



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie
Département de chimie industrielle

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie des procédés et de l'environnement

Réf. :

Présenté et soutenu par :
ARAR Laid

Le : Lundi 8 juillet 2019

Etude de l'inhibiteur des teneurs en Ca^{+2} et Mg^{+2} lors des traitement du pissement du sel (station EL-MEGHAIER)

Jury :

Dr	BOUREMEL Cherifa	MCA	Université de Biskra	Président
Dr	SAKRI Adel	MCA	Université de Biskra	Rapporteur
Dr	ADAIKA Kaltoum	MCB	Université de Biskra	Examineur

Remerciements

Tout d'abord, ce travail ne serait pas riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Dr SAKRI Adel**, on lui remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.

Nous sommes conscientes de l'honneur que nous a fait et **Mme BOURMEL Chérifa** en étant président du jury et **Mme ADAIKA Kaltoum** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos profonds remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenus de près ou de loin principalement à le directeur d'unité de SME, **Mr GUATTAF TAMMAM Mohamed** et BASSOU Naim, tous l'effectif du service de laboratoire unité salins merouane el-mehaier, notamment (hichame, rokia, rahima) ainsi n'oubliez pas notre directeur de la direction déléguée du commerce el-meghaier, Mr BASSI Kamel, CHETTIR a/rahmane, et tous les collègues.

Notre remerciement s'adresse également à tous nos professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont su faire preuve malgré leurs charges.

Dédicace

Merci Allah (mon dieu) de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire

" Ya Kayoum "

*Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à **ma mère**.*

*A **ma épouse**, , qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger,*

et je prie Dieu pour lui guérir et revenir sain,

Que dieu les gardes et les protège.

*A celui que j'aime beaucoup, mes enfants : **mohamed**, **fatima zohra**, **ayat arrahmane**, **omar** et **hafsa** .*

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

Je dédie ce travail.

Résumé

Au cours de ce travail, on a étudié les évolutions des concentrations massiques des éléments chimiques : Ca^{+2} et Mg^{+2} de sel lavé sous l'effet du débits volumiques, des eaux d'alimentations et des eaux recyclées et cela pour avoir un traitement sélectives.

D'après les résultats obtenus, on peut maîtriser la qualité du produit et de minimiser les couts des énergie électriques consommées.

Mot clés : évolution, eaux de lavage, sel, station de lavage, recyclée, essorage.

المخلص

خلال هذا العمل، قمنا بدراسة تطورات التراكيز الكتلية للعنصرين الكيميائيين وهما: الكالسيوم والمغنسيوم للملح المغسول تحت تأثير التدفقات الحجمية لمياه الغسيل المغذية والمسترجعة، وهذا من اجل التوصل الى معالجة انتقائية. ومن خلال النتائج المتحصل عليها، توصلنا الى التحكم من نوعية الملح وكذا التقليل من تكاليف استهلاك الطاقة الكهربائية. الكلمات الرئيسية : تطور، مياه الغسيل، ملح، محطة الغسيل، مستعمل، العصر.

Sommaire

Remerciement.....	i
Dédicace.....	ii
Résumé	iii
Sommaire.....	iv
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux	ix
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Présentations de la zone d'étude.

I. Présentations de la zone d'étude.....	3
I.1- Introduction.....	3
I.2- Importances des paramètres météorologiques.....	6
I.2-1- Température de l'air.....	6
I.2-2- Précipitations.....	6
I.2-3- Humidité relative	6
I.2-4- Evaporations.....	7
I.2-5 Vents.....	7
I.3 -Règles d'exploitations du sel de chott	9
I. 3-1- Définitions-	9
I.3-2- Suivi de la chaine de production.....	10
I.3-2-1- Stations de pompage	10
I.3-2-2- Cristallisations	10

I.3-2-3- Rejets des eaux mères	11
I-3-3-Extractions du sel (récolte et transport du sel).....	11
I-3-3-1- Historique sur les extractions du sel.....	11
I-3-3-2-Station de lavage du sel.....	12
I-3-3-3- Stockage du sel lavé en camelle.....	12
I.4-Descriptions des procédés des traitements de sel alimentaire.....	12
I.4-1- Broyage du sel.....	12
I.4-2-Séchage du sel.....	13
I.4-3- Iodations du sel.....	13
I.4-4- Station de criblage du sel.....	13
I-4-5- Stockage et conditionnement du sel	13
I-5- Planning de contrôle de sel alimentaire.....	13

Chapitre II : Généralités sur le sel de chlorure de sodium

II. Généralités sur le sel de chlorure de sodium.....	15
II.1-Historique.....	15
II.2- Description du sel de chlorure de sodium NaCl	15
II.3- Caractéristiques physiques	15
II.4- Utilisation du sel de chlorure de sodium:.....	17
II.5-Déférents procédés de production du sel.....	17
II.5-1-Méthode agricole (marais salants).....	17
II.5-1-1- Eau de mère et les saumures.....	18
II.5-1-2- Autres sources des saumures.....	18

II. 5-2- Méthode minière :.....	19
II. 5-3- Méthode thermique :.....	20
II.6- Précipitations des évaporites des saumures de chott.....	21
II.6-1-Ordres des précipitations des évaporites	21
II.6-2-Précipitations des carbonates.....	22
II.6-3-Précipitations de gypse.....	22
II.6-4-Précipitations de chlorure de sodium.....	22
II.6-5-Précipitations des sels secondaire.....	22

Chapitre III : Procédés de lavage du sel de chott

III. Procédés de lavage du sel de chott.....	24
III.1-Definition.....	24
III.2-Principe de lavage de sel de chott par une station de lavage.....	24
III-2-1 - Bilan de matières de la station de lavage du sel	24
III-2-2. Débits (volumiques ; massiques) des variables de la station de lavage du sel....	24
III.3-Descriptions de la station de lavage.....	25
III.3-1-Bassin d'alimentation des eaux de lavage.....	25
III.3-2-Bac de mélange (sel brut / eau d'alimentation)	26
III.3-3-Essorage du sels.....	26
III.3-3-1-Hydrocyclone.....	27
III.3-3-2-Hydro-extracteur (essoreuse vibrante à panier rotatif.....	28
III.3-4-Bac des rejets.....	29
III.3-5-Bassins des décantations.....	30

Chapitre IV : Matériel et méthodes

Présentation problématique	31
IV-1. Méthode de travail.....	32
IV-1-1 -Echantillonnage.....	32
IV-1 -2-Lieu d'analyse :	32
IV-1 -3-Méthodes d'analyse :	32
IV-1-3-1 -Introduction :	32
VI-1-2-3- Dosage des éléments chimiques dans le sel	33
A- Dosage du Calcium (Ca^{+2}) et Magnésium (Mg^{+2}) : par méthode complexométrie à L'EDTA Bisodique	33
B- Dosage des sulfates: méthode gravimétrique ($\%\text{SO}_4^{-2}$)	35
C- Dosage du chlore (méthode argenté – métrique).....	36
D- Dosage des carbonates et bicarbonates.....	37
VI-1-2-3- Dosage des éléments chimiques dans la saumure.....	38
A- Déterminations des ions Ca^{+2} et Mg^{+2}	38
VI.2--Matériels utilisés.....	39

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1-Résultatset discussions.....	40
V.1 -1-Variations du $[\text{Ca}^{+2}]$ du sel lavé , brut , eaux alimentation et eaux recyclé en fonction du temps.....	43
V.1 -2-Variations du $[\text{Mg}^{+2}]$ du sel lavé , brut , eaux alimentation et eaux recyclé en fonction du temps.....	44
V.1 -3- Variations du $[\text{Ca}^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit de l'alimentation.....	45
V.1 -4- Variations du $[\text{Mg}^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit de l'alimentation.....	46
V.1 -5-Variations du $[\text{Ca}^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit de eaux de recyclé.....	47

V.1 -6-Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit de eaux de recyclé	48
Conclusion générale.....	50
Références	51
Annexe.....	x

Liste des figures

Figure I.1: Carte de situation des Chotts en Afrique du Nord à l'échelle 1/1000.000.....	03
Figure I.2: Carte de situation de Chott Merouae.....	04
Figure I.3: Carte des zones humide Algérienne d'importance international. (Chott Merouane)....	05
Figure I.4: Carte de l'exutoire naturelle de la région de Oued Righ (Chott Merouane).....	06
Figure I.5: Falaise du Chott bordé par le sel.....	08
Figure I.6: Tables salantes.....	08
Figure I.7: Gerbage du sel lavé, stocker en camelle (pour séchage naturel).....	09
Figure.II-1: masse de sels précipités dans la saumure du Chott en cour d'évaporation.....	14
Figure III.1: schémas de station de lavage.....	24
Figure III.2 : bac de mélange (sel brut / eau d'alimenttion).....	27
Figure III.3 : l'hydrocyclone et l'essoreuse.....	29
Figure III.4 : bac de rejet.....	29
Figure IV.1 - laboratoire unité salins Merouane ENASEL El-Meghaier.....	33
Figure V.1- Variations du $[Ca^{+2}]$ du sel lavé, brut, alimentation et recyclé en fonction du temps.	44
Figure V.2- Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé, brut, alimentation et recyclé en fonction du temps	45
Figure V.3 : Variations du $[Ca^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit d'alimentation.....	46
Figure V.4 : Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit des eaux recyclé.....	47
Figure V.5- Variations du $[Ca^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit de eaux de recyclé.....	48
Figure V.6 : Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit d'alimentation.....	49.

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Présentation du planning de contrôle de la qualité du sel alimentaire.....	14
Tableau II.1 : Caractéristiques du cristal de sel.....	16
Tableau II.2 : Compositions des différents sels (en %).....	17
Tableau II.3 : Composition ionique de quelques saumures naturelles.....	19
Tableau III.1 : Débits (volumiques ; massiques) des différents variables de station de lavage du sel.....	25
Tableau III.2 :Spécifications des eaux (saumure) de lavage d'alimentation.....	25
Tableau III.3 :Composition chimique du sel à l'états brut (avant lavage).....	26
Tableau III.4 : Caractérisations physique de produit à essorer.....	27
Tableau III.5 :Qualité requise du produit à la sortie.....	28
Tableau IV.1 : Tableau résume les matériels utilisés.....	39
Tableau V.1 : Résultats des analyses chimiques.....	40

Introduction générale

Introduction générale

Nul produit n'est peut-être d'un usage plus courant que le sel ou chlorure de sodium. Nulle substance n'est, en tout cas, plus répandue puisque, dissous en quantité inépuisable dans l'eau de mer (30 g/l), le sel se trouve couvrir, sous cette forme, les trois quarts du globe, sans parler des mers intérieures, des lacs salés et des nombreux gisements de sel gemme qui existent dans presque tous les pays du monde.[1]

Plusieurs études scientifiques qui ont été réalisées sur le chott Merouane sont articulées seulement sur phases liquide du sel (les saumures), dissolution/ précipitations des minéraux évaporitiques, tel que : HACINI M 2006, KADRI M 2012,

Le sel dans l'industrie, chlorure de sodium, en état solide est la matière de base de la grandes industries chimiques pour la production de chlore, du sodium et de leurs dérivés,

Par ailleurs, le sel est des très loin, le produit le plus utilisé, en l'hiver pour assurer le déneigement et le déglacage des voies, il est aussi employé dans le domaine industriel le plus variés qui vont de l'adoucissement des eaux au mélange réfrigérant, en passant par la métallurgies et conservation des cuirs et peau.

Trois secteurs de la chimie sont consommateurs de sel : l'électrolyse du chlorure de sodium, la fabrication du carbonate de sodium et celle de sulfate de sodium.

Fondant ionique par excellence, le sel à la propriété d'abaisser le point de congélation de l'eau dans lequel est dissous.

Dans le cadre de notre formation en master en génie de procédés et de l'environnement, nous avons effectués un stage au sein de l'entreprise nationale du sel (ENASEL) unité salins Merouane ELMEGHAIER, au service du laboratoire durant 01 mois, pour exploiter les connaissances requises lors notre cursus universitaire.

D'après notre entretiens avec les responsables de l'unités ENASEL, nous, nous signalons par des problèmes rencontrés sur la spécification technique du sel, demander par certains clients potentiels qui exigent du sel de chott ont des caractéristiques chimiques définies, le rapport $Ca^{+2}/Mg^{+2} \geq 2$

L'objectif de ce travail est de trouver des solutions à l'échelle industrielle, aux problèmes rencontrés ; et de vouloir satisfaire les exigences des clients potentiels, par des moyens moins coûteux et moins des déchets des produits chimiques, et moins des énergies électriques.

On a proposé des modifications au niveau de la procédure du lavage du sel de chott, sur le plan des débits de charges des éléments entrés dans la station du traitement du sel d'ENASEL El-meghaier .

Pour faire répondre à ces questions, nous allons aborder le sujet suivant en deux parties :

- Partie bibliographique répartie en trois chapitres ;

Dans le premier Chapitre, nous présentons la zone d'étude, et mode de production du sel dans l'unité Salin Merouane ENASEL el-meghaier.

Dans le second chapitre nous aborderons les généralités sur le sel et ainsi que les procédés de productions utilisées dans le monde ;

Dans le troisième chapitre, nous présentons les descriptions du procédé de traitement utilisés par l'unité Salin Merouane ENASEL el-meghaier ,

- Partie expérimentale, est répartie en deux chapitres :

Dans le quatrième chapitre, nous présentons les échantillonnages sur terrains et les modes opératoires utilisés dans le laboratoire d'ENASEL, pour les déterminations des compositions chimiques du sel et des saumures.

Le 5^{ème} chapitre les résultats et interprétations.

Et enfin une conclusion générale.

Partie bibliographique

Premier chapitre :
Présentations de la zone
d'étude

I- Présentations de la zone d'étude :

I-1- Introduction :

Le Chott Merouane est situé dans la région NORD-EST du Sahara Algérien dans la wilaya d'EL Oued, 9 Km d'El Meghaïer, avec les coordonnées géographiques (figure I.1).

33°55' N 006°10' E et avec Altitude moins 40 m et superficie de 337.700 hectares.

Le Chott Merouane est une zone humide (figure I. 2) ont les eaux salées proviennent sur tous d'Oued-Khrouf (figure I.3) du canal collecteur et exutoire des eaux d'évacuation issues des eaux de drainage des palmeraies (excès d'irrigation) et de rejets d'eaux usées des communes de Touggourt et de Djamâa (remontée de la nappe phréatique). Situé en région aride caractérisée par un climat aride, le Chott est un biotope adéquat pour l'avifaune sédentaire et de passage. Le Chott présente une importance internationale [02].

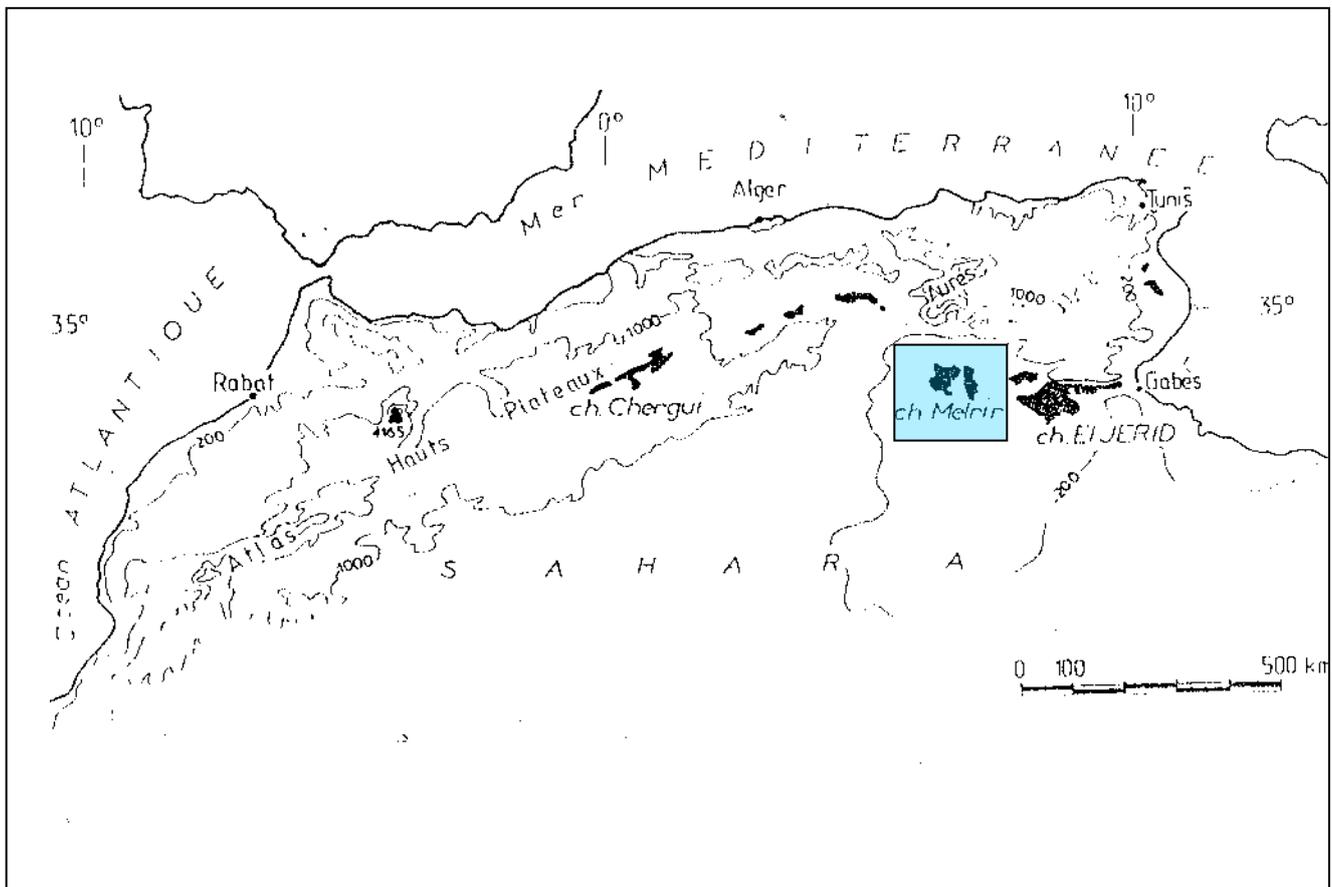


Figure I.1: Carte de situation des Chotts en Afrique du Nord à l'échelle 1/1000.000 [03].

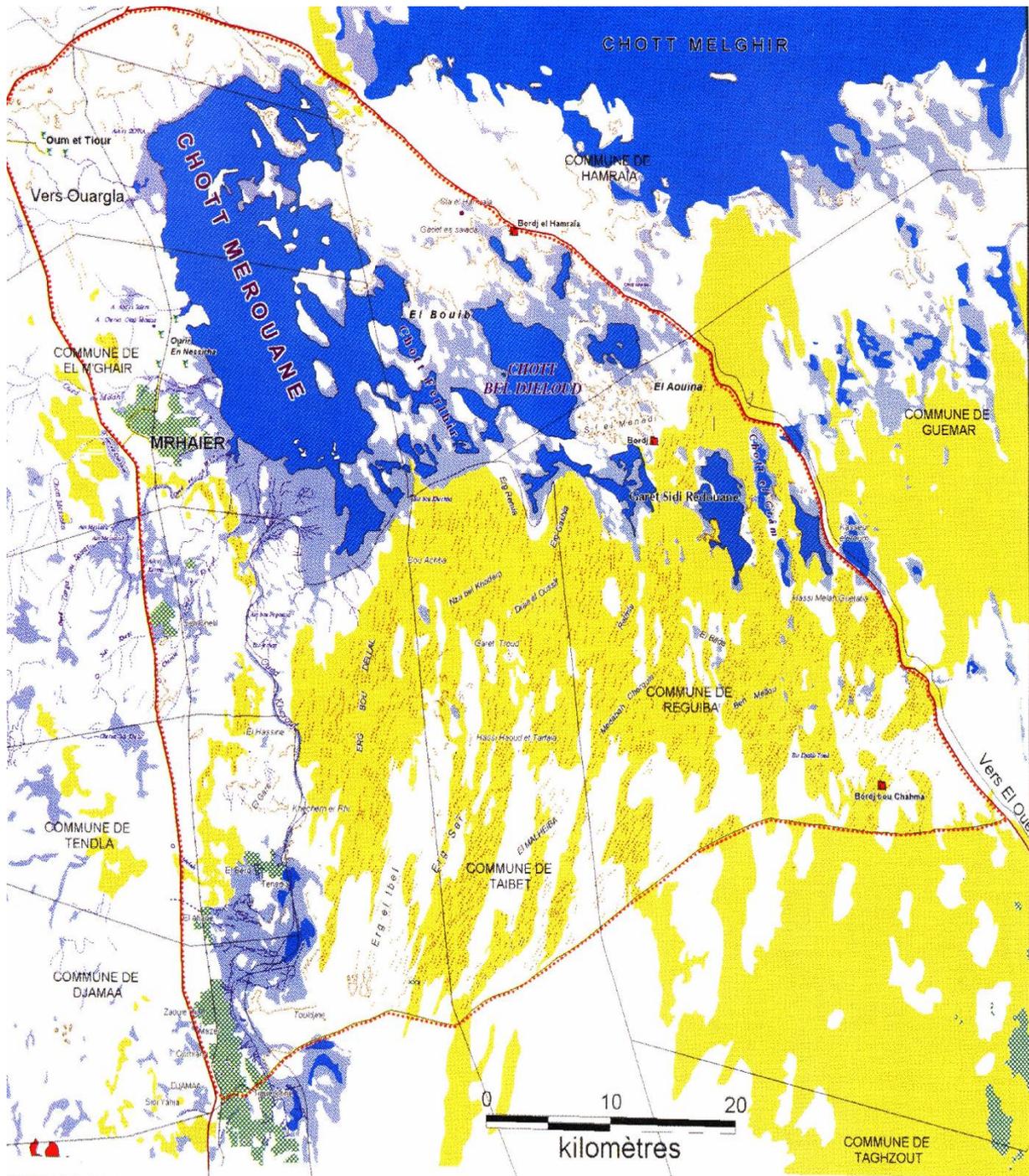


Figure I.2 : Carte de situation de Chott Merouane [02].



Figure I.3 : Carte des zones humide Algérienne d'importance international.

(Chott Merouane) [04].

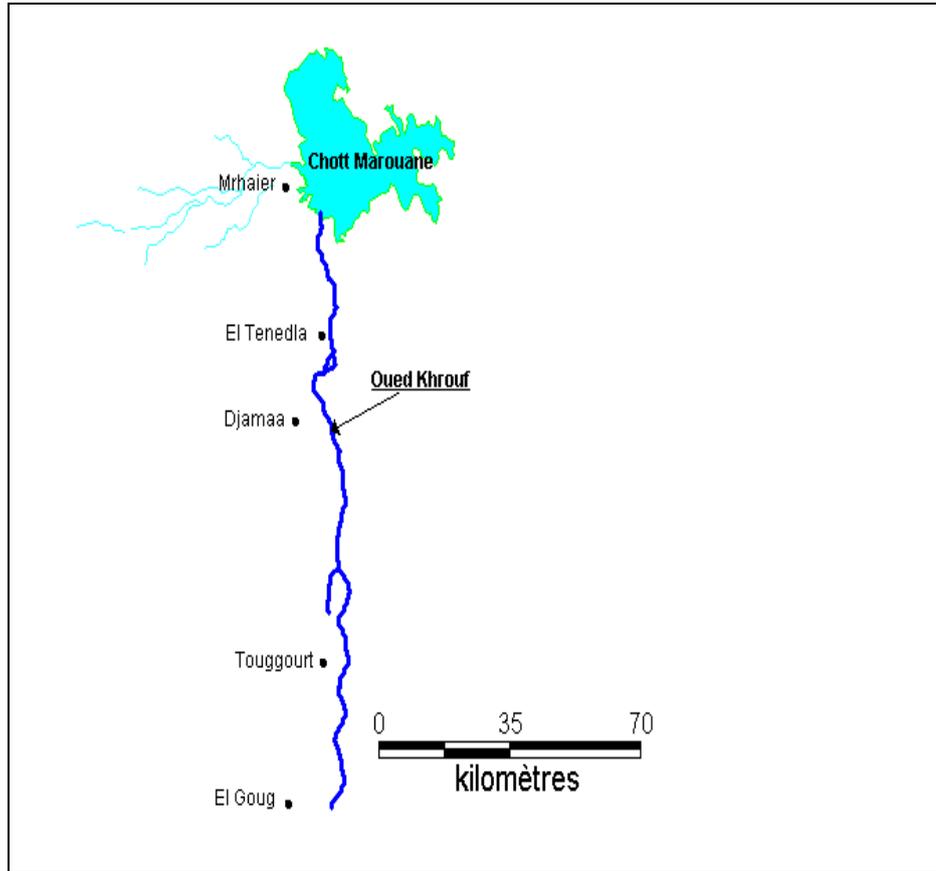


Figure I.4: Carte de l'exutoire naturelle de la région de Oued Righ (Chott Merouane) [02].

I -2- Importance des paramètres météorologique :

I-2-1- Température de l'air :

La Température de l'air, surtout les écarts journaliers et la température extrêmes, peut avoir une influence sur l'exploitation du sel, notamment lors des moments critiques de pompage du saumure pré concentrées dans les tables salantes pour la cristallisation des sels [04].

I-2-2- Précipitation :

Les relevés de pluies, sur les sites des salins et dans la région, permettent d'étudier l'apport direct douce venant s'ajouter au Chott, qui fera l'objet d'évaporation naturelle, et l'apport indirect d'eau entrant dans le bilan hydrique de salin [04].

I-2-3- Humidité relative :

La connaissance de l'humidité relative est nécessaire pour déterminer les périodes les plus efficaces pour l'extraction 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 plus, bien qu'elle se manifeste encore sur l'eau douce : c'est l'humidité critique ou humidité relative à l'équilibre.

Une humidité élevée constitue nécessairement un frein à l'évaporation d'une saumure saturée [04].

I-2-4- Evaporation :

L'évaporation tout comme la pluie, varie généralement dans de notables proportions 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 des 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 salantes) [04].

I-2-5- Vents:

Les relevés des mesures des vents, en direction et en intensité, sont importants pour la connaissance de leur 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 de vent sur les surfaces des saumures favorise le taux d'évaporation.

En général, l'origine des vents peut être déterminée en fonction de l'hygrométrie :

- Avec faibles hygrométries : vents du désert (sirocco) chauds et secs, violents et souvent accompagnés de sables et d'éléments fins très nuisibles pour la production salinière (outre ces éléments modifient la cristallisation et perturbent les dépôts du sel) [04].



FigureI-5: Falaise du Chott bordé par le sel.



(Figure I.6: Tables salantes (superficie entre 7 et 8.5 Hectares



Figure I.7: Gerbage du sel lavé, stocker en camelle (pour séchage naturel)

I-3-Règle d'exploitation du sel de chott :

Il existe plusieurs façons de récupérer le chlorure de sodium selon leur origine. Mais en Algérie, il existe deux modes comme suit :

I-3-1-Définitions :

C'est le dépôt de minerai contenant une grosse concentration de sel comestible. Ces gisements de sel ont été constitués par l'opération des lacs de sel durant la préhistoire.

C'est dépôt peuvent être extraits par injection d'eau. L'eau injectée dissout le sel qui est de plus en plus concentrés. Lorsque saumure (l'eau salée) atteint le degré de saturation. Cette dernière est transvasée vers les maris salants ou le sel sédimente et peut être récolte par raclage [4].

Le sel gemme est extrait des mines de sel, sous formes montagnes à la nature, après que le sel brut est remonté des mines par explosion, il est raffiné pour l'épurer. La purification compte habituellement une phase de recristallisation.

Durant cette phase, une solution de saumure est traitée avec des produit précipitant les impuretés sous de boutes (en grande partie du sel de magnésium et de calcium) .

Des étapes multiples d'évaporation sont alors employées pour récupérer les cristaux purs de chlorure de sodium, qui sont séchés [4].

I-3-2-Suivi de la chaine de production :

I-3-2-1- Station de pompage :

Lorsque la saumure au niveau de chott atteint un degré de saturation équivalent a une concentration de 25.7 °Be. Cette dernière est traversée vers les tables (marais) salantes.

Remarque : **Baumé (Be°) =145-145/d(g/l).**(annexeI.1)[05]

I-3-2-2- Cristallisation :

La cristallisation est un phénomène opposé à la dissolution, c'est le passage d'une phase liquide à une phase solide, initié au moment de la saturation de la solution, elle peut se produire de deux manières différentes :

- 1- Maintien de l'évaporation afin de créer un dés équilibre thermodynamique.
- 2- Abaissement de la température pour diminuer la solubilité de la matière (phénomène de frappe).

En toute hypothèse la solubilité du NaCl varie peu avec la température, à la saturation de la solution est en équilibre thermodynamique, c'est à dire la vitesse de dissolution est égale à la vitesse de cristallisation, si la vitesse de cristallisation se maintient supérieur à au cours de phénomène, le processus de cristallisation est enclenché(progresse).[7]

Cet état de la saumure et du sel est lié aux conséquences de l'évaporation qu'elle va maintenir la sursaturation.

L'excès de la solide dans les solutions, commence a précipité à l'état cristallin sans changement des facteurs(évaporation, température, la tension de vapeur...)cet état est tendance à maintenir

la sursaturation en cristallisant la solution se maintienne dans un nouvel état d'équilibre, le phénomène, va continuer tant que cet état ne se déplace.

En résumé, l'évaporation constante du solvant (saumure) maintiendra la solution en sursaturation, cet état fera que la cristallisation est maintenue.

On peut dire que le phénomène de cristallisation deviendra significatif à partir du moment de l'apparition de premier cristal (vie a l'œil nu).

La cristallisation est occurrente à partir des nucléus initiaux et le cristal va se former par accroissement en juxtaposition des nouvelles molécules sur les surfaces des nucléus de base.

La cristallisation est le résultat de sédimentation de substances sur a la surface initiale.

Si durant l'accroissement du cristal, on fait varier un des facteurs qui influence l'homogénéité ou la composition chimique, on influence la structure séquentielle ; la croissance normale d'un cristal se fait par la sédimentation de couches planes, se forme ainsi un cristal de NaCl caractérisé par sa forme pyramide inversé.

Cette cristallisation se fait de manière cubique, tous les éléments de cristallisation concurrent vers un point unique c'est le nucléus, c'est un phénomène physique [7] .

I-3-2-3- Rejet des eaux-mères :

On attendra donc d'atteindre une concentration de 29°Bé pour ensuite rejeter la saumure résiduelle, ou "eau mère" dans le Chott pour une dilution, ou dans des bassins spéciaux de stockage pour un éventuel traitement. On aura alors une couche de sel cristallisé d'environ 20cm d'épaisseur qui sera récoltée après exposition-évaporation ultime [04].

I-3-3-Extraction du sel (récolte et transport du sel) :

I-3-3-1-Historique sur les extractions du sel :

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

Dès que là, les tables salantes composent des couches du sel importantes, le saunier vidé les des eaux mères (saumure pauvre de NaCl), et commencera la récolter du sel par des récolteur, et comme le sel récolté (sel brut) contient encore des sels nuisibles, les résidus insolubles, il doit passer par l'opération de prétraitement au niveau d'une station de lavage, et cela pour augmente la teneur en NaCl [7].

I-3-3-2- Station de lavage du sel :

Le lavage est une opération de purification physico-chimique ; physiquement pour éliminer les matières insolubles (sables, argiles.) et chimiquement pour abaisser les sels secondaires tel que (CaCl₂,MgCl₂,CaSO₄ ,MgSO₄ ,...) [7].

Au début de lavage du sel se fait sur les tables, à l'aide des râteaux on fait barboter le sel dans la saumure (opération manuelle), mais, maintenant les grands producteurs du sel, utilise des vis sans fin, on versait le sel mélangé avec la saumure dans une trimé et on fait remonter vers un égouttage, cet égouttage va nous permettre de se débarrasser de la majorité de la saumure d'accompagnement contenant les produits a éliminés à savoir : les insolubles, les ions chimiques incriminés (Mg) ; on a amélioré les méthodes de lavage, par une autre manière c'est faire passer le sel par des raclettes sous un jet d'eau, on a inventé alors les laveurs en palettes avec un grille qui sert a temps de séjour avec l'eau de lavage , le mélange solide/liquide pompé vers les essoreuses à travers des hydro cyclones. le sel essoré a un taux d'humidité ne dépassent pas 3-4%. [7]

I-3-3-3- Stockage du sel lavé en camelle :

Le sel prélavé obtenu est transporté par un convoyeur qui alimenté la gerbeuse (station de lavage).

Le sel sortant du lavage primaire est stocké dans des camelles de préférences hautes et avec une petite surface a la base pour réduire les pertes occasionnées par les eaux pluies [7]

I-4- Description du procédé du traitement du sel alimentaire :

Le sel de chott prélave (lavé une seule fois) transporter vers des stations de traitement de sel.

I-4-1- Broyage du sel :

Cette étape particulière est nécessaire pour satisfaire les besoins du marché dans le secteur du sel, en fonction des dimensions des grains [06]

I-4-2- Séchage du sel :

Passant à travers une vis sans fin, le sel broyer est déversé dans un sécheur/ refroidisseur dans le but est d'amener son humidité de 3 -4 % vers environ 0.20%. Ce dernier doté d'un dépoussiéreur (aspire le sel en poudre) et deux ventilateurs soufflants l'un d'air chaud qui sert le sel a une température de 200°C (l'air est chauffé dans une chambre de combustion) et l'autre d'air froid pour le refroidir.[06]

I-4-3- Iodation du sel :

Le sel passé par une balance différentielle qui commande le débit d'injection de la pompe en iodate de potassium (KIO₃), qui est sous forme de solution, l'injection se fait du passage du sel dans une vis sans fin pour assurer l'homogénéité du sel avec l'iodate de potassium.[06]

I-4-4-Station de criblage du sel :

Cette étape est réalisée à l'aide d'un vibro tamis a une capacité filtrante appropriée aux diverses du sel, le tamis est composé par des étages de séparations, pour obtenir la maille du sel homogène. [06]

I-4-5- Stockage et conditionnement du sel :

Le sel ainsi obtenu est envoyer vers les silos de stockage ; puis vers les ensacheuses pour être conditionné dans des sachets de 01 kg, les produits finis transféré pour la commercialisation. [06]

I-5- planning de contrôle de qualité de produits :

La surveillance de la qualité de produits par une planning de contrôle qui géré par le service de contrôle de qualité de l'unité au cours de la chaine de productions du sel à partir de le saumure jusqu'à le produit fini (sel alimentaire), selon le tableau suivant :

Tableau I.1 : planning de contrôle de la qualité du sel alimentaire [7].

Niveau	Désignations	Essais et contrôle	Fréquences
Chott (lac)	Saumure pompage	La densité en Be° Composition chimique	Chaque jour A chaque pompage
Tables salante	Saumure de table	La densité en Be° Composition chimique	Chaque jour A chaque élévation de degrés de baumé
Sel de table	Sel brut	Composition chimique Analyse granulométrique	A chaque table récolté
Sel en camelle	Eau de lavage	Le degré de baume De l'entrée et sortie	A chaque traitement
	Sel lavé	Composition chimique Analyse granulométrique La masse volumique	A chaque table récolté
Réception de matière première	Sel brut (pré lavé)	Composition chimique L'humidité	A chaque réception
Au cours de traitement	Eau de lavage	Bactériologique * Métaux lourds	1fois /an
	Sel alimentaire	Composition chimique Granulométrie L'humidité	1fois /mois 1fois/poste 1fois/poste
		Teneur en KIO3	04fois/poste
Au niveau de conditionnement	Sel alimentaire conditionné (Produit finis)	Marquage Date de production Soudure Poids Dimension Aspect physique	
		KIO3 Humidité Granulométrie	02fois/ poste 01 fois/ jour 01 fois/jour

- Remarque :

*Les analyses bactériologiques et les métaux lourds (les contaminations) [L'Arsenic (As), cadmium (Cd), mercure (Hg), le cuivre (Cu) et le Plomb (Pb),] sont faite dans une laboratoire de toxicologie (externe) , une fois par an selon le planning.

Deuxième chapitre :
Généralité sur le sel de
Chlorure de Sodium

II-Généralité sur sel de chlorure de sodium :

II-1. Historique :

Le sel a été utilisé par les romains pour le traitement des peaux, la conserve des aliments, notamment la viande, puis il devient une monnaie d'échange d'ailleurs le mot salaire provient du mot sel (SALARIUM) [07]

L'extraction du sel se faisait en deux étapes :

- L'eau salée était mise dans des cuvettes d'une vingtaine de litres de capacité. Posées sur des cales en terre, ces cuvettes étaient placées dans des fours circulaires creusés dans le sol sur un lit de braises incandescentes. La saumure se concentre alors par l'évaporation de l'eau. - La 2ème étape consistait à la cristallisation du sel. Un montage en forme de grille était soumis au feu allumé en dessous. Le sel se cristallisait alors dans les moules. Le pain de sel se formait et il était récupéré en brisant le godet. Les fours pouvaient être utilisés une douzaine de fois avant d'être détruits. [08 ; 09]

II.2- Description du sel de chlorure de sodium NaCl :

Le sel est un produit cristallin se composant principalement de chlorure de sodium. Le chlorure de sodium est un cristal ionique de formule chimique NaCl qui est constitué d'ions sodium : Na⁺, et d'ions chlorures : Cl⁻ qui occupent alternativement les sommets des cubes. C'est un solide blanc, soluble dans l'eau à toute température, légèrement soluble dans l'alcool et insoluble dans l'acide chlorhydrique concentré. [10]

Il provient soit de la mer, soit de gisements souterrains de sel gemme, soit encore de saumure naturelle. Le terme sel désigne également les composés formés par la réaction entre un acide et une base, ou réaction de neutralisation. [10]

II.3- Caractéristiques physiques :

Les sels sont des composés ioniques ayant un point de fusion relativement élevé. Ils sont conducteurs d'électricité à l'état fondu ou en solution, et ont une structure cristalline à l'état solide. A des degrés divers, les sels habituellement commercialisés renferment, outre le constituant principal (chlorure de sodium NaCl), d'autres corps en quantité plus ou moins importante, tels que des matières insolubles dans l'eau (argiles, sable ou marnes), des sulfates de calcium ou de magnésium, des chlorures alcalino-terreux et autres halogénures alcalins. Si,

pour certains usages, la pureté doit être la plus grande possible, il existe d'autres cas où les compagnons du sel sont sans inconvénients, voir bénéfiques [01].

Les principales caractéristiques du chlorure de sodium sont résumées dans le tableau suivants:

Tableau II.1 : Caractéristiques du cristal de sel [01]

Nom minéralogique	Halite
Cristallisation	cubique
Taille	5, 64Å de côté
Distance inter-atomique	2, 82
Indice de réfraction	1, 544
Masse moléculaire	58, 45
Densité du liquide à 801°C	1, 549
Densité du cristal de sel	2, 165
Chaleur spécifique	0, 22Kcal/Kg/°C
Solubilité dans l'eau froide (0°C)	357g/1000g d'eau
Solubilité dans l'eau chaude (100°C)	391g/1000g d'eau
Point de fusion (*)	801°C
Point d'ébullition du sel fondu (*)	1 449°C
Point d'ébullition de la saumure saturée (*)	108, 8°C
Chaleur latente de dissolution (à saturation)	7,8Kcal/Kg
Chaleur latente de fusion (*)	97Kcal/Kg
Chaleur latente d'ébullition (*)	698Kcal/Kg

Le sel est se trouve partout, dans la mer et dans le sol. Sa grande abondance est une curiosité de la nature. Les principaux procédés des productions intentionnelle de sel peuvent être classés en trois catégories :la méthode agricole, la méthode minière et la méthode thermique.

Le tableau II.2 ,nous indique la composition des déférents production en fonction de leurs origine.

Tableau II.2 : compositions des différents sels (en %) [01]

Composition en % sur sec						
sels	NaCl	Insoluble a l'eau	Soluble a l'eau			
			MgSO ₄	MgCl ₂	CaSO ₄	Na ₂ SO ₄
Sel gemme	93 à 99.5	0.1 à 5		0.05	0.4 à 1.7	
Sel de mer	98 à 99.8	0.03 à 1	0.005 à 0.12	0.015 à 0.3	0.11 à 0.42	
Sel ignigène	Plus de 99.9	Moins 0.01			0.001 à 0.3	0.01 à 0.05

II-4 Utilisation du sel de chlorure de sodium NaCl :

Le sel de chlorure de sodium NaCl , utilisé dans différents domaines : en chimie, pour le déneigement, dans les industries, divers et en fin dans l'alimentation [10 ,11].

Directement ou indirectement, le sel joue un rôle dans la fabrication d'une très vaste gamme de produits chimiques, les principales utilisations sont :

La production de chlore et soude (électrolyse) soit 38 %.

La synthèse de carbonate de calcium anhydride soit 20%.

La production de sel de tables (alimentaire) soit 15.50%.

Elaboration des agents déglçage soit 14%.

Les 10% restants sont utilisés comme des ingrédients dans les nourritures pour les animaux et comme traitement des eaux [11] .

II-5 –Différents procédés de production du sel.

II-5-1- Méthode agricole (marais salants) :

Cette méthode mise en œuvre dans les marais salants, ou salins utilise l'énergie solaire dont découle le vent pour produire, a partir d'eau de mer, du sel de mer .

Quelques marais salants évaporent toute fois des saumures d'origines terrestre et produisent alors de sel solaire.

Des mers fermées, des lacs salés, des chotts, des sources salées peuvent également être à l'origine d'une production de ce type. La production de sel cristallisé par évaporation naturelle comporte deux phases successives :

- la concentration de la saumure jusqu'à la saturation (qui pour l'eau de mer, se situe à 260 g/l de chlorure de sodium) [01] .

II-5-1-1- Eau de mer et les saumures :

- Composition de l'eau de mer :

La salinité de l'eau de mers est voisine de 3.5%, ce qui correspond à une densité de 1.026 , dans les océans, la salinité varie de 3.6% à 3.8%.l'incidence de la dilution (pluie ou fleuves) ou la concentrations (évaporation) est plus marqués dans la cas des mers fermés ou semi-fermés. Malgré ces différences importantes des salinités,

Les éléments majeurs, NaCl, MgSO₄ , MgCl₂, CaSO₄ et KCl restent sensiblement en proportion constants d'une mer à l'autre , seule la teneur en eau varie.

Dans 100 g de sels dissous, il y'a environ

-77 g de NaCl

-10 g de MgCl₂.

-06 g de MgSO₄

-02g de KCl.

Cette liste n'est pas complète. Tous les éléments naturels sont en effet présents dans l'eau de mer à l'états de traces [01].

II.5.1.2- Autres sources de saumures :

Le chlorure de sodium est également produit sur des salins à partir d'autres sources naturelles de saumure que la mer. Il s'agit principalement des lacs salés et des chotts, situés dans les régions sèches ou arides du globe. Ces masses d'eau fermées, soumises à des évaporations intenses, ont évolué au gré des apport de sels provenant du lessivage des terrains environnant par les eaux de surfaces, et du dépôt de sels les moins solubles. La composition de leurs eaux est donc très diverse, selon l'histoire géologique de chaque site. L'utilisation de ces saumures pour la récupération des sels contenues est toujours un cas particulier et se révèle un processus complexe. Lae tableau indique, a titre d'exemple, la comparaison ionique des saumures (en Kg/t)de la mer morte, du grande lac de l'Utah et pour permettre la comparaison , celle de l'eau des océans.

Tableau II.3 :composition ionique de quelques saumures naturelles [01].

Kg/t				
composants	éléments	Mer morte	Grand lac salé Utah	Océans
Sodium	Na ⁺	32	67.3	10.8
Magnésium	Mg ⁺⁺	35.7	5.6	1.3
Calcium	Ca ⁺⁺	12.7	0.3	0.4
Potassium	K ⁺	6.4	3.4	0.4
Chlorure	Cl ⁻	178.6	112.9	19.4
Sulfate	SO ₄ ⁻	0.4	13.6	2.7
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻	Traces	0.2	0.1
Bromure	Br ⁻	3.2	Traces	0.1

En fin certains salins utilisent pour leur alimentation des saumures de sondage, obtenus par lessivage, in situ d'un gisement de sel gemme .la composition de ces saumures est extrêmement variable selon le gisement.

- Composition des saumures marines pendant la concentration et cristallisation.:

Lors de l'évaporation de l'eau de mer ou d'une autre saumure, divers sels, dont le chlorure de sodium, se déposent successivement à des degrés de saturation différents : c'est la cristallisation. Dans le cas de l'eau de mer, le premier sel qui est déposé est le sulfate de sodium.

II-5-2 -Méthode minière :

Les gisements de sel gemme sont très nombreux, certains sont exploités depuis l'antique, mais tous ne peuvent l'être. Pour le plus-part des gisements actuellement en exploitation, on utilise, soit la méthode des chambres et piliers pour produire des sels solides, dite sel gemme, soit la dissolution avec de l'eau, amener in situ par des sondage, pour produire des saumures saturés ou saumures de sondage [01].

- Géologie des gisements de sel gemme :

Le sel gemme ou le halite est une évaporite, c'est-à-dire une roche résultants de l'évaporations intense d'eau de mer, mais aussi d'eaux salées produites par le lessivage de dépôts préexistants. De par son origine, le sel gemme est souvent associées a d'autre évaporites telles que le sulfate de calcium sous forme de gypse et d'anhydrites, ou différents sels de potassium

comme le sylvinite carinate. Les évaporites, au même titre que les calcaires. Les argiles et les grés, font parties des roches sédimentaires par opposition aux roches ignés (comme le granite et les basaltes) ou métamorphiques (comme le gneiss). Il faut toutefois noter que la vitesse de dépôts du sel, variable mais pouvant dépasser 10 cm par an, est infiniment supérieure à celle des autres sédiments.

En France ; les principaux gisements de sel son d'âge triasique (lorraine, champagne, Franche-Comté, alpes et sud-ouest) et Oglio cène (alsace, Bresse, valentinois ; Camargue et région de Manosque). La formation salifère la plus importante, celle du Kuper inférieur de lorrain – champagne, s'étend sur plus de 12000 km², sa puissance maximale est de 150m, dont en cumule plus de 110m de couches de sel. Les réserves sont estimées à plus d'un milliard de tonnes [01].

Les grandes majorités des gisements se présente, soit en couche horizontales, soit sous forme d'énormes amas de sel, diapirs ou dômes. Ce sont les raisons pour lesquelles presque toutes les mines de sel du monde sont exploitées par la méthode des chambres et piliers abandonnés qui présente en outre l'avantage d'éviter l'effondrement des terrains sus-jacent et donc l'intrusion d'eau ou de saumure dans les travaux miniers, ce qui entraîne leur abandon

L'exploitation concerne aussi une couche horizontale, d'une épaisseur régulière d'au moins deux mètres mais pouvant atteindre 40m. l'une des plus importante de mine de sel du monde (Borth, Solvay) exploite a 700m de profondeur une couche de 20m de sel très pur titrant plus de 99% NaCl. Les mines les plus profondes s'enfoncent jusqu'à 1000 m [01].

II-5-3 -Méthode thermique :

Quand les conditions climatiques ne permettent pas de recourir à l'évaporation solaire, il est nécessaire d'utiliser une source de chaleur ((artificielle)) pour produire du sel à partir de saumure de sondage. La méthode thermique, mise en œuvre dans les salines, produit ainsi de sel ignégène par évaporation artificielle de saumures de sondage. Les poêles, grands récipients en tôle ; dans lesquelles la saumure chauffée s'évaporerait à l'air libre ont été presque remplacées par des évaporateurs clos, qui permettent ; dans des installations de thermocompression (décompression mécanique de vapeur) ou à multiple effet, d'économiser l'énergie en utilisant la vapeur résultant de l'évaporation.

Certaines salines sont alimentées en saumures d'origine maritimes. C'est notamment le cas au japon ou l'électrodialyse qui utilise des membranes sélectives pour concentrer ou au dessaler de l'eau de mer en présence d'un champ électrique intense permet de produire des saumures concentrées à partir de l'eau de mer.

D'autres salines utilisent pour leur alimentation du sel cristallisé (sel gemme ou quelque fois sel de mer) qu'elles dissolvent à chaud et pompe à sel, utilisant la recompression mécanique de vapeur. Le sel de flamme, obtenu par fusion de sel gemme ou sel ignégène, est encore produit dans quelques salines [01].

II.6- Précipitations des évaporites du saumures de chott :

D'après Meftah .L et Saltec-Lavalin l'évolution des éléments donne la sédimentation d'évaporitiques qui présente dans la (figure II.1).

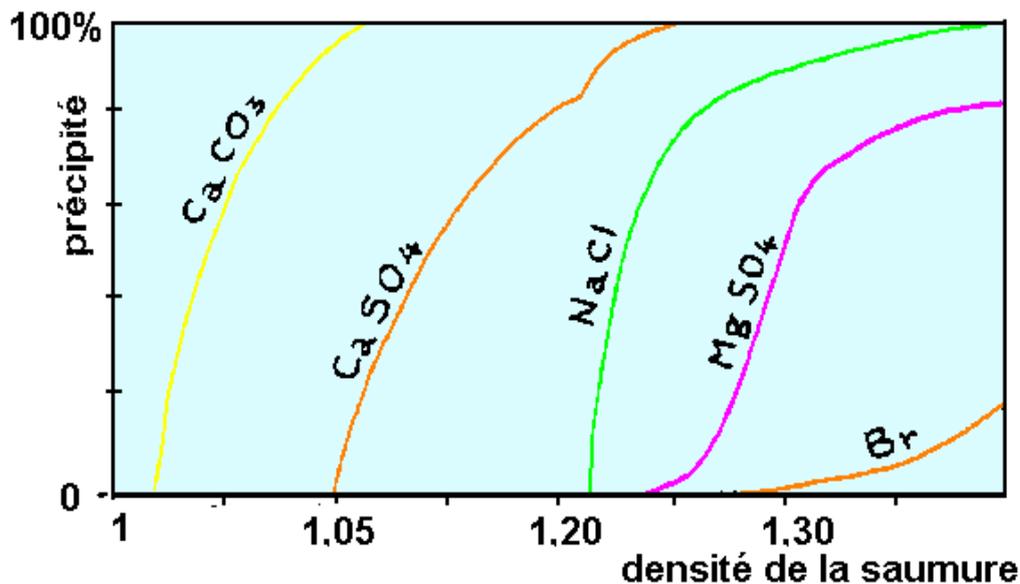


Figure.II-1:masse de sels précipités dans la saumure du Chott en cour d'évaporation

Il existe 2 types d'évaporites actuelles :

- les évaporites d'eau libre, provenant de l'évaporation d'un corps d'eau ;
- les évaporites capillaires provenant de la précipitation des sels d'une saumure interstitielle dans les pores d'un sédiment [3,5].

II.6.1-Ordre de précipitations des évaporites :

L'ordre de précipitation des sels des saumures de chott dépend de leur composition originale et de leur quantité, des limites de leur solubilité simultanée de la température et de la durée d'évaporation.

Cette étude a permis d'établir que la précipitation des sels de l'eau de chott s'effectue de l'ordre suivant :

- 1- Gypse, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- 2- Halite, NaCl
- 3- Epsomite, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- 4- Hexahydrate, $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 5- Carnallite, $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- 6- Bischofite, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [3]

II.6.2- Précipitation des carbonates :

C'est durant la **première phase**, qui va de 3°Bé à 13°Bé, que la plupart des carbonates précipitent (oxyde de fer et carbonates de calcium et éventuellement de magnésium). Si l'oxyde de fer précipite complètement à 13°Bé. La carbonate de calcium, par contre ne cristallise qu'à 90%, les 10% restant ne précipitent qu'à 15°Bé, donc la phase suivante [3].

II.6.3- Précipitation du gypse :

La **deuxième phase**, qui s'étend de 13°Bé à 25.4°Bé est celle principalement de la précipitation du gypse : d'abord en cristaux, sous forme d'aiguilles, de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, de 13°Bé à 16.4°Bé, et par la suite, en anhydrite CaSO_4 . 85% du sulfate de calcium présent dans l'eau de chott sont précipités durant cette phase et les 15% restants le sont tout le long des troisième et quatrième phase, en quantité décroissantes jusqu'à l'évaporation totale de la saumure [3].

II.6.4- Précipitation du chlorure de sodium :

La **troisième phase**, qui va de 25.4°Bé à 30°Bé, est celle de précipitation du chlorure de sodium (NaCl) ou sel commun (halite). La cristallisation commence à partir de 25.4°Bé (ou 25.5°Bé ou 25.70Bé selon les auteurs), qui est le point de saturation ou la densité de saturation, et elle est rapide au début : 72% de la quantité totale sont précipités à 29°Bé et 79% à 30°Bé (à noter aussi, dans ce début la précipitation en même temps que la halite, du gypse restant après la deuxième phase [3].

II.6.5- Précipitation des sels secondaires :

La **quatrième phase**, pour le cas de l'eau du chott, débute à partir de la concentration en avoisinante 30°Bé, appelée densité critique. Au-delà de laquelle les sels secondaires ou coproduits du sel commun commencent à précipiter, notamment le sulfate de magnésium, le chlorure de potassium et le bromure de magnésium.

La liqueur mère de cette quatrième phase se caractérise par un goût amer, d'où son appellation parfois d'eau amère, mais qu'on désigne dans la présente étude comme eaux-mères.

La précipitation de ses sels secondaires avec la halite est à éviter car elle compromet la qualité du sel alimentaire. Les règles de l'art de l'exploitation du sel de qualité alimentaire veulent qu'une fois cette densité critique atteinte, on arrête le processus de cristallisation des sels en rejetant les eaux-mères ou eaux résiduelles (cristallisation fractionnée ou sélective).

Par ailleurs, la précipitation des sels secondaires n'est pas uniforme : un groupe de sulfate de potassium et de magnésium et de chlorure de potassium précipite suivant schémas possible : soit chaque sel distinctement ou soit par cristaux doubles en équilibre ou dans des conditions instables. Ce processus est aussi affecté par les conditions climatiques.

Note : la précipitation des sels secondaires peut se résumer comme suit, si les eaux-mères classiques sont concentrées par évaporation, un mélange de chlorure de sodium et de sulfate de magnésium se détache et constitue "la mélange de sel I". Les eaux-mères ont évaporées encore davantage jusqu'à ce que l'on obtienne un mélange de chlorure de sodium, de chlorure de potassium et de carnallite (mélange de sels II) [3].

Troisième chapitre :
Procédés de lavage du sel de
chott

III- Procédés de lavage du sel de chott

III-1- Définitions :

Le lavage du sel est une opération physicochimique qui a pour objet de débarrasser le sel brut des impuretés (argile- sable-matières insolubles) et des sels indésirables (sels magnésiens) , avec une eau de lavage (eau saturée en NaCl), dans une station de lavage.

III-2- Principe delavage du sel de chott par une station de lavage :

Le fonctionnement de la station de lavage du sel est déroulé comme la schémas suivantes :

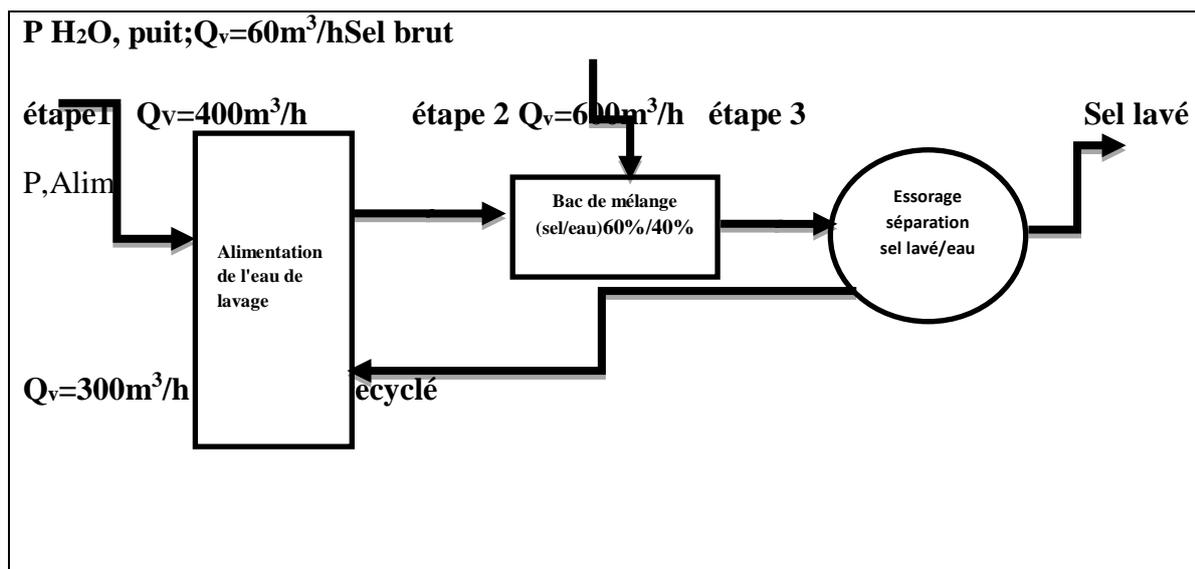


Figure III.1:schémas de station de lavage

III-2-1 - Bilan de matières de la station de lavage du sel dans un circuit fermé :

Selon le schéma ci -dessus ; on peut écrire le bilan de matières comme suit :

Les Quantités de variables entrées = les Quantitésvariables sorties

Le débit de volumiques des eaux d'alimentation +le débit massique de sel brut =

Le débit massique de sel lavé +débit volumique des eaux recyclées.

$$[Q_m \text{ sel brut} \times 0.60] + [Q_v (\text{H}_2\text{O}, \text{Alim}) \times 0.40] = [Q_m \text{ sel lavé}] + [Q_v (\text{H}_2\text{O}, \text{recy})]$$

III-2-2. Débits (volumiques ; massiques) des variables de la station de lavage du sel :

Les débits (volumiques ; massiques) de déférents variables de la station de lavage du sel sont mentionnés dans le tableau suivants :

Tableau III.1: débits (volumiques ; massiques) des différents variables de station de lavage du sel [12]

Les variables entrée	Débit volumique Q_v en (m ³ /h)	Débit massique Q_m en (kg/h)
Eau de puit (pH ₂ O, puit)	60	/
Eau d'alimentation (p1)	400	/
Sel brut	/	90000
Les variables sortie	Débit massique Q_m en (kg/h)	
Sel lavé	72000	
Les variables recyclées	Débit volumique Q_v en (m ³ /h)	
Eau recyclé (pH ₂ O, recy)	300	

III-3- Descriptions de la station de lavage :

III-3-1- Bassin d'alimentation des eaux de lavage :

C'est un déversoir d'une forme rectangulaire à un volume d'eau = L x l x H = 5m x 7m x 3m

Volume d'eau d'alimentation = 105 m³,

Qui est alimenté par deux source des eaux :

- a- des eaux de puits à une densité 1000 g/l (eau douce) avec un débit volumique de puits de 60m³/h ;
- b- des eaux de recyclage récupérer du rejets de l'essoreuse ; avec une densité varié entre 14B° et 24 B°. avec un débit volumique de 300m³/h.

Une pompe pour alimenter par des eaux de lavage vers le bac de mélange (sel/saumure) avec un débit volumique = 400 m³/h , et a une densité atteindre à 21B°. A travers une canalisations en PVC, a une longueur de 30 m et une diamètre de 12 cm, jusqu'à le bac de mélange(sel brut /eau de lavage) [12].

Tableau III.2: Spécifications des eaux (saumure) de lavage d'alimentation [13]

Dénominations	Saumure (eau saturée en NaCl)
Densité	1200 kg/m ³
Viscosité dynamique à 20 °C	1-2.10 ⁻³ Kg/ms (1.2 cp)

III-3-2- Bac de mélange (sel brut / eau d'alimentation):

C'est une bac en acier inoxydable pour résister les corrosions attaquées par le sel, leurs forme rectangulaire, leurs dimension : $L \times l \times H = 1 \text{ m} \times 0.80 \text{ m} \times 0.40 \text{ m} = 0.32 \text{ m}$

Le bac d'alimentation est alimenté par :

- 1- Les eaux de lavage d'alimentation ;
- 2- les sels brut ,

Le déchargement du sels brut sera faite dans une trémie de réception, fabriquer en acier inoxydable, à une forme pyramide inversé, leurs dimensions sont : $L \times l \times H = 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 18 \text{ m}^3$,positionné au-dessus d' une tapis transporteuse d'environ d'un 50 cm de l'extrémité inférieurs de ce trémie ,ou il y a une ouverture d'une forme carrée de : $l \times l = 0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 0.25 \text{ m}^2$; pour l'écoulement du sel brut sous l'effet de la gravité, sur le tapis transporteuse qui est à son tour alimenté le bac demélange (eau de lavage +sel) [12].

Tableau III.3:Composition chimique du sel à l'états brut (avant lavage):[13]

Eléments chimiques	% max
NaCl	96
Ca ⁺²	0.30
Mg ⁺²	0.50
SO ₄ ⁻²	1.50
RI (résidus insolubles : argile-sable-corps étranger	0.30

Le bac d'alimentation est équipé par une pompe de reprise à une Qv de 600m³/h , pour amener le mélange (saumure +sel brut) , qui contient de 30-35 % eau / 70-65 % sel brut , selon les spécifications technique de constructeur, à travers une canalisation en acier inoxydables, à une diamètres de 16cm ; incliné de 45 ° sur le niveau horizontalevers l'essorage. [13].

III-3-3- Essorage du sel :

Ce procédé est effectué avec l'hydrocyclone, (essorage primaire) et hydro-extracteur (essoreuse vibrante à panier rotatif) (essorage secondaire) à charge continue.

Remarque : Les éléments constitués de ces équipements utilisés dans le traitement du sel ou de saumure sont fabriquer en acier inoxydable, afin d'avoir une résistance maximale à la corrosion.



Figure III.2 : bac de mélange (sel brut / eau de lavage).

Tableau III.4 : Caractérisations physique de produit à essorer [13].

Dénominations	Sel solaire
Formule chimique	NaCl
Poids spécifiques à 20 °C	2160 N/m ³
Forme de grains	Cubique irrégulier
Analyse granulométrique	>0.5 mm:20% en poids <1.0 mm:15% en poids
Grosseur moyenne des grains	Env 3.69 mm

Elle est constituée en deux partie principale :

III-3-3-1- Hydrocyclone :

à une forme conique presque comme un entonnoirs métallique, pour la réception de mélange (eau + sel brut) , d'une hauteur de 02 m, et un diamètre de 1.5 m monté en dessus de l'essoreuse , équipé sur leurs surface intérieure par un tamis en acier inoxydable à une maille de

1.5mm) et le diamètres de cercle inferieurs est 15 cm ,pour la sortie de sel extrait n°01 (essorage primaire), une canal de diamètre de 10 cm ,placer au centre de hydrocyclone pour le rejet primaire ,qui est évacuer vers le bac de rejet. Ce dernier est placé au-dessous de l'essoreuse, le sel extrait primaire, envoyer vers l'essoreuse, l'humidité du sel est environ : 6-10% .

- Application d'hydrocyclone :

Les hydrocyclones ont trois utilisations :

- L'élimination des impuretés mise en solution lors du lavage.
- Faire une classification granulométrique du sel ;
- L'épaississement du sel avant son essorage [12].

III-3-3-2- Hydro-extracteur (essoreuse vibrante à panier rotatif) :

L'essoreuse à un double rôle, le lavage du sel par les frictions et les chocs entre particules des produits à laver et la saumure et l'éliminations de l'humidité résiduelle par la force de centrifugation qui chasse les liquides (les eaux de lavage) vers les parois [12].

Elle est équipée par un tamis circulaire, a un diamètre de 01.5m, leur espacement est de 05mm, et une vitesse rotative est : 900 rpm ; il ont le but d'évacuer toutes l'eau contenu dans le sel afin d'obtenir environ de 4% d'humidité,le sel lavé envoyer vers le stockage à l'air libre (séchage naturel) et l'eau éliminer est évacuer vers le bac de rejet, pour faire recyclées dans la chaine du lavage.

- *Avantage Hydro-extracteur (essoreuse vibrante à panier rotatif):

- Retirer les sables et les fibres des bois ;
- Laver le sel pour éliminer les impuretés ;
- Faire une classification des granulométrique ;
- Essorer le sel [13].

Tableau III.5:Qualité requise du produit à la sortie:[13]

Eléments chimiques	%
NaCl	>=98
Ca ⁺²	<=0.25
Mg ⁺²	<=0.050
SO ₄ ⁻²	<=0..50
RI (résidus insolubles : argile-sable-corps étranger.)	<=0.10
H ₂ O(humidité résiduelle)	<=4



Figure III.3 : l'hydrocyclone et l'essoreuse

III-3-4-Bac des rejets :

C'est une bac métallique, fabriquer par en tôle noire, à une forme rectangulaire , incliné de 30 °à l'horizon , leur volume est : $L \times l \times H = 1.5\text{m} \times 1.2 \text{m} \times 0.8\text{m} = 12 \text{m}^3$, situe au bas de l'essoreuse,raccorder par un tuyaux en PVC ,et une diamètre de 40 cm , qui amené les eaux de rejets (eaux de recyclage)sous l'effet l'énergie cinétique (chute libre des eaux de rejet), vers les bassins de décantations qui a étéà une distance de 50 m de le bac de rejet,[12]



Figure III.4 : bac de rejet

III-3-5- Bassins des décantations :

Ce sont de deux bassins creusés dans la superficie du sol, et sont placés en parallèle, leurs formes rectangulaires ; leurs volumes sont :

Volumes de deux bassins : $L \times l \times H = 15 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 75 \text{ m}^3 * 2 = 150 \text{ m}^3$, les eaux recyclées, circulent lentement dans le premier bassin, ensuite dans le deuxième, ou ils sont dirigés, vers le bassin d'alimentation par les forces de gravités, pour faire un circuit fermé.

Durant leurs circulations, les sels nuisibles, et matières insolubles (argile, sable...) se décantent, par force de gravité, ou les eaux de recyclées, deviennent à basse densité, pour être favorables pour le lavage d'alimentation [12].

Partie pratique

Présentation problématique :

Dans le marché du sel en Algérie, plusieurs opérateurs sont apparus, qui font concurrencer l'ENASEL, et pour cette dernière gardée sa place comme leader, il faut toujours rester à l'écoute de leurs clients, surtout les clients potentiels, et satisfaire leurs exigences sur le plan de qualité de produits.

Durant mon stage, le responsable de la qualité m'a chargé de traiter le problème de précipitations des concentrations de magnésium plus que celle de calcium dans le sel gemme, puisque la nature de gisement de chott, les concentrations de Calcium sont très pauvres, ce qui produit du sel gemme magnésien plus que calcique,

Certains clients exigent un rapport de concentrations de calcium sur la concentration de magnésium supérieur ou égale à 2.

Quatrième chapitre :
Méthodes et Matériels

IV- Méthodes et matériels :**IV-1 -Méthodes de travail :****IV-1-1- Echantillonnage :**

Pour faire un suivi sur les évolutions des éléments Calcium (Ca^{+2}) et Magnésium (Mg^{+2}) de sel de chott, durant leurs traitement par les eaux de lavage ; nous avons procédés aux méthodes d'échantillonnages suivants :

- Un échantillonnage des sels de chott avant et après lavage ;
- Un échantillonnages sur l'eau d'alimentation (H_2O , p1)[mélange entre l'eau de recyclage (H_2O , recy) et l'eau de puits (H_2O , puits) .
- Un échantillonnage sur l'eau de recyclage (H_2O , recy)
- Un échantillonnage sur l'eau de puits (H_2O , puits).

Nous avons effectué les analyses des échantillons prises, aux seins de laboratoire de l'unité salins Merouane ENASEL EL-MEGHAIER, selon la méthode d'échantillonnage, gestion et conservations des échantillons témoins MO-SQ 06.1b .[14]

qu'est été inspiré de la norme algérienne NA6455. Le présent mode opératoire décrit les techniques générales à suivre pour prélever les échantillons de sel :

IV-1-2- Lieu d'analyse :

Le service contrôle de qualité de l'ENASEL (EL-meghaier) nous a permis une analyse physico-chimique, dans un laboratoire qui ne présente pas des matériels et méthodes traditionnels, mais qualifie pour donner des résultats satisfaisants.

IV-1-3-Méthodes d'analyse :**IV-1-3-1 Introduction:**

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de l'ENASEL, selon les méthodes d'analyse de saumure MO-SQ 02.1b du 25/04/2005[15] et et selon les méthodes d'analyse de sel MO-SQ 03.1c du 16/04/2006,[16],cette méthode spécifie la détermination et le dosage des éléments constituant le chlorure de sodium à usage industriels -y compris les agro - alimentaire Les paramètres chimiques à déterminer sont comme suit :calcium (Ca^{+2}), magnésium (Mg^{+2}),les sulfates (SO_4^{-2}) ,le chlore (Cl_2) , les carbonate (CO_3^{-2}) , les bicarbonates (HCO_3^-) et la teneur en chlorure de sodium NaCl , Qui ont été inspiré de la norme algérienne NA6351.



Figure IV.1- .laboratoire unité salins Merouane ENASEL El-Meghaier

IV-1-3-2- Dosage des éléments chimiques du sel :

A- Dosage du calcium (Ca^{+2}) et Magnésium (Mg^{+2}) : méthode complexométrie à l'EDTA Bisodique, (selon la norme algérienne NA7039)

- **Principe du dosage du calcium (Ca^{+2}) et Magnésium (Mg^{+2}) :**

le titrage du calcium d'une part et de la somme (calcium +magnésium) d'une autre part à l'aide Le sel bi sodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA) $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8$, en présence de l'indicateur le calcéine pour le dosage de calcium (Ca^{+2}) et l'ério-chrome noir T pour le dosage de la somme de ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{2+}$).

Le principe de dosage est devisé en deux catégories :

- **dosage du Calcium :**

Titrage à blanc : pour un fiole conique de 500 ml, on introduire 200 ml d'eau distillée, puis on ajoute 2 ml de la solution triétanol amine à 25 %, ajouté 10- 15 ml de KOH solution à 28%,

ensuite on pincé de l'indicateur calcéin , puis on titré avec une solution standard de l'EDTA 0.05 N jusqu'au virage du vert fluorescent au rose ,on noté le volume versé V_1

- **Titration de calcium :**

On prélever 50 ml de la solution A, volume aliquote (V_{aliq}) , et le faire diluer à 200 ml d'eau distillée, ajouter 2 ml de la solution , solution triétanol amine à 25 %, ajouté 10- 15 ml de KOH solution à 28%, ensuite on pincé de l'indicateur calcéin , puis on titré avec une solution standard de l'EDTA 0.05 N jusqu'au virage du vert fluorescent au rose ,on noté le volume versé V_2 .

Calcul :

$$\%Ca = \frac{(V_2 - V_1) \times N_{EDTA} \times Eq.g \text{ Ca} + 2 \times V_T \times 100}{1000 \times V_{aliq} \times PE}$$

Avec :

V_2 :VEDTA (Ca), V_1 :VEDTA (Ca) pour le blanc, V_T :
volume totale

, V_{aliq} : volume aliquote prélever : 50 ml.

NEDTA : normalité de l'EDTA : 0.05N

Eq.g Ca : équivalent gramme du Calcium : 20.04 g/mole.

PE : prise d'essai :10g

- **dosage du Magnésium :**

Titration à blanc : pour une fiole conique de 500 ml, on introduire 200 ml d'eau distillée, puis on ajoute 2 ml de la solution triétanol amine à 25 %, ajouté 10 ml de PH 10 solution, ensuite on pincé de l'indicateur noire ériochrome T, puis on titré avec une solution standard de l'EDTA 0.05 N jusqu'au virage du rouge vineux au bleu franc, on noté le volume versé V_3 .

- **Titration du Magnésium :**

On prélever 50 ml de la solution A, volume aliquote (V_{aliq}) , et le faire diluer à 200 ml d'eau distillée, ajouter 2 ml de la solution , solution triétanol amine à 25 %, ajouté 10ml de de PH 10 solution , ensuite on pincé de l'indicateur , noire ériochrome T , puis on titré avec une

solution standard de l'EDTA 0.05 N jusqu'au virage du rouge vineux au bleu franc ,on noté le volume versé V_4 .

Calcul :

$$\% \text{Mg}^{+2} = \frac{(\Delta V_{\text{EDTA}}) \times N_{\text{EDTA}} \times \text{Eq.g Mg} + 2 \times V_{\text{TX}} \times 100}{1000 \times V_{\text{aliq}} \times PE}$$

Avec :

$$\Delta V_{\text{EDTA}} = (V_4 - V_2 - V_3) \text{ volume dépensé pour le Mg .}$$

$$V_3 = V_{\text{EDTA (Ca+Mg)}} \text{ pour le blanc.}$$

$$V_4 = V_{\text{EDTA (Ca+Mg)}} .$$

$$V_2 = V_{\text{EDTA (Ca)}}$$

B - Dosage des sulfates: méthode gravimétrique ($\% \text{SO}_4^{2-}$) (Selon la norme algérienne NA7038)

- **Principe du dosage des sulfates($\% \text{SO}_4^{2-}$) :**

La méthode gravimétrique présentée est basée sur le principe de faire précipiter les sulfates sous forme de sulfate de baryum.

- * **Réactifs:**

-chlorure de barium (BaCl_2)

-acide chlorhydrique (HCl)

-Orange méthylénique (MO)

- * **Dosage:**

-Prélever de l'extrait ou de l'eau à analyser 100ml et le transférer dans un bécher de 250ml.

-Porter à douce ébullition à 60-65°C dans un bain-marie ou sur un bain de sables.

ajouter 02 ml de HCl 6N, et quelque goutte de méthyle orange, puis, faire précipiter les sulfates à chaud en ajoutant aux gouttes à gouttes 10 ml à la pipette la solution de chlorure de barium 10%. Quand il se forme plus de précipités, ajouter quelques gouttes de chlorure de baryum excès.

-Laisser les béchers dans le bain-marie jusqu'à ce que les sulfates soit complètement déposés (24heurs).

-filtrer le surnageant et répéter cette opération 3fois.

-faire passer le précipité sur le filtre à l'aide d'eau bouillante.

-laver le précipité à l'eau bouillante jusqu'à l'élimination complète des chlorures (faire le test à AgNO_3).

-transférer le filtre contenant le précipité dans une capsule tarée, (avec un poids p_1).

-faire sécher à l'étuve à 105°C pendant 1 heure.

-transférer la capsule dans le four à moufle, calciner à 850°C pendant 1 heure.

-laisser refroidir la capsule dans le four, ensuite dans un dessiccateur. Peser après refroidissement (p_2).

* Expression des résultats

$$\% \text{SO}_4 = (p_2 - p_1) \times V_t \times 100 \times M_{\text{SO}_4} / P_{\text{E}} \times V_{\text{aliq}} \times M_{\text{BaSO}_4}$$

avec :

($p_2 - p_1$) : la différence du poids de sulfates.

V_t : volume total de la solution A.

P_{E} : prise d'essai.

M_{SO_4} : masse moléculaire de SO_4 .

M_{BaSO_4} : masse moléculaire de BaSO_4 .

C- Dosage du chlore (méthode argenté – métrique) [Méthode d'analyse de sel MO-SQ 03.1c] :

- **- Principe de dosage du chlore :**

La méthode d'argenté-métrique est présentée ici : le chlore est précipité par du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'une précipitée rouge de chromate d'argent.

- **Dosage du chlore :**
- **Titration à blanc :**

Dans une fiole conique de 50 ml introduire 200 ml d'eau distillée, 03 Gouttes de la solution de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 10 %. Titrer avec le nitrate d'argent 0.10 N, jusqu'au virage du jaune au rose et noter le volume dispensé V_1 .

* **Titration :**

-Prélever 50 ml de la solution principale A, et introduire dans une fiole de 500 ml (dilution 10 fois), et prélever une volume aliquote de 25 ml, dans une fiole conique, diluer à 200 ml d'eau distillées, puis ;

-Ajouter 2 à 3 gouttes de la solution de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 10 %.

-Titrer avec $AgNO_3$ ($N=0.1$) jusqu'à l'apparition d'une couleur rose due à la précipitation Ag_2CrO_4 et noté le volume dispensé V_2 ;

$$\%Cl = \frac{n \cdot (V_2 - V_1) \cdot N_{AgNO_3} \cdot Eq.g\ Cl \cdot V_{TX} \cdot 100}{1000 \cdot V_{aliq} \cdot PE}$$

V_2 : volume de $AgNO_3$ dépensé pour le titrage.

V_1 : volume de $AgNO_3$ dépensé pour le titrage à blanc.

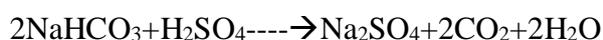
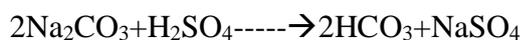
n : 500/50(nombre de dilution)

D- Dosage des carbonates et bicarbonates

- **Principe du dosage des carbonates et bicarbonates:**

Les carbonates n'existent qu'à $pH > 8.3$, et les bicarbonates si $4.4 < pH < 8.3$ il est facile de savoir au cours d'un dosage acidimétrique, lors d'une attaque acide, les carbonates

Soit se décomposent en 2 étapes :



* **Réactifs utilisés:**

- Solution de H_2SO_4 0.1N.

- Indicateur : phénol phtaléine 10 % :

: Méthyle orange.

- **Titration :**

On prélève 50 ml de la solution A, volume aliquote (V_{aliq}), et le faire diluer à 200 ml d'eau distillée, dans un fiole conique, puis on ajoute 2 à 3 gouttes de phénol phtaléine 10 % ,

- S'il apparaît une couleur rose :

on titré avec une solution standard de H_2SO_4 0.1 N jusqu'au virage du rose au transparent ,on noté le volume versé V_1 ;

$$\%CO_3^{2-} = \frac{(V_1) \cdot NH_2SO_4 \cdot Eq.g CO_3 \cdot VTX100}{1000 \cdot V_{aliq} \cdot PE}$$

- Si le couleur de mélange reste incolore :

$$\%CO_3^{2-} = 00$$

Dans le même fiole on ajoute de 02 à 03 gouttes de méthyle orange, puis; on titré avec une solution standard de H_2SO_4 0.1 N jusqu'au virage du jaune rose ,on noté le volume versé V_2

$$\%HCO_3^{-1} = \frac{(V_1) \cdot NH_2SO_4 \cdot Eq.g HCO_3 \cdot VTX100}{1000 \cdot V_{aliq} \cdot PE}$$

IV-1-3-3- Dosage des éléments chimiques dans la saumure :

A- Déterminations des ions Ca^{+2} et Mg^{+2} :

Par l'analyse volumétrique (complexation avec le sel bi-sodique de l'EDTA), utilisant l'indicateur calcine pour Ca^{+2} et l'eriochrome noir T(ENT) pour Mg^{+2} , dans une milieu basique.

Pour préparer la solution mère (A), on Pipeter 10 mls de la saumure dans un fiole jauger de 100 mls, soit la nombre dilution **n=10 fois**.

- **Déterminations des ions Ca^{+2} :**

Pipeter 20 mls d'aliquote de la solution mère (A), dans une erlenmeyer conique de 250mls, en ajout 20 mls de KOH à 10% solution et on pince de l'indicateur calcine titrer avec 0.05 N solution de l'EDTA, jusqu' à changement de couleur florescence au rose, noter le volume V_1

Calcule :

$$Ca^{+2} (g/l) = \frac{V_1 EDTA \cdot N_{EDTA} \cdot Eq.g Ca}{V_{aliq}} \cdot n$$

- **Déterminations des ions Mg^{+2} :**

Pipeter 20 mls d'aliquote de la solution mère (A), dans une erlenmeyer conique de 250mls , en ajout 20 mls de solution tampon PH10 et on pince de l'indicateur ENT , titrer avec 0.05 N solution de l'EDTA, jusqu' à changement de couleur violé au bleu , noter le volume V2

$$\text{Calcule : } Mg^{+2} \text{ (g/l)} = \frac{(V2-V1)EDTA * N_{EDTA} * Eq.g \text{ Mg}}{Valiq} * n$$

IV.2--Matériels utilisés :

On a utilisé plusieurs appareils, verreries, réactifs, sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Tableau résume les matériels utilisés :

Appareils	Verreries	Réactifs
- Etuve	- Erlenmeyer	- Eau distillé
- Agitateur thermique	- Eprouvettes	- KOH à 28 %
- Agitateur	- Pipette graduée	- PH 10
- Balance à précision	- pro-Pipette	-EDTA à 0.05 N
- Four à moufle	- Tubes à essais	-Tri-éthanol amine
- Gants	- Flacons	- AgNO3 à 0.1N
- lunette	- Entonnoir	-BaCl ₂ à 10%
- boîtes d'échantillonnage	- Bécher	-HCl (1:1)
	- burette	- filtre
		-Calceine,
		Euro-chrome noir T
		Phénol phtaléine
		Méthyle orange

Cinquième chapitre :
Résultats et discussions

V.1 - Résultats et discussions :

Le tableau suivant représente les résultats des analyses physico-chimiques obtenus pendant la production du sel lavé au niveau de l'unité ENASEL el-meghaier , à partir du : 10/06/2019 jusqu'au : 20/06/2019 , soit 09 jours de production du sel lavé.

Tableau V.1: résultats des analyses chimiques :

Date du :10/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH2O,recy)	1200	24	0.70 g/l	4.01 g/l	
Eau de puit (pH2O, puit)	1000	0	0.25 g/l	0.12 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1150	19	0.45 g/l	3.60 g/l	
Sel brut	/	/	0.348%	0.65%	
Sel lavé	/	/	0.127%	0.15 %	R=0.84

Date du :11/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH2O,recy)	1165	20.5	0.62 g/l	3.64 g/l	
Eau de puit (pH2O, puit)	1000	0	0.25 g/l	0.10 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1025	03.5	0.51 g/l	0.54 g/l	
Sel brut	/	/	0.32%	0.64%	
Sel lavé	/	/	0.102%	0.09 %	R=1.10

Date du :12/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH ₂ O,recy)	1200	24	1.15 g/l	5.30 g/l	
Eau de puit (pH ₂ O, puit)	1000	0	0.25 g/l	0.10 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1175	21.5	0.54 g/l	2.73 g/l	
Sel brut	/	/	0.24%	0.26%	
Sel lavé	/	/	0.077%	0.067%	R=1.15

Date du :13/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH ₂ O,recy)	1200	24	1.65 g/l	4.42 g/l	
Eau de puit (pH ₂ O, puit)	1000	0	0.26 g/l	0.10 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1020	03	0.30 g/l	0.53 g/l	
Sel brut	/	/	0.245%	0.35%	
Sel lavé	/	/	0.08%	0.084%	R=0.95

Date du :16/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH ₂ O,recy)	1100	13	0.78 g/l	1.63 g/l	
Eau de puit (pH ₂ O, puit)	1000	0	0.34 g/l	0.05 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1020	03	1.30 g/l	0.90 g/l	
Sel brut	/	/	0.22%	0.40%	
Sel lavé	/	/	0.06%	0.061%	R=0.98

Date du :17/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH2O,recy)	1150	19	0.82 g/l	2.33 g/l	
Eau de puit (pH2O, puit)	1000	0	0.27 g/l	0.093 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1110	14.5	0.70g/l	2.21 g/l	
Sel brut	/	/	0.31%	0.35%	
Sel lavé	/	/	0.10%	0.14%	R=0.71

Date du :18/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH2O,recy)	1170	21	0.95 g/l	1.32 g/l	
Eau de puit (pH2O, puit)	1000	0	0.25 g/l	0.09 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1150	19	0.80g/l	1.95 g/l	
Sel brut	/	/	0.30%	0.34%	
Sel lavé	/	/	0.06%	0.07%	R=0.85

Date du :19/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH2O,recy)	1200	24	1.15 g/l	5.17 g/l	
Eau de puit (pH2O, puit)	1000	0	0.27 g/l	0.09 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1150	19	0.45g/l	3.26 g/l	
Sel brut	/	/	0.20%	0.45%	
Sel lavé	/	/	0.08%	0.12%	R=0.66

Date du :20/06/2019

Désignations	Densité		Ca ⁺²	Mg ⁺²	O B S
	g/l	Be°			
Eau recyclé (pH ₂ O,recy)	1210	25	1.35 g/l	7.30 g/l	
Eau de puit (pH ₂ O, puit)	1000	0	0.29 g/l	0.10 g/l	
Eau d'alimentation (p1)	1155	19.50	0.45g/l	4.29 g/l	
Sel brut	/	/	0.23%	0.34%	
Sel lavé	/	/	0.10%	0.10%	R=1

V.1 -1-Variations du [Ca⁺²] du sel lavé,brut, eaux alimentation et eaux recyclé en fonction du temps :

La variatipon du [Ca⁺²] du sel lavé,brut, eaux alimentation et eaux recyclé en fonction du temps est illustrée dans la figure V.1.On note qu'il y a un changement léger des concentrations du calcium dans le sel brut et lavé durant les 09 jours, ce qui explique que le sel solide soit brut ou lavé reste proportionnellement stable. Mais,pour les eaux de l'alimentationet les eaux de rejet, on observe un changement des concentrations du Ca⁺² et Mg⁺², cela implique qu'il y'ades phénomènes mise en jeux dans les solution aqueuse (transfert de matière -des constituants chimiques -)

Ce qu'on observe : une croissance de [Ca⁺²] des eaux recyclées,à partir de la 05^{-ème} jours jusqu'à le 09^{-ème} jours,et par contre une décroissance de [Mg⁺²] dans cette période.

Ce qui est expliqué par les accumulations des dépôts (les fines) dans les bassins de décantations,ces derniers contiennent des précipitations du calcium,(le phénomène : de transfert dematière).

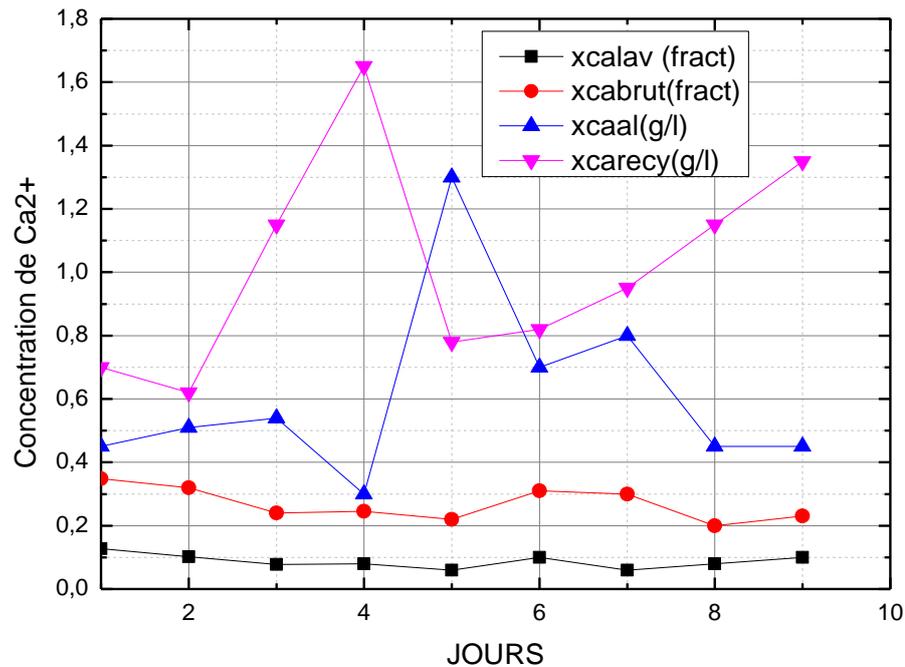


Figure V.1 : Variations du $[Ca^{+2}]$ du sel lavé, brut, alimentation et recyclé en fonction du temps.

V.1 -2-Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé, sel brut, les eaux alimentation et les eaux recyclé en fonction du temps :

La variation du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé, sel brut, les eaux alimentation et les eaux recyclé en fonction du temps est montrée dans la figure V.2. L'allure générale de la courbe montre presque le même comportement du Magnésium que celui du Calcium. Une stabilité proportionnelle dans les sels brut et lavé, et des instabilités dans les eaux d'alimentation et les eaux recyclées, avec une exception d'une croissance du Magnésium dans les eaux d'alimentation en fonction du temps.

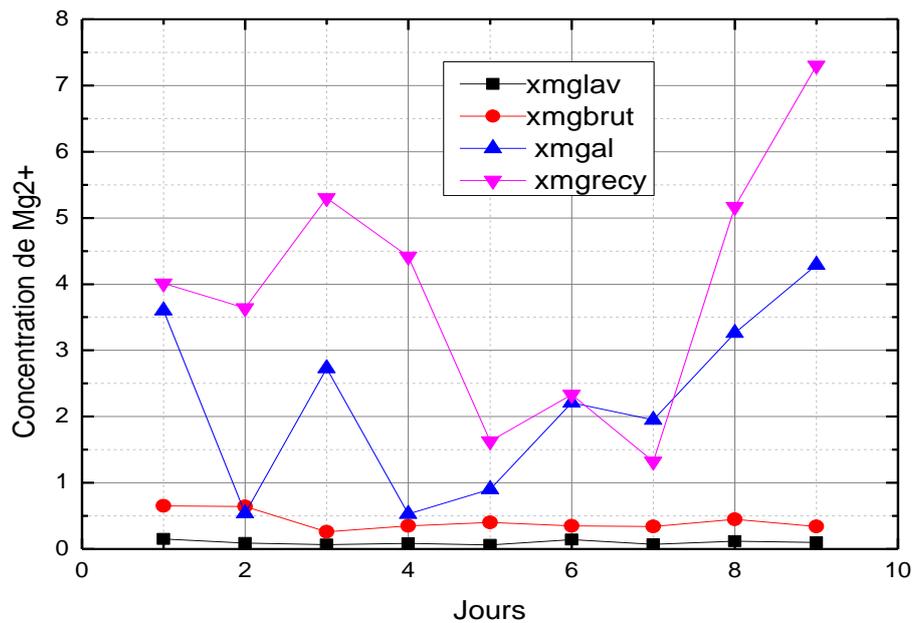


Figure V.2 : Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé, brut, alimentation et recyclé en fonction du temps.

V.1 -3- Variations du $[Ca^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit de l'alimentation :

La figure V.3 montre la variation du $[Ca^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit de l'alimentation. On constate qu'il y a une diminution de $[Ca^{+2}]$ du sel lavé, quand on augmente le débit volumique des eaux de l'alimentation, ce qui est expliqué par un temps de contact insuffisant pour mélange(sel brut /eaux de l'alimentations).

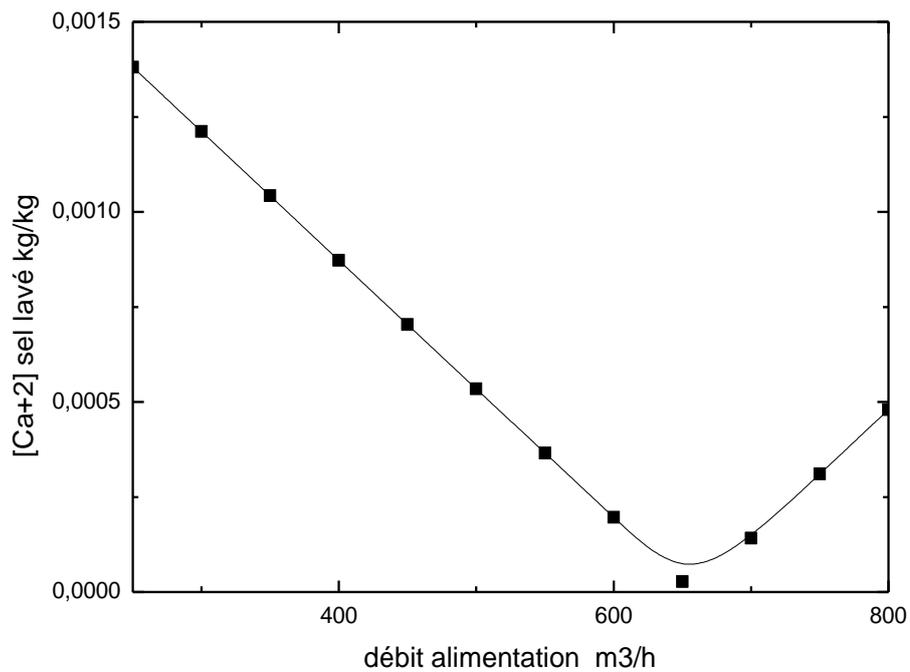


Figure V.3 : Variations du $[Ca^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit d'alimentation

V.1 -4-Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit d'alimentation :

La figure V.4 illustre la variation du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit d'alimentation, l'allure de la courbe montre clairement que l'augmentation de débit des eaux d'alimentation provoque une croissance de la teneur en Magnésium dans le sel lavé, contrairement à celle du Calcium.

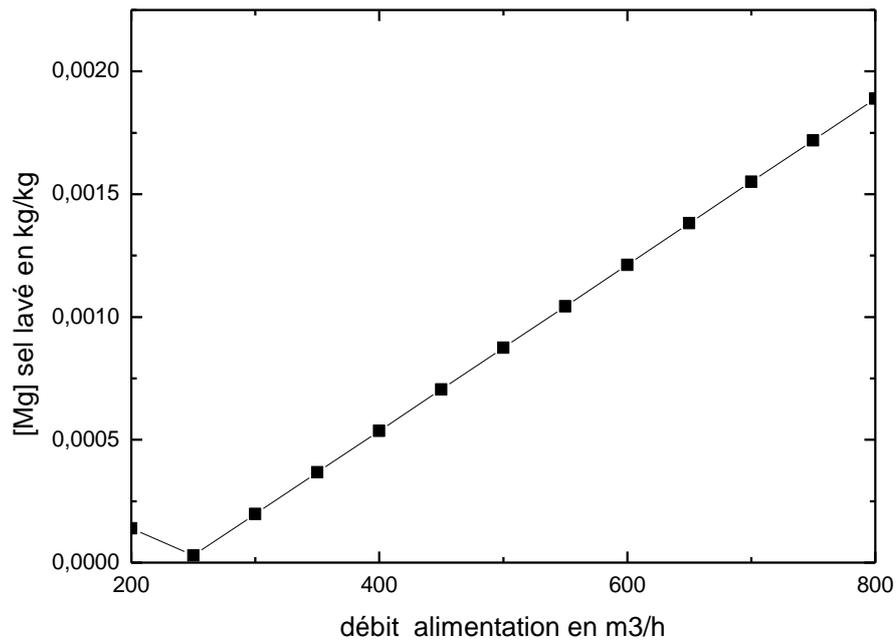


Figure V.4 : Variations du [Mg⁺²] du sel lavé en fonction du débit d'alimentation.

V.1 -5-Variations du [Ca⁺²] du sel lavé en fonction du débit de eaux de recyclé :

D'après la figure V.5, on constate une augmentation de débit des eaux recyclées, implique une croissance de teneur en calcium dans le sel lavé.

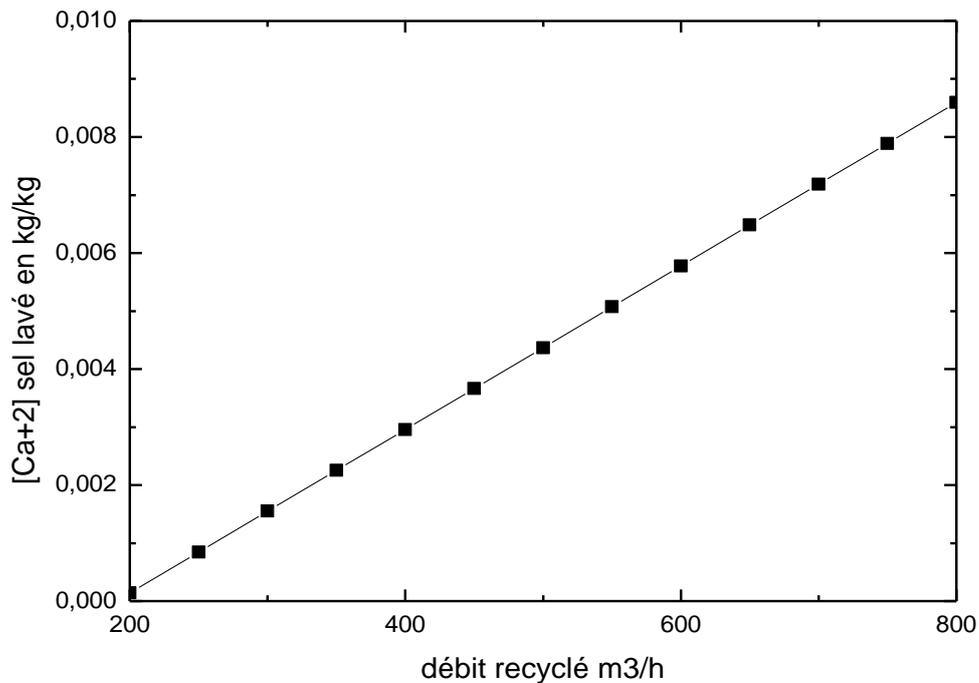


Figure V.5 : Variations du $[Ca^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit de eaux de recyclé

V.1 -6- Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit des eaux recyclé :

D'après la figure V.6, on observe qu'une augmentation du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé quand on augmente le débit volumique des eaux recyclées, ce qui est expliqué par l'arrivée rapide des eaux de rejets qui contient une forte concentration en Mg qui ne précipite pas dans les bassins de décantations, puisque le Mg^{+2} est très soluble dans l'eau, sauf, s'il atteint le seuil de la solubilité.

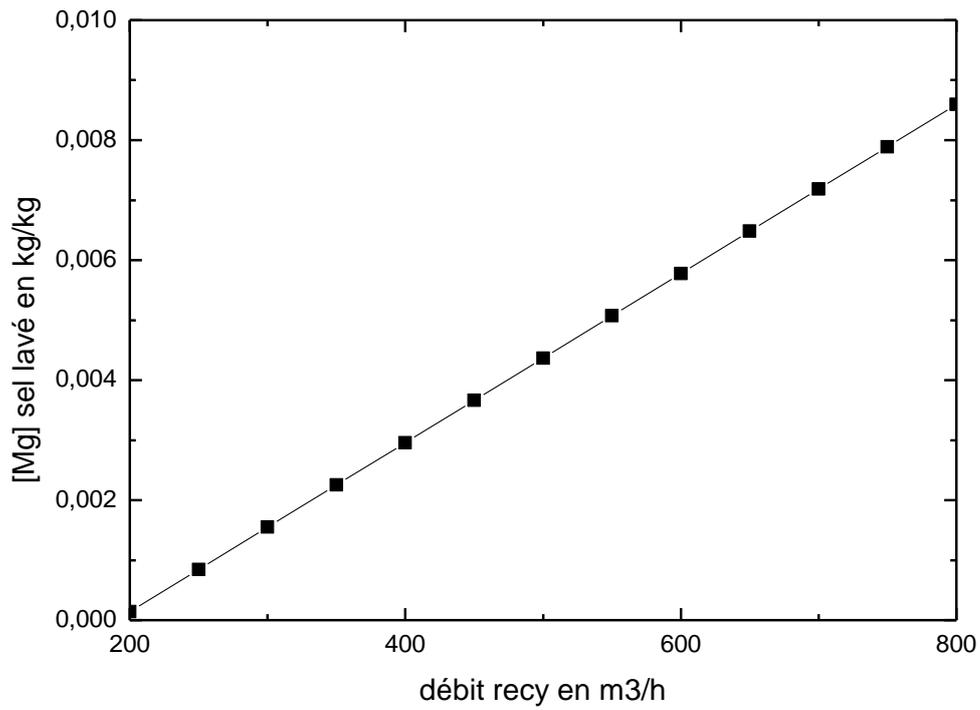


Figure V.6 : Variations du $[Mg^{+2}]$ du sel lavé en fonction du débit des eaux recyclé

Conclusion générale :

Dans ce mémoire, on a intéressé d'homologuées les eaux de lavage du sel brut, pour permettre de rendre le rapport de concentration du calcium (Ca^{2+}) / (Mg^{+2}) du sel lavé est supérieur ou égale à 2.

Notre travail comporte deux parties :

La première partie (expérimentale) : pour recueillir des banques des données sur les concentrations du calcium et Magnésium et les débits de charges des variables entrés dans le procédés, et ainsi les variables sorties.

La deuxième partie : étude l'effet des débits des eaux d'alimentation et celles recyclées sur le taux des ions Ca^{2+} et Mg^{+2} . L'interprétation des résultats obtenus permet de conclure que si on veut augmenter la teneur de calcium, plus que Magnésium il faut diminue les débits volumiques des eaux d'alimentation, selon les **figures V.1** et **figure V.2**.

Références

- [1] :E.Lozach ; «Le sel et les microorganismes » Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire De Maison Alfort France (2001).
- [02]: « Direction de la protection de la flore et de la faune ». ATLAS des 26 zones humides Algériennes d'importance internationale (2002).
- [03] : « Ministère de l'énergie et des Mines ». Evolution des potentialités et des possibilités d'exploitation des chotts du SUD-EST Algérien (1996).
- [04] :A.Lahcini , ; H. Ben seddik «le système écologique du chott Marouane caractérisation physicochimique des saumures des sels et état de l'environnements dans le chott», mémoire d'ingénieur , université khasdi marbah Ouargla.Algérie.(2004)
- [05] :L.Meftah « Manuel de formation Aspects techniques de fabrication du sel par évaporation solaire » (2003).
- [06] : K. Atmani ;«Amélioration de fabrication de sel par l'ajout d'iode cas de mine d'outaya.» mémoire de licence domaine : valorisations et gestion des ressources minérales ;université baji Mokhtar annaba –Algérie.(2013)
- [07] : N.Chenafi « Manuel d'exploitation du sel »document interne ENASEL , date de consultation , le 02/03/2019.
- [08]:enlignedisponiblesurlesite :
<http://www.google.mg/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=36&cad=rja&uact=8&ved=0CE8QFjAFOB4&url=http%3A%2F%2Fwww.futurasciences.com%2Fgetpdf%2Fdossier>
date de consultation : le 06/03/2019.
- [09] : en ligne disponible sur le site : <http://www.salines.com/producteur/securite.htm> ,date de consultation le :06/3/2019
- [10]:en ligne disponible sur le site www.nrcan-rncan.gc.ca/mms-smm/busi-indu/cmy-amc/com-fra.htm , date de consultation le : 06/03/2019.
- [11] : en ligne disponible sur le site :
http://umvf.univnantes.fr/nutrition/enseignement/nutrition_11/site/html/cours.pdf;datede consultation le :06/03/2019.

[12] : Communications privé. N.bassou, ; responsable de station de lavage ENASEL el-meghaier-

[13] : Cahier de prescriptions technique de la station de lavage, document interne ENASEL –el-meghaier.

[14] : Méthode d'échantillonnage, gestion et conservations des échantillons témoins MO-SQ 06.1bdu 07/01/2006 , document interne ENASEL el-meghaier.

[15] :: Méthodes d'analyse des saumures MO-SQ 02.1b du 25/04/2005 , document interne ENASEL el-meghaier.

[16] : Méthodes d'analyse de sel ; MO-SQ 03.1c du 16/04/2006, document interne ENASEL el-meghaier.

Annexe