale à l'organisme si la déficience n'est pas corrigée dans un délai très bref.

a. Le chlore et le sodium

Les ions chlore et sodium entretiennent l'homéostasie de notre organisme

-Le sel par son ion chlore facilite la digestion en maintenant l'acidité de l'estomac. Cette acidité a pour rôle d'activer une prodiatase en diatase (enzyme qui se développe pendant le processus de germination) soit d'accélérer la transformation du pepsinogène en pepsine ce qui contribue à une amélioration de la digestion des aliments.

-Le sel par son ion sodium permet la transmission de l'influx nerveux. Une impulsion électrique est créée par les changements de polarisation à la surface des nerfs, induits par les échanges entre ions sodium et potassium au travers des membranes. Donc le sel joue un rôle capital à la fois au niveau du cerveau et du cœur car il y a transmission des ordres et réception des informations au travers des neurones.

b. L'iode et le fluor

L'iode et le fluor sont des éléments essentiels à la vie.

L'iode est présent dans le corps humain en très faible quantité (15 à 20 mg), c'est un oligo-élément essentiel car il aide au bon fonctionnement de la glande thyroïde et au développement intellectuel. L'iode apporté par les aliments est nécessaire à la synthèse des hormones thyroïdiennes impliquées dans le contrôle de la croissance. Le sel dit "iodé" contient 0,015% d'iode.

Mis à part dans le sel de table, il est principalement présent dans les poissons, les fruits de mer, l'huile de foie de morue, les œufs, les viandes, les épinards et le cresson.

Les troubles dus à une carence en iode sont un problème de santé publique important dans 130 pays, touchant au total 740 millions de personnes. Ils provoquent des lésions cérébrales, le crétinisme, des fausses couches et une réduction de la fertilité. Ils constituent la cause d'arriération mentale la plus importante et la plus facile à prévenir au monde.

Remarque : Dans certains pays (en Afrique notamment) éloignés de la mer, on utilise un sel fortement iodé pour combler la carence en iode des aliments.

Le fluor est un élément de base vital pour l'organisme qui se trouve surtout dans le squelette. Il est l'élément principal dans la prévention des caries dentaires et d'autres lésions.

Absorbé dans de bonnes proportions, il bloque l'évolution de la plaque dentaire. Sous forme de sel de sodium ou de calcium, le fluor se combine à l'émail et le rend plus dur et plus résistant.

L'élément chimique fluor n'existe pratiquement que sous forme de sels dans la nature, on parle de fluorures. On trouve le fluor dans certaines eaux minérales (Vichy) et dans le thé, dans les dentifrices, les bains de bouche et bien sûr dans le sel de table (le sel iodé et fluoré contient en moyenne 0,025% de fluorures).

Une consommation insuffisante de fluor favorise principalement le développement de la plaque dentaire et donc la formation de caries. En effet, l'émail est plus solide, donc plus résistant aux attaques, lorsqu'il est combiné à du fluor. Sans cet élément, l'émail est moins résistant, les caries se forment plus facilement, et les lésions naissantes ne sont pas réparées.

Remarques : dans certaines régions où le fluor est abondant dans les eaux naturelles, il est inutile voire déconseillé de consommer un sel fluoré.

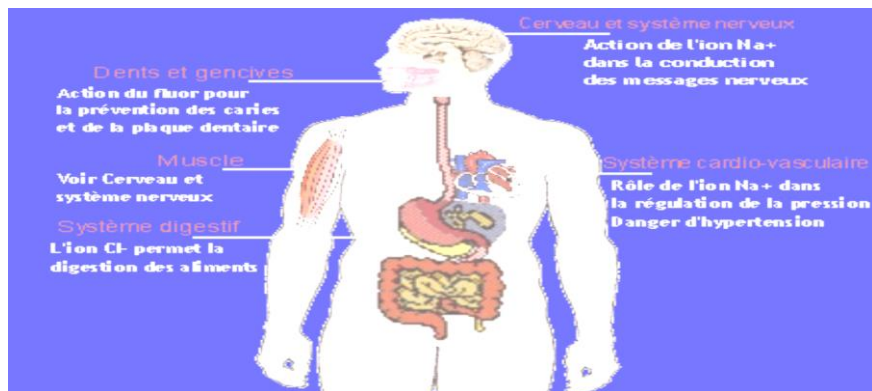


Figure 2 : Schéma récapitulatif de l'action du sel sur l'organisme.

Il est important de veiller à l'équilibre électrolytique et de compenser la sudation pour que les pertes s'équilibrent avec les apports.

I.5.2. Effets néfastes

L'excès de sel est fortement suspecté dans l'apparition et l'aggravation de certaines maladies. Durant cette même période, l'industrie agroalimentaire a fortifié sa place et son importance : en 20 ans les produits alimentaires bruts ont cédé du terrain et la consommation de produits transformés a augmenté.

Bien que le sel constitue un élément essentiel de l'équilibre physiologique de l'organisme humain une trop forte absorption peut provoquer des dangers talque l'hypertension.

I.5.3. Rôle du sel sur l'hypertension

L'hypertension est une augmentation de la tension artérielle, elle correspond à une pression trop élevée du sang dans les artères.

D'un côté certains affirment que l'excès de sel est la cause principale de l'hypertension.

D'autres nuancent ces affirmations en expliquant qu'il existe une susceptibilité individuelle au sel. En effet l'action défavorable du sel semble plus marquée chez certains sujets, notamment les personnes âgées, les hypertendus, les diabétiques, les obèses. D'autres facteurs sont impliqués dans l'hypertension, l'âge, le tabac, l'obésité, l'alcool, la sédentarité et l'hérédité ; il est ainsi généralement admis que 30 % de la différence de tension artérielle entre les individus est liée à l'hérédité et 50 % liée à des facteurs environnementaux. Chez certains hypertendus, le régime de réduction de sel n'a aucune influence, cependant chez d'autres il est associé à une baisse de la pression systolique.

:

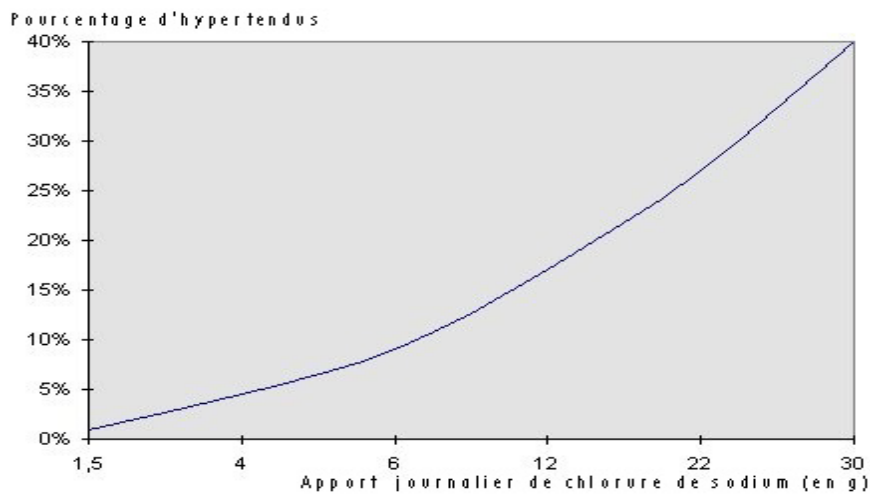


Figure 3 : pourcentage d'hypertendus en fonction de l'apport journalier en chlorure de sodium

Ce tableau montre que plus l'apport journalier en chlorure de sodium est important, plus le risque d'être hypertendu augmente.

I.5.4. Rôle du sel dans les problèmes cardiaques.

Indépendamment de l'hypertension, il semblerait également que l'excès de sel soit corrélé à une hypertrophie du ventricule gauche, un facteur de risque important dans le déclenchement de maladies cardio-vasculaires. Ce qu'on peut affirmer c'est que plus on cumule les facteurs de risques, plus l'excès de sel s'avère dangereux.

I.5.5. Rôle du sel dans l'ostéoporose

Maladie de l'âge, l'ostéoporose est de plus en plus fréquente, elle traduit une déminéralisation des os ce qui entraîne le plus fréquemment des fractures. L'ostéoporose qui touche 1/4 des personnes âgées est devenue un problème de santé publique.

L'os se construit grâce au calcium disponible, or tout le calcium ingéré n'est pas assimilé. Une partie du calcium part dans les urines et le sel augmente cette excrétion. Plus l'alimentation est salée, plus les fuites de calcium sont importantes.

Tout le calcium assimilé pendant l'adolescence et jusqu'à 20-25 ans participe à la formation du capital osseux, ensuite il n'est plus possible d'augmenter la densité osseuse, on ne peut que l'entretenir. Il convient d'être particulièrement vigilant aux apports de sel des enfants et des adolescents, d'autant que, 60 % des adolescents ont des consommations en calcium inférieures au 2/3 des apports recommandés.

I.5.6 Rôle du sel dans l'hyperthyroïdie

La thyroïde est une glande endocrine qui produit des hormones qui règlent le rythme auquel sont utilisés les lipides, les protéines par l'organisme. Un hyperfonctionnement accélère tout le métabolisme parfois de 60 à 100%.

Un excès d'iode entraîne une hyperthyroïdie. Celle-ci enclenche de nombreux symptômes, parmi lesquels une tachycardie, une diarrhée, un amaigrissement contrastant avec une augmentation de l'appétit, une fatigue, une nervosité extrême, un tremblement, une exagération des réflexes, une thermo phobie (crainte de la chaleur, sensation d'avoir toujours chaud), une rougeur, une moiteur et une augmentation de la chaleur cutanée au niveau des mains.

D'un côté le sel l'utilisation du sel est bénéfique et nécessaire à l'organisme.....

.6. Les lacs salés

C'est uniquement sous climat sec et chaud que se forment les lacs sales. Ils portent des noms divers : mers (morte, caspienne, Aral), Sebkhas, Chotts, Soltpans, Levirs. L'eau amenée par les cours d'eau ou les sources s'évaporent à la surface du lac. Il se fait une auto régulation, la surface du lac se réduit jusqu'à ce que le rapport évaporation/alimentation soit égal à 1, Les eaux qui arrivent au lac sont généralement douces sous climat semi désertique, elles titrent en moyenne 0,5 à 1g de sel par litre ou plus. Ces sels vont graduellement se concentrer et commenceront à précipiter quand l'eau devient sursaturée en sels minéraux. L'ordre de précipitation étant règle par la solubilité des divers constituants, les dépôts successifs qui vont se faire rappelleront les évaporites marines. Ce seront les carbonates, puis les sulfates qui se déposeront les premiers, puis le chlorure de sodium

I.7. Les Chotts et Sebkha

En pays désertique ou subdésertique, les chotts sont des terres salées ou parfois pâturage qui entoure une dépression fermée à lac éphémère (Sebkha), où les Sebkha, sont des dépressions permanentes ou presque temporairement occupées par un lac, en général salés, et où se déposent des évaporites. Les eaux proviennent du ruissellement, mais aussi des nappes souterraines

I.7.1. Le processus de formation des chotts et sebkhas:

Au bas Sahara, les eaux des nappes phréatiques sont toujours très salées avec plus de 4 à 5g/l de résidu sec et bien souvent trois fois plus. Elles sont inutilisables pour l'irrigation.

L'hydromorphie entraînant l'évaporation, la salinité ne fait qu'augmenter et on entre dans un processus de désertification par le sel, dû, non au manque d'eau mais à son excès.

L'étape finale du processus est une sebkha dont les sédiments sont complètement stériles, noyés par quelques dizaines de centimètres d'eau en hiver et recouverts en été d'une couche blanche de sels cristallisés. Pendant la saison sèche ces zones sont soumises à l'érosion éolienne qui accentue la topographie en cuvette.

Notre zone d'étude renferme un chott, le chott de Merouane qui est un écosystème aquatique au Sahara septentrional algérien, classés sur la liste de la convention de Ramsar des zones humides, d'importance internationale, remplissant plusieurs fonctions.

Descriptif :

Le Chott Melghir (Merouane), situé en zone aride steppique, est représentatif de la région méditerranéenne, notamment en raison de la diversification des habitats qu'il renferme: chott et sebkha. On y rencontre des halipèdes, des zones steppiques toujours vertes aux alentours du chott et, au centre, des sebkhas saturées en sel, complètement dépourvues de végétation. A ces formations végétales s'ajoutent les formations des zones humides où se rencontre une végétation purement aquatique lacustre et paludicole.

Localisation générale :

Le Chott est situé au Sud-est de la ville de Biskra. Il est limité au Nord par la Daïra de Zeribet El Oued et Sidi Okba, à l'Est par les Wilaya d'El Oued et de Khenchela et à l'Ouest par la Commune d'El Haouch. Au point de vue administratif, il fait partie de la wilaya d'El Oued, daïra de Reguiba et commune de Hamraïa.

Caractéristiques physiques :

Contrairement aux Chotts Chergui, Zahrez, Hodna, etc. qui caractérisent les régions steppiques semi-arides et arides des Hauts Plateaux (900-400m d'altitude), les Chott

Merouane et Melghir caractérisent les régions sahariennes arides et hyperarides et constituent les point les plus bas du Sahara (-35m d'altitude).

Situation géographique du chott Melghir (Merouane).

Une origine plus lointaine, comme à Oued Ittel. Le sens des écoulements est généralement Nord-Sud et Ouest-Est, la surface est gauchie d'Ouest en Est. Les dépôts éoliens qui se localisent au niveau des dunes parsemant le chott sont de diverses origines.

A la fin du miocène, la sédimentation se poursuit et un manteau continental d'origine détritique recouvre le plateau saharien. Ce dépôt, composé d'argiles, de sables, de graviers et de marnes, est recouvert par le pliocène et n'affleure généralement pas, peu important au niveau du chott, il affleure seulement au niveau des berges et des terrasses de l'Oued Itell par le biais de l'affouillement continu de ses rives. On le retrouve aussi sur les versants raccordant la surface du mi pliocène aux terrains quaternaires du chott. Il existe quelques exemples intéressants à El Baâdj et Oum El Tiour.

Différents dépôts surmontés par une croûte saharienne caractérisent *le Pliocène*, une croûte, formant l'immense Hamada située dans la partie occidentale des Chotts Melghir et Merouane, s'interrompt brusquement dans sa partie occidentale au niveau du Bordj de Stile. Formée d'une pâte calcaro-gypseuse englobant souvent dans sa masse des poudingues, des sables et des graviers pouvant atteindre 1 à 2 m d'épaisseur, elle repose sur les sables argileuses rouges du tertiaire .

Hydrologie :

Ce type de dépression de grande dimension, peu profonde, salée des zones arides et semi-arides, est représenté par Chott et Sebkha. La différence entre ces deux types de zones humides réside dans le mode d'alimentation, les sebkhas sont sous la dépendance de l'apport des eaux de crue, alors que les chotts sont alimentés respectivement par les apports de ruissellement et aussi par les nappes artésiennes profondes arrivant jusqu'en surface par des sources et/ou des suintements .Les Chotts seraient de véritables « machines évaporatoires ». En période pluvieuse normale, en hiver et au printemps, une couche d'eau de quelques centimètres, saturée en sel allant de 300 à 400g/l, recouvre la surface, laissant, après évaporation, des dépôts de chlorure de sodium parfois exploitables.

Après de fortes pluies, les chotts peuvent constituer de véritables lacs de plusieurs mètres de profondeurs ; quelques mois après, l'évaporation, très forte, en assèche complètement la surface. Le vent balayant cette surface desséchée et dénudée peut, dans certaines conditions, entraîner des particules argileuses et des cristaux de sels (Chlorure de sodium et gypse) qui s'accumulent en bordure de la dépression .Tout autour de ces systèmes, la présence d'une nappe phréatique, plus ou moins salée et inégalement profonde, contribue à la formation de sols halomorphes.

A l'opposé des vents dominants du Nord-Ouest-Ouest, on observe sur la bordure Sud-est de véritables champs de micro dunes.

Origines:

La constitution naturelle des chotts est directement liée à l'histoire géologique des Hauts Plateaux algériens. Toute cette région, marquée par un substratum sédimentaire hérité des transgressions marines du secondaire et du tertiaire, aurait connu vers la fin de l'Oligocène une phase d'orogénèse extrêmement active qui a entraîné la surrection de l'Atlas Saharien. A la fin du Tertiaire, une phase d'érosion aboutit au façonnement des formes jurassiques et au comblement des dépressions par des dépôts continentaux. Au Villafranchien, il en résulte un ensemble homogène, sous forme de vastes plaines, qui va constituer le cadre des processus morphogénétiques du Quaternaire avec des séquences d'érosions.

Les sols salés à structures non dégradées :

Deux grandes catégories sont présentes dans la zone: les sols à caractère salé uniquement (Solontchak calci-magnésiques, Ca, Mg) et les sols salés et sodiques (Solontchak à complexe sodique, Na, Mg).

- Hypersonlontchak (Solontchak calci-magnésique) à profil salin ascendant de type A, nappe phréatique à environ 1,5 à 2m, présence d'encroûtement gypseux.
- Cryptosolontchak (Solontchak calci-magnésique) à profil salin descendant de type de nappe phréatique supérieure à 2m, absence d'encroûtement.
- Hypersolontchak à profil de type A (Solontchak à complexe sodique), nappe phréatique à 2m de profondeur.
- Solontchak modaux avec un profil salin de type C, un premier maximum de salinité en surface et un second en profondeur, nappe phréatique à plus de 2m, présence d'encroûtement.

Les sols salés à structure dégradée :

Ce sont des sols à alcali ayant un caractère salé et alcali, où l'on distingue deux types en fonction de la salinité :

- Les sols peu à moyennement salés, avec une conductivité inférieure à 10-15 m ho/cm qui augmente en surface.
- Les sols très salés, qui assurent la transition avec les sols à complexe sodique.

Les Sols hydro morphes ou sols à Gley se trouvent dans les dépressions inter dunaires avec une nappe peu salée et des superficies restreintes au fond des dépressions lorsque la nappe phréatique est proche.

Profondeur de l'eau :

En bordure du Chott, la nappe phréatique est généralement située entre 40 et 50 cm de la surface, plus en aval, cette nappe peut être en surface. Des croûtes de sel de 5 à 10 cm d'épaisseur sont recouvertes par endroit de plaques d'eau de 1 à 2 cm.

Bassin versant :

Il couvre une superficie de 685.000 km² dont 250.000 km² peuvent être considérés comme appartenant encore au domaine de l'endoréisme actif et 200.000 à celui de l'erg.

Les limites sont bien définies sauf dans la région de l'Erg Bouaharet. Le sous-bassin d'Oued Djedi, où se trouve le chott Melghir, a une superficie de 26.800 km².

II. METEOROLOGIE :

II.1. Aperçu général sur la météorologie

II.1.1. Bref historique de la météorologie :

Les tentations de prévision du temps sont fortes et à ses débuts la météorologie s'apparentait à la magie. En observant la couleur des asters, l'aspect des nuages, le comportement des animaux, etc..., l'homme en tire des règles élémentaires et simplistes de prévisions .certains de ces dictons, condensés de millénaires d'observations, ont une valeur indéniable.

II.2. Météorologie et exploitation de sel :

La connaissance des paramètres climatologiques pour les cas des exploitations de sel en Algérie tant pour les cottes au sud que pour les lacs salés à la sebkha au nord est très important a deux titres :

- les facteurs climatiques intéressant le ruissellement au Sahara, principalement, la pluie et l'évaporation.
- les paramètres constituant la climatologie et s'avérant être une base capitale pour l'élaboration d'un projet de salin : la pluviométrie, l'évaporation, la température de l'air, l'hygrométrie et les vents.

II.3. Climatologie et ruissellement au Sahara :

Pour le cas de ruissellement au Sahara, le bilan hydrologique d'une contrée peu se résumer dans la formule bien connue

$P=Q+I+E$ dans laquelle ;

- P est la quantité d'eau que reçoit la région.
- Q est le débit des cours d'eau.
- I est l'infiltration dans les couches profondes.
- E est l'évaporation ou évapotranspiration.

II.4. Climatologie et exploitation du sel :

Pour le cas de l'étude d'une exploitation de sel il s'agit de bien définir les conditions climatologiques qui lui sont favorable.les condition idéales impliquent de longues périodes sans pluies et un vent sec et chaud qui facilité l'évaporation.

Ces données permettent de déterminer correctement les périodes de l'année qui conviennent à la production du sel par évaporation solaire.

On pense généralement que la production du sel dépend uniquement deux phénomènes opposés que sont la pluviométrie et l'évaporation, en réalité l'évaporation de l'eau contenue dans une saumure

résulte de l'action naturelle de l'énergie solaire, soit directement par échauffement du au rayonnement soit indirectement grâce à l'effet du vent.

Il faut noter aussi que la vitesse et l'intensité de l'évaporation (taux d'évaporation effectif) dépendent généralement de l'humidité de l'air et de la concentration en sel des saumures à évaporer. S'agissant des phénomènes atmosphériques naturels à effectuer durant toute l'année en cours sur des statistique pluriannuelles (minimum dix ans et plus)

II.5 Importances des paramètres métrologiques :

II.5 .1. Données pluriannuelles métrologiques :

Si l'étude climatologiques nécessite des données sur plusieurs années (jusqu'à deux décennies), c'est pour parvenir à avoir des échantillons suffisamment importants par minimiser les effets des fluctuations de très faible amplitude et non significatives, ces effets parasites pouvant masquer ou déformer eux qui sont réellement intéressants.

II.5 .2. Pluviomètre

Les relevés de pluies sur les sites des salins et dans la région permettent d'étudier l'apport direct d'eau douce venant s'ajouter aux chottes qui fera l'objet d'évaporation naturelle et l'apport indirect d'eau entrant dans le bilan hydrique et salin des exploitations de sel.

II.5 .3. Évaporation :

L'évaporation tout comme la pluie varié généralement dans de notable proportion d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre. Pour pouvoir produire du sel sur un site .il faut que durant une certaine période la quantité d'eau évaporée soit régulièrement supérieure à celle provenant des pluies.

La connaissance des valeurs d'évaporations durant toute l'année permet de préciser les variations saisonnières et de déterminer les périodes les plus adéquates pour les phases d'exploitation du sel (pré-concentration et cristallisation du sel dans les tables salants).

II.5.II Température de l'air :

La température de l'air, surtout les écarts journaliers et les températures extrêmes, peut avoir une influence sur l'exploitation du sel, notamment lors des moments critiques de pompage de saumures pré-concentrées dans les tables salantes pour la cristallisation du sel.

II.5.5. Humidité relative de l'air :

La connaissance de humidité critique est nécessaire pour déterminer les périodes les plus efficaces pour l'exploitation du sel, en effet, il existe une limite d'hygrométrie au-delà de laquelle pour une saumure de concentration donnée l'évaporation ne se fait bien quelle se manifeste encore sur l'eau douce ; c'est humidité critique ou humidité relative à l'équilibre.

Une humidité élevée constitue nécessairement u frein à l'évaporation d'une saumure saturée.

II.5.6 Vent :

Les relevés des mesures des vents en direction et en intensité, sont importants pour la connaissance de leurs origines et indispensables pour la conception de l'exploitation des salins. Notamment pour le calcul et la définition des protections à apporter aux digues du salin.

L'activité du vent sur les surfaces des saumures favorise le taux d'évaporation.

En générale l'origine des vents peut être déterminée en fonction de la 'hygrométrie :

-Avec forts hygrométrie : vents marins de vitesse faible.

-Avec faibles hygrométries : vents du désert chauds et secs, violents et savent accompagnés de sable et d'éléments fins très miscibles pour la production salinière.

(Outre le salissage, la finesse de ces éléments modifie la cristallisation et perturbe les dépôts du sel)

II.6. Taux d'évaporation :

On définit le taux d'évaporation d'une saumure comme le rapport entre l'évaporation qu'elle subit et celle qu'on obtient droit, dans les mêmes conditions sur l'eau douce.

Le taux d'évaporation varié de 0,55 pour la saumure marine saturée.

On définit le taux d'évaporation de la saumure par rapport à l'eau douce comme le rapport de l'évaporation sur une saumure de densité "d" à celle sur l'eau douce.

Le taux d'évaporation est pour une température donnée une en fonction de :

-la tension de vapeur saturante sur l'eau douce P_w .

-la tension de vapeur saturante sur la saumure P_s .

-la tension de vapeur saturante dans l'air P_a .

$$\text{Taux d'évaporation} = \frac{P_s - P_a}{P_w - P_a}$$

La tension de vapeur de l'air ambiant est $= H\% * P_w$.

Ou H% représente l'hygrométrie de l'air.

D'une façon générale, il existe une très nette diminution, de la valeur en fonction, de la densité. Ce taux varié dans le temps en fonction de la densité de la saumure plus la densité est faible, plus le taux est constant tout le long de l'année.

Le taux d'évaporation varié annuellement avec l'humidité saturante du site ; de ce fait et quel que soit le nombre de mesures, il n'y a pas de valeur invariante, le taux d'évaporation fluctuera toujours à l'intérieur d'un ensemble caractéristique d'un site et de la saumure donnée.

II.7. Climatologie et technologie de fabrication du sel :

La technologie de la fabrication du sel dépend en grand partie des lois physiques de l'évaporation, de la solubilité, et de la cristallisation.

II.7.1. Evaporation :

L'évaporation est la principale opération qui consiste à augmenter la concentration d'une saumure faible jusqu'à la saturation correspondante à chaque sel, cette évaporation peut être obtenue soit avec des rayons solaires, soit avec une chaleur résultant d'une combustion quelconque soit avec les deux à la fois.

L'évaporation se caractérise par les facteurs suivants :

- a- la pression de vapeur et la température.
- b- les solides dissous.
- c- la vitesse du vent.
- d- la surface d'exploitation et l'épaisseur de la saumure.

a- la pression de vapeur et température

Chaque liquide possède à sa surface une certaine quantité de sa vapeur, dont la pression est connue sous le nom de pression de vapeur. Celle-ci dépend de la température et lui est directement proportionnelle (elle s'élève avec elle) quand elle est égale commence à bouillir et à s'évaporer.

La tendance d'un liquide à s'évaporer se mesure à sa pression des vapeurs, donc aux facteurs qui accroissent ou diminuent aussi l'évaporation du liquide.

L'atmosphère contient toujours une certaine quantité de vapeur d'eau et pour une température donnée il existe une limite au-delà de laquelle l'air n'absorbe plus de vapeur d'eau.

Lors l'air vient en contact avec une solution aqueuse cet air absorbe une plus grande quantité de vapeur d'eau jusqu'à ce que la limite pour cette température soit atteinte.

L'importance de l'évaporation est liée à la marge qu'il y a entre cette limite et la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air, plus l'air ambiant contient de vapeur et d'humidité, plus faible sera la quantité d'eau se transformant en vapeur donc plus faible sera l'évaporation.

b-solide dissous

La présence d'un sel en solution modifie la pression de vapeur d'un liquide et lorsque ce sel n'exerce lui-même aucune pression n'étant pas volatil, il abaisse la pression de vapeur de la solution. Ainsi, le taux d'évaporation est inversement proportionnel à la concentration des sels en solution.

Une saumure faible s'évapore et se concentre plus facilement qu'une saumure forte.

c- vitesse du vent

Quant le vent souffle sur une saumure, la couche d'air en contact avec la surface du liquide se renouvelle régulièrement et l'eau s'évapore de plus par s'équilibrer avec chaque couche d'air avec laquelle elle entre en contact.

En d'autres termes, le taux d'évaporation est d'autant plus élevé que la vitesse du vent s'accroît et ce taux baisse lorsqu'il n'y a pas de vent.

d-surface d'exploitation et épaisseur de saumure

Était donné que l'évaporation se produit en surface de saumure, plus cette surface d'exposition est étendue, plus il y aura une évaporation intense.

Par ailleurs, une faible épaisseur de saumure se concentrera plus rapidement qu'une forte épaisseur.

e-conclusion :

Ainsi, l'évaporation d'une saumure augmente en même temps que la température, la vitesse du vent et la surface d'exploitation, elle décroît progressivement avec les augmentations de l'humidité de l'air ambiant et de la concentration de la saumure.

II.7.2. Solubilité :

La solubilité d'un sel dans l'eau est la plus grande quantité de sel qui, dans des conditions données peut dissoudre dans l'eau et former la solution saturée de sel.

En règle générale, la solubilité d'un solide augmente avec la température.

II.7.3. Cristallisation :

a-cristallisation d'une solution d'un seul sel :

Quand une solution d'un seul sel s'évapore, le volume du liquide diminue graduellement et la concentration du sel dissous augmente progressivement. Cette action continue jusqu'à un point de saturation (toute l'eau excédentaire étant évaporée) après lequel la substance dissoute se sépare de la solution et commence à cristalliser.

La cristallisation se produit parallèle avec l'évaporation de l'eau, l'état de la solution étant maintenu.

b-cristallisation d'une solution d'un mélange de sel :

Dans une solution contenant plusieurs sels, c'est celui qui atteint le point de saturation le premier qui cristallise au début .ainsi, pendant l'évaporation d'une solution de deux sels, c'est celui qui a la plus faible solubilité qui se sépare le premier.

Figure 04 : solubilité des sels

Il faut cependant noter que la cristallisation de l'un des sels n'est pas encore terminée avant que la cristallisation de l'autre ne commence.

Ceci est d'une importance fondamentale dans la fabrication du sel de qualité alimentaire et doit être bien compris des producteurs de sel.

II.8. Interprétation des données métrologique :

Les interprétations des données climatiques pluriannuelles doivent permettre de tirer les conclusions suivantes :

- Pluviométrie : à partir de quel mois elle commence à baisser (généralement à partir du mois de mai), la période de pluviométrie minimale (généralement en juillet et aout) et la reprise réelle des pluies (généralement en octobre, novembre).
- Evaporation : en générale importante. il faut signaler son début réel d'évaporation (généralement à partir du mois de mai) l'atteinte de son maximum (généralement en juillet et aout) et sa diminution rapide (généralement à compter du mois d'octobre)
A noter que les données sur l'évaporation obtenues sur un évaporimetre, pour les saumures, il est indispensable d'utiliser les bacs d'évaporation pour avoir des données fiables.
- Température : signaler à partir de quand elle commence à être significative (généralement à partir du mois de mai) ainsi que la période durant la quelle elle est maximale (généralement en juillet et aout) en restant importante encore en septembre voir même octobre.
- Humidité relative : généralement elle un comportement similaire à température, avec des minimums en juillet-aout mais en réalité elle baisse de mois à septembre.
- Vent : signaler les directions dominantes des vents et les périodes durant lesquelles, ils sont dominants et intenses.

Ces interprétation doivent confirmer les bonnes conditions naturelles pour la fabrication du sel par évaporation solaire par exemple, vents favorable en intensité déjà à partir de mars-avril, pluviométrie en baisse à partir de mai , évaporation commençant réellement à augmenter à partir de mai tandis que la température et l'humidité relative favorisent aussi durant la même période , les bonnes conditions d'évaporation et de cristallisation des sels.

III-Etude pratique :

III.1. Pompage de saumure :

III.1.1. Pompage et pompe :

Définition générale :

Pomper un liquide c'est en élever une certaine quantité d'un certain niveau à un niveau plus élevé par moyen mécanique. Suivant le temps donné pendant lequel on veut élever cette masse de liquide et suivant la nature du liquide. On emploie des types de pompe différents quand à leurs caractéristiques et à leurs matériaux de construction.

Rappel de physique :

On appelle hauteur géométrique d'élévation, la différence d'altitude généralement exprimée en mètre, entre le plan d'eau supérieur ou l'on veut monter l'eau et le plan inférieur d'où l'on veut le prendre. la hauteur géométrique d'élévation est indépendante de la position de la pompe.

Il est noter que pratiquement on a intérêt à installer autant que faire se peut, la pompe dans une position donnant une hauteur H_a la plus petite possible ou négative car dans le cas contraire, on rencontre des difficultés d'amorçage (figure 05).

On appelle hauteur manométrique d'élévation la hauteur augmentée d'une certaine hauteur fictive qui correspond à la perte de charge due à :

- La résistance de la crépine et du clapet.
- La résistance de frottement dans les conduites d'aspiration et de refoulement, les appareils et les coudes.

Les pertes de charge s'expriment en mètre.

Hauteur manométrique = Hauteur géométrique + perte de charge

Elles s'expriment par une formule du genre :

$$J = \alpha \cdot Q^2$$

Ou, α : est un coefficient qui varie en fonction d'un diamètre et de la nature du tuyau.

On constate qu'elles sont proportionnelles au carré du débit.

La puissance nécessaire pour élever de l'eau s'exprime par la formule :

$$N = \frac{Q \cdot H \cdot d}{75}$$

Ou :

H : hauteur manométrique exprimé par (m).

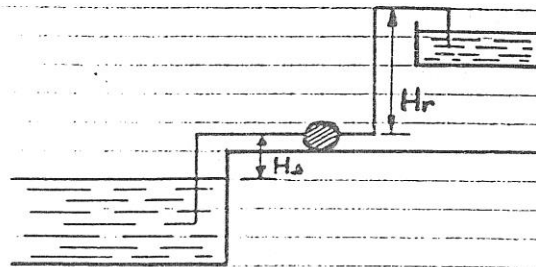
Q : débit exprimé en (l /s).

75 : représente le coefficient par lequel il faut diviser le produit Q.H pour que en (cv).

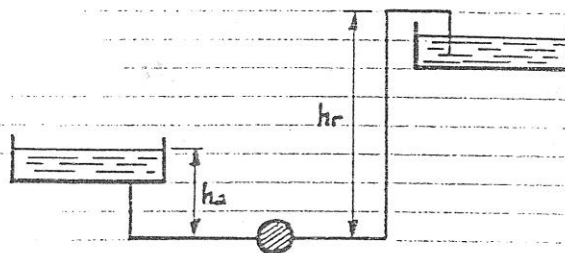
D'autre part dès que l'on pompe des eaux salées, il faut tenir compte de leur densité (poids par unité de volume) et multiplier le résultat trouvé ce chiffre (d=1,22 pour des eaux à 25°Bé).

Lorsque la pompe est entraînée par un moteur électrique il faut tenir compte. Pour connaître la puissance appelée :

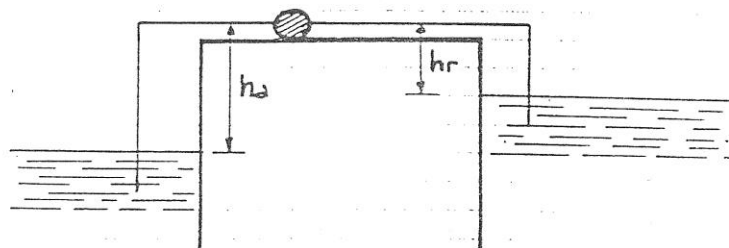
Figure 05 : exemple de schémas de pompage



Exemple n°1: $H = h_r + h_s$



Exemple n°2: $H = h_r - h_s$



Exemple n°3: $H = h_s - h_r$

- Du rendement du moteur électrique (0,9 environ) Q_1 .
 - Du rendement de la transmission (0,9 environ) Q_2 .
 - Du rendement de la pompe (de 0,75 à 0,25) Q_3 .
- $$Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 = Q \Rightarrow 0,9 \times 0,9 \times 0,6 = 0,48$$

La puissance sur le réseau électrique est : $N = \frac{Q \cdot H \cdot d}{75} (\text{cv})$.

La pratique de pompage dans les salins montre qu'il faut utiliser deux fois plus de puissance que nécessaire pour élever de l'eau.

III.1.2. Pompage en conduite forcée :

Pour élever de l'eau à un débit faible, on se sert de pompes centrifuges dont les conduites d'aspiration et de refoulement sont constituées par des tuyauteries.

Une formule économique a été établie : $\varnothing = 1,5 \sqrt{Q}$

Où : Q exprimé en m^3/s .

$\varnothing$ exprimé en mètres.

Par cette formule, on voit que pour un débit de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ le diamètre serait de 250 mm. Pour les débits supérieurs on va a vu que des pertes de charge croissent comme le carré du débit on arrive rapidement à des hauteurs manométriques prohibitives et on a des tuyauteries d'un diamètre très important.

Dans les types de pompage avec des tuyauteries de faible longueur, on aller jusqu'à $200 \text{ m}^3/\text{h}$.

Pompage à l'air libre :

Les pompes de 200 à $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ sont en général constituées par des corps tubulaires verticaux (pompes CEBE, GUINARD, KLEIN). Il n'y a pas de tuyau d'aspiration ou de refoulement, pompes s'installent directement dans le canal d'amenée.

Elles ne s'utilisent que pour des hauteurs géométriques variant de 1 à 3 mètre. Les pertes des charges à l'intérieur du corps de pompe sont peu importantes.

Pour les débits supérieur à $1500 \text{ m}^3/\text{h}$, on utilisant autre fois les rouets, qui ont un rendement très mauvais (0,3 à 0,25) et actuellement on utilise des pompes à turbines à axe vertical. Leur rendement est bien supérieur (0,75 à 0,6), mais il diminue très vite lorsque la hauteur manométrique dépasse 1,5 m.

Calcul des débits-Jaugeage- :

Pour calculer les débits de pompage, on peut utiliser dans le premier cas des compteurs de vitesse placés sur la conduite de refoulement. le diamètre et la vitesse était connus, on lit directement le volume passé dans un temps de terminé directement sur le cadran de l'appareil. Pour calculer le débit des autres débits des autres pompes le problème est beaucoup plus compliqué.

On peut refouler dans un canal de section bien déterminée, en béton par exemple –ou bien mesurer la vitesse du courant (difficultés car les lames d'eau situées au milieu du canal vont plus vite que celles des bords freinées par le frottement sur les parois), ou bien installer un petit déversoir et appliquer la formule de MORIN : $Q = 0,443 \times l \times h \sqrt{2gh}$

Ou :

l : longueur du canal exprimée en mètre.

h : hauteur de l'eau sur le seul en centimètre.

Q: débit exprimée en litre par second.

Dans la pratique, les résultats sont très approximatifs il existe des dispositifs électronique précise de comptage, mais leur prix est élevé.

III.1.3. Coupages et composition des saumures :

Problème du mélange et de la composition des saumures :

Que se produit-il lorsqu'on met sur une table salante une saumure à 25°Bé ?

Elle va s'évaporer et passer par les différents stades de concentration, donc de composition.

Supposons que l'on part de 0,2 m d'épaisseur de saumure sur un hectare (soit $10000m^2$) d'eau à 25 °Bé c'est-à-dire un volume de $2000 m^3$ est admettons de cette eau s'évaporer jusqu'à ce quelle atteigne 27 °Bé sans composer l'évaporation par un apport de saumure vierge, pour simplifier les questions.

En passant de 25 °Bé à 27 °Bé, le volume de 112 litres se réduit à 64 litres donc les $2000 m^3$ seront devenus :

$$64 \times 2000 / 112 = 18000 / 112 = 1142 m^3$$

La hauteur d'eau sera devenue : $1142 / 10000 = 0,1142m$

Le volume évaporé aura été de : $2000 - 1142 = 858 m^3$

Cherchons a déterminé comment se sont comportés les sels minéraux contenus dans ces $858 m^3$.

Sels contenus dans les $858 m^3$ d'eau à 25 °Bé :

NaCl: $269,46 \times 858 = 231200 \text{ Kg}$ ou $231,200 \text{ t}$

$CaSO_4$: $2,27 \times 858 = 1950 \text{ Kg}$ ou $1,590 \text{ t}$

$MgSO_4$: $46,25 \times 858 = 39700 \text{ Kg}$ ou $39,700 \text{ t}$

$MgCl_2$: $29,42 \times 858 = 25250 \text{ Kg}$ ou $25,250 \text{ t}$

Au cours de la concentration :

- Le chlorure de sodium s'est déposé car la saumure restante est saturée.
- La sulfate de calcium s'est déposé également mais en partiellement.
- Le sulfate de magnésium et le chlorure de magnésium sont restés en solution dans la saumure à 27 °Bé.

Donc cette saumure à 27 °Bé contient dans $1142 m^3$ que contenait les $2000 m^3$ moins le NaCl et une partie du $CaSO_4$ qu'on détermine ci après.

Les $2000 m^3$ contenaient :

Na Cl : $246,46 \times 2000 = 538920 \text{ Kg}$ ou $538,920 \text{ t}$

$CaSO_4$: $2,27 \times 2000 = 4540 \text{ Kg}$ ou $4,540 \text{ t}$

$MgSO_4$: $46,25 \times 2000 = 92500 \text{ Kg}$ ou $92,500 \text{ t}$

$MgCl_2$: $29,42 \times 2000 = 58840 \text{ Kg}$ ou $58,840 \text{ t}$

Les 1142 m^3 doivent contenir :

NaCl : $538,920 - 231,200 = 307,720$ t

$CaSO_4$: $4,540 - 1,950 = 2,590$ t

$MgSO_4$: 92,500 t

$MgCl_2$: 58,840 t

Ce qui représente par litre :

NaCl: $307,720 / 1142 = 269,5$ g/l

$CaSO_4$: $2,590 / 1142 = 2,27$ g/l

$MgSO_4$: $92,500 / 1142 = 80,99$ g/l

$MgCl_2$: $58,840 / 1142 = 51,5$ g/l

Or la saumure à 27 °Bé contient bien ces sels, sauf le $CaSO_4$ dont la teneur n'est que de 1,56 ; la saumure restante en contient donc 1,780 t et il s'est déposé :

$4,540 \text{ t} - 1,780 \text{ t} = 2,760 \text{ t}$.

Supposons maintenant que l'on compose l'évaporation des 858 m^3 par un nouvel apport d'eau à 25° Bé.

On obtiendra alors 2000 m^3 de saumure contenant :

	saumure à 27 °Bé	saumure à 25 °Bé	Total
Na Cl	307,720	+ 231,200	538,920 t
$CaSO_4$	1,780	+ 1,950	3,730 t
$MgSO_4$	92,500	+ 39,700	132,200 t
$MgCl_2$	84,09	+ 25,250	84,09 t

Ce qui correspond à la composition en sels magnésiens d'une saumure à 26,6° Bé.

III .2.Les coupages :

Ainsi ; on vient de voir qu'à 29° Bé la composition de la saumure en Na cl est de 229 g/l c'est-à-dire qu'un litre de saumure contenant cette proportion de sels magnésiens ne peut pas dissoudre plus de 229 g il s'est donc déposé par litre de saumure :

$269 - 229 = 40$ g de Na Cl ou 40 kg/ m^3 .

Comme il reste dans la table salante 2000 m^3 d'eau-mère par ha il se sera déposé :

$2000 \times 40 = 80000$ kg de Na Cl ou 80 t/ha.

Il s'agit maintenant de voir comment se sont déposées ces 80 t/ha.

Pour ce la, faisons l'expérience suivante : prenons une éprouvette d'un litre et mettons y un litre de saumure contenant 300 g de Na Cl, c'est-à-dire saturé ou ne pouvant plus dissoudre de Na Cl.

Ajoutons dans cette saumure 200 ou 300 g de Mg Cl en cristaux ceux à se dissolvent et au bout quelque minute, on s'aperçoit qu'il se forme de petite cristaux sans aucune évaporation, si on les isole et qu'on les analyse, on s'aperçoit que c'est du chlorure de sodium pur.

Le fait d'avoir introduit le chlorure de magnésium a diminué la possibilité du Na Cl de rester en solution il est devenu partiellement insoluble, si l'on pèse ces cristaux, on s'aperçoit qu'il en dépose une quantité que l'on peut calculer théoriquement. Ce qui s'est produit durant cette expérience se reproduit journellement sur les tables salantes et c'est ce qu'on appelle un coupage.

Supposons qu'on dépose d'une saumure vierge à 29° Bé ayant la composition suivante :

NaCl: 269 g/l

$MgSO_4$: 40 g/l

$MgCl_2$: 29 g/l

Et prenons une saumure-mère à 29° Bé ayant la composition suivante :

NaCl: 229 g/l

$MgSO_4$: 139 g/l

$MgCl_2$: 88 g/l

Mélange ces deux saumures moitié et l'on s'aperçoit alors qu'il se produit une cristallisation très fin de NaCl, la composition de la saumure résultant du mélange est la suivante :

NaCl: $498/2 = 249$ g/l

$MgSO_4$: $185/2 = 92,5$ g/l

$MgCl_2$: $117/2 = 58,5$ g/l

Dans cette saumure il serait impossible de dissoudre 250 g de Na Cl si l'on essayait de la reconstituer à partir de ses sels et d'eau.

Sur la table salante on obtiendrait également cette cristallisation spontanée sans évaporation et on fabriquerait de sel fin détriment du grossissement des grains existant déjà c'est le défaut essentiel du coupage, ce phénomène est d'autant plus violent que l'écart de degré entre la saumure de la table et celui de l'alimentation est plus grand .l'idéal donc sur un salin, est d'éviter ces coupages : trois solution sans peuvent être envisagées :

- 1) Avoir sur la table salante une hauteur de saumure suffisante pour toute la fabrication, 60 ou 70 cm.

- 2) Garnir au maximum les tables salantes dès le départ pour éviter de monter en degré, donc de faire des coupages brutaux et surtout éviter de laisser trop le niveau avant la réalimentation.

L'idéal est d'alimenter très souvent par petites quantités.

- 3) Faire des tables salantes en série permettent ainsi une meilleure gestion de la saumure et évitant les coupages brutaux.

III .3.Plan de pompage d'un salin :

Le plan de pompage d'un salin dépend principalement de la disponibilité de la quantité de saumure nécessaire au moment approprié du pompage de la capacité des pompes en place : il suffit ensuite de gérer le pompage en fonction de l'évolution dans le temps de la densité de saumure pour faire en sorte que la dernière table à remplir le soit avec une saumure proche de 25°Bé.

Chaque salin requiert un plan de pompage spécifique aux conditions.

III.4. Rejet des eaux mères :

Principe :

Comme déjà examiné dans la précipitation des évaporites, à densité d'environ 29-30°Bé, il est plus rationnel d'extraire le chlorure de sodium (Na Cl) cristallisé et de rejeter de table salante la saumure résiduelle, appelée eau-mère.

En effet, ces eaux-mères restantes contiennent plus de sel secondaire nuisible (environ 53%) que de chlorure de sodium (environ 47%) et une évaporation plus poussée donnera, certes, un très petit gain de Na Cl, mais aussi une importante augmentation du pourcentage de sel secondaire dans le produit final, ce qui donne un goût amer au sel et faible grenage.

Le lavage intensif qui suivra pour éliminer les sels secondaires donnera plus de pertes de Na Cl que le petit gain acquis lors d'une évaporation poussée.

III.4.1 Pollution des sites par les eaux-mères :

Le rejet par pompage des eaux résiduelles ou eaux-mères, riches en sels secondaires, n'est réellement sécurisant que pour les eaux des mers et océans, tenant compte de leurs immensités et de leur caractère communiquant. Dans ce cas, ces rejets n'ont aucune influence visible sur la composition chimique de l'eau de mer ou d'océan.

Par contre, pour les exploitations lacustres de sel on se trouve en face d'étendues d'eau salées fermées, qui reçoivent en général les cours d'eau de la région donnée et les quantités de sels secondaires rejetées restent dans ces lacs. Au fil du temps la concentration en ces sels secondaires augmente graduellement en fonction des volumes d'eau d'un lac et de l'importance de ces rejets. La qualité de la saumure lacustre qui reste la matière première pour la production du sel se dégrade lentement mais sûrement avec le temps.

Ainsi; l'arrive finalement un temps ou la saumure lacustre ne se prêtera plus qualitativement à la production d'un sel de bonne qualité alimentaire.

On doit donc éviter de polluer les sites des lacs en question en isolant les rejets des eaux-mères et en les stockant dans des bassins aménagés spécialement à cet effet. La solution la plus efficace consiste à trouver un débouché commercial à ces rejets, soit sous forme de saumures magnésiennes, soit sous forme de sels secondaires cristallisés. Comme le débouché commercial est difficile car économétriquement envisageable que pour des capacités importantes de production du sel (500,000 t/an et plus).

Il est nécessaire de constituer des stocks isolées de ces « déchets ».

Les bassins de stockage de ces sels secondaires doivent être situés dans des endroits non inondables en cas de pluies ou de crues des cours d'eau alimentant le lac, sur un sol imperméable et avec des digues sur élevées et bien étanches.

II.4.2.Importance des sels secondaires :

Suivant les conditions climatiques régnant sur le site, on peut continuer la concentration par les éléments naturels sur des cristallisoirs. la composition des eaux-mères à 30° Bé est de l'ordre de :

$$Cl^{-} = 186 \text{ g/l}$$

$$Ca^{2+} = 0,2 \text{ g/l}$$

$$SO_4 = 58,18 \text{ g/l}$$

$$Mg^{2+} = 47,48 \text{ g/l}$$

$$K^{+} = 13,04 \text{ g/l}$$

$$Br^{-} = 2,32 \text{ g/l}$$

Suivant les climats, les conditions de température les écarts de température, 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 magnésium $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$

-le chlorure de magnésium $Mg Cl_2 \cdot 6H_2O$

-l'oxyde de magnésium MgO

-l'hydroxyde de magnésium $Mg(OH)_2$

Le sulfate de magnésie est utilise comme engrais.

Pour la diététique animale, pour le traitement du cuir, 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...

Le sel de magnésie sont utilisés dans les engrais, pour la fabrication des réfractaires, dans les industries textiles, etc....

Le brome est utilisé pour la fabrication des bromures alcalines, pour les extincteurs, pour l'industrie photographique

-sous les climats plus chauds, on peut passer la concentration sur les cristalliseurs et faire cristalliser :

-la kainite: KCl , Mg SO_4 , $3\text{H}_2\text{O}$

-la carnallite : KCl , K_2SO_4 , $6\text{H}_2\text{O}$

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 schomit: $\text{K}_2 \text{SO}_4$, Mg SO_4 , $6\text{H}_2\text{O}$

-la lemite: K_2SO_4 , Mg SO_4 , $4\text{H}_2\text{O}$

-la langbenite: K_2SO_4 , 2Mg SO_4

-la glaubenite: Na_2SO_4 , Ca SO_4 , ect.

Il est important de souligner que l'extraction des sels secondaires de grande capacités, les frais de construction et d'usines ne peuvent être amontés que dans cette condition on estime que la capacité minimum de production de salin doit être de 5000,000 tonnes de sel.

III.5.Paramètres technologiques de production de sel :

III.5.1Aspects techniques sur la production de sel par évaporation solaire

Description d'un marais salant classique :

Le mode d'exploitation d'un marais salant est constitué de deux phases de production qui se succèdent sur des surfaces spécialisées : la cristallisation sur des tables salantes, ou bassins préparatoires, ou cristallisoir, ou œillets. On trouve aussi parfois des bassins de réserve pour le stockage de saumure forte. (Figure 06)

Le mode d'exploitation d'un marais salant diffère selon l'origine de la matière première : les salins, les salins lacustres et les salins alimentés par des sources salées (de sondage, par exemple).

Si le mode d'exploitation des salins maritimes est conforme à ce qui vient d'être décrit ci avant, notamment la nécessité de la première phase de concentration dans des partènements, par contre, dans les salins lacustres et dans les salins alimentés par des sources salées, on souvent des saumures plus ou moins déjà concentré. Les salins lacustres n'ont pas besoin, en général, de partènements ou bassins de préparation car la phase de concentration de la saumure a lieu dans le lac ou chott même (figure 07). Il en est de même lorsqu'on utilise des sources salées, notamment celles des sondages, avec une saumure presque saturée.

Les principaux ouvrages d'une exploitation classique de sel sont les suivants :

Amenée d'eau salée :

Principe :

Pour alimenter, soit un salin lacustre (sans partènements) en saumure déjà saturée(à environ 25.5°Bé), il faut une amenée permanente, notamment durant la période de remplissage, soit directement des tables salantes (salins lacustres).

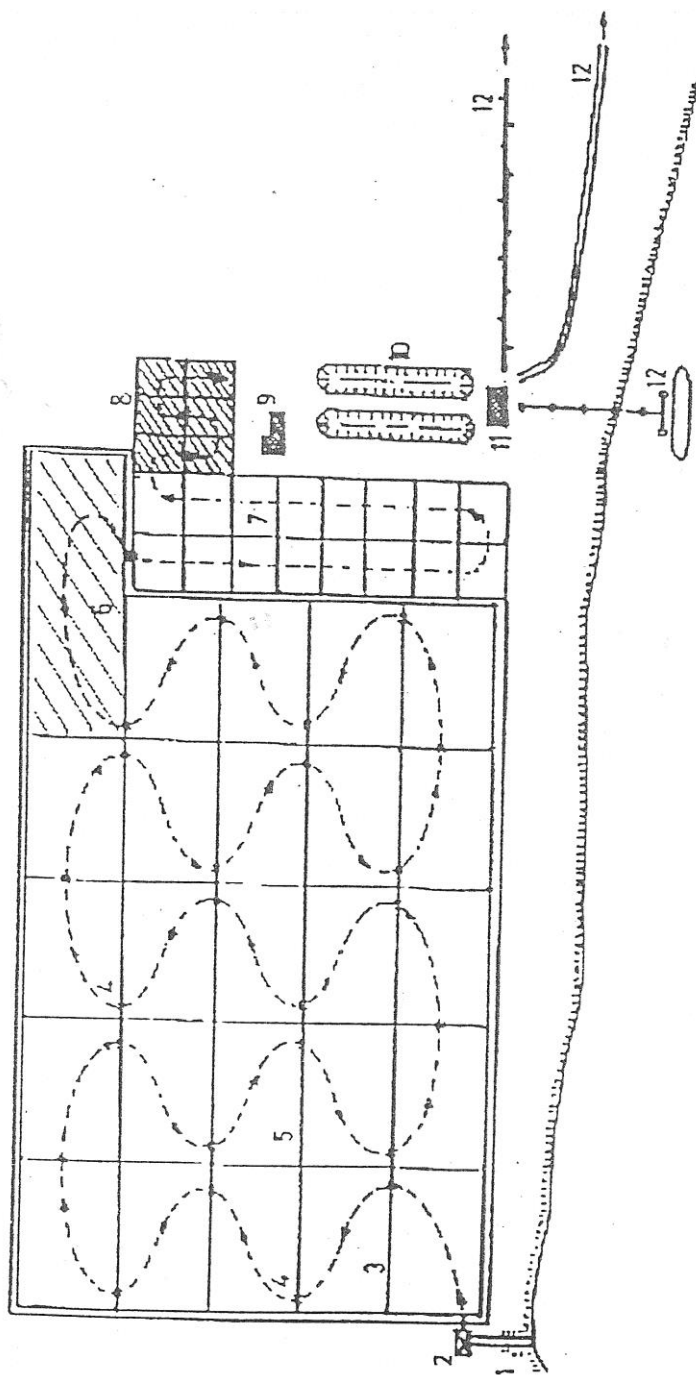
Cette alimentation permanente est assurée généralement par un réservoir d'eau salée et une station de pompage, situés le plus près possible des ouvrages du salin, afin de faciliter l'amorçage de la conduite de refoulement. L'apport d'eau salée vers ce réservoir tampon se fait, selon les cas, de la manière suivante :

- soit par un canal creusé dans la terre et permettant un écoulement par gravité de l'eau salée vers le réservoir, bien qu'il soit aussi généralement possible d'utiliser l'action des marées, selon les cas, pour obtenir de l'eau.

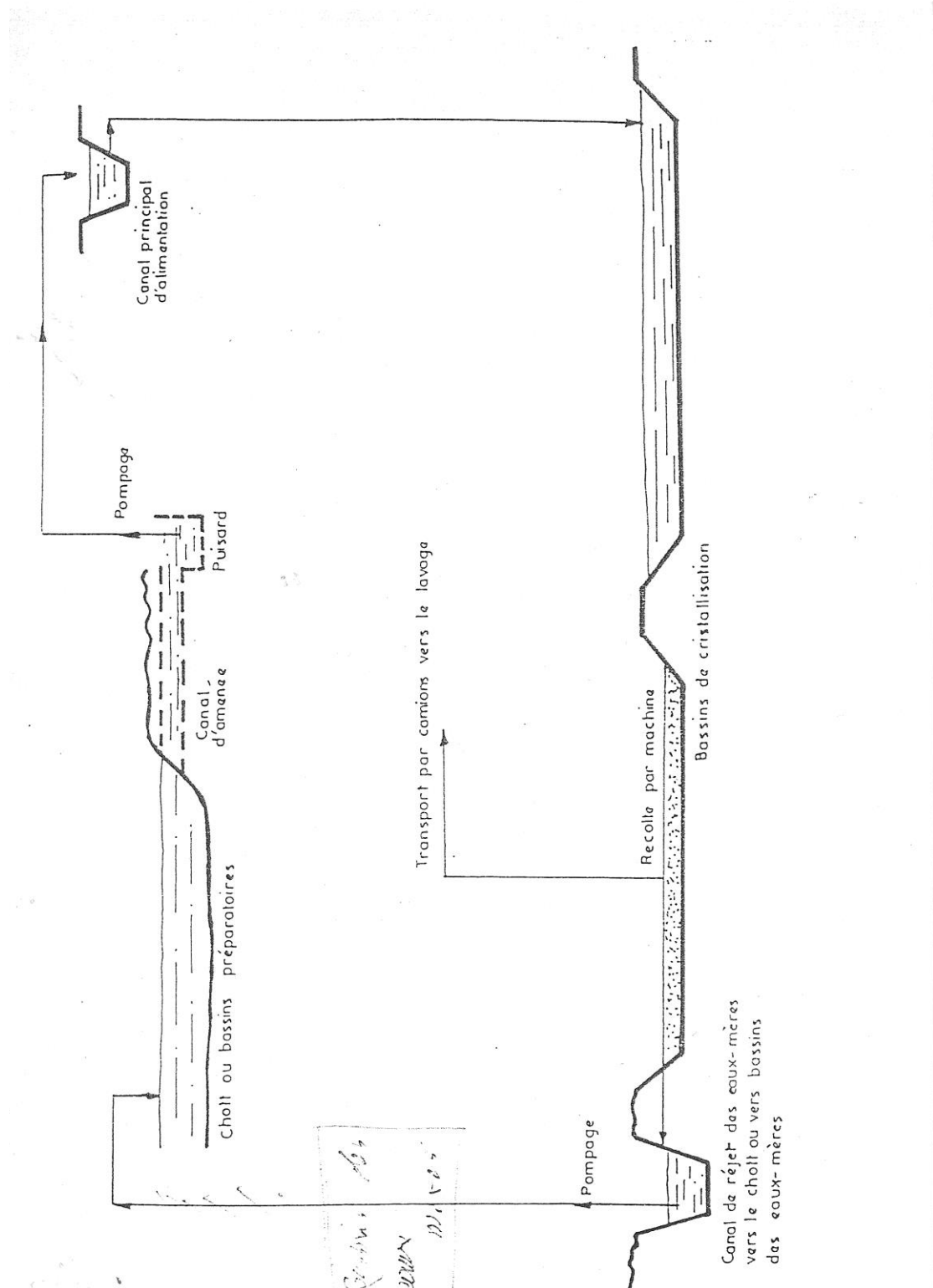
- soit par canal bien aménagé, souvent muni de vannes pour contrôler le passage de l'eau salée.

- pour certains cas de petits salins, on pompe directement l'eau salée (de chott) dans les bassins (tables salantes), situés à proximité de la source d'eau salée.

La puissance des stations de pompage dépend de la capacité de production de salin, de la teneur en sel de l'eau et des pertes dues aux vices de production (une pompe de réserve est toujours à prévoir pour l'entretien préventif).

Figure 06 : plan de masse d'un marais salant maritime*Fig. 24 - Plan de masse d'un marais salant maritime*

1-Canal d'amenée de l'eau salée; 2-Station de pompage; 3-Digues; 4-Ecluses; 5-Partènements; 6-Bassin de saumure forte; 7-Tables salantes; 8-Bassins des eaux mères; 9-Atelier de lavage; 10-Stockage de sel lavé; 11-Atelier de conditionnement; 12-Expéditions.

Figure 07 : schéma du procédé de l'exploitation du sel

Construction :

-Les canaux d'amenée d'eau salée peuvent être creusés dans la terre et laissés tels quels, sauf dans leur partie à proximité de réservoir tampon, qui doit être bétonnée, mais il est conseillé de réduire le contact avec les impuretés, donc de les protéger avec des murs en pierres, notamment contre l'érosion des berges en terre par l'écoulement de l'eau.

-Les canaux à vannes peuvent également être construits avec des murs en pierres et des planches en bois, mais aussi en béton. Les vannes qui contrôlent le passage de l'eau salée peuvent être, soit en bois et commandées manuellement, soit à système plus perfectionné et à commande électrique.

-Pour les cas d'alimentation par tuyauterie (en PVC ou en acier inoxydable), on doit tenir compte des marées basses, afin que la crépine d'aspiration de la pompe immergée soit toujours dans l'eau, d'au moins 50 centimètre. Il arrive, parfois, de construire une jetée afin que le mouvement des marées ne puisse pas compromettre le fonctionnement de la pompe. L'emplacement de la pompe immergée doit être bien choisi, avec un minimum de présence de sable, de vie marine et d'autres facteurs contaminants.

-Les réservoir tampons sont généralement prévus pour un bon amorçage de la pompe d'alimentation des ouvrages des salins, mais, tenant compte la période d'alimentation du salin, relativement courte, et des éventuelles défaillances des pompe d'amenée d'eau salée ou des difficultés de mauvais temps, il s'est avéré nécessaire d'avoir un stockage permettant une alimentation régulière du salin, Le volume de ces réservoirs dépend de la capacité de production du salin, de la superficie des terrains disponibles et de l'influence de la pluie.

Tables salantes

C'est aspects techniques, notamment de construction, sont utiles dans le cadre soit de la construction d'une nouvelle table, soit d'un Plan éventuel de rénovation annuelle (1 table par an) des tables déjà opérationnelles.

Principe

La surface de ces bassins de cristallisation, ou cristallisoirs, est beaucoup plus réduite que celle des partènements et ne représente que 10% environ de la superficie totale du marais salant.

Contrairement aux partènements, les tables salantes doivent être soigneusement conçues, de forme rectangulaire et avec des sols solides. Elles sont entourées de réseaux de canaux (courroirs) d'amenée de saumure saturée et de drains d'évacuation des eaux-mères et des pluies.

Dans les tables salantes, la saumure saturée, à environ 25,5° Bé, commence à cristalliser, grâce toujours aux actions favorables de l'évaporation solaire, du vent et de l'humidité. Les petits cristaux, qui se forment en premier et qui flottent dans la saumure, se précipitent au fond des tables salantes (d'environ 90 cm dans les salins modernes) joue un rôle important dans la fabrication de gros cristaux. On attendra d'atteindre une concentration de 29-30° Bé pour ensuite rejeter la saumure résiduelle, ou eau-mères, dans des bassins spéciaux de stockages de ces eaux riches en sels secondaires.

Dans les salins modernes, le sel se dépose au fond des tables salantes et forme une couche allant de 5 à 25 cm d'épaisseur, que l'on récolte avec des moyens mécaniques appropriés (récolteurs) une et même deux fois par an, selon les cas.

Construction

Les tables salantes (bassins de cristallisation ou cristallisoirs) sont un élément essentiel de la saumure et il importe de les concevoir avec un soin tout particulier si l'on veut obtenir de bons rendements en sel d'une très grande qualité.

La surface nécessaire aux bassins de cristallisation varie de 1/5 à 1/10 de la zone requise pour les partènements, selon les conditions d'évaporation et la concentration de l'eau salée. Les cristallisoirs des salins modernes doivent être rectangulaires et d'une dimension adaptée à la méthode de récolte employée. Leurs dimensions varient en largeur, de 100 à 200 m, et en longueur, de 300 à 500 m. Dans les bassins trop grands, de petites vagues se formeront par vents trop forts et tendront à entraîner la formation d'un dépôt de sel excessivement fin.

La construction des digues des tables salantes est généralement identique à celle des digues des partènements, sauf dans les cas de gros salins très mécanisés (utilisation de récolteurs, camions ou tracteurs avec remorques) où il est nécessaire de prévoir une partie des digues avec des dimensions très larges, pour le roulage des engins. Quant à l'accès de ces moyens mécaniques dans les tables salantes, on utilise des rampes d'accès avec une faible pente (à déconseiller pour les tables de petites surfaces) ou des rampes démontables en bois chevauchant les digues et dotées de pentes.

La construction des fonds des tables salantes est réalisée avec beaucoup plus de soin que celle prévue pour les fonds des partènements, notamment du point de vue étanchéité. En effet, il faut plusieurs couches de compactage d'argile imperméable avec des contrôles sévères de résistance (essais au Proctor), non seulement pour avoir une bonne étanchéité, mais aussi pour avoir un fond solide pouvant supporter les mouvements d'engins mécaniques de récolte de sel.

Le choix de ces derniers est souvent dicté par la nature du sol qui constitue le fond des tables salantes. Le fond doit être lisse, compact et en pente douce pour assurer l'évacuation complète des eau-mères ou résiduelles.

Dans les régions à faible précipitations et à périodes de sécheresse prolongées, il est possible de laisser se constituer un plancher de sel (appelé couche de contre-sel) et de le conserver d'une année sur l'autre, en se contentant d'enlever les couches supérieures lors de la récolte. Dans d'autres cas, on préfère laisser toute la première production de sel sur place afin d'avoir l'année suivante un fond de tables salantes très solide. Cela permet d'utiliser des engins de récolte lourds et robustes et donne un sel très pur car aucune terre ne risque de favoriser un salissage quelconque.

Lorsqu'il y a d'importantes saisons humides, cette méthode de couche de contre-sel n'est pas efficace, car la pluie entraînerait la dissolution de ce plancher de sel. Dans ce cas, on utilise un plancher avec une couche de sable compacté : il y a de pollution qu'avec de l'argile (le sable qui pollue le sel est enlevé durant son lavage), mais il faut utiliser des dispositifs de récolte n'exerçant qu'une faible pression sur le fond de la table salante.

Bassins de réserve

Principe

Dans certains salins, lorsqu'il y a des risques de dilution de la saumure habituelle en cas de pluie, on prévoit, entre les partènements et les tables salantes, des bassins de réserve (ou bassins d'eau fortes) afin de garantir un redémarrage dans de bonnes conditions de la nouvelle production. Ces bassins sont alimentés par la saumure concentrée produite par les partènements, lorsque l'alimentation des tables salantes est terminée.

Ces eaux fortes, lors du redémarrage du salin, font l'objet d'un repassage à travers les partènements, mais atteindront très vite leur point de saturation pour être transférées dans les tables salantes.

Construction

Ce sont des partènements qu'on aménage en bassins de réservoir en élevant leurs digues de protection, permettant ainsi de stoker des saumures non encore saturée (15 à 18°Bé, selon les cas) avec une profondeur atteignant un à plusieurs mètres.

Rejet des eaux-mères

Récolte du sel

Principe de la récolte du sel

Tant pour les grands salins modernes que pour les petits salins artisanaux, la récolte de sel constitue le moment fort de l'activité, surtout dans les climats de type méditerranée, à cycle annuel bien défini, où la période de récolte doit être bien maîtrisée. En effet, une récolte commencée très tôt (avant la fin de l'été) ferait perdre une partie de la période de production la plus efficace, une trop tardive souffrirait des premières pluies d'automne.

D'où l'importance du suivi statique des paramètres météorologiques pour des conditions, certes, moyennes, mais faibles, d'exploitation d'un marais salant.

Il est, par contre, plus aisé de travailler dans des climats désertiques ou semi-désertiques, où l'évaporation est en permanence supérieur à la pluviométrie ; il n'y a pas de grandes contraintes de temps pour la récolte du sel.

Manutention du sel

La récolte du sel a commencé manuellement et elle le demeure toujours dans plusieurs pays où exploite encore artisanalement le sel. Depuis le ramassage à la main, en constituant des gerbes qu'on transportait à l'aide de paniers puis de brouettes jusqu'aux aires de stockage, en tas de 2 à 3 m de hauteur, l'extraction du sel a évolué avec d'abord l'utilisation de wagonnets, puis de tracteurs et remorques, à la place des brouettes, ensuite avec des tapis roulants élévateurs, pour constituer des stocks (camelles) plus importants (jusqu'à 5-6 m de hauteur).

Enfin, la mécanisation de l'extraction du sel a donné lieu à l'utilisation de récolteurs de plus en plus sophistiqués, chargeant par convoyeurs mobiles à bande des camions qui circulent aisément sur des pistes de roulage aménagées à cet effet. Le sel extrait est déposé dans des camelles aux volumes très importants avec des hauteurs de 10 à 15 m.

Malgré cette mécanisation de la récolte de sel, on n'arrive pas encore à produire directement du sel de bonne qualité et il est nécessaire de le traiter encore afin qu'il réponde aux exigences des utilisateurs.

III.5.2. Production du sel par unité de surface

Deux types de problèmes sont généralement posés avant la concentration d'un nouveau salin :

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

b. La surface utilisable est très supérieure aux besoins et on veut savoir quelle 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 tables salantes,
- déterminer le rapport entre la surface de tables salantes et celle de partènements pour un salin maritime, ce qui n'est pas le cas pour la présente étude concernant un salin lacustre,
- Calculer les volumes d'eau mise en jeu.

Notions de volumes de saumure

Les calculs dont on se sert pour établir l'importance des différents éléments du marais salant (surface de partènements et de tables salantes, volumes à pomper, etc....) font appel à la notion de volumes de saumure.

Par exemple : 100 litres de saumure saturée à 25,5°Bé (d=1,215) sont obtenues à partir de la concentration par évaporation solaire d'un volume de 909 litres d'eau de mer à 3,9°Bé (d= 1,025).

Quantité de sel déposé

La salinité des eaux lacustres est généralement plus élevée que celle des eaux marines et pour les besoins de calcul de la production du sel solaire dans le salin de Bethioua, on retient le chiffre de 0.35 kg de dépôt de Na Cl après l'évaporation d'un litre d'eau de saumure saturée (chiffre certains techniques retiennent même pour des eaux marines).

Taux d'évaporation ou coefficient « Z »

L'eau douce s'évapore plus facilement que l'eau chargée de sel et cette différence s'accroît avec l'augmentation de la teneur en sel. Afin de réduire les mesures d'évaporation faites à partir de l'eau douce pour qu'elles correspondent à celles de l'eau chargée en sel, on les multiplie par un coefficient de réduction appelé coefficient « Z ».

$$Z = \frac{Ev.saumure}{Ev.eau douce}$$

Ce coefficient "Z" dépend essentiellement de la température, de l'humidité relative, de la vitesse du vent et bien sûr de la concentration de la saumure. Donc, il est préférable d'avoir des mesures faites sur les aires d'évaporation des salins mêmes.

On a déjà examinées valeurs du coefficient "Z" prises dans des salins italiens, sur la base d'une expérience de 15 années, dans des conditions d'humidité relative et de températures

Calcul du sel déposé par unité de surface

Généralement on utilise pour les calculs des marais salants comme unité de surface l'hectare (ha= 10⁴ m²).

Quand une saumure saturée en chlorure de sodium (Na Cl) est placée sous l'effet de l'évaporation naturelle, chaque départ d'eau douce entraîne le dépôt de sel cristallisé

L'évaporation d'un litre d'eau par mètre carré représente le départ d'un millimètre d'eau de la couche de saumure saturée et le dépôt de 0.35 kg de sel.

Donc ? POUR UNE EVAPORATION e d'un (1) mm/jour (soit 1 litre par m²) exprimé sur eau douce, la quantité d'eau évaporée à partir d'une saumure saturée sera :

$$E \times Z$$

La quantité de sel déposé par m² sera :

$$Q_u = E \times Z \times 0.35 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Lorsqu' au cours de la saison, il y a un apport d'eau sous forme de pluie, il faut déduire cette quantité pour connaître la quantité de sel déposé sur les tables salantes :

$$Q_u = (E \times Z - P) \times 0.35 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Si les chiffres ci-dessus sont exprimé en kg par mètre carré, il faut les multiplier par 10⁴ pour avoir la production par hectare (ha) et les divise par 10³ pour avoir la production par tonne (t).

Quantité de sel déposé dans les tables salantes

$$Q_t \text{ (tonnage sur tables)} = Q_u \times S_t.$$

Où S_t : surface totale des tables salantes.

Quantité de saumure saturée à évaporer

$$Q_t \text{ (tonnage sur table)} = V_{s,e} \text{ (volume de saumure évaporée)} \times 0,35$$

Où : 0,35- dépôt de sel (Na Cl) par unité de volume de saumure saturée évaporée (kg/l ou t/m³).

$$\text{Donc : } V_{s,e} \text{ (volume de saumure évaporée)} = Q_t \text{ (tonnage sur table)} / 0,35$$

Quantité de saumure résiduelle à rejeter

Pour 100 litres de saumure saturée, on évapore 67 litre pour faire cristalliser et déposer le chlorure de sodium et on rejette 33 litres de saumure résiduelle riche en sels magnésiens dits "secondaires". Donc :

$$V_{s,r} (\text{volume de saumure résiduelle}) = V_{s,e} (\text{volume de saumure évaporée}) \times 33/67$$

Ou

$$V_{s,r} (\text{volume de saumure résiduelle}) = 33 \% V_{s,t} (\text{quantité totale de saumure saturée})$$

Quantité totale nécessaire de saumure saturée

$$V_{s,t} = V_{s,r} + V_{s,e}$$

III.5.3. PERATES DE SEL DANS LE PROCESSUS DE PRODUCTION

Dans un salin classique, on estime la récolte d'après la couche de sel sur table, mais sous réservoir de 2 précautions à prendre au préalable :

****.** Connaître exactement la surface de table **levée**, d'où la nécessité de remesurer les tables en tenant compte des bordures laissées par le récolte (en principe 1 m de largeur le long des chemins et des digues ou le bas de la pente des chaussées des roulages).

****** Connaître la densité du sel en couche. Cette densité varie d'un salin à l'autre suivant l'alimentation au cours de la récolte ; sur chaque table, prélever 1 m², en mesurant l'épaisseur, et le peser pour déterminer la densité :

$$\text{Densité} = \frac{\text{Pois en kg}}{\text{Densité en m}}$$

De ce tonnage, il faut déduire les pertes depuis la table jusqu'aux sacs (y compris le lavage primaire) pour pouvoir le comparer au tonnage déterminé à partir du cubage de la camelle.

Pratiquement, on peut admettre que le cubage sur table (surface x épaisseur) est égal au tonnage vendable, compte tenue des pertes. Mais, il est toujours intéressant et utile de la vérifier durant chaque récolte.

Dans les salins classiques, on peut admettre que, aussitôt après la récolte, avant tassement, le sel a une densité de 1 et que les pertes ultérieures sont approximativement les suivantes :

-Pertes par la pluie : environ 3 %

-Pertes à la reprise : environ 1 %

-Pertes au transport : environ 1% en wagons, 0.5 % en remorques

-Pertes au traitement (variable suivant les salins) :

- .
- .Essorage : 5 à 10 %
- .Séchage : 2,5 %
- .Fort poids en sacs : 2 %
- .Pertes d'humidité : 3 %

Soit, donc, un total de 17 à 22,5 %, sans tenir compte des pertes de sel dans les tables salantes (1 m de largeur le long des chemins et des digues) qui restent liées à l'importance des surfaces des tables salantes et que chaque salin devrait déterminer avec précision.

III.5.4.EVALUATION DES TANNAGE DE PRODUCTION

Rappelons que : Tonnage = Volume x Densité

Le volume de sel déposé dans une table peut être assez facilement évalué au moyen de l'épaisseur, fournie par les sondes prélevées régulièrement.

Par contre, il est beaucoup plus difficile de déterminer la densité du sel sur table. En pratique, dans les salins français, on retient une densité du sel sur table de l'ordre de 1,4, d'où :

Volume

$$V = S \times E$$

Où : S : surface,

E : épaisseur moyenne sur la surface.

Tonnage sur table

$$T_1 = V \times 1,4$$

Tonnage vendable

$$\text{Tonnage vendable} = \text{Tonnage sur table} - \text{Pertes}$$

La détermination des pertes a été traitée ci-avant. Rappelons que les pertes au lavage (des tables à la camelle) sont évaluées à 15 %, les pertes par pluie, reprise, transport, excès de poids, essorage, etc. (de la camelle au service expédition) à 12 ou 15 %. D'où un coefficient de pertes égal à 0,7.

Donc, le tonnage vendable est de :

$$T_2 = T_1 \times 0,7$$

$$\text{Ou : } T_2 = V \times 1,4 \times 0,7 = 0,98 V$$

$$\text{On prendra : } T_2 \equiv V$$

C'est-à-dire : Tonnage vendable $\equiv$ Volume table

$$\text{Ou : } 1 \text{ m}^3 \text{ de sel sur table} = 1 \text{ tonne de sel vendable}$$

Autrement dit, 1 cm de sel sur table représente 100 tonnes de sel vendable par ha de table.

En fait, comme signalé précédemment, la surface « S » est légèrement inférieure à celle des tables salantes puisque l'on tient compte d'une bordure de 1 m le long des chemins et des digues.

Exemple : Evaporation (eau douce) de la semaine : 50 mm et $S = 37 \text{ ha}$

Quel est le tonnage fabriqué dans la semaine ?

$$\text{Exprimons le en tonnage vendable : } T = S \times E \times 1,4 \times 0,7$$

On admet que l'on dépose 1 mm de sel pour 10 mm d'évaporation sur eau douce, soit 5 mm de sel dans la semaine. Soit :

$$T = 37 \times 0,005 = 1850 \text{ tonne vendables}$$

Plan de récolte d'un salin

Le Plan de récolte d'un salin dépend principalement des moyens d'extraction (récolteurs + tracteurs) et de transport (remorques + tracteurs) ainsi que distances de transport entre les tables salantes et le lavage primaire.

Cependant, il faut aussi veiller à ce le lavage primaire soit performant pour traiter la totalité du sel fraîchement récolté, dont il faut éviter le stockage en vue d'une reprise ultérieure.

Exemple de calcul de la récolte de sel 0 Bethioua

Le salin de Bethioua dispose de deux récolteurs de 250 t/h de capacité théorique de production (avec deux tracteurs) et de huit remorques de 7 t de capacité (avec six tracteurs).

Ces récolteurs de capacité théorique datent de 1985 et 1986 et ont subi d'importantes modifications dues à la non disponibilité de pièces de recharge d'origine, telles que accouplements, poulies, etc. la capacité pratique retenue actuellement pour ces récolteurs est de 80 t/h.

On considère un tonnage de sel à récolter dans les salantes de l'ordre de 80 000 t/an (conditions climatiques favorables).

Durée de la récolte

a.1 – Avec un travail à deux postes par jours et 14 h effectives par jour, on a la durée suivante de récolte de sel :

$$\frac{80\,000}{2 \times 80 \times 14 \times 0,8} = 44,6 \text{ ou } 45 \text{ jours}$$

Où : 0,8 : coefficient de productivité.

a.2 – Avec un travail à un (1) poste par jour et 7 h effectives par jour, on a la durée suivante de récolte de sel :

$$\frac{80\,000}{2 \times 80 \times 7 \times 0,8} = 89,3 \text{ ou } 90 \text{ jours}$$

a- Moyen de transport du sel récolté

b. 1 – A deux postes de travail par jour, on a :

Production journalière : $\frac{80\,000}{45} = 1778 \text{ ou } 1800 \text{ t/j}$

Production journalière d'une machine : $80 \times 14 \times 0,8 = 896 \text{ ou } 900 \text{ t/h}$

Nombre de voyages requis : $890/7 = 128 \text{ v/j}$

Longueur moyenne d'un voyage (aller et retour) : 2,4 km

Durée d'un voyage (aller et retour) :

-Vitesse : 20 km/h ; -Durée du voyage : 7,2 min ;

-Déchargement : 3min ; Chargement : $60 \times 7/200 = 2,1 \text{ min}$;

-Durée totale d'un voyage (aller et retour) : 12.3 min ou 13 min

Nombre de voyages d'un remorque par jour : $60/13 \times 14 \times 0.8 = 51,7$ ou 52 voyages

Nombre de remorques requis : $128/52 = 2,5$ ou 3 remorque par machine

Nombre de remorques : $3 \times 2 = 6$ Nombre totale + 2 réserve, soit 8 remorques

b. 2 – A un (1) poste de travail par jour, on a :

Production journalière d'une machine : $80 \times 7 \times 0,8 = 448$ ou 450 t/j

Nombre de voyages requis : $448/7 = 64$ v/j

Longueur moyenne d'un voyage (aller et retour) : 2,4 km

Durée d'un voyage (aller et retour) : 13 min

Nombre de voyages d'un remorque par jour : $60/13 \times 7 \times 0,8 = 25,8$ ou 26 voyages

Nombre de remorques requis : $64/26 = 2,5$ ou 3 3 remorque par machine

Nombre de remorques : $3 \times 2 = 6$ Nombre totale + 2 réserve, soit 8 remorques

Ainsi, en fonction de la disponibilité des moyens matériels du salin de Bethioua, notamment la capacité faible des récolteurs (80 t/h)

Et les huit (8) remorques avec les six (6) tracteurs, la récolte de sel est organisée soit à deux postes de travail par jour, pour une durée de 45 jours, soit à un poste de travail par jour, pour une durée de récolte de 90 jours.

Importance du lavage du sel fraîchement récolté

Il est indisponible d'accorder, lors de la préparation de la récolte de sel, une attention aux installations de lavage primaire aussi importante que celle accordée aux engins de récolte de sel.

En effet, la baisse actuelle de cadence de production du lavage primaire, à cause du mauvais état des grilles desessoreuses, a entraîné la constitution de stock de sel extrait non lavé, qui sera lavé difficilement plus tard étant donné que l'eau-mère restante et les impuretés seront incrustées solidement dans les cristaux de sel.

Il est vrai, certes, que la constitution de ce stock de sel extrait non lavé est par le souci d'extraire le maximum de sel des tables par crainte de pluies précoces suivies de dissolution et de pertes de ce sel dans les tables, mais l'entretien et le bon état des installations du lavage primaire doivent revêtir le même caractère important que pour les récolteuses et les remorques de transport du sel.

III.5.5. Traitement du sel brut

Traitement complet du sel récolté

Il s'agit ici traitement complet du sel récolté dans des tables salantes, soit au niveau du site même du salin (on a souvent l'opération de lavage avec celle de la mise en stock, à proximité de l'usine de traitement ou de raffinage du sel), soit dans des usines de raffinage qui importent du sel brut produit par évaporation solaire.

Il existe aussi des traitements partiels du sel brut récolté par évaporation solaire, mais les qualités des différents produits ne sont pas aussi purs que celui qui est raffiné complètement.

Lavage et stockage du sel récolté

Cette phase technologique de lavage du sel fraîchement récolté, et avant qu'il ne sèche, est indispensable en vue des objectifs suivants :

-Éliminer du sel brut les impuretés physiques telles que sable, argiles et matières organiques tant que le sel est encore humide et avant qu'elles ne s'incrustent dans les cristaux de sel ;

Éliminer du sel brut les eau-mères et leurs sels secondaires contaminants (sels de magnésium et de potassium) et avant qu'ils ne favorisent la cimentation des cristaux de sel entre eux.

L'efficacité du lavage du sel récolté dépend beaucoup de la méthode utilisée, le lavage dynamique (par cônes) étant plus efficace que le lavage mécanique (par vis-sans-fin ou d'Archimède).

Aspect important du lavage primaire

La composition d'un sel sur table dépend, en ce qui concerne les impuretés magnésiennes, de la proportion de saumure l'accompagnant au cours de son stockage en camelle et de la qualité de cette saumure.

Suppose qu'au moment de la récolte on lève le sel avec 15 % de saumure d'accompagnement. Si cette saumure contient 200 g de sel magnésiens par litre (saumure à 28,2 °Bé), on aura pour 10 g de sel, 15 cm³ de saumure contenant :

$$200 \times 15 / 100 = 3 \text{ g de sels magnésiens, ou } 3 \%$$

Si au contraire, la saumure d'accompagnement ne contient que 30 g de sels magnésiens, les 100 g de sel n'en contiendront que :

$$30 \times 15 / 1000 = 0,45 \%$$

Donc, pour purifier un sel par lavage, il faut remplacer la saumure mère qui est autour du cristal par une saumure vierge du type ci-dessus.

C'est ce que font certains salins américains qui fabriquent la saumure de lavage par dissolution du sel récolté. En effet, si ce sel récolté avec sa saumure d'accompagnement contient 3 % de sels magnésiens comme indiqué plus haut, 1 litre de saumure obtenue par dissolution de 300 g de sel contiendra : $300 \times 3/100 = 9$ g et 100 g de sel lavé avec cette saumure, en supposant toujours 15 % de saumure d'accompagnement ne contiendront que : $9 \times 15/1000 = 0,135$ % de sels magnésiens.

On peut apporter une solution élégante à ce problème, qui consiste à déterminer quelle quantité de sels magnésiens doit contenir l'eau de sortie de lavage pour que la saumure restant autour du cristal de sel ne dépasse pas un certain pourcentage. On maintient ce taux de sels magnésiens dans la saumure de sortie en ajoutant à l'entrée du sel à l'atelier de lavage une quantité déterminée d'eau douce.

Il existe une autre solution qui peut ne pas être applicable sur tous les salins : remplacer les eau-mères des tables salantes par de l'eau vierge 15 jours avant la récolte. Dans ce cas, la saumure d'accompagnement est très peu chargée en sel magnésiens et améliore ainsi la qualité du sel obtenu.

Usine de traitement du sel

1. Broyage du sel : A l'alimentation de l'usine de traitement, un broyage est nécessaire pour concasser les agglomérations de sel et les réduire à un diamètre de 8 – 10 mm.
2. Lavage du sel : Le lavage est constitué d'une vis-sans-fin inclinée et par l'injection à contre-courant de saumure saturée. La saumure circulera dans un circuit fermé de purification et sera traitée chimiquement dans des bassins de décantation.
3. Essorage : Le sel lavé sera essoré dans une centrifugeuse qui réduira son humidité à environ 2,5-4,5 %. La saumure rejetée par l'essoreuse sera re-circulée dans le système de purification.
4. Séchage : Le sel essoré sera dirigé dans un sécheur à lit fluidisé qui réduira l'humidité du sel à 1 %. Le séchage sera suivi par un refroidissement par ventilation d'air filtré et forcé.
5. Criblage : A la sortie du séchage, un tamis vibrant sera nécessaire pour retenir les mottes de sel qui auraient éventuellement cimentées dans le sécheur.
6. Broyage : Les refus de criblage (mottes de sel) seront dirigés vers un broyeur qui fournira la granulométrie spécifiée. Le sel sortant du broyeur rejoindra le sel passant à

traverse le crible en direction du conditionnement, avec l'apport préalable nécessaire en additifs (anti-coagulant, fluidisant et iodisant)

7. Conditionnement de sel : Selon les spécificités du marché de sel, on peut prévoir :

- Soit directement l'ensachage du produit fini (en sacs et en sachet) ;
- Soit un autre stade de criblage pour aboutir à deux produits finis (gros sel et sel très fin). Avant leurs ensachages selon les gabarits désirés.

On obtient ainsi la qualité chimique typique suivante (en %) :

Na Cl	Mg	Ca	SO ₄	Insoluble
99	0, 05	0, 06	0, 20	0, 02-0,3

Additifs au sel

En fonction de son utilisation, le sel est commercialisé avec ou sans additifs :

-les agents antimottants: le sel est hygroscopique et pour empêcher une prise en masse des grains de sel, on utilise des additifs tels que les ferrocyanides de potassium ou de sodium dans les limites de 5-15 parties par million ;

-les agents fluidisant : ce sont des produits pulvérulents, qui absorbent toute vapeur d'eau à l'intérieur de l'emballage, tels que la magnésie, le carbonate de magnésium, le silico-aluminate de sodium ou potassium et le phosphate tricalcique, à des taux de 1-2 % :

-les agents iodisants : pour lutter contre les troubles dus à la carence en iode, on doit utiliser en Algérie de l'iodate de potassium, à des taux de 30-50 ppm d'iode (Décret exécutif n°90-40 du 30 janvier 1990 rendant obligatoire la vente du sel iodé pour la prévention de la carence en iode).

Traitements partiels du sel récolté par évaporation solaire

Le traitement mécanique ou raffinage du sel n'est pas à la portée de tous les exploitants, à cause notamment du coût important de l'investissement initial. On distingue généralement, dans les pays en voie de développement, les traitements partiels suivants du sel :

a. Lavage – essorage – broyage – ensachage

Le sel brut est lavé dans une vis-sans-fin (vis d'Archimède) inclinée, avec de la saumure à contre-courant, puis essoré et broyé, avant d'être ensaché manuellement (sachet soudés)

b. Essorage – broyage – ensachage

Ce traitement du sel est constitué d'un pompage-attribution d'un mélange de sel brut et d'eau salée, d'un essorage, avec un retour de l'essora pour se mélanger le sel brut, et d'un broyage du sel essoré et égoutté, avant un ensachage manuel.

c. Lavage- broyage – ensachage

Le sel brut est lavé dans une vis-sans-fin inclinée et égoutté en tas, avant d'être broyé et ensaché manuellement.

d. Broyage et ensachage de sel brut

Il s'agit uniquement du broyage du sel brut, généralement dans des broyeurs inappropriés (en acier oxydable), et l'ensachage laisse souvent à désirer (dans des conditions insalubres).

Les produits de ces traitements partiels dépendent en grande partie de la qualité initiale du sel brut récolté dans les tables salantes et des conditions de leur manutention.

Lorsque le sel brut est proprement récolté et bien stocké (protégé contre la pollution du sable, de l'argile, etc.), avant sa commercialisation, les traitements partiels des points « a », « b » et « c ». Avec un bon contrôle de l'égouttement, peuvent fournir du sel de qualité alimentaire. Par contre, le traitement partiel du point « d » (uniquement un broyage dans des broyeurs oxydables) est à proscrire. En effet, en plus de la qualité intrinsèque non alimentaire, le sel ainsi traité contiendra de la rouille provenant des broyeurs inadaptés pour la circonstance.

III.6.IODATION DU SEL

III.6.1.Aspects techniques de l'iodation du sel

Méthodes d'iodation du sel

Les techniques d'iodation du sel varient selon la composition physico-chimique du produit et les expériences pratiques avec succès dans plusieurs pays ont permis de faire distinguer les méthodes suivantes pour l'iodation du sel

De toutes les méthodes pratiquées dans le monde mélanges manuel, par submersion, à sec goutte et par pulvérisation), c'est le mélange par pulvérisation qui s'est avéré le plus efficace.

La méthode consiste en l'adjonction par pulvérisation atomisée d'iodate de potassium au sel fin (sel cristallin finement broyé) au moment de son déversement d'un convoyeur à bande vers une vis-sans-fin.

Cette méthode est la plus efficace car elle permet, non seulement l'atteinte d'un maximum de petits cristaux de sel par le composé d'iode, mais aussi un mélange uniforme durant le transport par vis-sans-fin, d'où son utilisation très répandue dans le monde.

Ceci étant le cadre idoine de l'iodation par pulvérisation (sel très fin et sec passant par une chambre de pulvérisation, avant le transporteur à vis menant vers l'ensachage), il faut cependant signaler que les applications de cette dernière diffèrent légèrement suivant les pays.

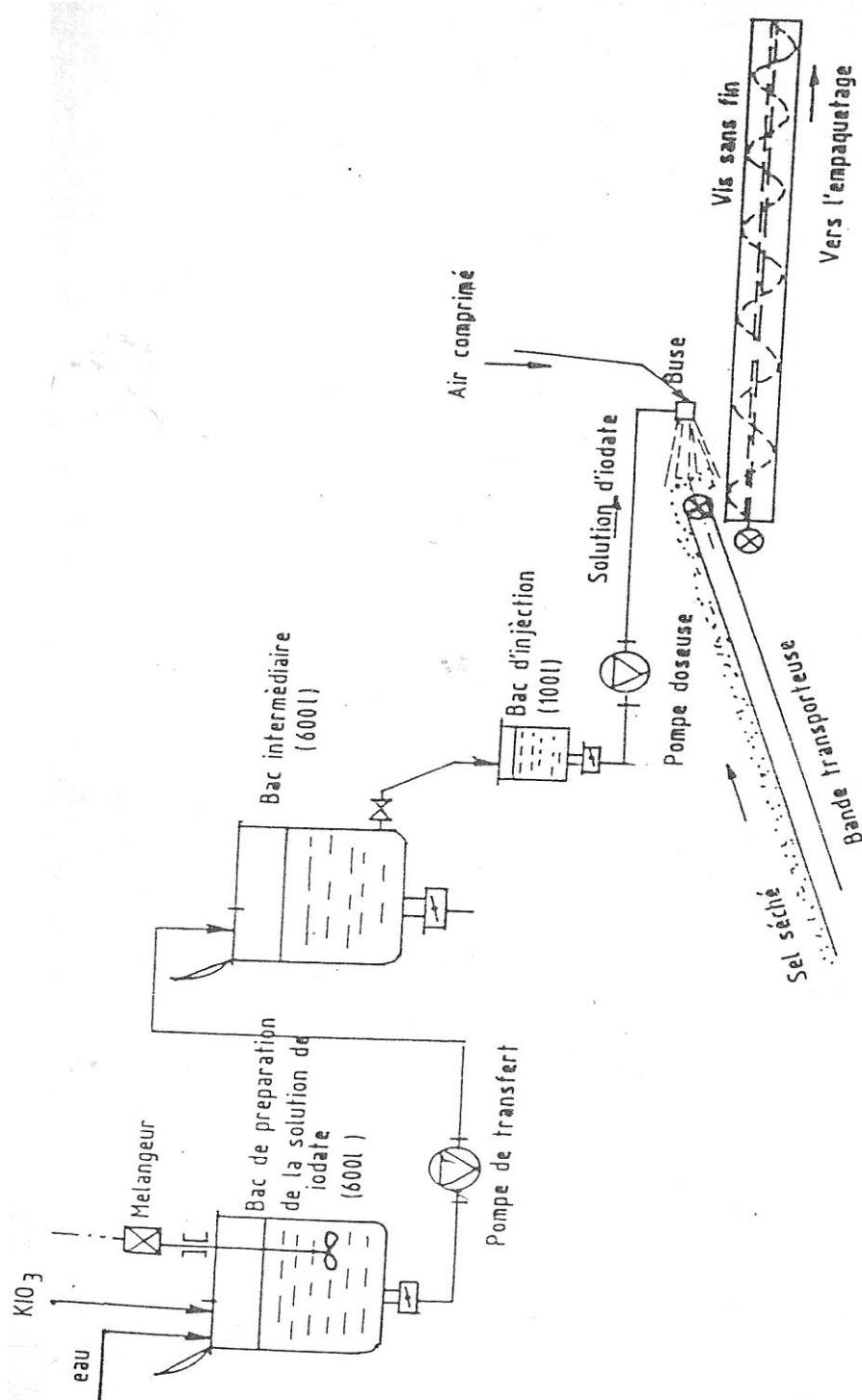
- Le système de mélange par pulvérisation peut être légèrement différent de celui de la (Figure. 08). par exemple, en Algérie, les schémas d'iodation de sel utilisés, basés sur la pulvérisation, diffèrent légèrement du point de vue de la mécanisation.

Au Complexe de sel d'El-Outaya (Biskra), le schéma du sel raffiné (sous- vide, par recristallisation forcée) est totalement mécanisé (voir Figure09), tandis que dans les autres salins algériens une partie du schéma est manuelle, notamment le transfert de la solution préparée d'iodate de potassium vers le bac d'injection (voir Figure 10).

Figure 08 : élévation et plan d'une installation de mélange
par pulvérisation

Figure 09 : schéma d'iodation du sel du complexe d'el-Outaya

Figure 10 : schéma du sel des salins



III.6.2. Conditionnement et distribution du sel iodé

Conditionnement de sel iodé

L'objectif principal de tout programme d'iodation de sel consiste à ce que la teneur requise en iode dans le sel lors de la consommation soit assurée. La rétention de l'iode dans le sel dépend de plusieurs facteurs : du composé d'iode utilisé, du type d'emballage, de l'exposition et la consommation.

Le sel étant généralement hygroscopique à des humidités relatives supérieures à 76%, le sel iodé qui n'est pas convenablement conditionné et qui transporté sur de très longues distances, dans des conditions humides, a tendance à absorber l'humidité, entraînant ainsi une concentration du composé d'iode (iodate de potassium) au fond des sacs.

Afin d'éviter les pertes d'iode dues à l'emballage, les précautions suivantes sont à prendre :

a. Qualité de l'emballage

a.1. le produit brut doit être emballé dans des sacs en polypropylène (PP) ou en polyéthylène à forte densité possédant un revêtement intérieur en polyéthylène de faible densité (PEFD).

a.2. pour l'emballage en vrac, le sel peut être emballé dans des sacs de 4, 9, 20, 25, 40, 50, ou 60 kg.

a.3. pour le petit emballage, le sel peut être conditionné dans des sachets de 250, 300 ou 500 gr, de 1 ou 2 kg, en polyéthylène de moyenne et de faible densité (PEMD et PEFD).

b. conditions d'emballage

b.1. l'emballage utilisé pour le sel alimentaire doit :

- protéger les propriétés organoleptiques et autres caractères qualitatifs du produit ;
- protéger le produit contre toute contamination microbiologique ou autre ;
- protéger le produit, dans la mesure du possible, contre la déshydratation, l'accumulation de chaleur par rayonnement et, le cas échéant, les fluides ;
- ne pas communiquer au produit une odeur, saveur, couleur ou autre caractéristique étrangère tout au long des opérations de traitement (s'il y a lieu) et de distribution, jusqu'au moment de la finale.

b.2 les récipients ne devraient pas avoir servi à d'autres utilisations pouvant donner lieu à une contamination du sel alimentaire. Dans la mesure du possible, il faudrait les inspecter immédiatement avant leur utilisation afin de s'assurer qu'ils sont dans un état satisfaisant. Seuls les matériaux d'emballage destinés à un emploi immédiat devraient être conservés dans la zone où a lieu l'emballage ou le remplissage.

c. Etiquetage

Le conditionnement du sel iodé doit être caractérisé par un étiquetage précis avec les indications suivantes :

- « **SEL IODE** »

- Nom de fabricant :

- Mois/Année de fabrication :n° du lot :

- Composé d'iode : iodate de potassium/ iodure de potassium

- Teneur en iode :.....ppm
- Date d'expiration :.....(12 mois après la date de fabrication)
- Poids net :.....kg
- prix :...../sac
- **Attention** : A conserver dans un endroit frais et sec.

III.6.3.Equipements de conditionnement

Les installations de conditionnement du sel sont diverses : manuelles, semi-automatique et automatique :

- a. Gros conditionnement (sacs de 20 à 50 kg)
 - Manuel : remplissage manuel suivi de fermeture des sacs à l'aide d'une couseuse manuelle ;
 - Gros ensachage automatique : des quantités prédéterminées de sel iodé sont transférées à partir d'une trémie munie d'un alimentateur dans des sacs, circulant sur un convoyeur, qui sont fermés synchroniquement soit par soudure électrique, soit avec une couseuse.
- b. Petit conditionnement (sachet de 0,5 et 1 kg)
 - Ensachage semi-automatique : une trémie munie d'un alimentateur et un doseur à pédale permettent de verser dans le sachet le poids requis de sel ; une soudeuse électrique à pédale permet de fermer les sachets remplis de sel ;
 - Ensachage automatique : un alimentateur volumétrique fournit la quantité prédéterminée de sel dans un tube autour duquel le film polyéthylène forme synchroniquement le sachet qui est rempli de sel et soudé automatiquement.

III.6.4.Choix et dosage du composé d'iode dans le sel

Forme chimique de l'iode

C'est sous la forme de composé chimique que l'iode est introduit dans le sel. En fonction des conditions de fabrication du sel (degrés de pureté et de séchage, utilisation ou non d'additifs anti-mottant et fluidisant, etc...) et du climat (humidité et température), on utilise dans le monde deux principales formes chimiques de l'iode :

- Les iodures de potassium et de sodium (KI et NaI) ;
- L'iodate de potassium (KIO₃).

L'iodure de potassium, grâce à sa grande solubilité est en pulvérisation atomisée pour un sel très pur (+99,5%) et ses (humidité inférieure à 0,1%) et en présence d'additifs stabilisateurs tels que le thiosulfate de sodium et l'hydroxyde de calcium, et/ou d'agents antiagglomérants comme le carbonate de magnésium ou de calcium .

Pour un sel relativement impur et humide, l'iodure s'est avéré instable en se précipitant au fond des sacs et il est plus conseillé, dans ces conditions, d'utiliser de l'iodate de potassium.

En effet, l'iodate de potassium a prouvé sa stabilité dans de mauvaises conditions d'humidité, de température et de luminosité, d'après les travaux de plusieurs chercheurs et les résultats de terrain.

En général, l'iode peut être introduit normalement sous les formes d'iodures et d'iodates de potassium, de calcium et de sodium. L'iodate de calcium est aussi stable dans les sels impropres, mais son utilisation n'est pas répandue.

Le Tab.02 montre les importantes propriétés physiques des différents composés d'iode. On y constate que l'iodure de potassium est plus soluble que l'iodate de potassium. KI est aussi moins cher que KIO₃, cependant, quand il est utilisé dans du sel impropre, son coût global d'utilisation peut être plus élevé à cause de son instabilité.

Le Tab.03 illustre la densité spécifique des solutions diluées. L'iodate de potassium est un sel lourd et les teneurs de la solution peuvent être déterminées avec des hydromètres de précision suivant de besoin.

Fiche technique de l'iodate de potassium

L'iodate de potassium utilisé pour ioder le sel devra se conformer aux normes suivantes :

- Apparence physique : poudre cristalline blanche à presque blanche.
- Particules retenues sur un tamis de maille 100 : 5% max p/p.
- Solubilité : soluble dans 30 parts d'eau.
- Réaction : une solution de 5% dans l'eau sera neutre au tournesol.
- Maximum d'iode p/p : 0,005%.
- Maximum de sulfate p/p : 0,02%.
- Métaux lourds (tels que Pb) : moins de 20 ppm.
- Fer : moins de 10 ppm.
- % maximal de Bromate, Bromure, Chlorate et Chlorure : 0,5.
- % maximal de matières insolubles p/p : 0,5.
- Pertes due au séchage à 105 °C max : 0,5 %.
- Essai (à sec) : 99,0% d'iodate de potassium minimum.
- Emballage : sac en plastique ou tonnelet en papier hermétique (50kg).

Tab.02 – Propriétés physiques de l'iode et de ses composés

Désignation	Formule chimique	% iode	Solubilité dans l'eau (g/l)				
			0°C	20°C	30°C	40°C	60°C
Iode	I₂	100			0,3	0,4	0,6
Iodure de calcium	CaI₂	86 ,5	646	676	690	708	740
Iodate de calcium	Ca(IO₃)₂. 6H₂O	65 ,0		1,0	4,2	6,1	1,6
Iodure de potassium	KI	76 ,5	1280	1440	1520	1600	170
Iodate de potassium	KIO₃	59 ,5	47,3	81,3	117	128	185
Iodure de sodium	NaI. 2H₂O	85 ,0	1590	1790	1900	2050	2570
Iodate de sodium	NaIO₃	64 ,0		25,0	90,0	150	210

Tab.03- Densité spécifique des solutions d'iodate de potassium (dans l'eau, à 18°C)

%iodate	Densité spécifique
1	1,00711
2	1,01572
3	1,02446
4	1,03334
5	1,04236
6	1,05153

Pour fournir 150 ug /jour d'iode sous forme de sel iodé, **la concentration d'iode dans le sel sur le lieu de production devrait être comprise entre 20 et 40 mg d'iode (ou entre 34 et 66 mg d'iodate de potassium)** par kg de sel. Quand tout le sel utilisé dans la préparation des aliments est iodé, il est recommandé de prendre la limite la plus basse (20mg). Dans ce cas, les taux médians d'iodurie varient entre 100 et 200 ug /l

Cependant, dans de nombreux cas dans les pays en développement, en dépit des améliorations apportées à la production et aux techniques de commercialisation, la qualité du sel iodé disponible est mauvaise, ou bien le sel est incorrectement iodé, ou bien le sel correctement iodé se dégrade du fait de l'humidité, de la lumière, de la chaleur ou de contaminants .

Dans ces conditions, les pertes entre la production et la consommation peuvent atteindre 50% ou plus, et les niveaux médians de l'iode urinaire se situent en dessous de la moyenne recommandée (100-200 ug/l). De plus, la consommation du sel est souvent inférieure à 10 g/personne/jour.

Tous ces facteurs doivent être soigneusement pris en considération, en particulier, quand il s'agit de fixer le niveau initial de l'iode dans le sel.

*Si les niveaux médians de l'iode urinaire dans un échantillon représentatif de la population à risque ne se situent pas dans les intervalles recommandés, il faut réévaluer l'iodation du sel en mettant l'accent sur :

-la qualité du sel et les procédures d'iodation,

-les facteurs à l'origine des pertes d'iode du sel, par exemple l'emballage, le transport, le stockage, la cuisson.

-les habitudes alimentaires en relation avec la consommation de sel et pratiques culinaires.

A noter qu'en Algérie, les taux d'iodation sont fixés par décret n°90-40 du 30 janvier 1990 à 3 à 5 parties d'iode pour 100 000 parties, soit de 50, de sel 55 mg à 84,25 mg d'iodate de potassium par kg de sel.

III.6.5. Contrôle de qualité du sel iodé

La surveillance des taux d'iodation dans le sel est importante sur plusieurs aspects :

1. Pour vérifier que le sel importé ou fabriqué dans un pays correspond bien aux normes légales requises

2. Pour s'assurer que le sel iodé qui a atteint le consommateur contient bien l'iode nécessaire pour assurer la prévention contre les TDCI et le besoin physiologique requis.

3. Pour vérifier qu'il n'y a pas de relâchement ou de fraude qui se soit instauré par exemple aux niveaux de la fabrication ou de l'importation.

4. Pour s'assurer que le programme est durable, les autorités doivent prendre les mesures appropriées dès qu'il y a une déviation quelconque dans les taux requis.

5. La surveillance continue des taux d'iodation est une des meilleures et des plus simples méthodes pour le suivi de tout le programme de lutte contre les TDCI, si l'iodation du sel est la stratégie retenue.

6. Le manque d'un tel suivi est la raison principale de l'échec du programme de sel iodé dans plusieurs pays dans le monde.

Conclusion

Généralement l'extraction de sel à partir d'un chott se base sur l'évaporation solaire et la densité de saumure qu'elle résulte la précipitation du sel les partènements, et la cristallisation sur des tables salantes ou bassins de cristallisation.

Trois types de sel sont connus :

- Sel solaire
- Sel gamme
- Sel ignigène

La connaissance des paramètres climatologiques pour les cas des exploitations de sel est très importante dans la mesure où ces paramètres influencent tous les aspects de cette activité; ces paramètres sont :

- La température
- Aérologie
- Humidité relative
- Système de convection
- Evaporation

Les principaux procédés de fabrication de sel sont :

- L'extraction de sel à partir les chotts.
- Lavage de sel.
- Essorage de sel.
- Séchage de sel.
- Criblage de sel.
- Broyage de sel.
- Iodation de sel.

Références bibliographiques

- Etude sur l'utilisation de l'iode par la population au niveau de la province de TAZA : (Cinquième cours national de formation en Administration Sanitaire et Santé Publique (1997 – 1999)) pp 01-02.
- Le sel dans les industries alimentaires : (Projet tutoré de Colin Christelle et de Teissier Thomas) pp 03-09.
- Etude comparative de deux systèmes aquatiques dans le Sahara septentrional (Chott Merouane et Ain El Beida), environnement et signes de dégradation : (Mémoire réalisé par Melle MERABET Soumia) pp 10-12.
- Aspect technique de fabrication du sel par évaporation solaire : (Manuel de formation-ENASELS réalisé par L. Mefteh. Expert minier agréé) pp 13-54.