

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Génie Minier



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

THÈME

Les techniques d'exploitation
à ciel ouvert des
Salins de GUERGOUR Lamri

Etudié par :

Mr. Youcef BENCHENEB

Dirigé par :

Mr. Mustapha HASBELLAOUI

Septembre 2007

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Génie Minier



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Minier

THÈME

Les techniques d'exploitation
à ciel ouvert des
Salin de GUERGOUR Lamri

Septembre 2007

REMERCIEMENTS

Arrivé **au terme** de ce travail, je tiens à remercier, énormément, tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce mémoire de fin d'études. Qu'ils trouvent ici ma profonde gratitude.

Aussi, je tiens tout d'abord à remercier **Mr HASBELLAOUI Mustapha**, pour son encadrement bénéfique et ses conseils judicieux qui m'ont été d'une grande utilité, qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde reconnaissance.

Mrs les membres jury, qui ont très aimablement accepté d'examiner mon travail.

Mr CHENAFI, chef service d'exploitation de l'unité GUERGOUR Lamri pour son aide précieuse et sa disponibilité, et ce malgré ses nombreuses occupations, je lui dis : merci.

Mr RACHID, chef service de conditionnement pour sa bienveillance ses encouragements.

Tous les ingénieurs de l'unité, pour leur disponibilité et leur serviabilité.

Tous **LES ENSEIGNANTS DU DEPARTEMENT GENIE MINIER DE L'ENP** d'abord, pour leurs gentillesse, leurs générosités, ainsi que leurs disponibilités, en dépit de leurs nombreuses occupations.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à ce travail particulièrement **le personnel** du bureau d'étude GENERALE DES MINES de Boumerdès, dirigé par **Mr HASBELLAOUI**.

Dédicace

Avec toute ma
reconnaissance, je dédie
ce travail :

A mes très chers parents,

A mes chers frères et ma
chère sœur,

A toute ma famille.

A tout (es) mes vrais (es)
Amis (es)

Et à tous ceux que
j'aime.

Youcef.

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة تقنيات استغلال الملح في مملحة قرقور العمري لتحسين الانتاج السنوي للوحدة. الطريقة الصناعية المتبعة في استخراج الأملاح في مملحة قرقور العمري هي طريقة التبخر في الشمس، خلال فصل الشتاء، تتراكم المياه و تزداد ثروتها من الأملاح بفضل عامل التبخر و غالبا بفعل ذوبان الملح الموجود في باطن الأرض. بعدما يبلغ تركيز ملوحة الماء المالح الى 25.5° بومييه، تقوم بملء أحواض البلورة أو الملاحات من أجل رفع تركيز محتوى المملحة الى أكثر من 29° بومييه. و في أثناء عملية التركيز، تنتشبع المملحة و يبدأ ترسب كلور الصوديوم في شكل بلورات صغيرة تتجمع لتشكل طبقة يتراوح سمكها بين 10 و 25 سم. و بعد التجفيف عن طريق التبخر، يجمع الملح الخام و ينقل الى ورشة معالجة الملح.

الكلمات الرئيسية: مملحة، الماء المالح، أحواض البلورة، الملاحات، تبخر في الشمس.

Abstract :

The aim of this work is, to study the exploitation techniques of salt in the saline of GUERGOUR Lamri for the improvement of the annual production of this unit. It's industrial method of salt extraction, is by solar evaporation. The water accumulated in winter grows rich out of salt by dissolution by the salt located in under ground. Whereas the brine reaches a concentration of 25,5° B, one fills of the crystallization basin or saline tables in order to concentrate the brine with more 29° B. With this concentration the brine is saturated and starts to deposit sodium chloride in small crystals which agglomerate to form a layer variable thickness (10 to 25 cm). After drying by solar evaporation, raw salt is collected and forwarded to the workshop of treatment of salt.

Key words: saline, brine, crystallization basins, saline tables, solar evaporation.

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier les techniques d'exploitation du sel dans le salin de GUERGOUR Lamri pour l'amélioration de la production annuelle de l'unité. La méthode industrielle d'extraction de sel, du salin de GUERGOUR Lamri est par concentration des saumures. L'eau accumulée en hiver s'enrichit en sel par dissolution du sel situé dans le sous sol. Dès que la saumure atteint une concentration de 25,5° Baumé, on remplit des bassins de cristallisation ou tables salantes en vue de concentrer la saumure à plus de 29° B. A cette concentration la saumure est saturée et le chlorure de sodium commence à se déposer en petits cristaux qui s'agglomèrent pour former une couche d'épaisseur variable (10 à 25 cm). Après séchage par évaporation solaire, le sel brut est récolté et acheminé vers l'atelier de traitement du sel.

Les mots clefs : salin, saumure, bassins de cristallisation, tables salantes, évaporation solaire.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION GENERALE	01
Fiche de présentation de l'unité de GUERGOUR Lamri	02
Chapitre I : GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE	05
I-1. Généralités	06
I-1.1. Localisation	06
I-1.2. Le climat	07
I-2. Géologie du gisement	07
I-2.1. Les terrains salifères du trias	07
I-2.2. Roches intrasalines	08
I-2.3. Roches carbonatées susjacentes	09
I-3. Conditions hydrogéologiques	10
I-4. Calcul des réserves de sel gemme	12
I-5. résultats des essais et argumentations des réserves en eaux souterraines	13
I-6. Conclusion	14
Chapitre II : METHODES D'EXPLOITATION DES GISEMENTS DE SEL ET USAGE	15
II-1. Introduction	16
II-1.1. Historique	16
II-2. Méthodes d'exploitation du sel	17
II-2.1 La méthode minière	17
II-2.2. La méthode agricole	18

II-2.3.	Choix de la méthode d'exploitation	18
II-3.	Diverses utilisations du sel	19
II-3.1.	Alimentation	19
II-3.2.	Applications dans l'industrie	20
II-3.3.	Biologie des salins	21
Chapitre III :	LES CONDITIONS NECESSAIRES A L'EXPLOITATION DES SAUMURES	22
III-1.	La météorologie	23
III-1.1.	Présentation	23
III-1.2.	Les paramètres météorologiques	24
III-1.2.1.	Pluviométrie	24
III-1.2.2.	Evaporation	24
III-1.2.3.	Température de l'air	24
III-1.2.4.	Humidité relative de l'air	24
III-1.2.5.	Vent	25
III-1.3.	Moyens de mesure des paramètres climatologiques	25
III-2.	Précipitation des évaporites et propriétés des saumures	25
III-2.1.	Condition des précipitations des évaporites	26
III-2.2.	Définitions	27
Chapitre IV :	CONCEPTION ET CONSTRUCTION D'UN SALIN	28
IV-1.	Conception d'un salin	29
IV-2.	Conditions topographiques	30
IV-3.	Conditions géotechniques	30
IV-4.	Description d'une aire de concentration	31
IV-4.1.	Construction des partènements	31
IV-4.2.	Construction des tables salantes	32
IV-4.3.	Phénomène météorologiques et interactivité	33

	ASPECTS TECHNIQUES SUR LA PRODUCTION DU SEL PAR EVAPORATION SOLAIRE	34
CHAPITRE V :		
V-1.	Description du salin de GUERGOUR Lamri	35
V-1.1.	Le phénomène de la cristallisation	35
V-1.2.	Les tables salantes	37
V-1.3.	Le pompage	39
V-1.3.1.	Plan de pompage d'un salin	39
V-1.3.2.	Rejet des eaux-mères	40
V-1.4.	Récolte et transport du sel	40
V-1.4.1.	Historique	40
V-1.4.2.	Plan de récolte (d'extraction)	41
V-1.5.	Le lavage primaire	42
V-1.6.	Le gerbage	43
V-1.7.	Atelier de conditionnement	44
V-1.8.	Effectifs	49
V-2.	Note de calcul pour une capacité de 25 000 Tonnes	50
V-2.1.	Le pompage	51
V-2.1.1.	Durée de pompage (jours)	52
V-2.1.2.	Plan de pompage nécessaire	53
V-2.1.3.	Programme de pompage	54
V-2.2.	La cristallisation	54
V-2.3.	L'extraction	55
V-2.3.1.	Données d'extraction	55
V-2.3.2.	Données de trajet	56
V-2.3.3.	Quantité à extraire par jour (tonne)	56
V-2.3.4.	Durée d'extraction (jour)	57
V-3.	Conclusion	57
V-4.	Amélioration de la capacité du salin	57
	CONCLUSION GENERALE	61
	BIBLIOGRAPHIE	63
ANNEXE I	Décret N° 90-40 Du 30 Janvier 1990	64
ANNEXE II	Exemple des calculs pour connaître les degrés de saumure	66

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau N° 01 : principales réalisations.	04
Tableau N° 02 : essais de nappe	11
Tableau N° 03 : données de calcul des réserves de sel gemme.	12
Tableau N° 04 : composition de la saumure à 25°Bé.	26
Tableau N° 05 : évaporation et pluviométrie.	33
Tableau N° 06 : les dimensions des tables salantes.	37
Tableau N° 07 : pompes d'alimentation.	39
Tableau N° 08 : Moyens matériels de récolte, de transport et de gerbage.	43
Tableau N° 09 : la décomposition des effectifs par qualification	49
Tableau N°10 : durée de pompage (jours).	53
Tableau N°11 : programme de pompage.	54
Tableau N°12 : données d'extraction.	55
Tableau N°13 : données de trajet.	56
Tableau N°14 : quantité à extraire par jour (Tonne).	56
Tableau N°15 : durée d'extraction (jour).	57
Tableau N°16 : suivi de l'évaporation.	58
Tableau N°17 : suivi de pluviométrie.	59
Tableau N°18 : voie d'un pompage supplémentaire	60

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure N°01 : l'organisation de l'unité.	03
Figure N°02 : quantité de production.	04
Figure N°03 : carte de localisation du gisement de Guemel.	06
Figure N°04 : air de concentration.	32
Figure N°05 : nucleus.	36
Figure N°06 : plan d'ensemble de salin de GUERGOUR Lamri 1/3000	38
Figure N°07 : schemas d'un stock final « camelle ».	43
Figure N°08 : processus générale de fabrication de sel.	45
Figure N°09 : Schéma de traitement du sel	46
Figure N°10 : Schéma du procédé de traitement du sel	48
Figure N°11 : suivi de l'évaporation.	58
Figure N°12 : suivi de pluviométrie.	59

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'objet de ce mémoire est de traiter les techniques d'exploitation à ciel ouvert du salin de GUERGOUR Lamri.

Pour les besoins de cette étude, une visite de l'unité de GUERGOUR Lamri et des installations a eu lieu du 7 avril au 11 avril 2007.

L'unité de GUERGOUR Lamri relève de l'Entreprise Nationale de Sel (ENASEL). Cette entreprise qui a pour objet la production et la commercialisation du sel alimentaire et industriel dispose de cinq (5) salins et un complexe répartis sur le territoire national comme suit :

- unité de Sidi Bouziane (wilaya de Relizane)
- unité de Guergour Lamri (wilaya de Sétif)
- unité de Ouled Zouai (wilaya de Oum El Bouaghi)
- unité de Meghaier (wilaya de El Oued)
- unité de Bethioua (wilaya d'Oran)
- complexe d'El Outaya (wilaya de Biskra)

La production globale de ENASEL est de 400 000 Tonnes de sel solaire et d'une raffinerie de sel gemme de 30 000 Tonnes (année 2006). L'unité de Guergour Lamri contribue en terme de production à 3,95 % (17 000 T pour l'année 2006)

La production de sel, du fait de l'ouverture du secteur minier, en Janvier 2001 par la loi n°01- 10 du 31 juillet 2001 est aussi le fait d'entrepreneurs privés ; Ces derniers qui opèrent essentiellement dans les chotts du Sud Est produisent environ 60 000 tonnes de sel par an.

PRESENTATION DE L'UNITE DE GUERGOUR LAMRI

1. Localisation :

L'unité de GUERGOUR Lamri est située à 25 Km au sud de la wilaya de SETIF, dans la commune de Aïn Oulmène.

2. Caractéristiques générales de l'exploitation :

- Type de salin : sel solaire (évaporation solaire de saumure).
- Origine matière première : pompage à partir d'un puits creusé.
- Récolte : entièrement mécanisé par récolteur et remorques tractées.
- Lavage, stockage : station de lavage primaire et gerbeuse.
- Conditionnement : lavage secondaire, séchage, iodage, broyage et conditionnement.
- Capacité d'extraction : 18000 tonnes par an environ de sel brut.

3. Historique (origine de sécurité) :

Le gisement fut découvert en 1917, lors du creusement d'un puits d'irrigation.

La première récolte a été réalisée en 1920 (8000 tonnes).

A la nationalisation en 1970 le salins a été renommé « unité de GUERGOUR lamri ».

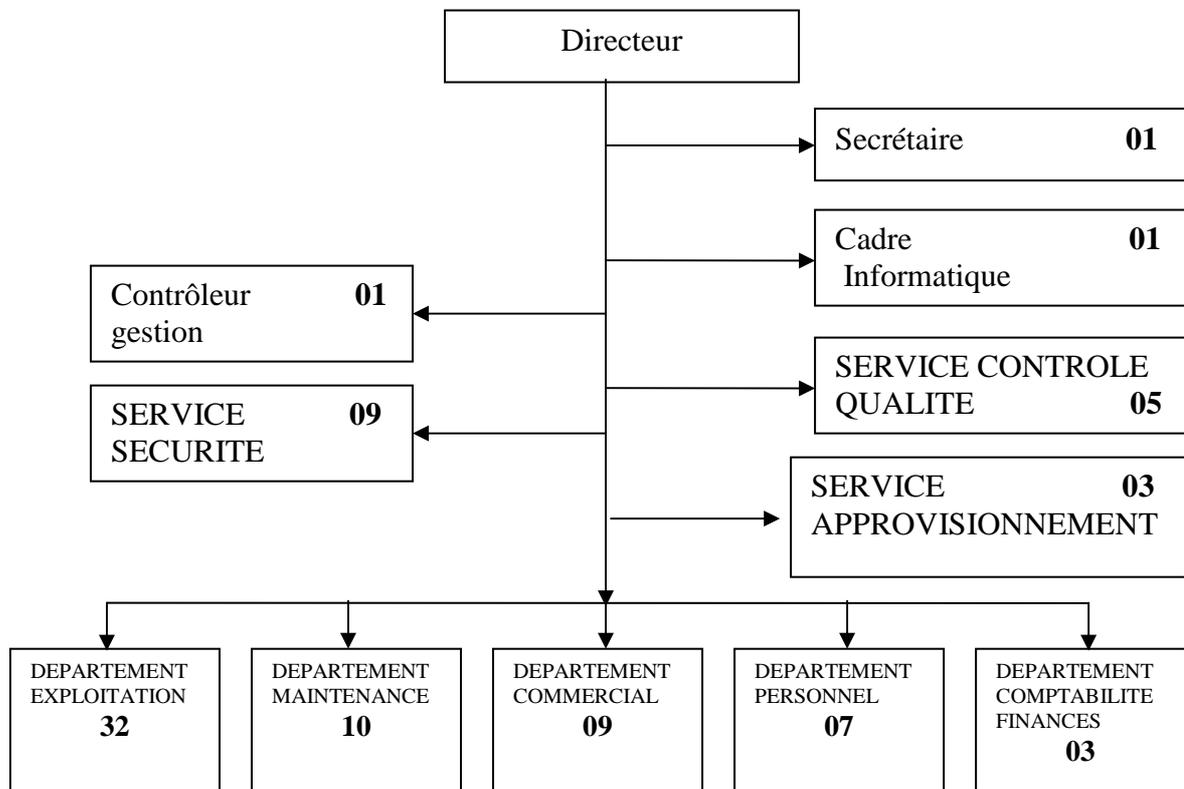
Il a été transféré de SONAREM à ENASEL en juillet 1983.

- Date de réalisation : 1970.
- Date de mise en service : 1970.
- Groupe : ENASEL.
- Coordonnées : BP 05 AIN OULMENE 19200 SETIF.
- Superficie (m²) : 152153,64 m²
dont : Couverte (m²) : 128766,64 m².
- Activité de l'unité : production et commercialisation du sel.

4. Organisation :

L'organigramme de l'unité à fin 2006, se présente comme suit :

Figure N°01 : l'organisation de l'unité



5. Processus de fabrication :

- La fabrication du sel se fait par :
 - le pompage de la saumure dans les tables salantes.
 - L'évaporation de la saumure.
 - La récolte du sel par des moyens mécanisés.
 - Lavage primaire (production sel industriel) dans une station prévue à cet effet et gerbage (formation d'un stock de sel appelé camelle) Reprise de stock de la camelle.
 - Lavage secondaire puis séchage, iodage, broyage, conditionnement.

- Principaux produits :
 - SEL ALIMENTAIRE (1/1 COUSSIN, 1/1 CARRE, 1/25 BIG.BAG).
 - SEL INDUSTRIEL (1/25, 4/25 TRAITE, 4/25 BRUT, POUDRE).

- Intrants utilisées (Locaux ou importés) : Sel, Iode.

6. Principale réalisation :

Tableau N° 01 : principales réalisation

AGREGATS	2003	2004	2005	SEP2006
production	14301	17179	22770	16491
C.A (MDA)	91	118	141	126
Ventes	65	73	80	71
Cessions	26	45	61	55
Ventes (Tonne)	15182	17058	21760	15105
Ventes directes	9261	9113	10543	7353
Cessions	5921	7945	11217	7752
Effectifs	86	86	81	83
F.P (MDA)	29	32	35	26
Valeur ajoutée (MDA)	54	52	61	45
Amortissement (MDA)	6	6	7,8	7,8
Résultat (MDA)	6	0,5	8	12
F.P/C.A (%)	32	26	25	20

7. Qualité de la production :

Le sel alimentaire de l'unité est séché, l'iодage ce fait selon la norme Algérienne (Décret 90/40 du 30/01/90).

La qualité du sel alimentaire est très bonne.

Production :

1997 : 18 600 tonnes

1998 : 14 000 tonnes

1999 : 14 000 tonnes

2000 : 16 800 tonnes

2001 : 19 500 tonnes

2002 : 18 000 tonnes

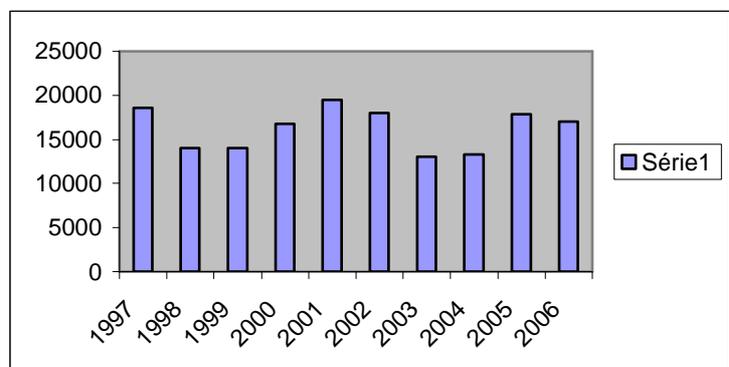
2003 : 13 063 tonnes

2004 : 13260 tonnes

2005 : 17 890 tonnes

2006 : 17 000 tonnes

Figure N°02 : quantité de production



CHAPITRE I :

GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

I.1. GENERALITES :

I.1.1. Localisation :

Le gisement de Guemel se trouve à 25 Km au Sud de Sétif sur un plateau représentant le partage des eaux de l'oued Sebket Melloul à l'Est et du chott el Malah au Sud-ouest, ainsi que l'oued Guellal au Nord. Le relief de la région est relativement plat, peu vallonné, typique de la plus grande partie des hauts plateaux algériens.

Les cotes maximales du relief varient de 893 m à 915 m, et augmentent en direction Nord-ouest du gisement jusqu'à 927 m. les coordonnées Lambert de la partie centrale du gisement sont : $X = 304\ 500$; $Y = 735\ 300$.

Le réseau hydrographique est peu développé. Le ruissellement essentiel des oueds Guellal et el Malah provient surtout des sources.



**Figure N°03 : carte de localisation du gisement de Guemel.
(Extrait de la carte topographique MEZLOUG – Echelle 1/50 000)**

I.1.2. Le climat :

La région jouit d'un climat transitoire entre le climat purement méditerranéen (subtropical) et celui franchement continental du Sahara, qui se caractérise par un été chaud et aride et un hiver frais.

Les variations annuelles des températures extrêmes atteignent plus de 50°C. Les précipitations annuelles moyennes, d'après les données de la station météorologique de Guemel (1965-1970), atteignent 300 mm.

Ces précipitations tombent sous forme de pluies irrégulières, inégalement réparties aussi bien au cours d'une même année que dans une période pluriannuelle.

La plus grande partie des précipitations a lieu dans la période d'octobre à avril. La grandeur de l'évaporation annuelle atteint 1200-1500 mm, la plus forte intensité de cette évaporation a lieu sur la période mai à septembre.

La partie Sud du gisement de Guemel comporte une saline portant le même nom. Cette saline est utilisée pour l'extraction du sel commun des saumures naturelles qui sont captées par une carrière conçue spécialement à cet usage.

I.2. GEOLOGIE DU GISEMENT :

La coupe géologique du gisement comprend des terrains salifères du trias, altérés à la surface en roches de couverture argilo-gypseuses, et des enclaves de roches carbonatées.

I.2.1. Les terrains salifères du trias :

Sont représentés avec des bancs et enclaves de roches non salines : argilites, marnes, dolomies argileuses, anhydrite dolomitique anhydrite.

Le sel gemme est de couleur grise, gris clair et gris foncé, moins souvent de teinte blanche, translucide ou rosâtre.

Le sel gemme se présente le plus souvent sous forme de petits cristaux et moyens, moins souvent sous de grands à macro cristaux, encore plus rarement sous l'aspect de cristaux lamellaires et d'agrégats grenus.

La structure du sel gemme est polygonale pennée, litée, rarement filamenteuse. Les fragments des roches sont plus souvent placés dans l'assise de manière désordonnée, moins souvent ils forment des bancs relativement nets avec une puissance de 0,1-0,4 m.

La taille de ces fragments est extrêmement variable, passant des parties de millimètre à 5-6 cm. Le rubanement des sels s'explique par l'alternance des lits de sel de couleur différente, ainsi que cette halite renferme plus au moins de fragments de roche saline. Le rubanement est incliné à 45-75° par rapport au plan horizontal.

La puissance du trias salifère reconnue par les sondages varie de 60 à 120 m.

I.2.2. Roches intrasalines :

Les roches intrasalines de la coupe sont génétiquement liées aux terrains salifères du trias. Elles ont en général une composition lithologique variée et se rencontrent aussi bien sous forme de fragments que sous celle d'intercalations. Les variétés les plus fréquentes sont les brèches argilo-salines, les anhydrites et les anhydrites dolomitiques.

Les brèches argilo-salines sont constituées de fragments d'argilites brun-rouge, souvent avec des traces laminage à la surface, ainsi que des fragments de marnes et d'argilites gris-verdatre, enrobés dans du sel gemme, la taille des fragments varient de quelque mm à 2-3 cm, moins souvent elle atteint 5-7 cm. La teneur en sel gemme atteint 40-60%.

Les anhydrites sont de couleur grise foncée à gris clair, elles ont une structure cristalline fine et sont par endroits vaguement rubanées, fortement fissurées. Les fissures sont cicatrisées par du sel gemme. L'épaisseur de lits atteint 2-2,5 m.

Les anhydrites dolomitiques et les dolomies anhydritiques présentent le plus souvent une couleur grise. Les fissures sont très fines, à taches rubanées, fortement fissurées. Les fissures sont cicatrisées également par du sel gemme. La puissance des lits est de 0,2-0,4 m.

Les anhydrites argileuses sont plus ou moins salines. La puissance des bancs est assez régulière et se maintient à 0,3-0,4 m.

I.2.3. Roches carbonatées susjacentes :

Dans les sens d'extension des terrains triasiques, des panneaux des roches carbonatées sont constatés à la surface. Ces dernières sont représentées par des dolomies et calcaires dolomitiques. Ce sont des témoins locaux, de forme arrondie, d'une superficie variable de quelques mètres à quelques dizaines de mètres carrés.

Les dolomies et les calcaires dolomitiques ont une couleur gris cendre ou gris foncé, une texture à grain fin à très fin, une structure bréchique ou alvéolaire, parfois ils sont argileux.

Les roches sont fissurées, les fissures cicatrisées par la calcite. Les joints de fissures sont souvent ferrugineux. Ces roches carbonatées représentent vraisemblablement les roches du toit de trias salifère qui sont apparantent à la surface à l'issue d'une tectonique diapirique sous forme de panneaux plus au moins importants.

Ils semblent bien que ces derniers n'aient pas des racines dans l'assise salifère. Nous pouvons donc les attribuer arbitrairement au lias.

I.3. Conditions hydrogéologiques:

Les travaux hydrogéologiques visant à reconnaître les saumures naturelles de la zone de Guemel, ont été exécutés par la SONAREM dans la période de septembre 1970 à mars 1971.

Les sondages forés avec un diamètre initial de 152 mm, furent utilisés pour des essais de débit, au total 8 essais pour tester le débit, deux essais de nappe expérimentaux et deux essais de développement pour définir le débit éventuel des saumures naturelles dans les sondages de reconnaissance.

Au cours des essais de nappe des échantillons furent prélevés pour définir la qualité des saumures par analyse chimique réduite.

Les eaux souterraines dont l'apport essentiel se fait aux dépens de l'infiltration des précipitations atmosphériques, sont développées pratiquement dans toutes les unités stratigraphiques.

Néanmoins, elles se trouvent en quantité variable et présentent des qualités très différentes, ce qui est conditionné par la composition lithologique des roches les renfermant, de la porosité de ces dernières ainsi que des particularités tectoniques, géomorphologiques et autre des terrains dans lesquels elles se rencontrent.

L'écoulement des eaux souterraines est favorisé par des facteurs suivants :

- Volume important des précipitations,
- superficie étendue de la zone d'alimentation,
- bonne porosité des roches.

Les données du relevé hydrogéologique exécuté au voisinage de la saline et celles des sondages de reconnaissance permettant de distinguer des nappes aquifères dans les calcaires et les marnes lacustres d'âge Néogène_Quaternaire inférieur.

1. Nappe des terrains quaternaires supérieur et actuels. Leurs eaux sont douces avec une minéralisation de 0,6-1,2 g/l. Le niveau de la nappe se trouve à 0,5-2 m de la surface du sol. Les réserves sont limitées.

2. Nappe aquifère des roches carbonatées du Néogène_Quaternaire inférieur. Cette nappe est largement répandue sur le territoire de l'étude. Les eaux souterraines qui se trouvent

dans les marnes et calcaires lacustres poreux, sont en général peu chargées en sels. Ce sont les sources d'eaux potables essentielles de la région de Guellal.

3. la nappe aquifère des roches carbonatées fissurées du crétacé supérieur a été reconnue par sondage exécuté dans le village de Guellal. Le débit de ce sondage jaillissant est de l'ordre de 5 dcm³/s. les eaux sont douces avec une minéralisation de 0,85 g/l.

4. la nappe aquifère des roches bréchiqes du Trias a été reconnue par sondages N°1 et N°2 la hauteur piézométrique ne dépasse pas 1-2 m, dans le sondage N°7 par contre elle atteint 40 m.

La puissance de la nappe aquifère est de 18-25 m (sondages N°1, 2, 7).

La profondeur du toit de la nappe aquifère varie de 5 m (sondages N°1, 2) à 50 m (sond. N°7) ; celle du mur respectivement de 26-30 à 68 m de la surface du sol.

Tableau N°02 : essais de nappe

N° de sondages	Débit m ³ /jour	Rabattement de niveau, m	Teneur NaCl dans un m ³ de saumure, kg	Profondeur de la nappe, m
Sond. 1	864	1,0	291	4,85
Sond. 2	1093	1,85	307	5,51
Sond. 3	907	1,75	299	5,61
Sond.7	920	1,70	212	10,55
Sond. 8	950	5,25	145	10,45
Sond. 9	1011	1,48	113	7,84
Sond. 10	1067	3,30	55	6,26
Sond.11	371	14,45	55	4,7

Le régime des eaux souterraines, c'est-à-dire le chargement de leur débit, niveau et composition chimiques dans le temps (par saison et dans un cycle de plusieurs années), ainsi que le rendement de la saline se trouvent en relation étroite avec les facteurs climatiques et dépendent surtout de la quantité des précipitations. Le niveau des nappes varie en général dans des limites de 1-1,5 m au maximum.

I.4. CALCUL DES RESERVES DE SEL GEMME :

Les réserves de sel gemme ont été calculées avec la moyenne arithmétique.

Elles sont calculées pour toute la profondeur de la coupe de sel gemme reconnue par les sondages.

La puissance moyenne du sel gemme comprise dans le calcul est de 75.1 m.

Le poids volumétrique moyen, défini en laboratoire, est de 2.05 t/m³.

La teneur en NaCl de l'ensemble du gîte est la valeur moyenne de toutes les teneurs. Elle est 80.9%.

La superficie du gîte de sel a été calculée par la méthode géométrique.

La limite des réserves géométrisées passe par les sondages 1,2,6,12,7,5. Les sondages 9, 10,11 arrêtés dans le toit du gîte ne sont pas compris dans le contour du calcul des réserves.

L'état de la connaissance du gisement permet de classer les réserves de sel gemme en catégorie C₁ (réserves probable). Les données du calcul sont exposées dans le tableau N°03 suivant :

Tableau N° 03 : données de calcul des réserves de sel gemme

Catégorie des réserves	Superficie du Gîte de Sel, mille m ²	Puissance Moyenne m	Volume, mille m ³	Poids volumétrique moyen t/m ³	Réserves Sel gemme mille tonne	Teneur moyenne NaCl %	Réserves sel gemme pour 100% NaCl millions t
C ₁	2113.5	75.1	158700	2.05	325.3	80.9	263.0

Les réserves du gisement de sel gemme de Guemel dans les contours des sondages de reconnaissance et sur la puissance moyenne reconnue, sont évaluées à 263.000.000 t (calculées en 100% NaCl).

Un accroissement des réserves peut être obtenu aussi bien aux dépens des profondeurs que par l'extension horizontale du gîte.

I.5. RESULTATS DES ESSAIS ET ARGUMENTATIONS DES RESERVES EN EAUX SOUTERRAINES :

Les études géologiques et hydrogéologiques ont permis de dégager deux secteurs favorables, présentant des conditions géologiques les plus propices. Ces secteurs se caractérisant par une meilleure porosité des terrains aquifères (coefficient de filtration), par le plus grand débit de sondages et la plus haute teneur en NaCl dans les saumures.

1. Au voisinage du sondage N°2 la puissance du toit imperméable est de 5-6 m. celle des roches bréchiques aquifères de 21-24 m.

Au cours des essais, un débit régulier de 900 m³/jour a été obtenu avec un rabattement de 1,45 m. La densité des saumures au cours des essais s'est stabilisée à 1,20 (24°BE). Ce qui signifie qu'il faut extraire 2,89 m³ de saumure pour obtenir une tonne de sel de cuisine.

Lors de ces essais, un rabattement de niveau de la nappe de 0,32 m a été constaté dans le sondage N°8 et un rabattement de 0,98 m dans les puits d'exploitation. Ceci prouve qu'il est impossible de procéder simultanément au pompage des saumures dans le sondage N°2 et dans le puits d'exploitation. Les essais de nappe du sondage N°2 ne semblaient pas influencer le niveau des eaux souterraines dans le sondage N°7, du moins, ceci n'a pas été observé.

L'évaluation des réserves exploitables des saumures a été faite en tenant compte le débit réel du sondage. Ainsi, le débit de 907 m³/jour qui est obtenu dans la période de mai à septembre y compris (comme le montre l'expérience des salines) pourra fournir 136000 m³ de saumures, ce qui après traitement approprié (évaporation, ...etc.) pourra donner 47000 t de sel de cuisine.

2. le sondage N°7 a rencontré des saumures à 50 m de profondeur, sous une assise puissante de roches imperméables représentées par des argiles gypseuses. La puissance des roches bréchiques aquifères (renfermant la saumure) est de 18 m. le niveau statique de la nappe

se stabilise à 40 m au-dessus de leur toit. Le débit de sondage obtenu lors des essais de nappe, est de 1283 m³/jour pour un rabattement du niveau de 4,3 m.

La densité de la saumure obtenu au cours des essais restait invariable aux environ de 1,14 (18°BE). Ceci signifie qu'il faut extraire 4,37 m³ de saumure pour obtenir une tonne de sel de cuisine.

Il convient de souligner que les essais de nappe dans le sondage N°7 non aucunement influencé le niveau de la nappe dans les sondages N°2, 8, 9

L'évaluation des réserves exploitables a été effectuée en se basant sur le débit réel du sondage. Ainsi, le débit de 1283 m³/jour permettra d'obtenir, dans la période d'exploitation donnée, un volume de 192000 m³ de saumure qui permettant d'extraire 44000 t de sel commun par évaporation.

Il convient de noter que dans les deux secteurs (sondage N°2 et sondage N°7) les débits indiquées ci-dessus ont été obtenus avec un rabattement insignifiant du niveau des eaux souterraines qui, dans le sondage N°2 n'a pas dépassé 10% de la puissance de la nappe aquifère et dans le sondage N°7 a prouvé une perte de charge partielle (11% de la grandeur initiale).

I.6. CONCLUSION :

A l'issue des travaux géologiques qui ont été accomplis par la SONAREM le gîte de sel reconnu est important et est en mesure de fournir du sel pour les besoins des industries chimique et alimentaire.

La manière la plus rationnelle de l'exploitation du gîte de sel serait le lessivage artificiel du sel gemme par les sondages avec transformation des saumures obtenues.

CHAPITRE II :

METHODES D'EXPLOITATION DES GISEMENTS DE SEL ET USAGE

II.1- INTRODUCTION :

Le Sel, est du chlorure de sodium de formule NaCl. Le terme sel désigne également les composés formés par la réaction entre un acide et une base, ou réaction de neutralisation. 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.

Le chlorure de sodium est un solide blanc, soluble dans l'eau à toute température, légèrement soluble dans l'alcool et insoluble dans l'acide chlorhydrique concentré. Dans sa forme cristalline, le composé est transparent et incolore, brillant comme des cristaux de glace.

II.1.1 -Historique :

Important depuis les temps préhistoriques comme agent d'assaisonnement et de conservation des aliments, le sel était également utilisé dans les rites religieux des Grecs, des Romains, des Hébreux et des Chrétiens. C'était un important moyen d'échange dans les voyages commerciaux sur les mers Méditerranée, Égée et Adriatique. Le sel était soumis à des taxes dans les pays d'Asie. Sous forme de salignon, c'était une monnaie de l'ancienne Éthiopie et du Tibet.

Dans les régions océaniques ou proches de la mer, la méthode la plus simple pour obtenir du sel est l'évaporation de l'eau salée. Ce procédé est coûteux, mais est cependant utilisé lorsque les méthodes moins onéreuses sont irréalisables. Dans la plupart des régions, le sel gemme est obtenu à partir de sources souterraines par forage jusqu'aux dépôts. Dans ce procédé, le sel est d'abord dissous dans l'eau amenée au fond du puits par un tuyau, et la saumure résultante est transportée jusqu'à la surface par d'autres tuyaux. Après avoir été débarrassée de ses impuretés d'argile, la solution de sel est vaporisée.

Différentes méthodes d'évaporation sont utilisées, dont les plus importantes sont l'évaporation solaire qui utilise le soleil comme source de chaleur, la vaporisation dans des autoclaves et dans des bouilloires closes, et l'évaporation par chauffage direct dans des récipients et bouilloires. La plus grande partie du sel commercialisé est produit par évaporation de la saumure du sel de gemme.

II.2. METHODES D'EXPLOITATION DU SEL :

On peut classer les procédés d'exploitation du sel en deux principales catégories :

- La méthode minière
- et la méthode agricole.

II.2.1. La méthode minière :

Les gisements de sel gemme se présentent à des profondeurs se situant de quelques mètres à plus de mille mètres, mais aussi affleurants en surface, à ciel ouvert.

- Cas des gisements affleurants ou peu profonds :

Les gisements affleurants sont exploités par la méthode d'exploitation à ciel ouvert. Le gisement est exploité du niveau le plus haut vers le plus bas avec des gradins de 10 à 15 m de hauteur. L'abattage est réalisé au moyen de tir à l'explosif. Le sel abattu est par la suite chargé dans des camions à bennes de capacité de 10 à 18 m³ de charge utile et transporté vers la station de lavage.

Pour les gisements peu profonds (entre 100 à 300 m) la méthode d'exploitation est celle des chambres et piliers. Les piliers sont abandonnés. L'accès au gisement est effectué par plan incliné de section assez large (10 à 15 m²) pour permettre le passage des engins de transport.

- Cas des gisements profonds :

Lorsque le dépôt de sel est très profond, on utilise la méthode minière par sondage. Par cette méthode, on injecte de l'eau fraîche à haute pression par l'intermédiaire d'une tuyauterie dans la couche de sel ou elle dissout le sel et forme une cavité.

La saumure saturée est ensuite pompée vers la surface ou elle est traitée et évaporée dans des évaporateurs sous vide pour donner un produit de haute pureté. Dans certain cas, la saumure qui est amenée en surface est évaporée par la chaleur solaire dans des bassins ouverts.

II.2.2. La méthode agricole :

La fabrication du sel par la méthode agricole ou par évaporation solaire de la saumure de l'eau de mer ou de lac (chott) date depuis fort longtemps et cette méthode est basée sur l'utilisation de l'énergie solaire.

Le procédé consiste en l'évaporation progressive de l'eau de mer ou de lac pour obtenir une saumure de bonne concentration qu'on transfère après dans des tables salantes (bassins rectangulaires) ou, sous l'effet encore de l'évaporation et du vent, le sel se cristallise en formant une croûte superficielle uniforme qu'on récolte ensuite, avant entreposage et égouttage.

Ce procédé est appelé agricole parce qu'il est lié aux facteurs climatiques naturels et aux quatre saisons de l'année : automne et hiver, pour l'entretien des terrains et ouvrages des sites de production, et printemps et été, pour la concentration des saumures et la production du sel.

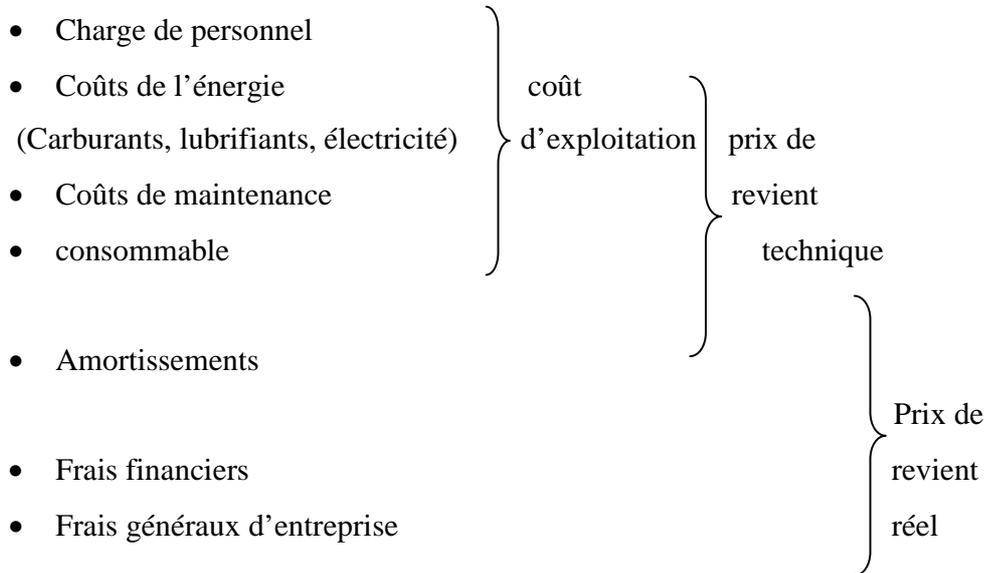
II.2.3. Choix de la méthode d'exploitation :

En définitive il y a plusieurs facteurs techniques qui entrent dans le choix de la méthode d'exploitation du sel : Ces facteurs sont essentiellement :

- les données géologiques (réserves minérales, profondeur du gisement)
- les données hydrogéologiques de la zone d'étude,
- les données météorologiques et climatiques ...etc.

La décision d'opter pour une méthode d'exploitation est essentiellement d'ordre économique sur la base d'une étude de faisabilité qui devra déterminer en fonction d'une méthode arrêtée le niveau de production, les investissements à réaliser, les effectifs le prix de revient théorique et réel comme le montre le schéma ci-dessous.

Le Prix de revient : comprend les éléments suivants :



II.3. DIVERSES UTILISATIONS DU SEL :

Le sel, qui était utilisé dans le passé uniquement comme condiment et pour ses propriétés de conservation, est aujourd'hui présent dans tous les secteurs de l'activité humaine.

II.3.1. Alimentation :

Le sel joue un rôle essentiel dans l'organisme humain en maintenant l'équilibre hydrominéral et en intervenant dans la régulation de la pression et du volume sanguins. La consommation quotidienne individuelle varie habituellement de 0,5 g, minimum vital, à plus de 10 g selon les climats et les civilisations.

Le sel est aussi nécessaire à l'alimentation animale pour remplacer le chlorure de sodium éliminé par la sueur et les excréments, et transmis dans le lait (1 litre de lait de vache contient 2,5 g de sel). Les besoins journaliers en sel pour les animaux varient, selon les espèces, de 5 à 60 g par tête de bétail et sont satisfaits au moyen d'aliments composés ou sous forme de pierres à lécher.

Le sel s'est avéré un support idéal pour les besoins physiologiques en micronutriments d'une large population avec, notamment, la pratique très bénéfique de l'iodation du sel pour lutter contre la carence en iode (goitre, crétinisme, etc....).

II.3.2. Applications dans l'industrie :

En plus de la consommation habituelle comme de sel de consommation humaine, le NaCl trouve beaucoup d'applications dans l'industrie :

- Le sel est utilisé pour conserver les aliments ;
- La saumure (ou le sel) est utilisée pour le déneigement des routes.

- Le carbonate de sodium Na_2CO_3 est utilisé dans les industries des cosmétiques, les détergents, papiers,..... Une quantité de 1.5 à 1.7 de NaCl permet de synthétiser 1T de Na_2CO_3 .
- Le chlore (Cl) : est utilisé dans l'industrie du papier (blanchiment), la chloration des eaux, l'industrie du textile, la préparation de HCl, la synthèse de PVC, la synthèse du CCL_4 , Une quantité de 1.87 T de NaCl permet de synthétiser 1 T de Cl,

- La soude ; est utilisé comme agent de transfert de chaleur et de préparation du peroxyde de soude ; une quantité de 1.8 T de NaCl permet de synthétiser 1 T de NaOH,
- Le sulfate de sodium Na_2SO_4 : utilisé dans l'industrie des détergents, des médicaments, des sulfites, verre, sulfures,..... ;
- Le chlorure de calcium (CaCl_2); il est utilisé comme agent réfrigérants c'est un antigel et un dessicant ; une quantité de 1.45 T de NaCl permet de synthétiser 1 T de CaCl_2
- L'oxyde de sodium Na_2O : qui est un interface d'échange de cations est utilisé pour la synthèse de HCl.

II.3.3. Biologie des salins :

Il existe une vie très intense dans les milieux salins que ce soit pour des germes visibles ou invisibles, c'est une vie sélective par rapport à la concentration.

- Les algues (DUNALIELA) : la DUNALIELA vit à des concentrations de 7.8 à 21 – 22°Bé. Elles synthétisent le Bêta-carotène par l'accumulation des rayons solaires.

Lorsqu'elles meurent à 22°Bé elles prennent la couleur rouge (la couleur bêta carotène), utilisé par la chimie pharmaceutique pour la production du carotène.

- L'ARTEMIA : se nourrit de la DUNALIELA, appartient à la famille des brachiopodes.

L'artémia est une nourriture très riche en aqua – culture (pour les poissons), puisqu'elle est constituée d'acides gras polyinsaturés et de bêta – carotène, elle augmente NT l'indice d'appétence.

Son système de reproduction est de type parthénogénétique.

- Sur les cristaux de sel vivent des bactéries halophiles extrêmes qui rejettent le sel et gardent l'eau (phénomène d'osmose).
- L'HEPHEDRA utilisée en chimie pharmaceutique pour synthétiser l'éphédrine (médecine de psychotrope).
- Dans les milieux salés vivent également les flamants roses, les canards,.....

CHAPITRE III :

LES CONDITIONS NECESSAIRES A L'EXPLOITATION DES SAUMURES

III.1. LA METEOROLOGIE :

La méthode d'exploitation par évaporation solaire fait appel à des paramètres météorologiques :

III.1.1. Présentation :

La Météorologie est une science qui étudie l'atmosphère terrestre. Elle a pour objet d'en connaître les états pour comprendre les phénomènes qui s'y déroulent afin de décrire le temps qu'il fait et de prédire le temps qu'il fera. La météorologie observe et étudie les 30 kilomètres de l'atmosphère en contact avec la surface de la terre : la troposphère et la stratosphère.

La connaissance des paramètres climatologiques pour l'exploitation de sel est très importante. On pense généralement que la production du sel dépend uniquement des deux phénomènes opposés : 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 aux rayonnement, soit indirectement grâce à l'effet du vent. Il faut noter aussi que la vitesse et l'intensité de l'évaporation dépendent également de l'humidité de l'air et la concentration en sel des saumures à évaporer.

Sur la base des données climatiques il est possible de :

- Déterminer les facteurs intéressant les ruissellement sur les chotts, principalement : la pluie et l'évaporation.
- Déterminer 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, les vents,.....
- Déterminer le temps opportun pour le pompage, le préchauffage de la saumure, la cristallisation et l'extraction.

III.1.2. Les paramètres météorologiques :

S'agissant de phénomènes atmosphériques naturels dont on ne peut pas prévoir avec exactitude les mesures à prendre, il est nécessaire de se baser, en plus des mesures à effectuer durant l'année en cours, sur des statistique pluriannuelles (minimum 10 ans et plus).

III.1.2.1. Pluviométrie :

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 chotts et tables, et l'apport indirect d'eau entrant dans le bilan hydrique du salin de l'exploitation de sel.

III.1.2.2. 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).

III.1.2.3. 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.

III.1.2.4. Humidité relative de l'air :

La connaissance de l'humidité relative de l'air 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.

III.1.2.5. 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.

III.1.3. Moyens de mesure des paramètres climatologiques :

L'acquisition d'une station météorologique est indispensable pour les mesures des paramètres climatologiques. Les stations standards disponibles sont composées de :

- Un évaporomètre piche ;
- Un pluviomètre ;
- Un Hyliographe ;
- Un anémomètre / girouette (aussi manche à air) ;
- Un bac d'évaporation d'eau douce ;
- Un bac d'évaporation de saumure à 24°B.
- Un abri standard protégeant :
 - un hygromètre ;
 - un thermomètre sec ; À l'attention de :
 - un thermomètre mouillé ;
 - un thermomètre maxi ;
 - un thermomètre mini ;
 - un baromètre.

III.2. PRECIPITATION DES EVAPORITES ET PROPRIETES DES SAUMURES :

Sous l'effet des facteurs climatologiques, notamment de l'évaporation, il est nécessaire de procéder, durant des périodes déterminées, à des analyses chimiques d'échantillons prélevés dans la zone d'où l'on se propose de tirer l'eau salée.

Par ailleurs, sachant que la production du sel par évaporation solaire passe par deux phases successives qui jouent, ce sont la concentration de la saumure jusqu'à saturation et la cristallisation un grand rôle dans la production d'un sel de bonne qualité.

III.2.1. Condition des précipitations des évaporites :

Tableau N° 04 : composition de la saumure à 25° Bé

Sels dissous (par ordre de précipitation)	Concentration (g/l)	Pourcentage par rapport au résidu sec (%)
Carbonate de calcium, CaCO ₃	0	0
Sulfate de calcium, CaSO ₄	2,58	0,94
Chlorure de sodium, NaCl	269,46	97,87
Sulfate de magnésium, MgSO ₄	0,99	0,36
Chlorure de potassium, KCl	0,49	0,18
Chlorure de magnésium, MgCl ₂	1,56	0,57
Bromure de magnésium, MgBr ₂	0,22	0,08

Ordre de précipitation des évaporites :

- **précipitation des carbonates :**

(Oxyde de fer et carbonates de calcium et éventuellement de magnésium) : de 3° Bé à 13° Bé (90%) ; (10% à 15° Bé).

- **Précipitation des gypses :**

De 13° Bé à 25,4° Bé (85%) ; (15% à la fin de l'évaporation totale de la saumure).

- **Précipitation de chlorure de sodium :**

De 25,4° Bé à 29° Bé (72% à 79%) : au-delà, la cristallisation ralentit considérablement et ne se termine qu'avec l'achèvement total de l'évaporation.

- **Précipitation des sels secondaires :**

(Sulfate de magnésium, le chlorure de potassium et le bromure de magnésium) : au-delà 30° Bé à 38° Bé et plus.

III.2.2. Définitions :

- **Classification des solution aqueuses de sel :** de douces (0-1 g/l) à très fortes (>320 g/l).
- **Solubilité du sel dans l'eau :** c'est la plus grande quantité de sel qui peut dissoudre dans l'eau (solution saturée de sel).
- **Cristallisation :** après saturation (toute l'eau excédentaire étant évaporée) et en parallèle avec l'évaporation de l'eau.
- **Concentration de la saumure :** la concentration est la quantité de sel dissout dans une unité de volume de saumure.

La concentration de la saumure, suivant les pratiques et les besoins de l'industrie, peut s'exprimer en degré Baumé (Bé), en salinité, en densité ou en gradualité ;

- **Degré Baumé (Bé) :** c'est le pourcentage de sel dans un poids donné de saumure (100 g de saumure à 15° Bé avec 15 g de sel dissout).
- **Salinité :** c'est la quantité de sel (Kg) dissout dans un (1) m³ de saumure (aussi en %).
- **Densité :** c'est le rapport de poids d'un (1) m³ de saumure au poids d'un (1) m³ d'eau pure (formule de relation entre °Bé et d).

Degré Baumé = $[144,32 (d-1)] / d$.

- **Gradualité :** c'est le nombre de Kg d'eau répondant à 1 Kg de sel dissout contenu dans la saumure (exemple : dans une saumure de gradualité 15 c-à-d 1 Kg de sel est dissout dans 15 Kg d'eau).

CHAPITRE IV :

**CONCEPTION ET CONSTRUCTION
D'UN SALIN**

IV.1. CONCEPTION D'UN SALIN :

La question essentielle qui est généralement posée, lors de la conception d'un salin, ou de l'extension d'un salin est :

- 1- à partir d'une surface donnée combien de tonnes de sel peut-on produire ?
- 2- Pour produire une quantité déterminée de sel vendable par an, combien faut-il de surfaces ?

Pour répondre à ces questions les paramètres suivant seront examinés :

- Production escomptée ou production nécessaire ;
- Durée de cycle du produit ;
- Volume de saumure à produire ;
- Utilisation optimale des surfaces ;
- Continuité des flux et efficacité maximale des circuits de saumures.

Il sers nécessaire avoir de prendre en considération tous les aspects du processus, analyser individuellement et postérieurement son intégration dans le processus général.

La méthodologie du calcul d'un salin intègre les aspects suivants :

- 1- Analyse des conditions d'opération ;
- 2- Analyse des conditions météorologiques (exemple, la présence du brouillard diminue le rendement) ;
- 3- La détermination des rendements de l'évaporation par aire de concentration et de cristallisation (on considère les infiltrations) ;
- 4- Détermination des rapports théoriques de surface ;
- 5- Détermination des surfaces de concentration et cristallisation nécessaire de produire la quantité projetée ;
- 6- Division des zones de concentration (digues) ;
- 7- Détermination des points de contrôle aux °Bé théoriques (droite de régime) ;
- 8- Détermination des pertes à divers points de circuit et calcul du volume correspondant ;

- 9- Détermination du volume d'eau et de sel dans le processus de concentration (bilan massique et volumique) ;
- 10- Détermination de la division de la zone de cristallisation, en incluant la prévision des égouts, chemin, ...etc
- 11- Dimensionnement des réservoirs de saumures et les objectifs d'opération de ces réservoirs ;
- 12- Dimensionnement et méthodes d'approche des aires de concentration ;
- 13- Le plan de récolte et le transport du sel (lavage, stockage et reprise de stock) ;
- 14- L'implantation de la station météorologique.

IV.2. CONDITIONS TOPOGRAPHIQUES :

Les conditions topographiques sont importantes dans la mesure où elles permettent de nous indiquer la surélévation exacte de la surface du marais salant par rapport au niveau de l'eau de la mer ou du chott (lac), l'existence éventuelle de pentes raides ou d'autres contraintes topographiques ainsi que la possibilité d'estimer les volumes de terres à déplacer pour la construction des tables et l'aménagement des aires de préparation de la saumure (partènements ou bassins de réserve).

IV.3. CONDITIONS GEOTECHNIQUES :

Pour un important marais salant classique, des sondages géologiques sont à réaliser dans la région retenue afin de déterminer la nature des dépôts sédimentaires, les taux d'infiltration et la présence de nappe d'eau douce ou saumâtre.

Il est donc impératif de procéder à de bonnes investigations et évaluations géotechniques du site réservé notamment aux tables salantes et à leurs annexes. En effet, un bon terrain permettra la construction de bassins de cristallisation aux avantages suivants :

- un fonds très solide permettant l'utilisation de récolteuses de grandes capacités ;
- un coût de construction des bassins moins élevé à cause de la réduction des volumes des travaux de terrassement (déblais, remblais et compactage) ;
- selon la proximité de ce bon terrain par rapport à la source de saumure, un coût d'investissement pour le pompage moins élevé ;
- selon l'étendue de ce bon terrain, la possibilité d'une extension future du salin.

IV.4. DESCRIPTION D'UNE AIRE DE CONCENTRATION :

La description d'une aire de concentration dont laquelle on fait entrer un volume V_0 à une concentration C_0 et on fait sortir un volume V_1 à une concentration C_1 , entre les deux on a des phénomènes physico-chimiques (infiltration, évaporation, pluie, phénomène osmotique).

- Une surface de concentration doit être le plus près possible des station de pompage et des canaux de drainage ;
- Une surface de concentration doit être aussi plane que possible ;
- En fonction de leur disposition topographique, on cherche la circulation naturelle des saumures (éviter les stations de pompage) ;
- Bonne alimentation en volume et concentration capable d'assurer un transit entre deux pointes (droite de régime) ;
- Maintenir une épaisseur de saumure régulière ;
- Fournir un volume nécessaire pour passer à la surface suivante ;
- Un bassin mal conçu induit des épaisseurs différentes et des zones de concentration différentes ce qui implique un ajustement du potentiel vers les points les plus faibles ;
- S'assurer que la durée de transit est conforme par rapport au tableau de marche (droite de régime).

IV.4.1. Construction des partènements :

Il s'agit d'un bassin en charge, sur lequel on pompe la saumure pour le pré concentration avec des apports de digues, et leur forme la plus économique, c'est-à-dire celle qui conduit à crée le minimum de digues pour une surface donnée, La surface des partènements est plus grande de cinq fois que celle des tables salantes.

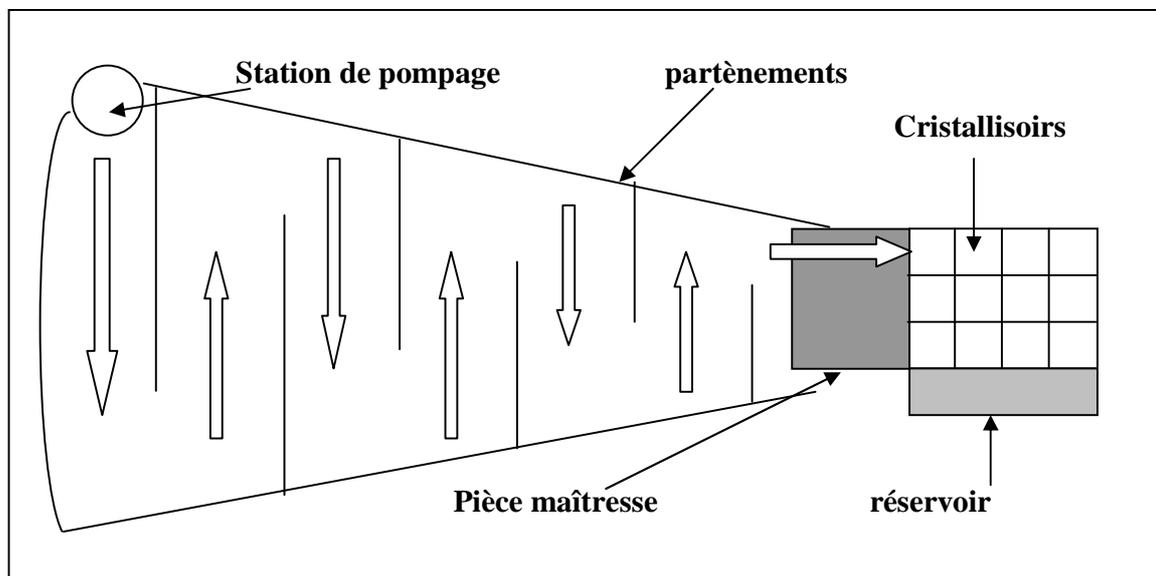
La section des digues dépend de la dimension du bassin, de la hauteur de saumure et de la nature du terrain. Le fond de ce bassin doit être constitué de deux couches d'argile de 10Cm d'épaisseur chacune, assez compactées, entre lesquelles un film en polyéthylène ou en propylène devrait permettre d'assurer une bonne étanchéité contre les infiltrations éventuelles de la saumure.

IV.4.2. Construction des tables salantes :

Les tables salantes sont des surfaces sur lesquelles se fait la cristallisation de sel après la concentration de la saumure, il faut que cette surface doive être aussi plane que possible. Le fond de ce bassin doit constituer de deux couches argilo-sableuse à cause de leurs propriétés mécaniques pour assurer une bonne étanchéité contre les infiltrations et une bonne résistivité pour que les engins puissent circuler lors de la période de récolte.

La construction de la table salante prend beaucoup de temps Il nous faut au minimum quatre ans pour que la table salante soit opérationnelle, parce que d'abord on prépare le fond de la table (altération de toutes les matières organiques, compactage, nivellement), et puis on fait une couche qu'on appelle une «couche contre sel » de 30 Cm qui n'est pas récoltée.

Figure N° 04 : air de concentration



IV.4.3. Phénomène météorologiques et interactivité :

Les données météorologiques permettent de déterminer la quantité de sel déposée sur les tables salantes par la formule suivante :

$$Q = (E . \alpha - P . \omega) . 0,346 . 10 \text{ [Kg/ha]}$$

Avec : - Q : la quantité de sel [Kg/ha] ;

- E : l'évaporation de la saumure ;

- α : le coefficient d'évaporation

$$\alpha = (EVAP_{\text{saumure}} / EVAP_{\text{eau douce}})$$

$\alpha = 0,55$ (table salante)

$\alpha = 0,85$ (partènement)

- P : la pluviométrie ;

- ω : le coefficient de pluviométrie

$$\omega = 1 \div 1,15$$

- l'évaporation de 1mm de la saumure donne une déposition de 0,346 g de sel

- Les données météorologique permettent de déterminer correctement les périodes qui conviennent pour le pompage, la concentration de la saumure, la cristallisation et l'extraction.

EXEMPLE :

Tableau N°05 : évaporation et pluviométrie

Mois	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
E (mm)	50	40	50	60	100	150	150	200	100	60	50	40
P (mm)	40	30	20	10	05	0	0	0	10	30	40	40
E . α	25	20	25	30	50	75	75	100	50	30	25	20
P . ω	40	30	20	10	05	0	0	0	10	30	40	40
E . α - P . ω	-15	-10	05	20	45	75	75	100	40	0	-05	-20



Période de cristallisation

CHAPITRE V :

**ASPECTS TECHNIQUES SUR LA
PRODUCTION DU SEL PAR EVAPORATION
SOLAIRE**

V.1. DESCRIPTION DU SALIN DE GUERGOUR LAMRI :

V.1.1. Le phénomène de la 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. Maintient de l'évaporation afin de crée un déséquilibre dynamique ;
2. Abaissement de la température pour diminuer la solubilité de la matière (phénomène de frappage).

En toute hypothèse la solubilité du NaCl varie peu avec la température. A saturation, la solution est en équilibre dynamique, c'est-à-dire la vitesse de dissolution est égale à la vitesse de cristallisation ; si la vitesse de cristallisation est supérieure le processus de cristallisation est enclenché (progressé).

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

L'excès du solide dans la solution commence à se précipiter sous forme cristalline. Sans changement de facteur (évaporation, température, tension de vapeur,...), cet état aura tendance à maintenir la sursaturation en cristallisant la solution se maintient dans le nouvel état d'équilibre, le phénomène va continuer tant que cet état ne change pas.

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 dès l'apparition du premier cristal (visible à l'oeil nu). La cristallisation est initiée lorsque se séparent de la solution, les premières molécules ayant les caractéristiques d'un solide, formant les premiers nucléus initiaux permettant de poursuivre le processus.

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 de nucléus de base. La cristallisation est le résultat de la sédimentation de substances sur 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 de pyramide inversée.

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

Dans la réalité, la structure pyramidale parfaite ne se présente que rarement, dans une solution fortement saturée la cristallisation croit presque par la juxtaposition des nucléus spontanés. L'agrégation cristalline sera grande si les surfaces entre les nucléus sont suffisantes pour évacuer les compositions différentes (eaux mères et impuretés).

L'agitation de la solution (présence de vent) défavorise la formation de gros cristaux. En présence d'une forte température, la concentration de la solution diminue (dissolution partielle) le cristal a tendance à se dissoudre (diminuer).

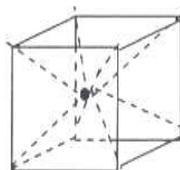
On constate que la formation des gros cristaux est favorisée par la lenteur de leur accroissement en se maintenant en saturation permanente.

La présence de l'agitation (vent) crée de nouveaux nucléus (très nombreux) et de la même manière les impuretés vont se trouver occluses du fait de leur assimilation à des nucléus.

On retient que les gros cristaux sont obtenus lorsque:

1. les températures sont faibles.
2. la concentration (degré Baumé) est constante.
3. les tables ne sont pas exposées au vent.

Figure N°05 : Nucléus



La cristallisation se déroule dans des tables salantes.

V.1.2. Les tables salantes :

Le salin du GUERGOUR lamri comporte 8 tables salantes. La surface installée totale des tables salantes est de 125 357 m² et se décompose comme présentée dans le tableau ci-après :

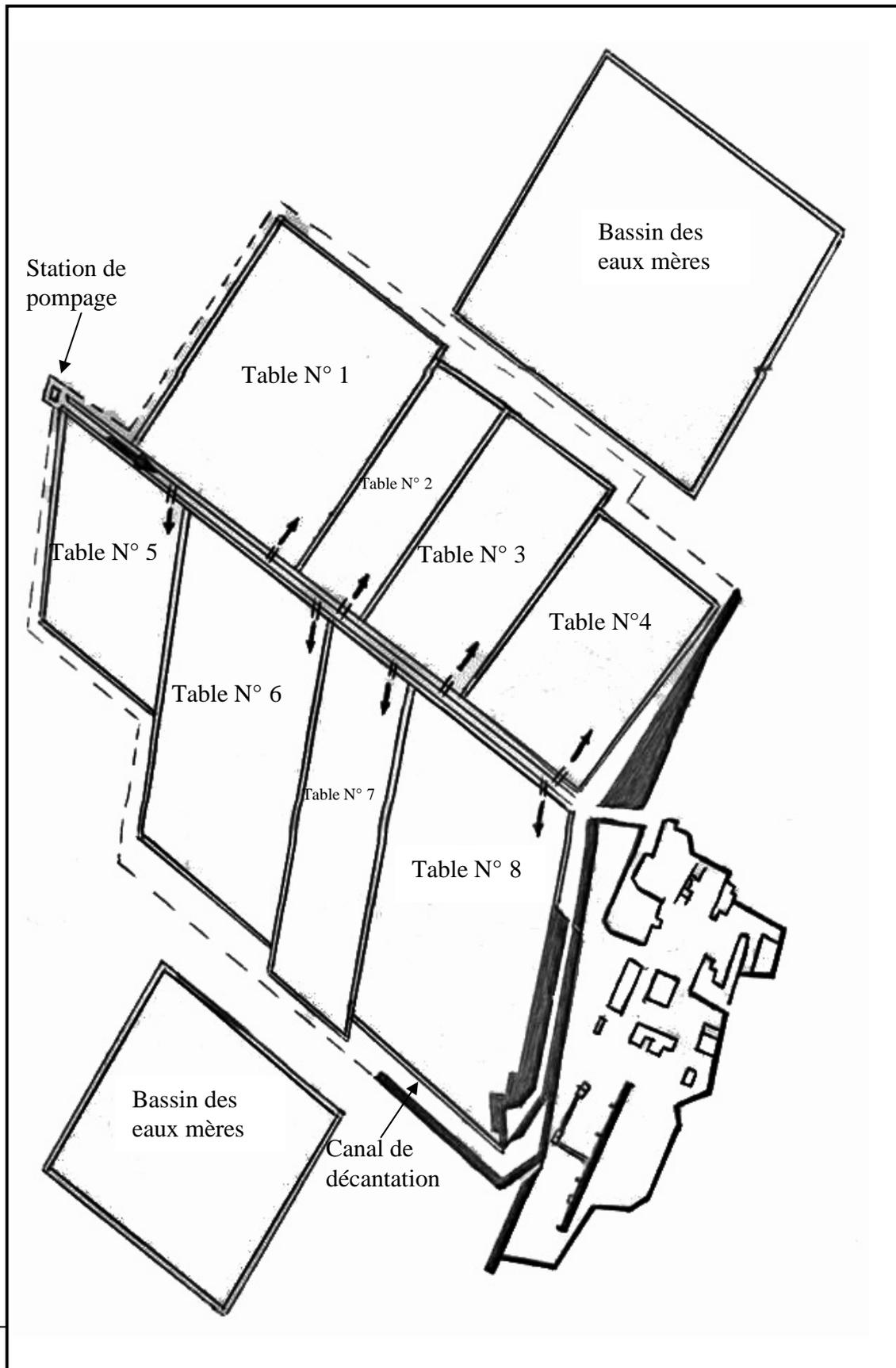
Tableau N°06: les dimensions des tables salantes

				Surface (m ²)		
	Code table	Longueur (m)	Largeur (m)	Installée	Prévue	Réalisée
Table 1	308	152.00	136.74	20 784.48	20 496.74	20 496.74
Table 2		150.00	49.77	7 465.50	7 266.73	6 267.80
Table 3	322	150.00	84.57	12 685.50	12 451.93	12 220.36
Table 4	339	148.00	102.64	15 190.72	14 941.08	13 612.32
Table 5	346	136.00	97.00	13 192.00	12 960.00	12 730.00
Table 6	353	182.00	109.89	19 999.98	19 709.09	18 901.08
Table 7	36	236.00	61.52	14 518.72	14 222.20	13 927.68
Table 8	377	182.00	118.24	21 519.68	21 220.44	17 534.88
TOTAL				125 357	123 268.21	115 690.86

Surface du partènement (m ²)	40 000
--	--------

Il convient de souligner que le taux d'utilisation des capacités de concentration est de 92%

figure N° 06 : plan d'ensemble du salin de GUERGOUR Lamri 1/3000



V.1.3. Le pompage :

Lorsque la saumure atteint dans les puits et dans les forages une concentration de 19°Bé (223.7Kg/m³ de saumure) il est procédé au pompage vers le partènement .L'évaporation requise dans les partènements est de 147.00 mm.

Lorsque la saumure dans le partènement atteint 25,5°B il est procédé au pompage vers les tables salantes. L'évaporation requise dans les tables salantes est de 496.78 mm.

Les capacités de pompage sont composés de :

- quatre (4) pompes de marque POVAL et de débit horaire de 10m³/h : Les pompes 1et 2 sont utilisées pour les puits, et les pompes 3, 4 sont utilisées pour les forages 1 et 2.
- une pompe (Rouet) qui a un débit horaire de 60 m³/h ; Le Rouet est utilisé pour le pompage du partènement vers les tables salantes.

Le rejet des eaux mères un bassin se fait par gravitation

Tableau N°07 : pompes d'alimentation

Pompes d'alimentation					Affectation
Désignation	Marque	Type	Débit horaire (m3/h)		
			Installé	Prévu	
Pompe 1	POVAL	60	10	10	Puits
Pompe 2	POVAL	60	10	10	Puits
Pompe 3	POVAL	60	10	10	Forage2
Pompe 4	POVAL	60	10	10	Forage1
Rouet			60	50	Réservoir de saumure forte

V. 1.3.1. Plan de pompage d'un salin :

D'une manière générale cette opération est mené selon un Plan de pompage . Ce dernier dépend principalement de la disponibilité de la quantité de saumure nécessaire au moment approprié du pompage et de la capacité des pompes en place. Il suffit ensuite de gérer le pompage en question 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 citées ci-dessus.

V. 1.3.2. Rejet des eaux-mères :

Dès que la concentration atteint 29 - 30° Bé ces eaux appelées « eaux mères » sont rejetées par gravité dans un bassin de stockage aménagé avec un fonds étanche. Ils contiennent 53% de sels secondaires et 47% de NaCl)

V.1.4. Récolte et transport du sel :

V.1.4.1. Historique :

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 c'était un ramassage à la main pour des utilisations immédiates, puis avec la diversification de l'utilisation, on s'est rendu compte qu'il est nécessaires 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 las, ensuite on a utilisé des pelles métalliques tirés manuellement ou avec des animaux, la capacité de récolte ne dépassait pas 1.5 T/h.

La mécanisation de l'extraction n'a vu le jour qu'après la deuxième guerre mondiale, le premier récolteur mécanisé était une favouille traversée en chenilles, elle se ressemble à un crabe.

La mécanisation de l'extraction nécessite l'amélioration de la résistance mécanique du sol, puisque les récolteurs (relativement lourds) et les moyens de transport exercent une pression (kg/cm^2) sur le sol, la poinçonner en dépassant des seuils tolérés, on a intérêt alors à élargir la surface de contact entre les récolteurs (pneus) et le sol, pour cette raison on procède parfois à diminuer la pression des roues afin d'élargir l'empreinte de contact et diminuer par conséquent la pression, la raison étant d'empêcher le poinçonnement des roues dans le sol.

Pour remédier aux inconvénients des récolteurs existants, et afin d'augmenter la capacité d'extraction on a conçu des équipements appelés «Petit Rabots) tractés, avec une lame de 1,10 m de largeur et une capacité d'extraction de 80 à 100 T/h.. Le modèle type étant le PR 110 ;ce modèle a donné satisfaction pendant longtemps a vu augmentée sa capacité d'extraction à 500 T/h avec des lames de 2,20 m de largeur.

On a beaucoup amélioré les accouplements pour les rendre souples et hydrauliques, il apparu sur le marché un récolteur autoporté (modèle type le RA 280 « utilisé en TUNISIE — SFAX » avec d'énormes godets montés en arrière avec une échelle), les principales améliorations sont :

- c'est un récolteur autoporté au lieu qu'il soit tiré ;
- récolte jusqu'à 30cm d'épaisseur ;
- grande capacité d'extraction.
- Son défaut c'est qu'il est trop lourd (30 à 45 T, il est adapté donc uniquement pour des tables ayant une très bonne couche de contre sel).

Les rabots ont connu aussi une évolution avec des capacités de 300T/h à 700T/h leur utilisation nécessite un traitement particulier de la surface de la table avant la mise en saumure (étanchéité, résistance, glissement), en favorisant le glissement des surfaces par l'incorporation d'algues fines et grasses qu'on appelle « le feutre» (techniques de feutre : les algues meurent et le sel se détache facilement du sol), le modèle type de ce récolteur étant le RP 140.

Actuellement Il existe actuellement sur le marché des récolteurs sur bandes de très grande capacité d'extraction, mais ils sont trop chers. Les dernières améliorations touchent l'automatisation en utilisant des logiciels spéciaux et des guidages laser pour la commande et la conduite.

V.1.4.2 Plan de récolte (d'extraction) :

La récolte est une opération en chaîne qui débute par l'extraction et se termine par le gerbage (stockage). Pour l'utilisation rationnelle des moyens, il faudra une cinématique décroissante en matière de capacités, du gerbage à l'extraction (à titre d'exemple: pour une

capacité de gerbage de 500 T/h, il faudra une capacité de lavage de 450 T/h, et pour une capacité de transport de 400 T/h, une capacité d'extraction de 350 T/h).

Ceci, pour tenir compte des aléas et arrêts inévitables sur un chantier **de** récolte. Après avoir déterminer la quantité à récolté, et en connaissant les capacités de récolte, de transport, de lavage, et après avoir fixer la durée de l'opération, on doit déterminer la capacité journalière de récolte, il faut établir soigneusement un plan de récolte permettant la cohérence entre les différentes phases de l'opération et empêchant par conséquent les ruptures de charges.

En général, on part de la capacité de récolte (un ou plusieurs récolteurs) et on «descend» la cinématique jusqu'au stockage, en calculant au mieux la capacité du laveur. Les autres éléments (engins de transport entre le récolteur et l'atelier de lavage, échelle de stockage,) sont plus facilement adaptables.

La récolte commence lorsque la saumure est à 29°Bé. Il se forme alors une couche de sel de 17 cm d'épaisseur. Cette couche est enlevée au moyen de récolteur.

Les capacités de récolte de l'unité de GUERGOUR lamri sont satisfaites par un (1) récolteur de 300T/h. Ce récolteur charge le sel cristallisé dans des remorques (six (6) attelages dont 4 privés) qui transporte le sel vers une (1) station de lavage.

Longueur d'un voyage (aller et retour) entre la table salante et la trémie de réception est de 1,5 Km.

V.1.5. Le lavage primaire :

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

- Eliminer 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 ;

- Eliminer du sel brut les eaux 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.

V.1.6. Le gerbage :

Le sel lavé est mis en stock par une (1) gerbeuse. Le stock final à la forme d'un haricot qui est appelé « camelle ».

Figure N°07: schema d'un stock final « camelle »

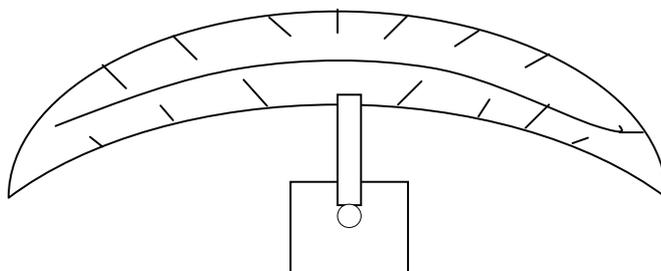


Tableau N°08 : Moyens matériels de récolte, de transport et de gerbage

Désignation	Nombre	Capacité théorique	Capacité pratique
Récolteur	1	300 T/Heure	200 T/Heure
Attelage	6 (dont 4 privés)		4T
Station de lavage	1		80 T/Heure
Gerbeuse	1		80 T/Heure

V.1.7. Atelier de conditionnement :

Il s'agit ici du traitement complet du sel récolté dans des tables salantes, au niveau d'une atelier qui est équipée par :

- Essoreuse
- Sécheur
- Deux (2) broyeurs B₁ et B₂
- Peseuse
- Quatre (4) machine M₁, M₂, M₃ et M₄
- Bandes transporteuses V

Figure N°08 : processus général de fabrication de sel

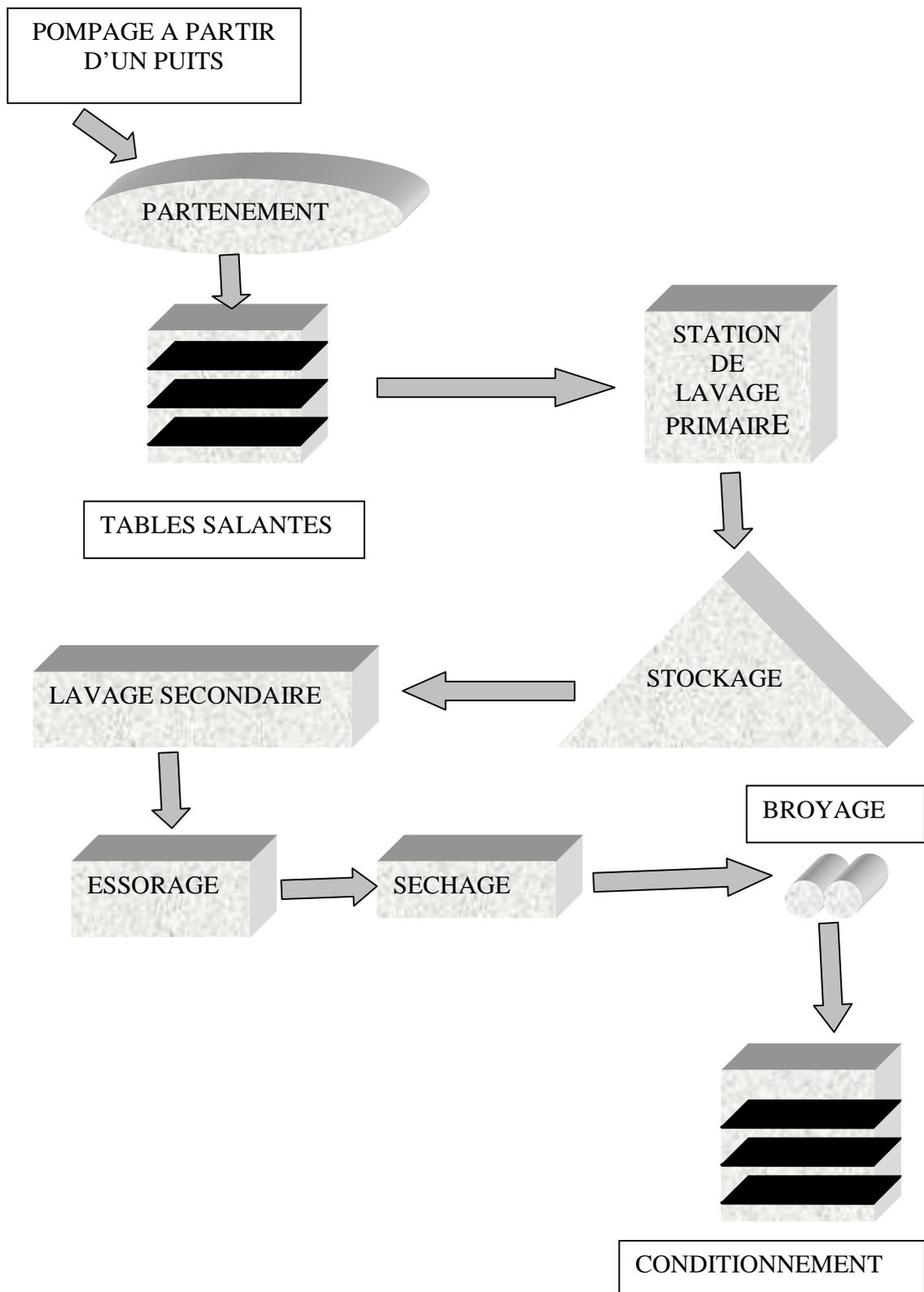
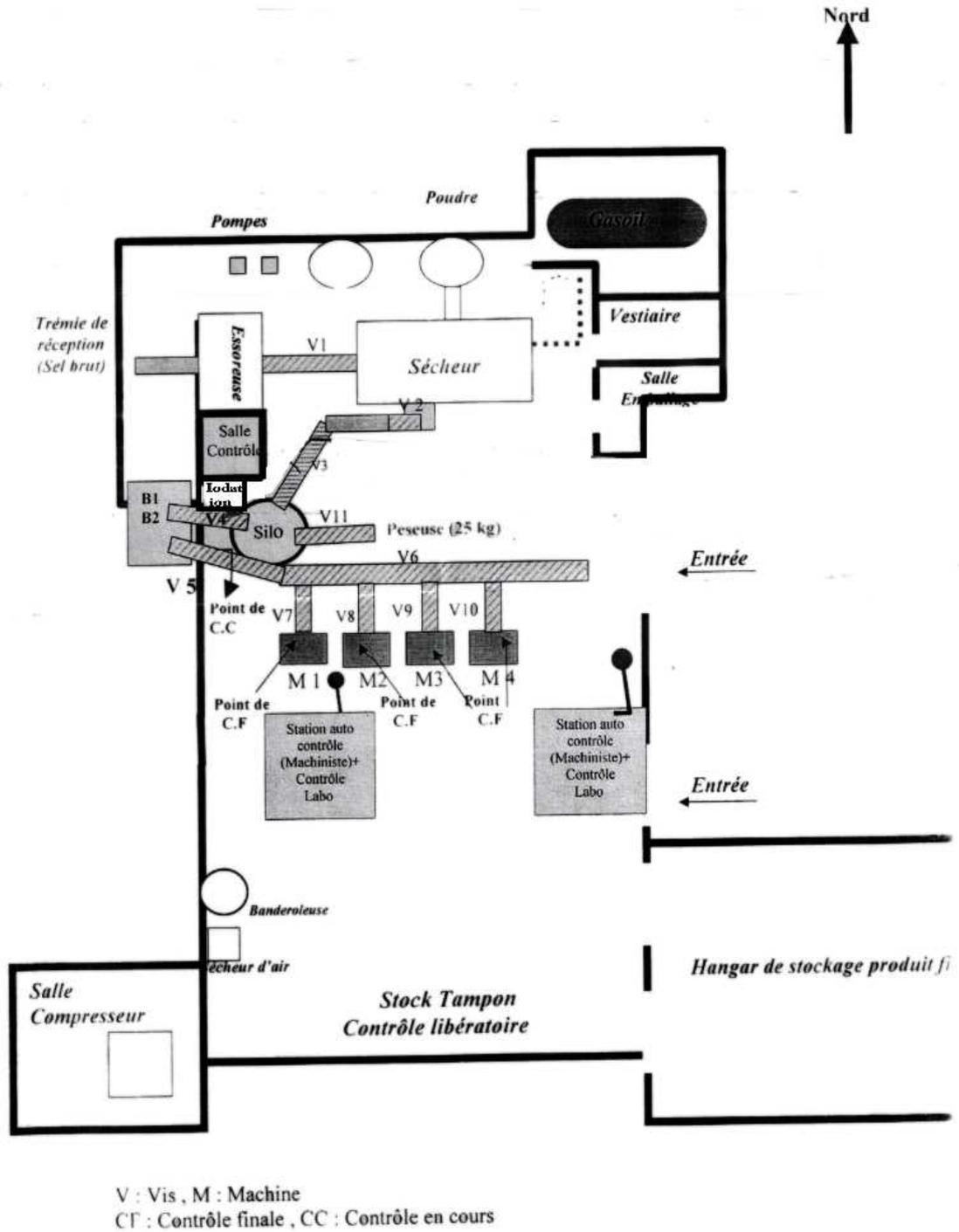


Figure N° 09 : Schéma de traitement du sel



Après le gerbage et la mise en stock du sel brut dans des camelles, le sel va passer au lavage secondaire.

1- Lavage secondaire :

Le lavage secondaire est constitué d'une vis-sans-fin inclinée et par 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

2- Essorage :

Le sel lavé sera accumulé dans une trémie de réception, puis passera à l'essoreuse par une bande transporteuse.

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 recyclée dans le système de purification.

3- Séchage :

Le sel essoré sera dirigé dans un sécheur par V_1 , le sécheur sera suivi par un refroidissement par ventilation d'air filtré et forcé.

4- Iodation :

Le sel séché est dirigé vers un silo par deux (2) vis V_2, V_3 et puis l'iodation se fait par un système de goûte à goûte.

5- Broyage :

Le sel iodé est dirigé vers les deux (2) broyeurs B_1 et B_2 . Le broyage se fait pour concasser les agglomérations de sel et les réduire.

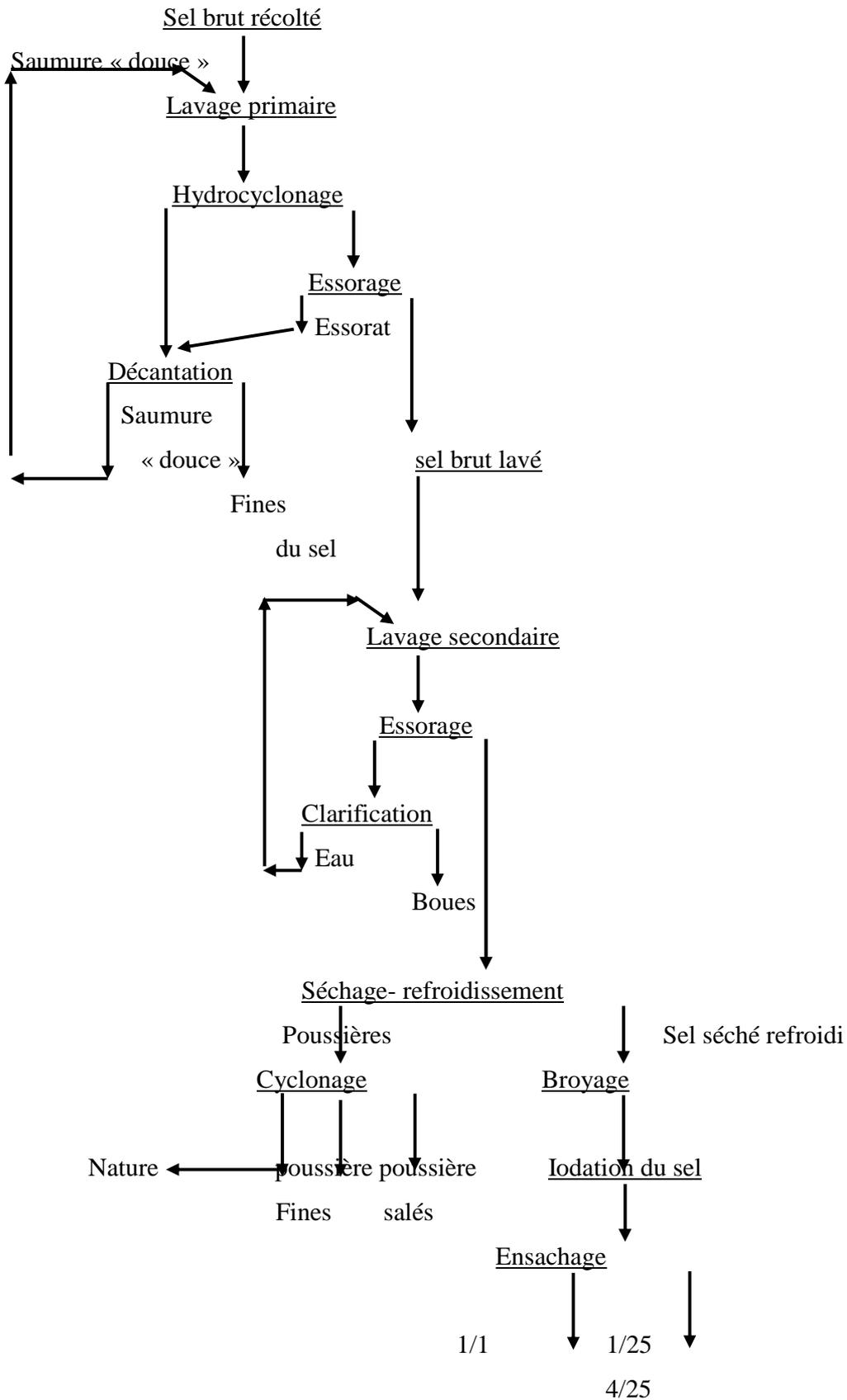
6- Conditionnement du sel :

Le sel broyé va passer vers les machines de conditionnement par V_5 .

Le conditionnement du sel se fait selon les spécificités du marché du sel, on peut prévoir :

- soit sel alimentaire (1/1 coussins, 1/1 carré, 1/25 Big.Bag).
- soit sel industriel (1/25, 4/25 traité, 4/25 brut, poudre).

Figure N° 10 : Schéma du procédé de traitement du sel



V.1.8. Effectifs :

L'effectif du personnel qui est utilisé pour la production est de 36 réparties comme suit :

- **Extraction :** il y a 20 agents :
 - quatre (4) agents pour le pompage (deux contremaître tables, un saunier et un surveillant pompe).
 - neuf (9) travailleurs pour l'extraction (un responsable d'extraction, un conducteur du récolteur, 6 conducteurs d'attelages, et un maintenancier).
 - sept (7) travailleurs pour lavage primaire (2 conducteurs d'installation, 2 aides conducteurs d'installation, 2 conducteurs d'engins, et un maintenancier).
- **Traitement de sel :** il y a 16 agents :

Le tableau ci-après donne la décomposition par qualification

Tableau N°09 : la décomposition des effectifs par qualification

POMPAGE	
Nombre de postes de travail	2
Durée de poste de travail	8 Heure
Effectif	4
- Contremaître tables	2
- Saunier	1
- Surveillant pompe	1
EXTRACTION	
Nombre de postes de travail	1
Durée de poste de travail	8 Heure
Effectif	9 dont 4 privés
- Responsable d'extraction (conducteur du tracteur à chenilles):	1
- Conducteur du récolteur:	1
- Conducteur d'attelages:	6 (dont 4 privés)
- Maintenanciers	1

LAVAGE PRIMAIRE	
Nombre de postes de travail	2
Durée de poste de travail	8 Heures
Effectif	7
- Conducteur d'installation:	2
- Aide Conducteur d'installation:	2
- Conducteur d'engin:	2
- Maintenançiers	1
TRAITEMENT	
Nombre de postes de travail	2
Durée de poste de travail	8 Heures
Effectif	12
- Responsable de traitement	1
- Contrôle de qualité	2
- Conducteur d'installation:	2
- Aide Conducteur d'installation:	2
- Conducteur d'engin:	3
- Maintenançiers	2
TOTAL EFFECTIF	32 (dont 4 privés)

V.2. NOTE DE CALCUL POUR UNE CAPACITE DE 25 000 TONNES :

Peut-on atteindre à 25000 T par an avec les moyens matériels et humains qui existent dans l'unité de GUERGOUR lamri ? Nous allons répondre à cette question en procédant opération par opération.

V.2.1. Le pompage :

- On a la saumure est de 19°Bé, et le sel contenu dans 1 m³ de saumure est de 223,7Kg/m³.

Pour les 25000 T, il nous faut un volume (V₁) de :

$$V_1 = (25000\ 000 / 223,7) = 111756,81\ m^3. \approx 112000\ m^3$$

Donc :

Le volume pompé dans les partènements est de : 112000 m³.

- On a l'évaporation requise dans les partènements est de 147 mm.

Le volume qui entre dans les tables salantes (V₂) est de :

Volume pompé dans les partènements – volume évaporé.

$$\text{Volume évaporé} = 0.147 \times 115690.86 = 17006.55\ m^3$$

$$V_2 = 111757 - 17006.55 = 94750.45\ m^3.$$

Donc :

Le volume pompé dans les tables salantes est de : 94750.5 m³.

- La hauteur de la saumure dans les tables salantes est de :

$$H = 94750.5 / 115690.86 = 0.818\ m.$$

Donc :

La hauteur de la saumure dans les tables salantes est de : 0.82 m.

- La durée de pompage dans les partènements est de :

On a quatre (4) pompes, chacune de débit horaire de 10 m³/h, donc le débit de toutes les pompes est de 40 m³/h.

$$D_1 = 112000 / 40 = 2800\ \text{heures.}$$

La durée de pompage dans les partènements est de : 2800 heures.

- Si on travaille avec un (1) poste de travail ; $D_1 = 2800 / 8 = 350$ jours.
- Si on travaille avec deux (2) postes de travail ; $D_1 = 2800 / 16 = 175$ jours.
- Si on travail avec trois (3) postes de travail ; $D_1 = 2800 / 24 = 117$ jours.

- La durée de pompage dans les tables salantes est de :

On a un Rouet de débit horaire de $50 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$D_2 = 94750.5 / 50 = 1895 \text{ heures.}$$

La durée de pompage dans les tables salantes est de : 1895 heures.

- Si on travaille avec un (1) poste de travail ; $D_2 = 1895 / 8 = 237$ jours.
- Si on travaille avec deux (2) postes de travail ; $D_2 = 1895 / 16 = 119$ jours.
- Si on travaille avec trois (3) postes de travail ; $D_2 = 1895 / 24 = 79$ jours.

• Le volume de saumure pompée (V_T) et la durée de pompage (D_T) dans chaque table salante est de :

$V_{\text{Table}} = \text{La hauteur de saumure} \times \text{La surface de la table}$

$$D_{\text{Table}} = V_{\text{table}} / 50$$

Ainsi :

- $V_{T1} = 0.819 \times 20496.74 = 16787.0 \text{ m}^3$. et $D_{T1} = 336$ heures.
- $V_{T2} = 0.819 \times 6267.80 = 5133.5 \text{ m}^3$. et $D_{T2} = 101$ heures.
- $V_{T3} = 0.819 \times 12220.36 = 10008.0 \text{ m}^3$. et $D_{T3} = 201$ heures.
- $V_{T4} = 0.819 \times 13612.32 = 11148.0 \text{ m}^3$. et $D_{T4} = 223$ heures.
- $V_{T5} = 0.819 \times 12730.00 = 10426.0 \text{ m}^3$. et $D_{T5} = 209$ heures.
- $V_{T6} = 0.819 \times 18901.08 = 15480.0 \text{ m}^3$. et $D_{T6} = 310$ heures.
- $V_{T7} = 0.819 \times 13927.68 = 11407.0 \text{ m}^3$. et $D_{T7} = 229$ heures.
- $V_{T8} = 0.819 \times 17534.88 = 14361.0 \text{ m}^3$. et $D_{T8} = 288$ heures.

V.2.1.1. Durée de pompage (jours) :

La durée de pompage en jour est de :

- Si on travaille avec un (1) poste de travail donc : $D = D_T / 8$
- Si on travaille avec deux (2) postes de travail donc : $D = D_T / 16$
- Si on travaille avec trois (3) postes de travail donc : $D = D_T / 24$

Tableau N°10 : durée de pompage (jours)

	Dans les tables				Dans les partènements		
	Code table	1*8h	2*8h	3*8h	1*8h	2*8h	3*8h
Table 1	308	42	21	14	350	175	117
Table 2		13	7	5			
Table 3	322	26	13	9			
Table 4	339	28	14	10			
Table 5	346	27	14	9			
Table 6	353	39	20	13			
Table 7	36	27	14	9			
Table 8	377	36	18	12			
Total		238	121	81			

V.2.1.2. Plan de pompage nécessaire :

Le pompage de la saumure dans les partènements débutera à partir du 15 février jusqu'au 15 septembre.

D'après le débit horaire des pompes qui existent dans l'unité de Guergour Lamri, on ne peut pas atteindre le volume nécessaire de pompage avec un seul poste de travail ; Il est donc nécessaire de travailler avec deux postes de travail durant la période de mai, juin, juillet, août et septembre.

La répartition du volume pompé sur les mois est établie de sorte que le pompage soit accéléré durant les mois de Mai à septembre parce que l'évaporation est importante.

V.2.1.3. Programme de pompage :

Tableau N°11 : programme de pompage

	Volum e à pompe r (m3)	Durée (J)			Durée prévue de fonctionnement des pompes (h)			
		1*8 h	2*8 h	3*8 h	Pompe 1	Pompe 2	Pompe 3	Pompe 4
Février	4800	15	8	5	120	120	120	120
Mars	9920	31	16	11	248	248	248	248
Avril	9600	30	15	10	240	240	240	240
Mai	19840	-	31	21	496	496	496	496
Juin	19200	-	30	20	480	480	480	480
Juillet	19840	-	31	21	496	496	496	496
Août	19840	-	31	21	496	496	496	496
Septembr e	8960	-	14	10	224	224	224	224
TOTAL	112000	-	176	119	3274.89	3274.89	820.40	3274.89

V.2.2. La cristallisation :

- On a La densité dans les tables salantes $d = 1.25$, densité = poids / volume.

Le volume = L'épaisseur de couche de sel X La surface des tables salantes.

$$e = T / (s \times d) ; \quad e : \text{l'épaisseur} ; T : \text{le poids} ;$$

s : la surface ; d : la densité

$$e = 25000 / (115690,86 \times 1,25) = 0,172 \text{ m.}$$

Donc : **l'épaisseur de la couche de sel est de : 0.172 m.**

- Le rejet des eaux mères se fait par gravitation.

$$V_{\text{eau mère}} = V_{\text{pompe}} - (V_{\text{évaporé}} + V_{\text{sel}})$$

$$V_{\text{pompe}} = 94750,5 \text{ m}^3.$$

$$V_{\text{évaporé}} = 0.49678 \times 115690,86 = 57473 \text{ m}^3.$$

$$V_{\text{sel}} = 0172 \times 115690,86 = 19899 \text{ m}^3.$$

$$V_{\text{eau mère}} = 94750.5 - (57473 + 19899) = 17378 \text{ m}^3.$$

Le volume des eaux mères est de : 17378 m³.

V.2.3. L'extraction:

V.2.3.1. Données d'extraction :

La quantité de sel à extraire = La surface de table X L'épaisseur de la couche X La densité.

$$Q = s \times e \times d$$

Tableau N°12 : données d'extraction

Tables salantes	Surface réalisée (m ²)	Epaisseur de la couche (m)	Densité	Quantité du sel à extraire (T)
T1	20 496.74	0.172	1.25	4407
T2	6 267.80	0.172	1.25	1348
T3	12 220.36	0.172	1.25	2627
T4	13 612.32	0.172	1.25	2927
T5	12 730.00	0.172	1.25	2737
T6	18 901.08	0.172	1.25	4064
T7	13 927.68	0.172	1.25	2994
T8	17 534.88	0.172	1.25	3770
TOTAL	115690.86	0.172	1.25	24874

V.2.3.2. Données de trajet :

Tableau N°13 : données de trajet

Tables salantes	Durée de trajet (Min)					Nombre de voyages par jour
	Aller et retour	Chargement	Déchargement	Total	Maj 20%	
T1	20	2	0.5	22.5	27.00	16
T2	16	2	0.5	18.5	22.20	19
T3	12	2	0.5	14.5	17.40	24
T4	8	2	0.5	10.5	12.60	33
T5	6	2	0.5	8.5	10.20	41
T6	6	2	0.5	8.5	10.20	41
T7	14	2	0.5	16.5	19.80	21
T8	26	2	0.5	28.5	34.20	12

V.2.3.3. Quantité à extraire par jour (tonne) :

La quantité à extraire par jour = nombre de voyages par jour X nombre d'attelages X capacité.

Tableau N°14 : quantité à extraire par jour (Tonne)

Tables salantes	Nombre d'attelages (4T)			
	3	4	5	6
T1	192	256	320	384
T2	228	304	380	456
T3	288	384	480	576
T4	396	528	660	792
T5	492	656	820	984
T6	492	656	820	984
T7	252	336	420	504
T8	144	192	240	288

V.2.3.4. Durée d'extraction (jour) :

La durée d'extraction = La quantité de sel / La quantité à extraire par jour.

Tableau N°15 : durée d'extraction (en jours)

Tables salantes	Nombre d'attelages (3T)			
	3	4	5	6
T1	23	18	14	12
T2	6	5	4	3
T3	10	7	6	5
T4	8	6	5	4
T5	6	5	4	3
T6	9	7	5	5
T7	12	9	8	6
T8	27	20	16	14
Total	101	77	62	52

V.3. CONCLUSION :

Les paramètres analysés précédemment permettent de conclure que l'optimum de production de sel avec les moyens existants est de 25 000 T/an avec un pompage à deux (2) postes de travail.

V.4. AMELIORATION DE LA CAPACITE DU SALIN :

Pour améliorer la production annuelle actuelle nous avons examiné la variante d'effectuer un pompage supplémentaire. Ce deuxième pompage sera opéré une fois que le partènement a été vidé. Cette voie a été abandonnée en raisons des apports en eau insuffisants et des paramètres météorologiques.

Les tableaux ci-après montrent le suivi de l'évaporation et le suivi de la pluviométrie durant la période 2004-2007 chaque mois.

Tableau N°16 : suivi de l'évaporation

MOIS	2004	2005	2006	2007	moy
janvier			87,83	21,19	21,0
février			28,24	29,74	28,2
mars				52,55	49,9
avril		131,35	222		156,7
mai		295,75	260,4		278,1
juin	184,9	307,1	312,33		309,7
juillet	319,95	367	240,8		309,3
août	346,37		306,51		326,4
septembre	238,9	238,9	120,9		199,5
octobre					99,8
novembre	107,55	79,71	99		95,4
décembre		69,74	68,87		69,3
ANNUEL					1963,3

Figure N°11 : suivi de l'évaporation

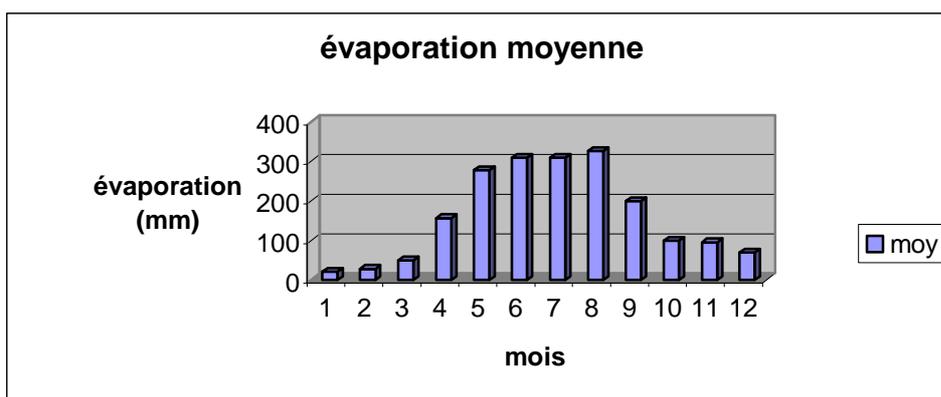
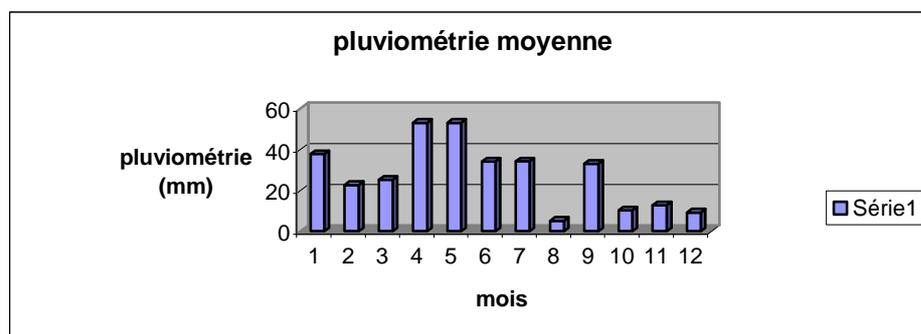


Tableau N°17 : suivi de la pluviométrie

mois	2004	2005	2006	2007	MOY
janvier	42.5	2	64	5.3	37.9
février	18.4	4.6	48.9	18.9	22.7
mars	34.1	5.1	0	61.4	25.2
avril	68.8	25	65.7		53.2
mai	73.6	4.7	65.7		53.2
juin	41.1	61.5	0		34.2
juillet	61.9	13	28.1		34.3
août	7.3	7.8	0.5		5.2
septembre	30.5	15	54.1		33.2
octobre	14.5	12	4.6		10.4
novembre	14.5	19.3	4.6		12.8
décembre	0	16.2	11.5		9.2
ANNUEL	407.2	186.2	389.8		340.3

Figure N°12 : suivi de la pluviométrie



Le partènement doit être vidé à partir du mois d’octobre, et on voit d’après le suivi de l’évaporation que à cette période le taux de l’évaporation est très important, donc la phase de pré concentration de la saumure se fait rapidement (de 19°Bé à 25,5°Bé), tandis que à cette période les tables salantes sont encore occupées (c’est-à-dire l’opération de la récolte de sel et l’opération de la remise en état), donc les conditions climatiques ne permettent pas de faire un deuxième pompage durant la même année.

En plus de ça, on a un abaissement de niveau de la saumure dans les puits et les sondages parce qu’il y a une diminution du taux de pluviométrie à cette période.

Tableau N° 18 : voie d'un pompage supplémentaire

mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Pompage dans partènement		—————											
Pompage dans tables salantes			—————										
Voie d'un pompage supplémentaire	

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

1. Pour préciser les données de base nécessaire pour planifier un développement ultérieur notable de la production annuelle de sel, nous recommandons de procéder, au cours de l'exploitation, à des observations régulières de niveau de la saumure ;

2. La production annuelle de l'unité de GUERGOUR LAMRI peut être poussée à 25000 T de sel par exploitation des saumures dans les puits et les sondages spécialement équipés ;

3. pour arriver à une production supérieure, il convient :

- augmenter le puisage après avoir procédé à des observations régulières du régime de la nappe en période d'exploitation (durant 2 ou 3 ans) ;
 - procéder au lessivage de gîte de sel gemme à l'eau douce aux grandes profondeurs.
- A cet effet, nous recommandons de procéder à des recherches hydrogéologiques dans la région au village de Guellet ;

4. les puits (sondages) d'exploitation doivent être équipés de tubes et pompes en acier spécial résistant à l'action corrosive des ions de sulfate ;

5. il est impossible d'augmenter la production de sel sans élargir les surfaces des bassins de cristallisation (tables salantes), et surtout celles des bassins préparatoires (partènement).

BIBLIOGRAPHIE

Documentation :

[1] : "Rapport Géologique GISEMENT DE SEL GEMME"

Par G. DROUGOV SONAREM 1971

Direction Technique (Entreprise Nationale De Sel)

[2] : "logiciel de collecte et de gestions des relevés météorologique "

Par Mr : MAACHE SALAH Mr : CHENAFI NOUREDDINE

Direction Technique (Entreprise Nationale De Sel)

[3] : "Etude technico-économique du salin d'El-Magtaa"

Par Mr : HASBELLAOUI MUSTAPHA

Bureau d'étude national GENERALE DES MINES

Sites d'Internet :

[4] : <http://www.ac-grenoble.fr/ecole/blv.jean-moulin/dossiers/t0001/mer/sel/sel-exp.htm>

[5] : http://mairie.haraucourt.free.fr/sel_contemporain.php

[6] : http://perso.orange.fr/echel/essai_presentation/histoire_du_sel.html

ANNEXE II

DECRET N° 90-40 DU 30 JANVIER 1990

Décret n° 90-40 du 30 janvier 1990 rendant obligatoire la vente du sel iodé pour la prévention de la carence en iode.

ARTICLE 1 : Dans le but de prévenir les troubles dus à une carence en iode et notamment le goitre endémique, il ne peut être vendu, sur l'ensemble du territoire national, pour les usages alimentaires, que du sel iodé répondant aux caractéristiques techniques définies à l'article 2 ci-dessous.

ARTICLE 2 : Le sel iodé doit comporter, au moins, 3 parties d'iode pour 100.000 parties du sel et au plus, 5 parties d'iode pour 100.000 parties du sel. Cet iode doit être apporté sous forme d'iodate de potassium.

Les quantités nécessaires de ce composé sont de 50,55 mg d'iodate par kilogramme de sel, pour le dosage minimum et de 84,25 mg, d'iodate par kilogramme de sel, pour le dosage maximum.

ARTICLE 3 : Le sel iodé doit être conditionné et commercialisé à la sortie d'usine, sous emballage consistant en des sachets, boîtes, flacons ou tout autre emballage conforme aux normes homologuées ou aux spécifications légales et réglementaires.

L'emballage doit être scellé, imperméable et chimiquement stable et doit porter notamment l'indication du taux ou de la quantité totale du composé iodé contenu, ainsi que le nom de l'entreprise productrice, conformément aux dispositions réglementaires en matière d'emballage et d'étiquetage des produits à usage alimentaire.

ARTICLE 4 : Conformément à la législation et à la réglementation en vigueur, des analyses et des vérifications peuvent être effectuées sur le sel iodé.

Des analyses et vérifications sur la concentration en iode du sel peuvent être effectuées par le ministère chargé de la santé publique à tout moment et à tous les stades.

ARTICLE 5 : Le suivi de l'application du présent décret est confié à une commission interministérielle composée des représentants des ministères chargés de la santé, de la qualité, des finances et de l'industrie lourde.

Cette commission, présidée par le ministre chargé de la santé ou son représentant, se réunit deux fois par an sur convocation de son président ou de l'un des ministres concernés. Le secrétariat de la commission est assuré par les services concernés du ministère chargé de la santé publique.

ARTICLE 6 : Les dispositions du décret n° 67-198 du 27 septembre 1967 susvisé, sont abrogées.

ARTICLE 7 : Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

ANNEXE II

EXEMPLE DES CALCULS POUR CONNAITRE LES DEGRES DE SAUMURE

EXEMPLES D'APPORT DE SAUMURES FAIBLES

Dans le cadre d'une production optimale du sel. Le salin serait amené à pomper un maximum de saumure dans les tables salantes dans des conditions pas souvent simples. Par exemple, une table remplie au début de pompage se trouverait, à la fin du remplissage de toutes les tables et après évaporation. Avec une hauteur de saumure nécessitant un appoint de saumure de densité plus faible en vue d'une production optimale de sel. Le consultant donne, ci-après, deux (2) exemples de calculs pour connaître les degrés auxquels va tomber une saumure à 25,5°Bé dans une table après un apport exceptionnel d'eau de pluie et après l'apport par pompage complémentaire d'une saumure de densité plus faible, à 19°Bé.

Exemple d'apport exceptionnel d'eau de pluie

Sur une surface de 1 ha, recouverte de 20 cm de saumure à 25,5°Bé, on a un volume de 2000 m³ de saumure à 25,5°Bé. S'il tombe une pluie de 80 mm ou 0,08 m, le volume d'eau de pluie serait de: $10\,000 \times 0,08 = 800 \text{ m}^3$

Le volume final sur table, un supposant qu'il n'y a pas contraction de volume lors du mélange, serait de: $2\,000 + 800 = 2\,800 \text{ m}^3$

La saumure initiale avait un degré Bé de 25,5. C'est-à-dire que sa densité était de: $d = 144,32 / (144,32 - 25,5) = 1,2146$

Les 2 000 m³ pesaient donc: $1,2146 \times 2\,000 = 2429,2 \text{ t}$

Les 800 m³ d'eau de pluie pesaient donc: $800 \times 1 = 800,00 \text{ t}$

Le poids des 2 800 m obtenus après la pluie est de: $3229,2 \text{ t}$

La densité de cette nouvelle saumure serait de:

$$\frac{\text{Poids}}{\text{Volume}} = \frac{3229,2}{2\,800} = 1,1532$$

Soit. En degré Bé: $D = \frac{144,32 (d-1)}{d} = \frac{144,32 (1,1532 - 1)}{1,1532} = 19,18^\circ$

a. Exemple d'apport de saumure plus faible

Sur une surface de 1 ha, recouverte de 20 cm de saumure à 25,5°Bé, on a un volume de 2000 m³ de saumure à 25,5°Bé.

Si on pompe une saumure complémentaire à 19°Bé sur une hauteur de 10 cm ou 0.1 m. le volume de saumure faible serait de:

$$10\,000 \times 0,1 = 1\,000 \text{ m}^3$$

Le volume final sur table, en supposant qu'il n'y a pas contraction de volume lors du mélange, serait de:

$$2\,000 + 1\,000 = 3\,000 \text{ m}^3$$

La saumure initiale avait un degré Bé de 25,5. c'est-à-dire que sa densité était de:

$$d = \frac{144,32}{144,32 - 25,5} = 1,2146$$

La saumure complémentaire avait un degré Bé de 19, c'est-à-dire que sa densité était de:

$$d = \frac{144,32}{144,32 - 19} = 1,1516$$

Les 2 000 m³ pesaient donc:

$$1,2146 \times 2\,000 = 2\,429,2 \text{ t}$$

Les 1 000 m³ de saumure faible pesaient donc : don

$$1,1516 \times 1\,000 = 1\,151,6 \text{ t}$$

Le poids des 3 000 m³ obtenus est de:

$$3\,580,8 \text{ t}$$

La densité de cette nouvelle saumure serait de:

$$\frac{\text{Poids}}{\text{Volume}} = \frac{3\,580,8}{3\,000} = 1,1936$$

$$\text{Soit. En degré Bé: } D = \frac{144,32 (d-1)}{d} = \frac{144,32 (1,1936 - 1)}{1,1936} = 23,4^\circ \text{Bé}$$