



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option: Réutilisation Des Eaux Non Conventionnelles.

THEME :

**ETUDE DE GESTION ET VALORISATION DE LA
SAUMURE ISSUE DE LA STATION DE DESSALEMENT
DE Fouka w.Tipaza**

Présenté par :
SAADOUN Sarah

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
KAHLERASS Djilali	MCA	Président
HOULI khaled Samia	MAA	Examineur
BETATACHE Hayet	MCB	Examineur
TAFAT Leila	MAA	Examineur
MEDJDOUB LEULMI Sonia	MCB	Promoteur

Session Septembre .



Dédicace

Pour m'avoir permis d'être ce que je suis devenu aujourd'hui, je voudrais remercier le **SEIGNEUR** des mondes par qui tout est possible : **DIEU**.

Au coeur ouvert et avec une immense joie, je dédie ce modeste travail et spécialement :

A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi chère **maman** ; toutes mes joies, mon amour et ma reconnaissance.

A **mon père habibi** qui a été toujours auprès de moi, avec ces conseils, je leur témoigne mon amour et ma reconnaissance.

A ma **grand-mère**, que dieux les protège et les garde pour nous.

A mes chers frère : **abdelali et abdelwafi** a leurs patiences, pour leur soutien moral et leurs sacrifices le long de mes études.

Ma chère tante âme-sœur mon amour **Kita** sans rien siter apres car c'est tres peu envers elle

et mon cher oncle **Brahim** ainsi que toute la grande famille maternelle ou paternelle qui ont été toujours a mes cotés

Et bien sur sur en terme psychique je peux pas négliger une personne très chere

Mr. N. qui n'a jamais cesser de me donner ces coup de pousses morales en quoi que se soi .A mes cheres copines dite soeures :

Ahlem,Manel,Hamida,Katia,Kahina,Imen,Yousra,Maroua,Sissou,soulef,meriem,Nour, Nadjett

Mes cheres cousins **Feriel** et **Imene** qui ont été toujours a l'aimable écoute et support

Tous les etudiants de la section **3SC** et spécialement mes collègues ceux de

l'option RENC : **Meriem,aymen,abdou**

Sans a oublier aussi tous le staff et les residantes de la cités universitaire somaa 4



REMERCIEMENT

En premier lieu, je tiens tout d'abord à remercier **Dieu** pour m'avoir donné la force et le courage pour pouvoir réaliser ce travail.

Je remercie fortement mes **chers parents** qui ont fait les mains et les pieds pour me faire arriver à ce jour la

Au terme de ce travail. Il est agréable d'exprimer mes sincères remerciements et notre profonde gratitude à **Mme Leulmi** de m'avoir encadré. Je lui exprime ma reconnaissance pour ses précieux conseils qui m'ont guidé dans l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.

J'adressons mes remerciements à tous les membres de la station de dessalement d'eaux de mer de **Fouka** et spécialement à **Mr M.KHATEB**.

aux membres de jury qui ont accepté d'examiner mon travail, l'ensemble des Enseignants et tous l'équipe pédagogique de l'**ENSH** qui ont participé à notre succès durant tout notre cursus je tiens à citer notamment **Mr A.AMMARI** et **Mr. A.ZEROUAL**

Ma pensée aussi va à **tous** ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, à réaliser ce travail.

TABLES DE MATIERES

DEDICACE

REMERCIEMENT

LISTE DE FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Liste des planches

LISTES DE TABLEAUX	7
LISTES DES FIGURES.....	8
CHAPITRE I : RESSOURCES EN EAU ET DESSALEMENT EN ALGERIE	2
I CHAPITRE I : RESSOURCES EN EAU ET DESSALEMENT EN ALGERIE.....	3
I.1 Introduction :	3
I.2 La situation de l'eau en Algerie :	3
I.2.1 Les ressources en eau :	3
I.2.2 Les potentialités globales en eau :	4
I.2.3 Capacités de mobilisation :	4
I.2.4 L'utilisation de l'eau par secteur :	5
I.2.5 Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie :	6
I.2.6 Constat sur la situation en ressources hydriques :	7
I.3 Le recours au dessalement d'eau de mer :	8
I.4 Conclusion :	8
II CHAPITRE II : LES DIFFERENTS PROCEDES DE DESSALEMENT.....	10
II.1 Introduction :	10
II.2 Définition de dessalement :	10
II.3 Histoire du dessalement :	11
II.4 L'expérience Algerienne en matiere de dessalement :	12
II.4.1 Les stations installees par la Compagnie «SONELGAZ»:.....	13
II.4.2 Les Stations installees par la Compagnie «SONATRACH» :.....	13
II.4.3 Stations installees par d'autres Compagnies:.....	15
II.4.4 Station experimentale du Centre de Developpement des Energies.....	15
II.5 Méthodes de dessalements :	15
II.5.1 Procédés par distillation:	15
II.5.2 : Les procédés membranaires :	19
II.5.3 Choix d'un procédé de dessalement :	24
II.6 Les avantages et les inconvénients de dessalement en Algérie :	25
III CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	28
III.1 Introduction :	28

III.2	Localisation de la station :.....	28
III.3	Capacité de la station et le mode de fonctionnement :.....	29
III.4	: Installation et processus :	29
III.5	Les différentes étapes de l’usine de dessalement :	29
III.5.1	Etape de prétraitement :	29
III.5.2	Etape de traitement :	34
III.5.3	Etape de post-traitement :	46
IV	CHAPITRE IV : ANALYSE ET INTERPRETATIONS	50
IV.1	Introductions :.....	50
IV.2	Mode de prélèvement :.....	50
IV.3	Analyses physico-chimiques de l’eau de mer :	51
IV.4	Les résultats des analyses physico-chimiques de l’eau traitée :.....	55
IV.5	Quantification des différents éléments chimiques dans la saumure :.....	57
IV.6	Conclusion :.....	59
V	CHAPITRE V : GESTION ET VALORISATION DE LA SAUMURE.....	61
V.1	Introduction :.....	61
V.2	L’impact de dessalement :	61
V.2.1	L’impact de dessalement sur l’environnement :	61
V.2.2	impact sur l’environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer :.....	61
V.2.3	Impacts de salinité sur la qualité de l’eau du milieu récepteur:.....	62
V.2.4	Impact sur l’environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés : 62	
V.3	La pollution de la saumure :.....	62
V.4	Composition de la saumure :.....	63
V.5	Dispersion des sels concentrés :.....	63
V.6	Etude des techniques de Gestion de la saumure proposées pour la station de dessalement de FOUKA :	63
V.6.1	Dilution de la saumure :.....	64
V.6.2	L’évaporation de la saumure :.....	68
V.6.3	Surface nécessaire des marais salants	70
V.6.4	L’injection dans les puits profonds :	71
V.6.5	Production d’électricité par l’énergie osmotique :	72
V.6.6	Rejet direct en mer :	73
V.7	La valorisation de la saumure à l’échelle internationale :	74
V.7.1	Fondant routier :.....	74
V.7.2	Industrie chimique :.....	75
V.7.3	Matériaux de construction (gypse et CaCO ₃) :.....	75
V.7.4	Production de verre (Na ₂ CO ₃ et Na ₂ SO ₄) :	75

V.7.5	Papeterie (CaCO ₃ et Na ₂ SO ₄) :	75
V.7.6	Agriculture (gypse, struvite, CaCO ₃) :	75
V.8	Les retours d'expériences tout autour du monde :	76
V.8.1	Centrale thermique à charbon de Changxing :	76
V.8.2	Usine de teinture textile en Inde :	76
V.8.3	Conserverie d'olives en Californie :	77
V.8.4	Industrie minière Debiensko en Pologne :	78
	CONCLUSION GENERALE.....	80
	ANNEXE.....	82
	Bibliographique.....	84

LISTES DE TABLEAUX

Tableau I-1 La ressource en eau dans les cinq régions hydrographiques	4
Tableau I-2 Répartition de la consommation des eaux par secteur d'activités(mm ³)	6
Tableau II-1: La salinité de l'eau de mer et d'océan.....	11
Tableau II-2 Stations exploitées par SONELGAZ.....	13
Tableau II-3 : Les grandes stations en Algérie	14
Tableau II-4 : Les stations «monobloc »en Algérie.	14
Tableau III-1 Capacité de la station.	29
Tableau III-2: caractéristiques des eaux brutes	38
Tableau III-3 : Résultat de calcul du la molalité et la concentration de l'eau d'alimentation.....	39
Tableau III-4 : Résultat de calcul du nombre de perméateur par étage.	41
Tableau III-5: Calcul des concentrations dans l'étage 1.....	42
Et : Tableau III-6: Calcul des débits de l'étage 1.	42
Tableau III-7: Calcul des concentrations dans l'étage 2.....	43
Tableau III-8:: Calcul des débits de l'étage 2.....	43
Tableau III-9: Calcul des débits de production et taux de conversion réelles.....	43
Tableau III-10: Résultat de dimensionnement d'osmose inverse de la station de FOUKA.	44
Tableau IV-1: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer.....	51
Tableau IV-2: Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure.	52
Tableau IV-3: Les Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée.....	55
Tableau IV-4 : Les quantités des différents éléments chimiques rejetées par la station de dessalement FOUKA.	58
Tableau V-1: les débits des 3 stations d'épurations utilisées.	64
Tableau V-2: Coefficient de perte du matériau de toiture	65

LISTES DES FIGURES

Figure I-1 consommation des eaux en milliard de m ³	6
Figure II-1: Les différents procédés de dessalement.....	15
Figure II-2 Principe de distillation à simple effet	16
Figure II-3 Distillation à multiples effets (16).....	17
Figure II-4 : Principe de fonctionnement d'un système par détentés successives (MSF)	18
Figure II-5: Principe de distillation à compression de vapeur.....	18
Figure II-6 : Principe de l'osmose inverse.	19
Figure II-7 Schema de principe d'une unite d'osmose inverse	19
Figure II-8 Principe de dessalement par l'électrodialyse.....	24
Figure III-1: La conduite en PEHD.	30
Figure III-2: Le dégrilleurs et la station de pompage.	31
Figure III-3: Les prises des produits chimiques.	32
Figure III-4: Les filtres gravitaires.	33
Figure III-5: L'unité des filtres à cartouches.....	34
Figure III-6: Unité d'osmose inverse.	35
Figure III-7: Système de récupération d'énergie.....	45
Figure III-8: Silos de la chaux.	46
Figure III-9 : CO2 fabriqué sur site.....	47
Figure III-10: Station de pompage d'eau traitée.	47
Figure IV-1 : Concentration des différents éléments chimiques dans l'eau de mer.	52
Figure IV-2: comparaison des différents composants de l'eau de mer et de la saumure.....	54
Figure IV-3: l'évolution du volume de la saumure pendant une année.....	58
Figure V-1 : Etapes de fonctionnement d'un marais salant.	68
Figure V-2:: Schéma de L'injection dans les puits profonds.	72
Figure V-3: Schéma d'un émissaire marin équipé d'un diffuseur multiport.....	73
Figure V-4: Schéma de la filière de traitement	77
Figure V-5: Schéma de la filière de traitement de Debiensko	78

LISTES DES PLANCHES .

Planche 1 : plan de masse de la station de dessalement de Fouka.

Planche 2 : profile hydraulique de la station de dessalement de Fouka.

planche 3 : quelques coupes de la station dessalement de Fouka.

Liste des abréviations

NTU	Unité de turbidité Néphélogétrie
OMS	Office national de la santé
OI	Osmose inverse
ED	Electrodialyse
F°	Degrés français
TH	Titre hydrométrique
TDS	Seles dissout totaux
MSF	La distillation par détente successive (multi-stage flash)
MED	La distillation par effet multiple
VC	La distillation par compression de vapeur
PH	Potentiel d'hydrogéné
Ppm	Partie par million
TA	Titre alcalimétrique
TAC	Titre alcalimétrique complet
HP	Pompe à haute pression
ANRH	Agence national des ressources hydrauliques.

ملخص

يعد تحلية مياه البحر محطات التحلية تنتج من الجهة المقابلة المحلول الملحي الذي بدوره يحتوي على املاح مختلفة معادن ثقيلة ومركبات عضوية هذا المحلول ملوحته مرتين اكبر من املوحة العادية لماء البحر (بين 50 و 80 غ/ل) حاليا صرف (رمي) هذا المحلول الملحي يتم تخفيفه بسرعة في ماء البحر وليس له تأثيرات خطيرة على البيئة لكن بالمقابل صرف هذا المحلول بكمية كبيرة على المدى البعيد يمكن ان يعطي عدم توازن في المكونات الكيميائية لماء البحر و تأثيرات خطيرة على الوسط البحري والحياة البحرية فيما يخص نباتات او حيوانات أعماق البحر عملنا هذا هو دراسة وتحسين وتسيير النفايات السائلة لتحلية مياه البحر (المحلول الملحي) من اجل التخفيف من التأثيرات السلبية لمحطات التحلية على البيئة .في البداية قمنا باعطاء صورة شاملة حول مصادر المياه في الجزائر اضافة الى التحلية واساليبها المطبقة الجزء الثاني قمنا بالتركيز معمقا على العينة المدروسة وهي محطة التحلية بفوكة ولاية تيبازة بمختلف جوانبها من موقع و ديموغرافيا الى جانب دراسة تفصيلية لطريقة التحلية المنتهجة بها (التناضح العكسي) الجزء الثالث يعطي مكونات وتأثيرات هذه النفايات على الوسط البحري حسب التحاليل الكيميائية والفيزيائية لعينات ماء البحر و المحلول الملحي لمحطة فوكة .فيما يشرح الجزء الرابعمختلف الطرق والتقنيات لتثمين وتسيير و رسكلة المحلول الملحي الناتج عن تحلية مياه البحر مع تطبيقها على محطة دراستنا

RESUME

Après dessalement de l'eau de mer, les usines génèrent de la saumure contenant divers sels, métaux lourds et composés organiques. Cette saumure est deux fois plus salée (entre 50 et 80g/l) que l'eau de mer habituelle Actuellement, les rejets de saumure se diluent rapidement dans l'eau de mer et ne présentent pas de graves conséquences sur l'environnement. Cependant, ce rejet de saumure en grande quantité, peut entraîner à long terme, un déséquilibre dans la composition chimique de l'eau de mer, avec des conséquences dramatiques sur la biodiversité, les écosystèmes marins que ce soit la faune ou la flore sous-marines.

L'objectif de notre travail est d'étudier et d'améliorer la gestion des déchets liquides de dessalement (la saumure) afin de diminuer l'empreinte environnementale de l'usine de dessalement. Ainsi, dans un premier temps, le dessalement, en Algérie, ses différents procédés et tous les déchets liquides émis sont inventoriés dans ce présent travail. Dans la deuxième partie, nous nous sommes concentrés en profondeur sur l'échantillon étudié, qui est l'usine de dessalement de Fouka, Tipasa, avec ses différents aspects : localisation , démographie, en plus d'une étude détaillée de la méthode de dessalement utilisée dans celle-ci (osmose inverse) et son dimensionnement

La troisième partie donne les composantes et les effets de ces déchets sur le milieu marin d'après les analyses physico-chimiques des échantillons d'eau de mer et de la saumure de la

station de Fouka tandis que la quatrième partie explique les différentes méthodes et techniques de valorisation, de gestion et de recyclage la saumure issue du dessalement de

l'eau de mer avec son application à notre station d'étude accompagnés avec des illustrations de l'utilisation de ces méthodes à l'échelle mondiale.

SUMMARY :

After desalination of seawater, factories generate brine containing various salts, heavy metals and organic compounds. This brine is two times saltier (between 50 and 80 g /l) than the standard sea water (35 g/l in the Mediterranean Sea). Currently, a brine discharge is diluted quickly in sea water and does not have

serious environmental consequences. However, this rejection of brine in large quantities, may cause long-term imbalance in the chemical composition of sea water, with dramatic consequences for biodiversity, marine ecosystems whether fauna or flora sub marines.

The increase in salinity can transform lifeless desert coasts, causing the disappearance of villages or local maritime activities. The aim of our work is to study and improve management desalination liquid waste (brine) to reduce the environmental impact of the desalination plant.

Thus, initially, resources and desalination, in Algeria, its different processes

In the second part, we focused in depth on the studied sample, which is the Fouka desalination plant, Tipasa, with its different aspects: location, demography, in addition to a detailed study of the desalination method. used in it (reverse osmosis) and its sizing, then the third part gives the components and the effects of this waste on the marine environment according to the physico-chemical analyzes of the samples of sea water and brine from the Fouka station, while the fourth part explains the different methods and techniques for the recovery, management and recycling of brine from the desalination of seawater with its application to our study station accompanied by illustrations of the use of these methods on a global scale.

Introduction générale

L'eau, en tant que bien commun, est indispensable à la vie. C'est l'élément primordial à fixer en un lieu où vit toute une population.

La croissance démographique dans le monde s'accompagne d'une augmentation de la demande d'eau potable tandis que l'industrialisation, l'irrigation des sols et l'élévation des niveaux de vie se traduisent par un accroissement supplémentaire de la consommation d'eau douce par habitant. Cependant, les populations ont un accès très inégal à ces ressources.

En effet, seule une faible quantité de l'eau totale mondiale est de l'eau douce disponible ce qui implique que 2/3 de la population sera en situation de stress hydrique d'ici 2025.

On estime en outre que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte-tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau. Pour faire face à cette pénurie d'eau, le dessalement d'eau de mer est présenté comme une alternative quand les ressources conventionnelles (cours d'eau, nappes phréatiques) viennent à être insuffisantes.

L'Algérie a lancé ces dernières années un programme ambitieux d'installations de stations de dessalement pour faire face à des problèmes d'alimentation en eau qui s'accroissent par l'explosion démographique.

Le dessalement d'eau de mer est un processus qui permet de retirer le sel de l'eau salée ou saumâtre pour la rendre potable ou l'utiliser dans l'irrigation. Mais cette solution, selon WWF (Fond mondial pour la nature), peut avoir un impact négatif sur l'environnement à cause de la composition des rejets engendrés par ce processus, qui peut modifier les paramètres de la mer et influencer négativement sur la faune et la flore sous-marines.

Le rejet généré par l'usine de dessalement se présente généralement sous la forme d'une saumure contenant divers sels, et composés organiques. Cette saumure est deux à trois fois plus salée (entre 50 et 80 g/L) que l'eau de mer habituelle.

L'objectif de notre travail est d'étudier et d'améliorer la gestion des déchets liquides de dessalement (la saumure) afin de diminuer l'empreinte environnementale de l'usine de dessalement. Ainsi, dans un premier temps, le dessalement, dans le monde et en Algérie, ses différents procédés et tous les déchets liquides émis sont inventoriés dans ce présent travail.

Une seconde partie présente, selon la littérature, la composition et les impacts de ces déchets (rejets) sur le milieu récepteur avec une série d'analyses physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure de la station de dessalement de FOUKA des. Une troisième partie présente les différents moyens et techniques de valorisation et de gestion des saumures appliquées à notre station d'étude.

Chapitre I :
Ressources en eau et
dessalement en
Algérie .

I Chapitre I : Ressources en eau et dessalement en Algérie

I.1 Introduction :

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure qui concerne tous les pays du bassin méditerranéen . Le changement climatique et la croissance urbaine et démographique attendus dans la région risquent d'aggraver la situation de stress hydrique qui frappe déjà la plupart des pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée.

En Algérie, plusieurs facteurs peuvent expliquer la situation de stress hydrique.

D'après les données statistiques, la population algérienne doublera dans les 25 ans à venir alors que les ressources conventionnelles en eau n'auront pas beaucoup changé, dépendantes des aléas climatiques jusque-là défavorables. D'où la solution du dessalement de l'eau de mer, une ressource abondante et inépuisable.

I.2 La situation de l'eau en Algérie :

I.2.1 Les ressources en eau :

Le pays est divisé en 5 bassins hydrographiques regroupant les 17 bassins versant. Les ressources en eau ne sont pas réparties équitablement, que ce soit au niveau de leur répartition géographique, de leur quantité ou de leur nature (eaux de surface ou souterraines).

Tableau I-1 La ressource en eau dans les cinq régions hydrographiques

Régions hydrographiques	Eaux superficielles	Eaux Souterraines	Total de la ressource
<u>Oranai</u> -chott chergui-	1 milliard de m ³	0.6 milliard de m ³	1.6 milliard de m ³
<u>Cheliff</u> -Zahrez-	1.5 milliard de m ³	0.33 milliard de m ³	1.83 milliard de m ³
<u>Algerois</u> -Soumam/Hodna-	3.4 milliard de m ³	0.74 milliard de m ³	4.14 milliard de m ³
<u>Constantinois</u> -Sybouss/mellegue-	3.7 milliard de m ³	0.43 milliard de m ³	4.43 milliard de m ³
<u>sahara</u>	0.2 milliard de m ³	5 milliard de m ³	Il s'agit de la nappe <u>albiéenne</u>

I.2.2 Les potentialités globales en eau :

Les potentialités globales en eau sont évaluées à 18 milliards de m³ /an. Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à près de 2.5 milliards de m³/an. Les ressources superficielles y sont estimées à 10 milliards de m³/an.

Le Sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraine considérables provenant des nappes du Continental Intercalaire (CI) et du Complexe Terminal (CT).

Les ressources en eau souterraines sont estimées à près de 5 milliards de m³/an (fossiles) et 0.5 milliard m³/an en ressources superficielles

I.2.3 Capacités de mobilisation :

Les capacités totales de mobilisation sont de 12 milliards de: m³ /an dont:

-Un volume de 6,8 milliards au Nord (5 milliards de m³ /an pour les eaux de surface 1.8 milliards de m³ /an pour les eaux souterraines).

-Un volume de 5,2 Milliards de m³ /an dans les régions Sahariennes qui équivaut aux réserves exploitables sans risque de déséquilibre hydrodynamique

Ces ressources sont principalement mobilisées par :

I.2.3.1 Les barrages :

la capacité totale des 57 barrages des 5 bassins hydrographiques est de 6 milliards de m³ en 2008 et un volume régularisable de 3 milliards de m³.

Sur la base des projets en cours, l'Algérie disposera en 2010 d'un parc de grands ouvrages de mobilisation de la ressource, composé de 72 barrages faisant passer la capacité de mobilisation à 7,40 milliards de m³.

I.2.3.2 L'exploitation des eaux souterraines atteint :

actuellement 1.6 milliards de m³ par forages et 85 millions de m³ par foggaras.

I.2.3.3 Le recyclage des eaux usées épurées :

le volume annuel d'eaux usées rejetées est estimé à 730 millions de m³. La capacité installée d'épuration des eaux usées est de 365 millions de m³/an correspondant à 65 stations d'épuration en exploitation.

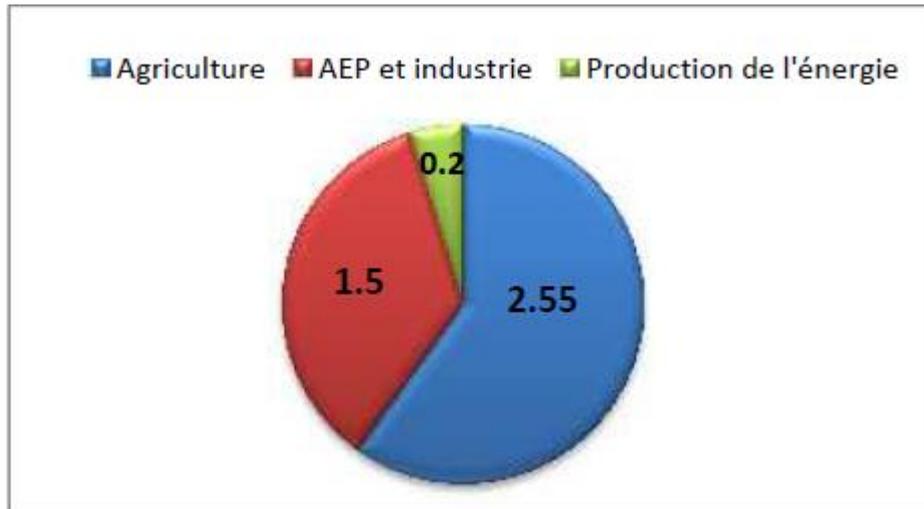
I.2.4 L'utilisation de l'eau par secteur :

L'eau est une ressource indispensable à l'Homme et à ses activités, ainsi qu'à la flore et à la faune. Parmi les principaux secteurs utilisateurs d'eau douce dans le monde, nous retrouvons en tête de classement l'agriculture, suivie des secteurs industriel et énergétique, et de la consommation domestique. L'incroyable essor démographique du dernier siècle et la pollution grandissante menacent d'une part la disponibilité de la ressource et d'autre part sa qualité.

Les ressources en eau utilisées sont évaluées en Algérie à près de 4,250 milliards de m³.

La consommation des eaux par secteur d'activités se répartit comme suit :

- l'agriculture consomme 2,550 milliards de m³,
- l'alimentation en eau potable et industrielle s'élève à 1,5 milliards de m³,
- la production d'énergie électrique nécessite 0,2 milliard de m³.

Figure I-1 consommation des eaux en milliard de m³Tableau I-2 Répartition de la consommation des eaux par secteur d'activités (mm³)

Type d'activités	Eaux souterraines		Eaux de surface	Total	%
	Nord	Sud			
AEP et industrie	1000	200	300	1500	35.3
Agriculture					
-Grands périmètres (GP)	-	-	150	150	3.5
-Petits périmètres	900	-	200	1100	25.9
-Sud	-	1300	-	1300	30.6
Energie	-	-	200	200	4.7
Total	1900	1500	850	4250	
Pourcentage	44.7	35.5	20	100	100

I.2.5 Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie :

En Algérie, le problème de l'eau a commencé à se poser avec acuité durant cette dernière décennie qui est caractérisée par une sécheresse persistante provoquant la diminution des ressources en eau.

Sur le plan pluviométrique, celui-ci se caractérise par l'insuffisance des précipitations et leur irrégularité dans l'espace et dans le temps (interannuelle et saisonnière). La rareté grandissante des ressources en eau, la dégradation de la quantité et les objectifs de développement économique et social imposent donc l'élaboration et la définition d'une stratégie de gestion de l'eau à moyen et long terme.

I.2.5.1 Les problèmes liés au changement climatique :

I .1.1.1.1 La sécheresse :

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30%, a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, le niveau de remplissage des réservoirs de barrages, et l'alimentation des nappes souterraines, entraînant des conséquences graves sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays .

I.2.5.1.1 L'évaporation des lacs de barrages :

Le phénomène de l'évaporation des lacs des barrages en Algérie est considérable ; une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement dans les barrages.

I.2.5.2 Les problèmes techniques :

I.2.5.2.1 L'envasement des barrages en Algérie :

L'envasement des réservoirs de barrages réduit régulièrement et inexorablement les capacités de ces ouvrages et les débits qu'ils régularisent et garantissent. Dans le cas, où l'érosion des sols est particulièrement active, les problèmes d'envasement des réservoirs de barrages sont très importants et rapides et menacent, à moyen terme, la perte de 20 à 30% des volumes stockés.

I.2.5.2.2 La fuite dans les barrages :

Le phénomène des fuites d'eau au niveau des barrages se traduit par des pertes considérables en eau précieuse et rare, mais aussi par des menaces très sérieuses sur la stabilité des ouvrages hydrauliques.

I.2.5.2.3 Eutrophisation des retenues de barrages :

L'eutrophisation est l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates notamment) entraînant des déséquilibres écologiques comme la prolifération de la végétation aquatique et l'appauvrissement en oxygène dissous.

I.2.6 Constat sur la situation en ressources hydriques :

La situation d'insuffisance en Algérie est encore exacerbée par plusieurs contraintes .

I.2.6.1 Un déséquilibre entre les besoins et les ressources disponibles :

la croissance démographique et le développement économique et social du pays ont induit,

durant les deux décennies écoulées, un accroissement considérable des besoins en eau potable, industrielle et agricole.

I.2.6.2 Un déséquilibre géographique entre les besoins et les ressources :

la forte concentration des besoins en eau sur la bande littorale (60%) oblige à une réaffectation, par des transferts de ressources en eau assez coûteux financièrement, pour équilibrer les déficits de régions intérieures du pays, notamment toute la zone des Hauts Plateaux .

I.2.6.3 La pollution des nappes et des ressources superficielles :

les rejets domestiques, industriels et agricoles dépassent de loin les capacités des systèmes d'épuration, ce qui réduit considérablement les volumes d'eau susceptibles d'être utilisés.

La faiblesse des ressources est encore aggravée par :

- la mauvaise répartition spatiale et temporelle de ces ressources ;
- l'érosion des sols et l'envasement des barrages ;
- les pertes dues à la vétusté des réseaux de distribution et à l'insuffisance de la gestion ; les coûts sans cesse importants des investissements nécessaires à la mobilisation et transfert des ressources en eau.

I.3 Le recours au dessalement d'eau de mer :

Suite à la sécheresse qui a frappé l'Algérie ces 30 dernières années et précisément les années 2000-2002, L'Algérie, qui dispose de 1200 km de côtes, a mis en oeuvre l'alternative du dessalement d'eau de mer (trois quarts) ou d'eau saumâtre (un quart) pour alimenter en eau potable des villes et localités du littoral, et jusqu'à 60 km aux alentours.

I.4 Conclusion :

D'après les données citées , nous pouvons clairement conclure que la situation de l'eau en Algérie s'est améliorée grâce aux différents stations de dessalement installées pour assurer une alimentation pérenne en eau potable, l'Algérie a choisi de se tourner résolument vers la mer. Ce faisant, notre pays entend profiter au maximum de l'expérience acquise dans d'autres pays.

Chapitre II : les différents procédés de dessalement.

II Chapitre II : les différents procédés de dessalement

II.1 Introduction :

La nécessité de dessaler l'eau de mer se fait de plus en plus pressante dans de nombreuses parties du monde. En Méditerranée, les besoins en eau présents et futurs accusent une croissance effective.

L'Algérie a vécu plus d'une décennie la sécheresse, les ressources conventionnelles en eau étaient insuffisantes pour subvenir aux besoins de la population, ceux qui a incité les autorités algériennes à chercher d'autres ressources pour garantir l'alimentation en eau potable de cette population.

La solution la plus adaptée et qui ne dépend pas des aléas climatiques, était le dessalement d'eau de mer. Aux 13 usines de productions déjà opérationnelles, le pays souhaite en rajouter 43 autres d'ici 2019 et doubler les capacités journalières actuelles qui s'élèvent à 1,04 million de m³ pour répondre aux besoins domestiques nationaux.

II.2 Définition de dessalement :

Le dessalement de l'eau (également appelé dessalage ou désalinisation) est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce (potable ou, plus rarement en raison du coût, utilisable pour l'irrigation) à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer notamment). En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer .

a) Les eaux de mer :

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques (Atlantique, Manche, Mer du Nord, pacifique) est de l'ordre est de 35 g.L⁻¹, cette valeur est considérée comme la salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation-évaporation. La salinité peut être très différente dans le cas des mers fermées ou peu ouvertes sur les masses océanique (voir le tableau II.1).

Tableau II-1: La salinité de l'eau de mer et d'océan.

Mer ou océan	Salinité (mg/l)
Mer Baltique	7000
Mer Caspienne	13500
Mer Noir	20000
Mer Adriatique	25000
Océan Pacifique	33600
Océan Atlantique	33800
Mer Méditerranée	39000
Golfe Arabique	43000
Mer Rouge	43000
Mer Morte	270000

b) Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau saline non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. En fin la plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1 et 10 g de sels par litre. Elles se présentent soit, sous forme d'eaux de surface, soit sous forme mais d'eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le Na Cl .

II.3 Histoire du dessalement :

Depuis des temps anciens on avait constaté qu'en portant à ébullition de l'eau saline on obtenait, par condensation de la vapeur, de l'eau douce. La première application industrielle de l'évaporation condensation a été faite à bord des navires à vapeur vers 1880. Bien que ce soit en 1920 que la première usine de dessalement par voie thermique fut installée à terre (Jeddah – Arabie Saoudite), ce n'est qu'à partir de 1960 que des usines de grande capacité voient le jour, principalement au Moyen-Orient.

Les usines de dessalement d'eau de mer utilisant le principe de l'osmose inverse apparaissent à la fin des années 1970. Elles sont tout d'abord adaptées aux faibles capacités de production, pour devenir petit à petit compétitives par rapport à la distillation, et ceci même pour les grandes capacités, du fait principalement de la diminution du prix des membranes et de leurs besoins en énergie électrique. Actuellement, est d'après l'inventaire mondial de l'association internationale de dessalement (IDA), il existe plus de 15000 unités de dessalement dans le monde produisant environ 56 millions de m³/j, dans 120 pays. Les pays de moyen orient, sont principalement ceux du Golfe-Persique, atteignent 12 millions de m³/j : l'Arabie Saoudite dispose de 23.6% du total elle est suivie par les Etats Unis avec 16%, les émirats arabes Unis avec 16.3% et le Koweït 6.4%.

II.4 L'expérience Algérienne en matière de dessalement :

L'Algérie a déployé des efforts importants pour améliorer ses ressources hydriques et la disponibilité de l'eau, depuis son indépendance. Autant pour son industrie, l'agriculture que pour l'alimentation en eau potable des zones urbaines et rurales du pays. Les efforts de la jeune Algérie ont rapidement focalisé sur la rénovation du réseau de distribution existant,

le drainage des eaux de pluie vers les barrages et l'exploitation des nappes phréatiques à un moment où l'option du dessalement n'est encore qu'à ses premiers balbutiements.

Dès les premières années de l'indépendance, l'expérience de l'Algérie en matière de dessalement se limite à la réalisation d'unités de déminéralisation des eaux souterraines à très fort taux de salinité, pour des besoins liés à l'industrie pétrolière et la sidérurgie seulement.

Selon une étude du centre de développement des énergies renouvelables, en 1964, trois petites unités de 8m³/j chacune ont été installées dans le complexe de gaz liquéfié d'Arzew, suivies en 1969 d'une unité monobloc de 4560 m³/j.

Les premières installations destinées à fournir de l'eau potable pour la consommation humaine ont été réalisées pour la première fois dans les bases pétrolières du grand sud.

D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté, employée dans des complexes de production d'électricité (Cap Djinet à l'est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda).

En 1980, a été inaugurée l'unité de dessalement de Mostaganem par osmose inverse d'une capacité de 57600 m³/j, classée alors comme la plus importante au monde.

II.4.1 Les stations installées par la Compagnie «SONELGAZ»:

Pour des besoins de production d'énergie électrique et compte tenu de l'insuffisance et de la qualité des eaux distribuées dans les réseaux d'AEP, SONELGAZ a doté chacune de ces nouvelles centrales à vapeur, d'unité de dessalement d'eau de mer pour produire de l'eau nécessaire à l'appoint des chaudières (Tableau II.2)

Tableau II-2 Stations exploitées par SONELGAZ.

Centrale	Capacité (m ³ /j)	Technique	Année d'installation
Mers el Hadjadj	1500	Thermo compression	1977
Mers el Hadjadj	2000	MSF	1991
Mers el Hadjadj	500	Thermo compression	1989
Cap Djinet	2000	MSF	1985
Djijel	2000	MSF	1992
Djijel	500	Osmose inverse	1992

II.4.2 Les Stations installées par la Compagnie «SONATRACH» :

La plus grande expérience dans le domaine du dessalement, ainsi que le plus grand nombre de stations installées revient à la Compagnie «SONATRACH», 31 centrales ont été construites pendant 18 ans : de 1964 à 1982. C'est l'équivalent de 107.401 m³/j produits par les différentes techniques et dont la qualité de l'eau d'alimentation a été très diversifiée (eau de mer, eau chargée de barrage, eau saumâtre souterraine)

II.4.2.1 Les grandes stations :

Il ya 13 stations, d'une capacité totale de 2,26 millions m³ /j.

Impact : contribution au renforcement et à la sécurisation de l'AEP des villes côtières et notamment des grandes agglomérations d'Alger, de l'Oranie et de Skikda.

La localisation des grandes stations a été déterminée sur la base d'une étude générale réalisée entre 2000 et 2003, par le secteur des ressources en eau.

Tableau II-3 : Les grandes stations en Algérie

Nom	wilaya	Année de mise en service	Capacité (m ³ /j)
Kahrma arzew	Oran	2005	90 000
Elhamma	Alger	2008	200 000
Skikda	Skikda	2009	100 000
Benisaf	Ain temouchent	2009	200 000
Mostaganem	Mostaganem	2010	200 000
Honaine	Tlemcen	2010	200 000
Ouled ben ayed	Tlemcen	2010	200 000
Douaouda	Alger	2010	120 000
Cap djenet	Boumerdes	2010	100 000
Mactaa	Oran	2015	500 000
Oud sebt	Tipaza	2010	100 000
Ténès	Chef	2010	200 000
Echatt	Taref	2011	50 000
TOTAL			226 0000

II.4.2.2 Les stations monoblocs :

23 stations ont été réalisées en 2002, d'une capacité totale de production de 57 500 m³ /j.

Impact : atténuation de la situation de crise vécue au début des années 2000 notamment à Alger et Skikda, ainsi qu'en 2004 dans l'ouest, grâce à la délocalisation de 10 stations sur de nouveaux sites à Ténès, Oran et Ain Tiemouchent.

Tableau II-4 : Les stations «monobloc »en Algérie.

Désignation	Wilaya	Capacité Optimale (m ³ /J)
Ain benian 1	Alger	2500
Ain benian 2	Alger	2500
Bou Ismail	Tipaza	5000
Palm Beach	Alger	2500
Zeralda 1	Alger	2500
Zeralda 2	Alger	2500
Ghazaouct 1	Tlemcen	2500
Ghazaouct 2	Tlemcen	2500
Bousfer 1	Oran	22500
Bousfer 1	Oran	3000
Skikda 1	Skikda	2000
Skikda 3	Skikda	5000

II.4.3 Stations installées par d'autres Compagnies:

Des petites stations sont aussi construites pour répondre aux besoins de certaines industries :

- La compagnie Tongo (Rouïba): procédé par échange d'ions, avec une capacité de 1500m³/j.
- La brasserie Bovaroise (Annaba): procédé par Osmose Inverse, avec une capacité de 3500 m³/j.

II.4.4 Station expérimentale du Centre de Développement des Energies Renouvelables (CDER) :

C'est la Station expérimentale de Hassi- khebbi (1975), d'une capacité de 20,4 m³/j dont le procédé est l'osmose inverse, et fonctionnant à l'énergie solaire. Cette station est destinée au dessalement des eaux saumâtres souterraines pour l'alimentation en eau potable la localité de Hassi Khebbi comptant 800 Habitants.

II.5 Méthodes de dessalements :

Les méthodes actuelles de dessalement des eaux sont classées en trois catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques ;
- Les procédés membranaires ;



Figure II-1: Les différents procédés de dessalement.

II.5.1 Procédés par distillation:

II.5.1.1 **Distillation à simple effet** : Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- 1) Dans une enceinte fermée, un serpentin de chauffage porte à ébullition l'eau de mer.
- 2) La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide
- 3) Un groupe électropompe soutire l'eau condensée, un deuxième l'eau de mer concentrée (saumure)

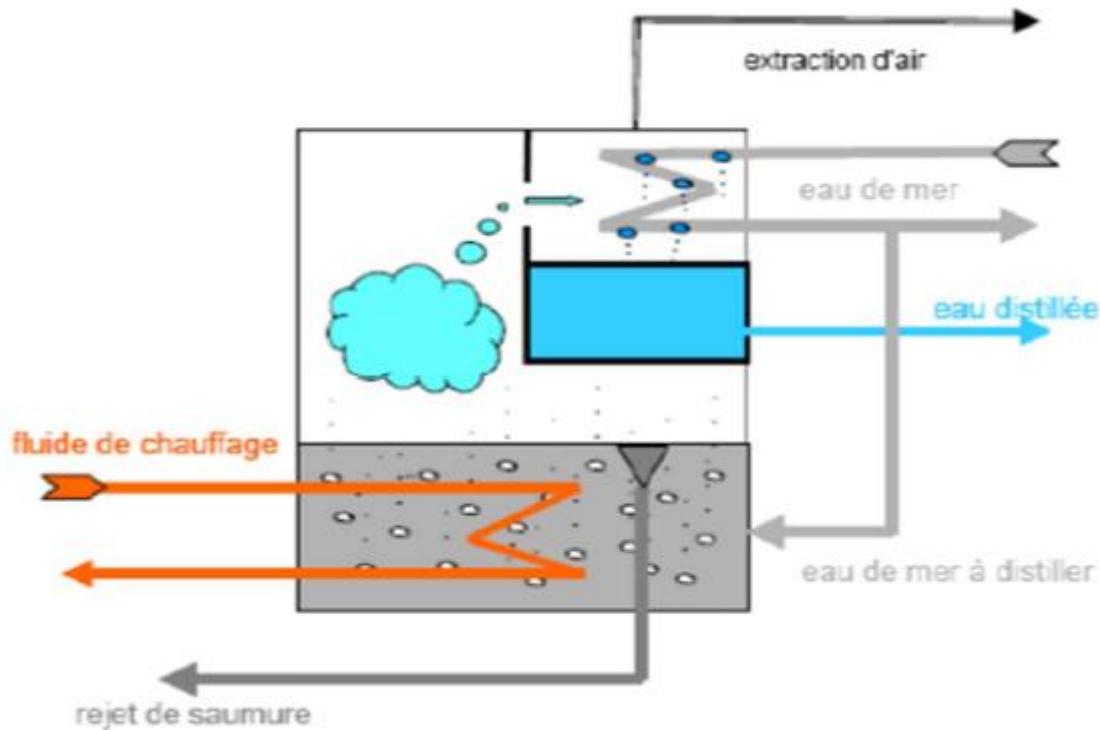


Figure II-2 Principe de distillation à simple effet

Distillation à effets multiples (Multi Effet Distillation : MED) :

La distillation à multiples effets se base sur la recherche d'une récupération aussi poussée que possible de la chaleur libérée par la condensation et par une évaporation sous pression réduite. La distillation à multiples effets c'est une installation constituée par la juxtaposition de n cellules fonctionnant selon le principe de l'effet simple (Figure II.02). Le fluide de réchauffage porte à l'ébullition l'eau de mer admise dans la première cellule, qui est aussi la cellule où règne la température la plus haute. La vapeur émise par l'ébullition de l'eau de mer est transférée dans la cellule voisine, où on maintient une pression légèrement inférieure. La température d'ébullition diminuant avec la pression, on vaporise l'eau de mer présente dans la deuxième cellule. C'est le deuxième effet. On peut évidemment répéter l'opération plusieurs fois, la limite basse étant donnée par la température de l'eau de mer froide (Figure II.3).

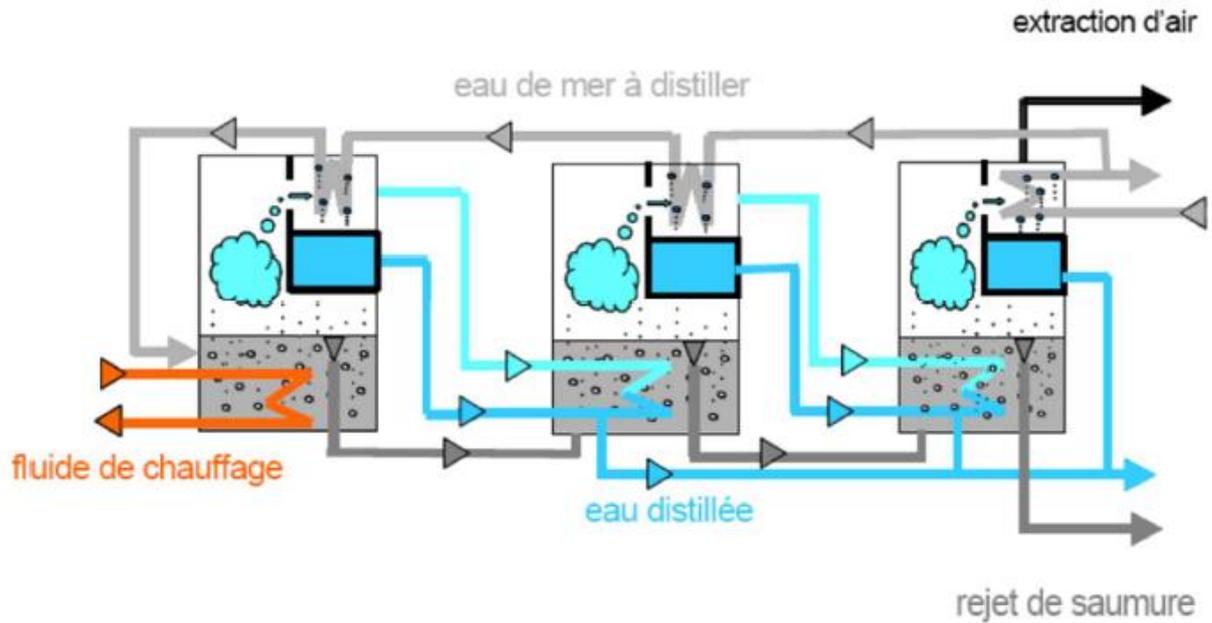


Figure II-3 Distillation à multiples effets

II.5.1.2 Distillation par détonées successives ou multi flash (MSF):

Le procédé Flash est relativement ancien, la première unité est installée en 1928 en URSS mais a reconnu un essor notamment dans les pays du Golfe à partir des années 1960 par l'installation d'une unité de 4500 m³ au Koweït en 1957. Ce procédé était développé à la suite des difficultés rencontrées dans la distillation à multiples effets par l'entartrage des surfaces d'échange d'ions. Il consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée de chauffage, elle est introduite dans une enceinte où règne une pression réduite, il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash, cette vapeur va se condenser, le phénomène se reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression plus faible ; la vaporisation de l'eau est réalisée par détonées successives de températures excessives jusqu'à T_{\max} et de pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

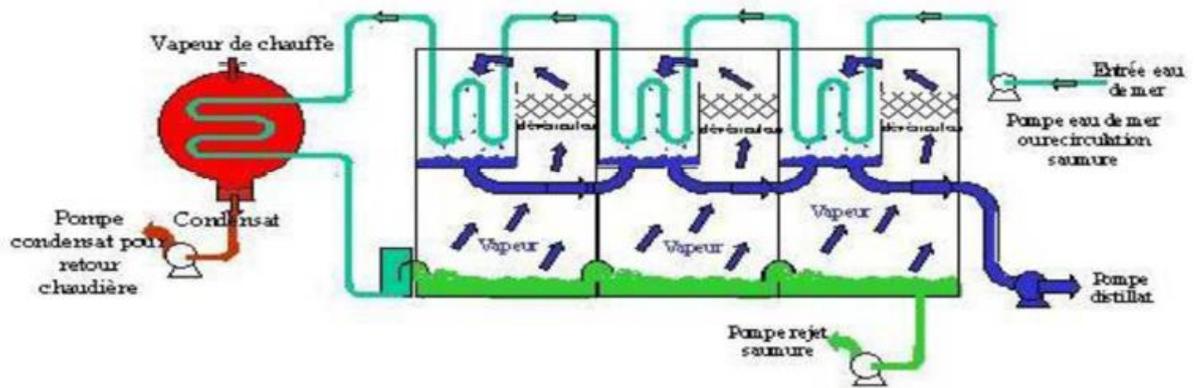


Figure II-4 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF)

II.5.1.3 Distillations par compression de vapeur :

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée (figure II.5)

La vapeur produite est aspirée par le compresseur qui élève sa température de saturation.

Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire placé à la base de l'enceinte et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée.

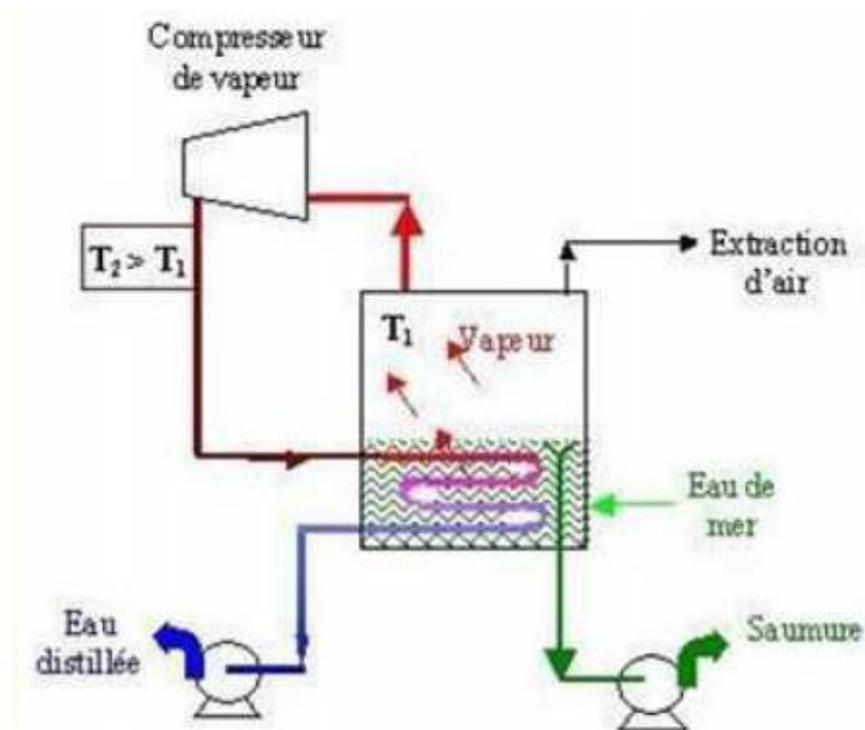


Figure II-5: Principe de distillation à compression de vapeur

II.5.2 : Les procédés membranaires :

II.5.2.1 : l'osmose inverse :

Ce procédé fait l'objet de notre étude, OI est un procédé de séparation des sels dissous, la matière organique, les virus et bactéries de l'eau au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bar pour le traitement de l'eau de mer).

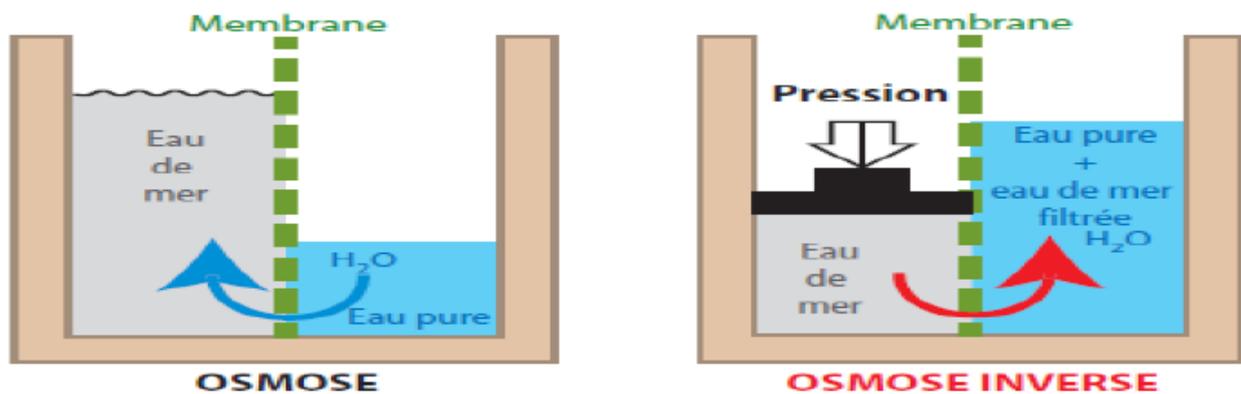


Figure II-6 : Principe de l'osmose inverse.

II.5.2.1.1 Schéma général d'une installation d'osmose inverse :

Les principaux constituants d'une installation d'osmose inverse sont les suivants :

- les membranes proprement dites
- les modules
- la pompe HP
- éventuellement un système de récupération d'énergie
- un système de prétraitement
- un système de post-traitement

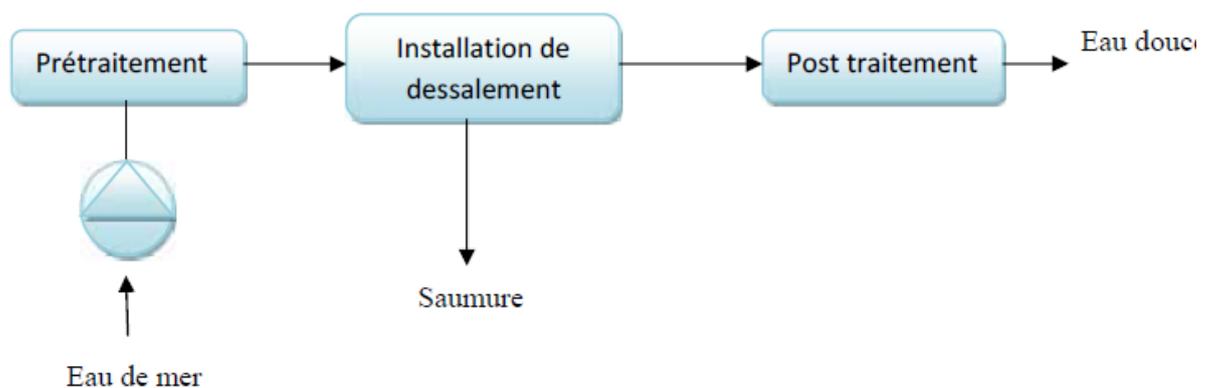


Figure II-7 Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse .

II.5.2.1.2 Membranes d'osmose inverse :

A-Les membranes :

- Est appelée membrane tout matériau qui mis sous la forme de parois minces a la propriété d'opposer une résistance sélective au transfert des différents constituants d'un fluide et donc de permettre la séparation de certains des éléments composant ce fluide
- La membrane est constituée d'une surface plane dont la perméabilité est sélective. Son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée.

B- Caractérisations des membranes :

La caractérisation d'une membrane revient à mesurer les paramètres suivant :

- la distribution des tailles des pores
- la perméabilité à l'eau
- la sélectivité de la membrane

C- Les module des membranes d'OI :

Actuellement quatre types de modules sont commercialisés et les membranes les plus couramment utilisées pour le dessalement de l'eau de mer sont la membrane à fibre creuse et la membrane de type spirale

- Modules spirales

Les modules de type spiralés sont constitués d'une membrane plane et des espaceurs qui sont enroulés sur un tube destiné à recueillir le p rmeat, de manière à former des canaux permettant l'écoulement du p rmeat et de la solution

-Modules à fibres creuses :

Les modules à fibres creuses sont constitu es de paquets de minuscules tubes capillaires poreux, les ions sont rejetées lorsque l'eau traverse les parois des tubes et le p rmeat est recueilli l'intérieur du canal centrale de fibres, les saumures se concentrent à l'extérieur des fibres contenues dans un réservoir.

-Modules tubulaires :

Ce type de module est constitu e de tubes métalliques ou plastiques sur lesquels est fix e la membrane semi-permeable.le diamètre du tube est de 5 15mm.en générale l'eau de mer sous

pression circule à l'intérieur du tube et l'eau douce produite est récupéré à l'extérieur du tube, le tube est soit poreux, soit perforé de trous permettre l'évacuation du perméat .

-Modules plans :

Ce type de module qui est le plus simple, est aussi le plus ancien. Il peut se présenter soit sous forme de plaques unitaires, soit sous forme de cartouches, un des paramètres importants est la distance entre membranes :

- faible épaisseur : nécessite de pré-filtration et difficulté de nettoyage.
- forte épaisseur : volume mort important et énergie de pompage élevée.

II.5.2.1.3 Choix des paramètres de fonctionnement :

A- Choix du taux de conversion :

Le taux de conversion Y est le rapport entre la quantité d'eau douce produite et la quantité d'eau de mer

$$Y = \text{Débit perméat} / \text{Débit d'alimentation}$$

- du point de vue économique, on a en effet intérêt à adopter un taux de conversion le plus élevé possible, de manière la quantité d'eau brute entrant dans l'installation, d'où des investissements plus faibles et une consommation d'énergie réduite
- un taux de conversion élevé a pour conséquence une concentration du circuit saumure plus importante d'où des risques de précipitation des sels peu solubles et une augmentation de la salinité de l'eau produite

B- Choix de la pression :

Comme pour tout procédé de séparation, le choix de la pression de fonctionnement doit faire l'objet d'une optimisation entre le cout de la consommation énergétique et le cout lié à la surface de membranes , en effet , lorsque la pression augmente la consommation d'énergie devient plus importante, par contre pour une production donnée, la surface de membranes nécessaire devient plus faible .

- La pression de fonctionnement doit être supérieure à la pression osmotique
- la sélectivité d'une membrane d'OI augmentant avec la pression on pourra dans certain cas être amenée à choisir la pression en fonction de la sélectivité souhaitée pour la membrane
- lorsque la pression est très élevée se pose des problèmes de tenue mécanique des membranes (compactage), ainsi que des modules .

C- Choix de la température :

Pour une pression donnée le compactage d'une membrane est d'autant plus important que la température est élevée le débit d'eau à travers la membrane augmente avec la température par suite de la diminution de la viscosité, cette augmentation est environ 3% par degré Celsius

D-Consommation de l'énergie :

Le procédé d'osmose inverse ne faisant pas intervenir de changement de phase, doit présenter une consommation d'énergie plus faible que l'autre procédé de séparation telle que la distillation.

II.5.2.1.4 Qualité de l'eau traitée par osmose inverse :

L'eau obtenue par traitement sur membranes d'osmose inverse est exempte de toute particule solide et de tout colloïde.

-l'eau sortante de l'osmoseur est complètement déminéralisée, sont ainsi éliminés totalement ou en quasi- totalité, nitrates, amiante, herbicides, calcaire, mercure, plomb, et autres métaux lourds ainsi que tout ce qui est dissous, dans les conditions standard d'évaluation des performances ,des performances ,le pouvoir de rendons des membranes polyamide d'OI

-l'eau traitée par l'OI et une eau apyrogène, puisque les endotoxines pyrogènes, de masse molaire très élevée sont en totalité retenues par les membranes, dans la pratique cette théorie est presque toujours vérifiée

-les expériences montre que l'eau traité par l'OI est presque toujours une eau stérile, il impossible de garantir de façon absolue une telle stérilité

II.5.2.1.5 Les paramètres influençant le fonctionnement d'un système d'osmose inverse :

A-Le vieillissement des membranes :

La productivité des membranes diminue avec le temps, cette diminution est due au compactage et au vieillissement des membranes, pour prédire la baisse des performances des membranes on peut se baser sur :

- une diminution du flux de 7% par an
- une augmentation du passage en sels de 10% par an

B- Le dimensionnement :

Un bon dimensionnement du système d'osmose inverse permet d'optimiser son exploitation, par diminution des risques de colmatage rapide ; le bon dimensionnement permet aussi de diminuer le compactage naturel des membranes

C- condition d'exploitation

Un système d'OI doit fonctionner le plus possible en continu afin d'éviter les arrêts et les démarrages brusques qui entraînent des cycles répétés de compression et de relâchement des membranes ce qui accélère leur vieillissement il faut aussi éviter les coups de bélier qui endommagent la couche active des membranes, ce qui se caractérise par l'empreinte des espaceurs sur la surface visible des membranes.

On peut aussi constater le vieillissement ou le mauvais fonctionnement des membranes en surveillant l'évolution de la perte de charge tout au long des éléments.

Le procédé d'OI semble être la technologie du futur pour le traitement de l'eau .En effet, ce procédé non polluant permet de produire une qualité constante quelque soit la qualité de l'eau brute.

II.5.2.1.6 Les avantages et les inconvénients de l'osmose inverse :**A- Les avantages :**

- Obtention d'une eau très pure après osmose inverse.
- L'eau osmosée est antioxydant, alors que l'eau en bouteille est plus oxydée du fait du délai souvent trop long entre la mise en bouteille et la consommation.
- Le pH légèrement acide de 6,6, idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments.
- Le procédé d'OI ne demande pour sa mise en marche ou son arrêt que quelques secondes.
- L'OI peut être schématisée par une pompe à haute pression et un ou plusieurs modules
- Faible consommation d'énergie, comparée à d'autres procédés.

B- Les inconvénients :

- Nécessité d'un prétraitement de l'eau brute ;
- Le remplacement des membranes d'OI représente 5% du coût du traitement.
- La séparation membranaire possède un talon d'Achille c'est le « le colmatage » qui est responsable dans trois quart des cas du vieillissement de la membrane.
- La capacité unitaire d'un module d'OI ne dépasse pas 20 m³/j d'eau douce à partir de l'eau de mer, et donc une installation de grande capacité sera constituée de plusieurs modules, ce qui entraîne une complexité de l'installation et un coût élevé.
- Impact négatif du rejet de la saumure sur l'environnement.

II.5.2.2 : L'électrodialyse :

L'électrodialyse consiste à transférer des ions de sels dissous à travers des membranes qui ne laisse pas passer l'eau épurée, le mouvement des ions est provoqué par un champ électrique, l'électrode négative (cathode) attire les cations, tandis que les anions se déplacent vers l'électrode positive (anode) (figure II.5).

Les installations sont formées d'empilements compartimentés de membranes alternativement anionique et cationique, un compartiment sur deux renferme des saumures concentrées et ½ du permeat épuré.

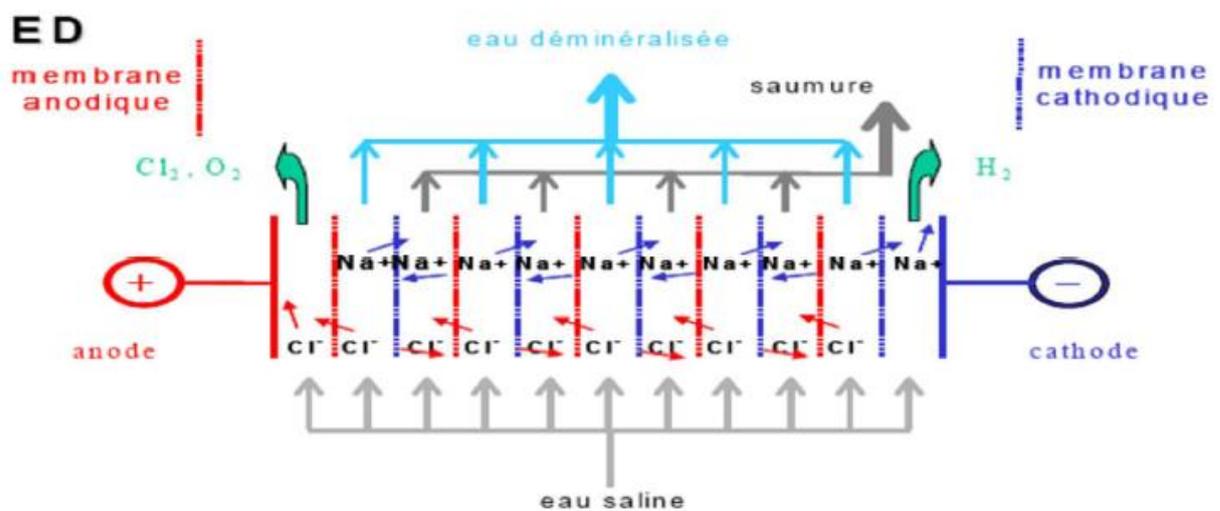


Figure II-8 Principe de dessalement par l'électrodialyse.

II.5.3 Choix d'un procédé de dessalement :

Les facteurs à prendre en compte dans le choix d'un procédé de dessalement sont de deux Ordres:

- Technique.
- Economique.

II.5.3.1 Critères économiques :

- Coût de l'énergie : dépend de sa nature (énergie renouvelable, gaz, fuel), et de sa disponibilité locale (pays importateur, ou producteur.....).
- Coût des produits chimiques : selon qu'ils sont disponibles localement, ou importantes.
- Fluctuation des monnaies : particulièrement pour les unités d'osmose inverse,provenant de manière quasi-exclusive des USA, et dont le coût dépend donc de la fluctuation du Dollar.

II.5.3.2 Critères techniques :

- Salinité de l'eau à traiter : elle varie de 7g/kg dans la mer Baltique à 270g/kg dans la mer morte. En générale, les procédés de distillation permet de traiter des eaux de fortes concentration, et les procédés à membranes sont généralement appliqués aux eaux saumâtres.
- Composition chimique de l'eau à traiter (particulièrement dans le cas des eaux saumâtres (teneur en sulfate, en carbonates).
- Caractéristiques physiques de l'eau (turbidité, matières en suspension,...) déterminent le type de prétraitement à utiliser, particulièrement dans les procédés à membranes, vue la fragilité de celle-ci.
- Salinité de l'eau produite : selon l'usage qui en sera fait, elle peut varier de 300 à 500 ppm pour l'approvisionnement en eau potable à 15-30 ppm pour l'alimentation en eau industrielle.
- Capacité nécessaire : la taille de l'installation peut aller de quelques m/jours à quelques centaines de milliers de m/jours.
- Source d'énergie disponible : gaz, pétrole, électricité, énergie renouvelable, énergie nucléaire, énergie récupérée....
- Degré d'automatisation et de contrôle : la mise en place de mesure et/ou d'enregistrement du PH, de la sélectivité de l'eau produite, de la température..., peut augmenter sensiblement les prix d'investissement des unités.

II.6 Les avantages et les inconvénients de dessalement en Algérie :

Le dessalement d'eau de mer est un moyen moderne pour avoir de l'eau. C'est l'une des techniques les plus utilisées pour permettre de produire de l'eau non conventionnelle afin de pouvoir pallier aux déficits constatés par rapport à la disponibilité de l'eau conventionnelle.

Voici les principaux avantages du procédé de dessalement :

- L'Algérie dispose d'un littoral de 1200 km.
- L'utilisation de l'eau de mer est une ressource pratiquement non polluante et inépuisable.
- La population ainsi que l'industrie à grande consommation d'eau se trouvent à proximité de la mer.
- Le domaine de dessalement de l'eau de mer a connu ces dernières années une avancée technologique remarquable grâce au développement de différents procédés (l'osmose inverse).
- L'un des grands avantages de dessalement d'eau de mer est la sécurisation de l'alimentation en eau (potable ou industrielle) des différents consommateurs, car cette ressource n'obéit pas aux aléas climatiques et elle permet donc de produire d'une manière permanente les quantités voulues, des quantités journalières qui dépassent les 200000 m³/j.

Malgré le fait que le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau

(domestique et industrielle).

quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans **inconvenients** :

- Les installations de dessalement coûtent chères et elles se caractérisent par leur grande consommation énergétique ;
- Ces installations dégagent des gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement climatique
- Elles détruisent les zones côtières ;
- Elles bouleversent les écosystèmes, car elles rejettent des déchets appelés saumure (de l'eau fortement salée). Certaines espèces ou végétations sont très sensibles à la salinité ;
- Présence de traces de métaux lourds échappés des installations ;
- Les rejets associés aux unités de dessalement comme les eaux provenant du nettoyage (filtres à sable, membranes et dépôts) contaminent le milieu.

Aboutissement du dessalement dans le pays :

L'implantation d'usine de dessalement, selon la démarche utilisée par l'Algérien Energy Company (ALC) regroupe plusieurs aspects, à savoir :

Economique :

- Non-recours à la garantie de l'Etat pour le montage de ces projets ;
- Participation étrangère majoritaire dans le capital de la société de projet ;

Social :

- Rendre l'eau disponible d'une manière permanente pour satisfaire les populations ;
- Amélioration de la qualité de vie de la population et l'hygiène ;

Technologique :

- Transfert des technologies de dessalement évident ;
- Amélioration de la recherche et du développement dans ce domaine en vue d'atteindre d'autres performances.

Environnemental :

- Préserver nos réserves d'eau albiennes et, par voie de conséquence, préserver l'avenir des générations futures ;
- Améliorer le cadre de vie ainsi que celui de l'environnement car la technique utilisée maîtrise les différentes émissions qui peuvent provenir de ces usines.

Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

III Chapitre III : Présentation de la zone d'étude

III.1 Introduction :

La station de dessalement d'eau de mer de Fouka a été Réalisée par l'entreprise "Myah Tipaza" qui représente un groupement d'entreprises constitué d'AEC (Algerian Energy Company) et de la canadienne "SNC Lavallin".

Cette station est destinée à couvrir les besoins en eau potable de la partie Est de la wilaya de Tipaza et d'une partie de la wilaya d'Alger. Elle utilise la technique d'osmose inverse pour dessaler l'eau de mer.

Sa capacité journalière de dessalement est de 120 000 m³, dont 60 000 m³ destinées à Alger, touchera les communes limitrophes de la wilaya de Tipaza, à savoir Zeralda, Mahelma, Staoueli et AinBenian et 60 000 m³ seront réservées à la wilaya de Tipaza pour alimenter en eau potable les communes de Douaouda, Fouka, Bou Ismail, Ain Tagourait, Httatba et Chaibia.

III.2 Localisation de la station :

Le site de l'usine de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisé dans la wilaya de Tipaza, à 20 km du chef-lieu de wilaya et à environ 35 km à l'Ouest d'Alger. L'usine est située entre l'entrée de Fouka et à la sortie de la ville de Douaouda marine. Elle est sillonnée par la route nationale RN°11 en provenance d'Alger et en direction vers Chlef ; et relie à Kolea par le chemin de wilaya N°110 et à Bou-Ismaïl par le chemin de wilaya N°126.

La commune de Fouka s'étend sur une superficie de 1273 ha et se situe au Nord- Est de la ville de Tipaza. Elle est limitée :

- _ Au Nord : la mer Méditerranée ;
- _ Au Sud : la commune de Kolea ;
- _ A l'Est : la commune de Douaouda ;
- _ A l'Ouest : la commune de Bou Ismaïl ;

L'usine de dessalement s'étend sur une superficie de 4 hectares, et présente une longueur de 300 m et une largeur variant de 70-150 m (voir figure 1). Signalons aussi que l'oued Mazafran se situe à environ 4 km du côté Est du site de la station de dessalement.

III.3 Capacité de la station et le mode de fonctionnement :

Le mode de fonctionnement de la station de dessalement est l'Osmose Inverse (OI), elle est composée de six (6) unités (OI) d'une capacité unitaire de 20 000 m³/jour chacune (Il n'y a pas d'unités en réserve).

La capacité de la station de traitement est de 120 000 m³/jour basée sur un approvisionnement en eau brute d'environ 273 697 m³/jour, la production est étalée sur une période de 24 h/jour soit 5 000 m³/heure. Il est possible de faire fonctionner l'usine afin de produire les gammes de débits journaliers suivantes :

Tableau III-1 Capacité de la station.

Nombre d'unité d'osmose inverse En service	Débit (m ³ /jour)	%de débit nominal
1	20 000	17%
2	40 000	33%
3	60 000	50%
4	80 000	67%
5	100 000	83%
6	120 000	100%

III.4 : Installation et processus :

Les différentes installations dans l'usine de dessalement de Fouka sont :

1. une prise d'eau de mer;
2. un poste de prétraitement;
3. l'unité d'osmose inverse;
4. un poste de nettoyage en place CIP (cleaning in place);
5. un poste de traitement et de re-minéralisation;
6. un laboratoire d'analyse;
7. une station de contrôle

III.5 Les différentes étapes de l'usine de dessalement :

III.5.1 Etape de prétraitement :

III.5.1.1 La prise d'eau :

Le captage d'eau de mer se réalise à travers un seul point qui permet généralement d'obtenir une eau de bonne qualité, ce qui soulage d'autant les prétraitements, et de s'affranchir des risques entraînés par des pollutions accidentelles de l'eau de mer.

Les têtes des prises d'eau sont en béton armé avec une longueur et emplacement d'eau à environ 845 m de longueur et à 15 m de profondeur d'eau. Elles reposent sur le fond marin stable et aucune fondation particulière n'est nécessaire.

Les grilles d'entrée de la prise d'eau sont à environ 6 m du fond marin pour éviter l'entraînement de particules du fond marin remises en suspension par l'action des courants et pour éviter une mise à l'air lors des houles extrêmes.

La vitesse d'entrée de la prise d'eau est limitée à 0,1 m/s afin d'éviter l'aspiration des solides en suspension et des débris. Des barreaux de 20 mm espacés de 100 mm sont prévus pour minimiser l'introduction de gros débris dans la prise d'eau. Ces barreaux sont montés sous la forme de grillages. chacune des deux (2) conduites de prise sont en PEHD et munie d'une tête indépendante), les dimensions de chacune seront les suivantes :

- Débit d'eau brute instantané 11 404 m³/h
- Débit par prise 5702 m³/h



Figure III-1: La conduite en PEHD.

III.5.1.2 Injection de l'hypochlorite de sodium (l'eau de javel)

- pour désinfecter et stériliser l'eau afin de limiter le colmatage biologique.
- Chloration : Bloque la prolifération des organismes vivants.
- Évite l'obstruction des conduites-pour empêcher les moules qui collent à l'intérieur de surface de conduite
- bloquer la prolifération des organismes vivants dans l'eau de mer.
- L'injection successive d'hypochlorite de sodium qui a pour objectif d'éviter le développement bactériologique.

III.5.1.3 Pompage de l'eau de mer :

Le Pompage de transfert de l'eau de mer après un pretraitement a l'alimentation des filtres à sable en eau de mer.

Les pompes de type centrifuge verticales, sont soigneusement choisies pour résister à la forte agressivité de l'eau de mer.

La station de pompage est constituée de 7 pompes, 6 en service et une de réserve, d'une capacité de 1974 m³/h chacune (soit un total de 11 844 m³/h > 11 404 m³/h pour absorber le débit supplémentaire pendant la maturation des filtres à sable).



Figure III-2: Le dégrilleurs et la station de pompage.

III.5.1.4 Injection des produits chimiques :

A-acide sulfurique (H₂SO₄) :

L'addition de cet acide permet de réduire au minimum la salinité et de diminuer le pH afin d'éviter une partie de carbonate dissous, au début, et puis augmenter le pH après la précipitation de carbonates et élimination du CO₂ résiduelle.

Utiliser comme un catalyseur dans la coagulation/floculation l'acide sulfurique est le plus employé du point de son avantage économique.

B-coagulant/ flocculant :

Avec un débit 110 l/hr et une concentration entre 3 et 5 ppm le chlorure Ferrique est ajouté a l'eau brute en amont des filtres pour :

- élimination ou réduire au maximum la présence des matières colloïdales, et d'éviter l'encrassement colloïdale au niveau de la membrane,
- pour éviter le phénomène d'entartrage des membranes, empêchera la précipitation du carbonate de calcium



Figure III-3: Les prises des produits chimiques.

III.5.1.5 La filtration :

A-La 1^{ère} étape de filtration :

Ce système qui contient 12 filtres à sable en bicouche (sable+anthracite) élimine la plupart des particules en suspension, huile et graisses qui restent dans l'eau de mer et, produit une eau filtrée à basse turbidité prête pour l'étape d'osmose inverse .

B-La 2^{ème} étape de filtration :

- sert à l'extraction par filtrage des impuretés de l'eau de mer
- retenir les matières solides en suspensions résiduelles
- La filtration à travers les filtres à sable sert à séparer les matières troubles et en suspensions de l'eau brute, le moyen de filtration est un remblai en sable réparti dans les réservoirs filtrants



Figure III-4: Les filtres gravitaire

III.5.1.6 Bisulfite de sodium :

quel que soit le procédé de dessalement retenu : il faut éviter tout développement biologique dans l'eau d'alimentation. L'injection de chlore, ou de son équivalent l'eau de Javel, sera faite dès la prise d'eau.

Cependant les membranes ne supportent pas la mise en contact avec le chlore, sa réduction sera donc réalisée immédiatement en amont de l'osmose proprement dite. On recommande l'injection d'un réducteur tel que le bisulfite de sodium d'une concentration entre 4 et 10 ppm, est injecté à un débit de 200 l/hr.. Un produit équivalent conviendra du moment que l'eau contient moins de 0,1 mg/L de chlore libre à l'arrivée sur la membrane.

III.5.1.7 Microfiltration « filtre à cartouches » :

La microfiltration est la dernière étape du prétraitement, elle a pour objectifs :

- Réduire les diverses substances organiques responsables du colmatage
- l'affinage de l'eau préfiltrée afin d'abaisser la turbidité et l'indice de colmatage.
- Arrête les impuretés contenues dans les solutions injectées en amont.
- C'est une barrière de sécurité pour les membranes du fait qu'elle écarte les matières en suspensions.
- Mélangeur des produits de prétraitement chimique grâce au régime turbulent qui régit à l'intérieur des corps de microfiltration.



Figure III-5: L'unité des filtres à cartouches.

III.5.2 Etape de traitement :

III.5.2.1 Le pompage à haute pression :

La pompe haute pression sert à alimenter l'unité d'osmose inverse en eau prétraitée et filtrée, les **PH**, utilisés dans la station de dessalement de **FOUKA** sont des pompes volumétriques à piston dimensionnées de façon à pouvoir fournir une pression de 67 bars. requises par les membranes à 15 °C et pour une salinité de 38 000mg/l, avec une pression d'alimentation qui doit être de l'ordre de 70 bar maximum.

III.5.2.2 Le procédé de l'Osmose Inverse

Dans ce procédé membranaire l'eau et les sels dissous sont séparés avec des membranes très sélectives composées de 6 chassés



Figure III-6: Unité d'osmose inverse.

La station d'osmose inverse nécessite seulement une (1) passe afin d'atteindre le taux de solides dissous requis. Le taux de récupération est estimé à 45 %. La station d'osmose est dotée des équipements suivants :

- Six (6) pompes hautes pression, six (6) dispositifs de récupération d'énergie et six (6) pompes *Booster*.
- Six (6) trains d'osmose inverse 1^{ère} passe;
- Un système de nettoyage et de **flushing**.

Dans les conditions nominales du fonctionnement, la production est assurée par les six (6) filières.

III.5.2.1.1 Dimensionnement de l'installation de désalement d'osmose inverse :

III.5.2.1.1.1 Estimation des besoins en eau potable :

III.5.2.1.1.1.1 Horizon de l'Etude:

L'horizon de l'étude est 2035, avec des horizons intermédiaires à 2015, 2020, 2025, 2030 et 2035.

III.5.2.1.1.1.2 Population :

Coté tipaza	Nombre d'habitat	Coté algéroï	Nombre d'habitat
Douaouda	22408	Zeralda	51552
Chaiba	20427	Staouali	47664
Fouka	46959	Rahmania	19396
Kolea	54401	Souidania	29105
Attatba	27059	Ain benian	70803
Bousmail	41684	Mhalema	28758
Ain tgourait	10411	Totale = $P_T= 470627$ hab	

A partir de la formule suivante nous allons estimer la population à l'horizon 2035.

$$P_n = P_0 (1+\alpha)^n$$

Avec:

P_n : Population à l'horizon n (l'année n).

P_0 : Population actuelle.

α : Taux d'accroissement de la population $\alpha = 2,15 \%$ (d'après la statistique de la wilaya).

On a : $P_T = P_0 = 470627$ hab

Donc on appliquant la formule citée précédemment : $P_n = P_0 (1+\alpha)^n = 470627.(1+2.15)^{2035}$

On trouve : $P_{2035} = 984063$ hab

III.5.2.1.1.1.3 Etude de la Variation des Consommations en Eau Potable :

A-Besoin Journalier Moyen :

On a : $Q_{moy.j} = P_n \cdot D$

Avec:

$Q_{moy.j}$: Débit moyen journalier en m^3/j .

P_n : Nombre d'habitants à l'horizon année n.

D : Dotation hydrique en l/jour/hab. $D = 150$ l/j/hab.

Donc $Q_{\text{moy } j (2035)} = 984063 \cdot 150 = 147610350 \text{ l/j} = 147610.35 \text{ m}^3/\text{j}$

Et $Q_{\text{moy } j (2010)} = 470627 \cdot 150 = 70594050 \text{ l/j} = 70594.05 \text{ m}^3/\text{j}$

B-Besoin Journalier Maximum $Q_{\text{max},j}$ (m^3/j) :

$Q_{\text{max } j (2035)} = Q_{\text{moy } j (2035)} \cdot K = 147610.35 \cdot 1.2 = 177132.42 \text{ m}^3/\text{j}$

$Q_{\text{max } j (2010)} = Q_{\text{moy } j (2010)} \cdot K = 70594.05 \cdot 1.2 = 84712.86 \text{ m}^3/\text{j}$

Remarque: Suite à la possibilité de décantation au niveau des canalisations en période d'exploitation; on ajoute un coefficient de sécurité comme suit:

$$Q_{F_{\text{max}j}} = Q_{\text{max}j}(1 + \alpha)$$

Avec:

$Q_{F_{\text{max},j}}$: Consommation journalière maximum avec les pertes considérées en m^3/j .

$Q_{\text{max},j}$: Consommation journalière maximum en m^3/j .

α : Coefficient de colmatage de la canalisation, dans cette étude on prend $\alpha = 25\%$.

Donc :

$$Q_{F_{\text{max } j (2035)}} = 177132.42 \cdot (1+0.25) = 221415.525 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{F_{\text{max } j (2010)}} = 84712.86 \cdot (1+0.25) = 105891.075 \text{ m}^3/\text{j}$$

C-Les besoins de la station :

$$Q_0 = Q_f + \alpha Q_f$$

Q_0 : Débit moyen primaire de la station

Q_f : Débit moyen final

α : Coefficient de consommation du système de dessalement $\alpha = 6\%$.

$$Q_0 = 120000 + 0.06 \cdot (120000)$$

$$Q_0 = 127200 \text{ m}^3/\text{j}$$

III.5.2.1.1.2 Caractéristique des eaux de mer (brute) :

Le dimensionnement de notre unité est basé sur la quantité moyenne qui alimente la région

La qualité de ses eaux est récapitulée dans le tableau suivant :

Tableau III-2: caractéristiques des eaux brutes

Elément	C(mg/l)
Ca	384
Mg	1290
Fe	<0.2
Na	11740
K+	428
Cl-	21494
So4-2	2760
OH-	00
Co3-	00
PH	8.16
Turbidité	38.23

III.5.2.1.1.3 Calcul de la molalité (m=mol/1000 gr d'eau) :

La molalité est déterminée par la relation suivante :

$$mi = \frac{Ci * 1000}{[Mi(10^6 - TDS)]}$$

Ci: Concentration de l'élément i (mg/l)

Mi: masse molaire de l'élément (g)

TDS : total des sels dissous (mg/l)

TDS= ΣCi ...Avec cette relation on peut calculer la molalité de chaque constituant, et déduire la molalité totale, en faisant la somme des molalités de tous les constituants.

III.5.2.1.1.4 Calcul de la concentration de l'eau d'alimentation en ppm NaCl :

Par l'égalité entre les deux équations (1) et (1)' représenté ci-dessous on peut déterminer la concentration de l'eau d'alimentation en ppm NaCl :

$$\Pi = 1.12*(T+273) * m \dots \dots \dots (1)$$

$$\Pi = \frac{0.0385*CF*(T+273)}{1000 - CF} \dots \dots \dots (1)'$$

$$\frac{1000 - CF}{1000}$$

$$(1) = (1)' \longrightarrow CF = \frac{1.12 \sum mi \cdot 10^6}{38.5 + 1.12 \sum mi}$$

Tableau III-3 : Résultat de calcul de la molalité et la concentration de l'eau d'alimentation

Element	Charge	Masse molaire (mg/l)	C (mg/l)	C(meq/l)	Molalité (mol/kg)
Ca ⁺²	2	40.1	384	19.1521	0.00995
Mg ⁺²	2	24.3	1290	106.1728	0.05519
Na ⁺	1	23	11740	510.4348	0.53065
K ⁺	1	39.1	428	10.9463	0.01198
Cl ⁻	1	35.5	21494	605.4648	0.62944
SO ₄ ⁻²	2	96.1	2760	57.4402	0.02986
TDS=38096 mg/l		Σmi=1.26707		CF₁=35549.8432	

Le choix de la membrane est en fonction du CF calculé et la qualité d'eau produite. Selon les caractéristiques et données qu'on a le choix le plus adéquat est la membrane de type **SW30-2540** avec un CF proche de celui calculé.

et nous proposons un montage en série rejet à deux étages avec un arrangement 2/1 pour réduire au maximum le débit de production et minimiser le débit de rejet.

Ces perméateurs ont un débit de production Q_{w0} établi sous les conditions standards de fonctionnement préconisés par les constructeurs :

- Débit spécifique initiale $Q_{w0}=1.89 \text{ m}^3/\text{j}$
- Conversion $Y_0=75\%$
- Température $T=25^\circ\text{C}$ dans les conditions standards de perméateur
- Pression de fonctionnement : $PF_0=5510 \text{ kpa}=771708.68 \text{ psi}$ (1 psi=0.068 atmo et 1 atmo =105pas)
- Concentration de l'eau d'alimentation (en NaCl) : $CF_0= 35000 \text{ mg/l}$
- Taux de passage de sel : $SP_0=10\%$

$$- C_{R0} = \frac{C_{F0}}{1 - y_0} = 140000 \text{ mg/l}$$

$$- C_{FR0} = \frac{C_{F0} + C_{R0}}{2} = 87500 \text{ mg/l}$$

$$- \Delta \Pi_{FR} = \frac{0,2654 \cdot C_{FR0} (t + 273)}{1000 - \frac{C_{FR0}}{1000}} = 7583.90$$

$$- \Delta P_{FR0} = 41.4 \text{ KPa (donnée)}$$

$$- \Delta P_0 = P_{F0} - \frac{\Delta P_{FR}}{2} = 5489.3 \text{ kpa}$$

$$- K'_{wi} = \frac{1}{(\Delta P_0 - \Delta \Pi_0)} = 4.77.10^{-4}$$

$$- K_{wi} = \frac{Q_{w0}}{(\Delta P_0 - \Delta \Pi_0)} = 9.02.10^{-4}$$

$$- TCF = \frac{Q_w(t)}{Q_w(25^\circ C)} = 1.03^{(t-25)} \quad (t_0=25^\circ) \text{ donc } TCF=1$$

$$- PCF = K'_{wb}(\Delta P - \Delta \Pi) = 0.9991 \approx 1$$

$$- MFRC_{0(3-5 \text{ years})} = 1.017^{-(1.079)T.(P)3209.(10)^{-9}} = 0.87$$

$$Q_{p0} = PCF_0 TCF MFRC_0. Q_{w0} = 1.64 \text{ m}^3/\text{j}$$

C'est sous ces conditions que le constructeur a établi les caractéristiques du module **SW30-2540**

III.5.2.1.1.5 Les différents types de montage de l'installation d'OI :

1. Montage en série de production : c'est-à-dire le débit le produit de l'étage 1 va alimenter l'étage 2 et cela pour avoir une bonne qualité d'eau produite, ce type de montage offre une bonne qualité d'eau produite mais un grand débit de rejet.

2. Montage en série de rejet : le débit de rejet du 1er étage alimente le 2ème étage et on aura ainsi un débit de production de chaque étage avec des qualités différentes.

3. Montage en parallèle : ce montage est le plus simple. Tous les postes élémentaires opèrent dans les mêmes conditions (même pression, même eau en entrée).

Le taux de conversion est suivi grâce aux deux manomètres branchés sur le rejet et sur la sortie d'eau traitée.

III.5.2.1.1.6 Arrangement des perméateur dans l'installation :

Dans notre cas, nous opérerons avec une conversion de 75% en utilisant deux étages de perméateurs, placés en série rejet, c'est-à-dire le rejet du 1er étage alimente le 2ème étage.

Nous admettons un taux de conversion de 50% par étage : $Y_1 = Y_2$

Chaque fois on propose une valeur de conversion et calculer conversion et comparer par les valeurs des littératures, jusqu'à ce que nous atteignons la valeur acceptable

III.5.2.1.1.7 Calcul des paramètres de perméateurs par étage :

Les calculs se font à partir des relations désignées dans le tableau suivant :

Tableau III-4 : Résultat de calcul du nombre de perméateur par étage.

Désignation	Paramètre	La relation
Concentration en sel dans l'eau d'alimentation de l'étage 1	C_{F1} (ppm NaCl)	$C_f = \frac{1,12 \sum m, 10^6}{38,5 + 1,12 \sum m}$
Concentration en sel dans l'eau de rejet l'étage 1	C_{R1} (ppm NaCl)	$C_{R1} = \frac{C_{F1}}{1 - Y_1}$
Concentration moyenne en sel entre l'alimentation et le rejet de l'étage 1	C_{FR1} (ppm NaCl)	$C_{FR1} = \frac{C_{F1} + C_{R1}}{2}$
Différence de pression osmotique entre l'entrée et la sortie du perméateur	Π_{FR1} (Kpa)	$\Pi_{FR1} = \frac{0,2654 \cdot C_{FR1} \cdot (t + 273)}{1000 - \frac{C_{FR1}}{1000}}$
Facteur de correction de la pression	PCF_i	$PCF_i = K'_{w0} \left(P_{F1} - \frac{\Delta P_{FR}}{2} - \Pi_{FR1} \right)$
Facteur de correction du flux de rétention de la membrane dans l'étage 1	$MFRC_i$	Formule
Débit de production du perméateur à l'étage 1	Q_{p1} (m ³ /j)	$Q_{p1} = PCF_i \cdot TCF \cdot MFRC_i \cdot Q_{w0}$
Débit d'alimentation du perméateur à l'étage 1	Q_{a1} (m ³ /j)	$Q_{a1} = \frac{Q_{p1}}{Y_1}$
Débit de rejet du perméateur de l'étage 1	Q_{r1} (m ³ /j)	$Q_{r1} = Q_{a1} - Q_{p1}$
Débit moyenne entre l'alimentation et le rejet de l'étage 1	Q_{FR1} (m ³ /j)	$Q_{FR1} = \frac{Q_{a1} + Q_{r1}}{2}$
La perte de charge à travers le perméateur	ΔP_{FR1} (Kpa)	Donnée
La pression dans les conditions réelles à l'étage 2	P_{F2} (Kpa)	$P_{F2} = P_{F1} - \Delta P_{FR1} - P_{BAL}$
Concentration en sel dans l'eau d'alimentation de l'étage 2	C_{F2} (ppm NaCl)	$C_{F2} = C_{R1}$
Concentration en sel dans l'eau de rejet l'étage 2	C_{R2} (ppm NaCl)	$C_{R2} = \frac{C_{F2}}{1 - Y_2}$
Concentration moyenne en sel entre l'alimentation et le rejet de l'étage 2	C_{FR2} (ppm NaCl)	$C_{FR2} = \frac{C_{F2} + C_{R2}}{2}$
Différence de pression osmotique entre l'entrée et la sortie du perméateur à l'étage 2	Π_{FR2} (Kpa)	$\Pi_{FR2} = \frac{0,2654 \cdot C_{FR2} \cdot (t + 273)}{1000 - \frac{C_{FR2}}{1000}}$
Facteur de correction de la pression à l'étage 2	PCF_2	$PCF_2 = K'_{w0} \left(P_{F2} - \frac{\Delta P_{FR}}{2} - \Pi_{FR2} \right)$
Facteur de correction du flux de rétention de la membrane dans l'étage 2	$MFRC_2$	Formule
Débit de production du perméateur de l'étage 2	Q_{p2} (m ³ /j)	$Q_{p2} = PCF_2 \cdot TCF \cdot MFRC_2 \cdot Q_{w0}$
Débit d'alimentation du perméateur de l'étage 2	Q_{a2} (m ³ /j)	$Q_{a2} = \frac{Q_{p2}}{Y_2}$
Débit de rejet du perméateur de l'étage 2	Q_{r2} (m ³ /j)	$Q_{r2} = Q_{a2} - Q_{p2}$
Débit de production de l'étage 1	Q_{p1} (m ³ /j)	$Q_{p1} = n_1 \cdot Q_{p1}$
Débit de production de l'étage 2	Q_{p2} (m ³ /j)	$Q_{p2} = n_2 \cdot Q_{p2}$

Débit de production total	Q_{pt} (m ³ /j)	$Q_{pt}=Q_{P1}+Q_{P2}$
Débit d'alimentation	Q_{al} (m ³ /j)	$Q_{al}=\frac{Q_{pt}}{Y}$
Taux de conversion de l'étage1	Y_1 (%)	$Y_1=\frac{Q_{P1}}{Q_{al}}$
Taux de conversion de l'étage2	Y_2 (%)	$Y_2=\frac{Q_{P2}}{Q_{al}-Q_{P1}}$
La différence ente la conversion supposée et la conversion calculée à l'étage 1	ΔY_1 (%)	La différence ente Y_1 supposée et Y_1 calculée
La différence ente la conversion supposée et la conversion calculée à l'étage 2	ΔY_2 (%)	La différence ente Y_2 supposée et Y_2 calculée

1^{er} étage :

On procède au calcul des concentrations en premier lieu ainsi que les nouveaux facteurs de correction puis on calcule les débits de fonctionnement tel que :

Tableau III-5: Calcul des concentrations dans l'étage 1.

Cf₁ (ppm NaCl)	20420,70346
Y₁	0.21
Cr₁ (ppm NaCl)	25848,9917
Cfr₁ (ppm NaCl)	23134,8476
$\Delta[\text{fr}_1]$ (Kpa)	1866,69759
PCF₁	1,44255088
TCF₁	0,83748425
MRFC₁	0.87
$[\text{f}_1]$ (Kpa)	1643,13422

Et :

Tableau III-6: Calcul des débits de l'étage 1.

Q_{p1} (m³/j)	Q_{al} (m³/j)	Q_{r1} (m³/j)
50888.189	18565,2031	12995,6422

2^{eme} étage :

On procède au calcul des concentrations en premier lieu ainsi que les nouveaux facteurs de correction puis on calcule les débits de fonctionnement tel que :

Tableau III-7: Calcul des concentrations dans l'étage 2.

C_{f2} (ppm NaCl)	25848,9917
Y_2	0.13
C_{r2} (ppm NaCl)	29711,4847
C_{fr2} (ppm NaCl)	27780,2382
ΔY_{fr2} (Kpa)	2252,23375
P_{f2} (Kpa)	2252,23375
PCF_2	1,28927915
$MRFC_2$	0.872
TCF	0,83748426
P_{f2} (Kpa)	2091,50671

Et :

Tableau III-8:: Calcul des débits de l'étage 2.

Q_{p2} (m ³ /j)	Q_{al2} (m ³ /j)	Q_{r2} (m ³ /j)
21775.110	40338 ,3105	35094,3302

Débits de production et taux de conversion réelle : On a choisi un arrangement 2-1 qui donne les résultats suivants pour les Y supposés en haut

Tableau III-9: Calcul des débits de production et taux de conversion réelles.

n_1	2
n_2	1
Q_{p1} (m ³ /j)	101776.378
Q_{p2} (m ³ /j)	21775.110
Q_{pt} (m ³ /j)	123551.488
Q_{al} (m ³ /j)	58903,5136
Y_1	0,20397459
Y_2	0,12063109
ΔY_1 (%)	97%
ΔY_2 (%)	93%

Tableau III-10: Résultat de dimensionnement d'osmose inverse de la station de FOUKA.

Paramètres	Relations	Résultats	Unités
Qsp	$Q_{sp}=Q_p/n$	61775.744	m³/j
Qal	$Q_{al}=Q_p/Y$	164735.317	m³/j
N	$N=Q_p/Q_{sp}$	3	-
N1	$N_1=(N.n_1) / \Sigma n$	2	-
N2	$N_2=(N.n_2) / \Sigma n$	1	-
Qp1	$Q_{p1}=Q_{p1}.N_1$	101776.378	m³/j
Qp2	$Q_{p2}=Q_{p2}.N_2$	21775.110	m³/j
Qpt	$Q_{pt}=Q_{p1}+Q_{p2}$	123551.488	m³/j
Qrt	$Q_{rt}=N_2.Q_{r2}$	35094.3302	m³/j
Y	$Y=Q_{pt}/Q_{al}$	0.75	%
SPCF1	$SPCF_1= CF_0.CFR_1/PCF_1.CF_1.CFR_0$	0.314	-
SPCF2	$SPCF_2= CF_0.CFR_2/PCF_2.CF_2.CFR_0$	0.33	-
SP1	$SP_1=SP_0.SPCF_1$	0.0314	-
SP2	$SP_2=SP_0.SPCF_2$	0.033	-
TDSp1	$TDS_{p1}=SP_1.TDS_{a1}$	1196.21	mg/l
TDSr1	$TDS_{r1}=(TDS_{a1}-Y.TDS_{p1}) / (1-Y_1)$	47087.14	mg/l
TDSp2	$TDS_{p2}=SP_2.TDS_{r1}$	1553.88	mg/l
TDSr2	$TDS_{r2}=(TDS_{r1}-Y.TDS_{p2}) / (1-Y_2)$	52783.60	mg/l
TDS_t	$TDS_T=(Q_{p1}.TDS_1+Q_{p2}.TDS_2) / (Q_{p1}+Q_{p2})$	1259.25	mg/l

III.5.2.1.1.8 Interprétation des résultats :

Pour la détermination de conversion totale et de débit de production, on a étudié un seul arrangement 2/1, les résultats obtenus sont efficace et ont donnés :

- Le débit de production total : $Q_{pt}= 123551.49 \text{ m}^3/\text{j}$
- La qualité d'eau traitée satisfaisante : $TDS_t= 1259.25 < 35000 \text{ mg/l}$
- Un taux de conversion total satisfaisant : $Y_t= 0.75\%$

III.5.2.1.2 Système de récupération d'énergie :

La recuperation d'énergie de saumure produite pendant le procede d'osmose inverse se fait avec 6 unités en servive munies a des echangeurs de pression .



Figure III-7: Système de récupération d'énergie.

III.5.2.1.3 Procédure et équipements de nettoyage de membranes (arrêt de filière) :

Aussitôt qu'une des filières d'osmose inverse s'arrête, le phénomène naturel d'osmose prend sa place. Ceci signifie que l'écoulement à travers les membranes est inverse et que l'eau traitée migre du côté du perméat vers le côté du concentrat.

Si le volume d'eau nécessaire à cette opération n'est pas disponible, les membranes pourraient être alors asséchées et endommagées.

Rinçage (flushing) :

Avec le temps, l'encrassement des membranes réduira le débit à travers celles-ci.

Cet encrassement peut être causé par la présence de matière colloïdale, précipitation de fer, croissance biologique, etc.

Afin de bien contrôler cette situation et redonner les propriétés perdues aux membranes, elles doivent être nettoyées selon une cédule déterminée. Peu importe la qualité de l'eau après prétraitement, un nettoyage périodique des membranes est requis pour redonner la performance maximale aux membranes. Or, pour des arrêts prolongés qui excèdent 2 à 3 semaines, il est recommandé de conditionner les membranes d'osmose inverse en les remplissant d'un biocide afin d'éviter la contamination et l'encrassement biologique.

Trois (3) types de nettoyage sont généralement réalisés :

- nettoyage à l'acide à cause de l'encrassement avec des sels et des métaux;
- nettoyage aux détergents dans le cas d'encrassement par colloïdes et matières biologiques;
- nettoyage aux biocides dans le cas d'encrassement par bactéries, par levures ou par champignons.

III.5.3 Etape de post-traitement :

III.5.3.1 Reminéralisations :

Le post-traitement est conçu pour rendre le permeat des unités d'osmose inverse (une eau relativement agressive de faible salinité, de très faible dureté et d'alcalinité) moins agressive et plus appropriée à la distribution dans le réseau municipal.

Le permeat d'osmose inverse est traité (post-traitement) avant d'être distribué aux consommateurs. L'usine de FOUKA est équipée de dispositifs de correction de la dureté et de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un goût plus satisfaisant. Un dispositif additionnel de désinfection par chloration est également inclus pour prévenir tout risque de développements bactériens dans les réservoirs et les systèmes de distributions.

- Le système de reminéralisation se fait avec la chaux (CaOH_2) et le CO_2 .

- Une désinfection est réalisée avant distribution, un chlore résiduel de 0,5 mg/l est prévu au point de livraison pour éviter les contaminations

-une déchloration.



Figure III-8: Silos de la chaux.



Figure III-9 : CO2 fabriqué sur site.

III.5.3.2 Station de pompage d'eau traitée :

- le système de stockage d'eau est constitué d'un bac de stockage d'une capacité de 3600 m³ en béton armé.
- La station de pompage d'eau traitée permet de refouler l'eau commerciale jusqu'au point de livraison.
- Les six pompes (6 +1R) de la station de pompage fonctionnent avec un débit fixe et/ou variable afin de garantir les fluctuations de débit et de pression.



Figure III-10: Station de pompage d'eau traitée.

III.5.3.3 Laboratoire :

Les équipements de laboratoire permettent la mesure des différentes paramètres : Ph, TDS , salinité , turbidité , analyse ionique d'eau ..ect

III.5.3.4 Salle de contrôle :

La salle de contrôle est munie de deux ordinateurs. L'opération de l'usine est suivie via un système SCADA installé dans les ordinateurs. L'opérateur a accès aux données d'opération telles que: l'état des équipements (ON-OFF-FAILURE) et des valeurs analogiques des différents éléments de l'usine. L'opérateur aura la possibilité de fonctionner/arrêter les pompes via les ordinateurs .

Chapitre IV : analyse et interprétations

IV Chapitre IV : analyse et interprétations

IV.1 Introductions :

Dans cette partie expérimentale on a effectué une serie d'analyses physicochimique de l'eau au niveau de trois points de la station :

- 1- A l'entrée de la station : c'est l'eau d'alimentation avant dessalement (l'eau de mer).
- 2- A la sortie de la station en deux points de la station : c'est l'eau produite après dessalement (l'eau dessalée) et l'eau des rejets (la saumure).

IV.2 Mode de prélèvement :

Les échantillons d'eaux traitée ont etes prelevés en vu de l'analyse physico-chimique.

Le prelevement d'un échantillon d'eau pour l'analyse physico-chimique est soumis à la procédure suivante :

- Le contenant doit être propre, mais ne doit pas être nécessairement stérilisé, on utilisé des bouteilles en plastique de 500 mL et de 1 litre et parfois des bouteilles en verre qui sont au préalable rincées avec de l'eau distillée au moins trois fois.
- Il faut laisser couler l'eau a un débit maximal pendant 5-10 secondes et ensuite 2-5 minute à débit moyen avant de prélever un échantillon.
- Ouvrir l'emballage, le remplir et le fermer immédiatement. Nous avons effectué des échantillons dans des dates déferents au cours de mois de mars et avril 2022. Sont effectuées des analyses des paramètres physico-chimiques au niveau de laboratoire de la station de dessalement de FOUKA

IV.3 Analyses physico-chimiques de l'eau de mer :

Tableau IV-1: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer.

	Unité	Essai A	Essai B	Essai C	moyenne
pH		8.17	8.16	8.15	8.16
conductivité	ms/cm	55.9	57.6	55.1	56.2
Turbidité	NTU	2.14	0.95	10.8	4.63
TDS	g/l	38.1	39.03	37.56	38.23
T	C°	15.9	16.5	16.8	16.4
Nitrites	Mg/l	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015
Nitrates	Mg/l	<0.23	<0.23	<0.23	<0.23
TAC	F°	14.2	15.1	14.4	14.56
Bicarbonates	Mg/l	135.12	144	137	138.7
TH	F°	638.5	592.12	616.81	615.81
Calcium	Mg/l	372.68	394	385.34	384
Magnésium	Mg/l	1290	1162	1238	1290
Chlorures	Mg/l	21012	22040	21430	21494
Chlores libre	Mg/l	00	00	00	00
Sodium	Mg/l	11051.76	12652.79	11515.47	11740
Potasium	Mg/l	422	445	417	428
Fer	Mg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Sulfat	Mg/l	3499	2239	2542	2760
Bore	Mg/l	4.39	5.32	4.45	4.72
MES	Mg/l	17.6	12.4	17.7	15.9

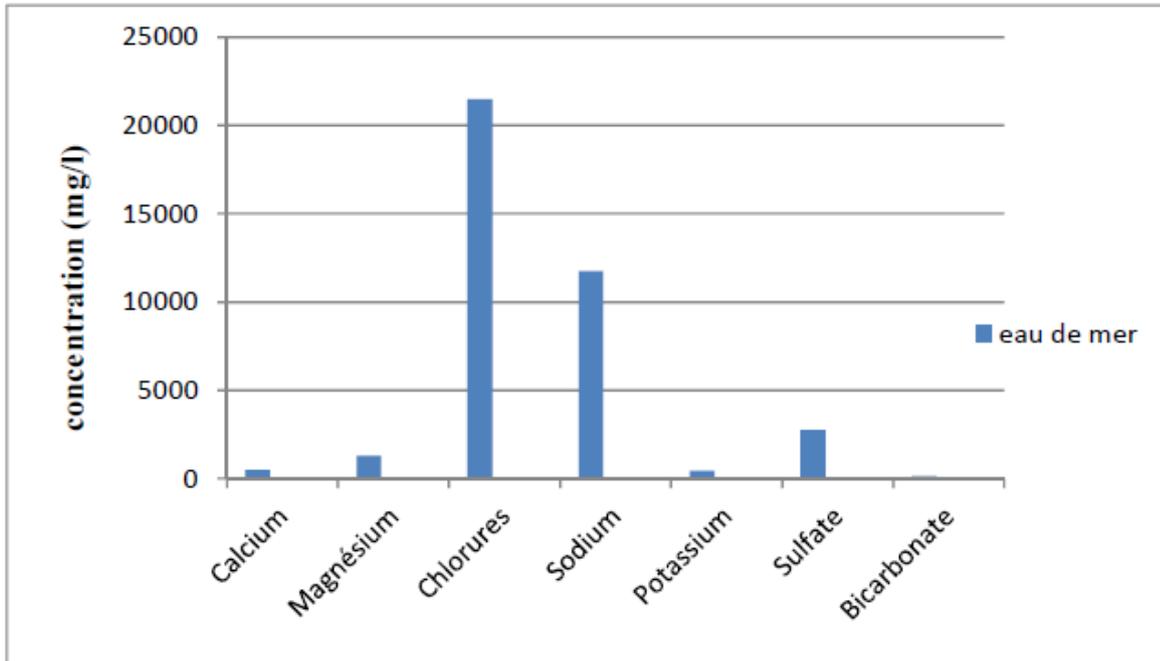


Figure IV-1 : Concentration des différents éléments chimiques dans l'eau de mer.

Les résultats des analyses physico-chimiques de la saumure :

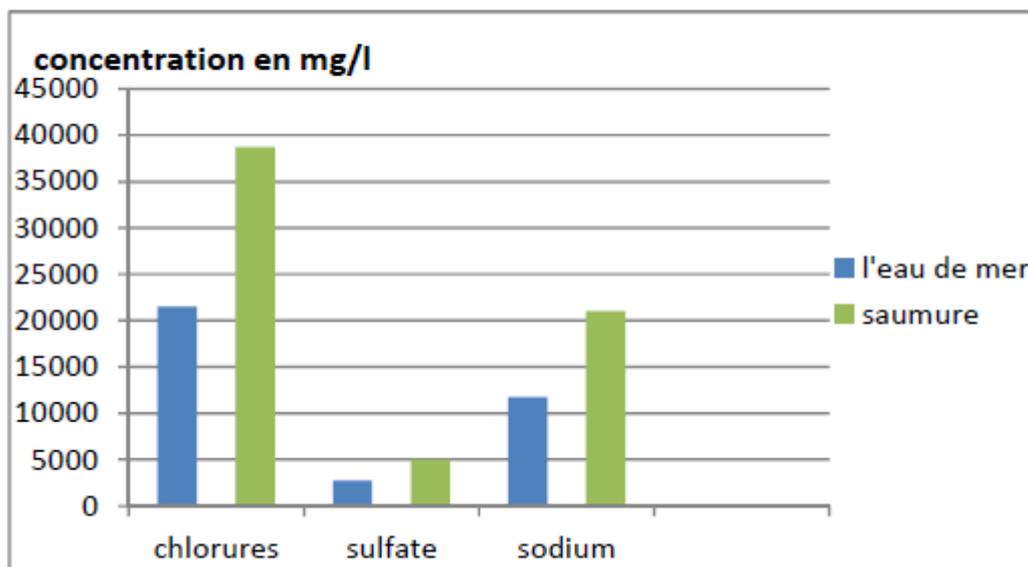
Les eaux saumures sont les rejets liquides du procédé de dessalement. Les valeurs mesurées des caractéristiques physico-chimiques effectuées sur les prélèvements pour trois campagnes de mesures sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV-2: Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure.

	Unité	Essai A	Essai B	Essai C	Moyenne
PH		8.2	7.9	7.94	8.01
conductivité	ms/cm	93.9	94.2	96.2	94.76
Turbidité	NTU	0.65	0.57	0.91	0.71
TDS	g/l	63.75	57.81	55.4	58.98
T	C°	18.2	19.2	20.3	19.23
Nitrites	Mg/l	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015
Nitrates	Mg/l	<0.23	<0.23	<0.23	<0.23
TA	F°	00	00	00	00
TAC	F°	18.6	19.8	19	19.13
Bicarbonates	Mg/l	184	196	188	189.3
TH	F°	1122.14	1177.51	1082.12	1127.25
Calcium	Mg/l	639.6	670.4	620.48	643.49

Magnésium	Mg/l	2322	2415.6	2228.4	2322
Chlorures	Mg/l	38498.48	38251	39292.34	38680.6
Chlore libre	Mg/l	0.042	0.039	0.051	0.044
Sodium	Mg/l	20432.37	20903.53	21784.1	21040
Potassium	Mg/l	744.6	813	737.38	764.9
Fer	Mg/l	0.234	0.263	0.222	0.239
Sulfate	Mg/l	5179	5424.22	4487	5030
Bore	Mg/l	7.9	19.12	7.6	8.2
MES	Mg/l	25.12	15.6	24.4	21.7

(a)



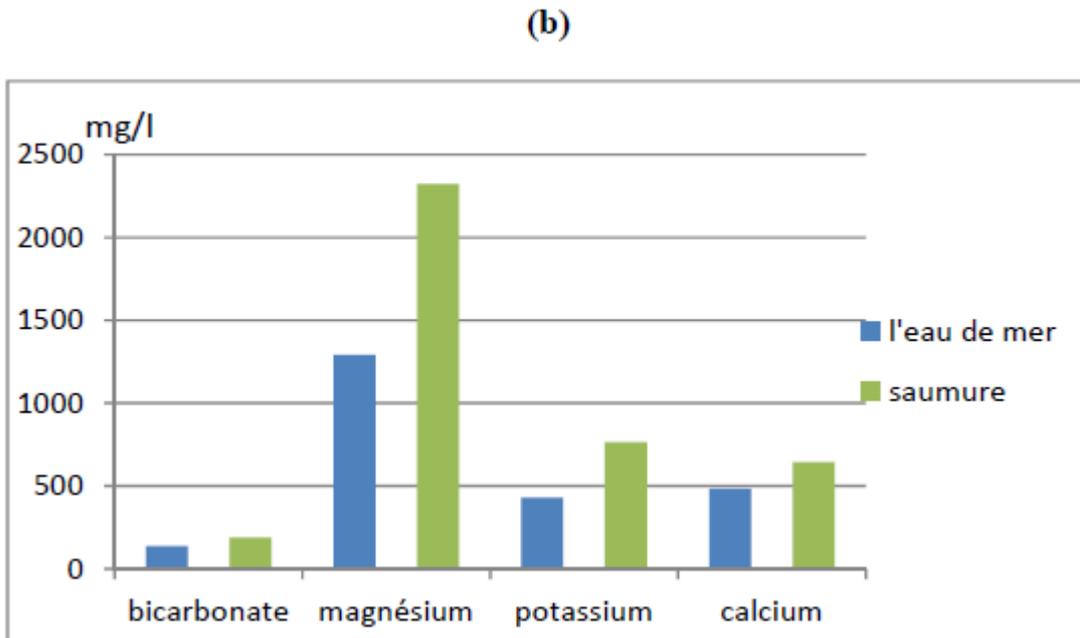


Figure IV-2: comparaison des différents composants de l'eau de mer et de la saumure.

Interprétation :

La saumure générée par dessalement est une eau de caractéristiques physico chimiques (salinité, solides dissous (TDS), dureté et alcalinité, bilan ionique, température, pH, conductivité et turbidité) comme la montre les résultats de différentes analyses, est une eau impropre a tout usage agricole ou industriel, est loin d'être probabilisée.

La salinité qui était dans l'eau de mer de 38.23 g/l est passée à 58.98 g/l dans la saumure et la conductivité passée de 56.2 à 94.76 ms/cm avec un pH autour de 8. C'est une eau qui est très dure où les valeurs sont de 1127.25 °F pour la dureté totale. Cette augmentation de la salinité et de la conductivité avec celle des sels carbonatés et des ions Ca^{2+} Mg^{2+} Na^{+} et K^{+} contribue a une variation de la composition de l'eau de mer a proche du point de rejet si ces derniers sont effectués dans la mer.

La saumure est très chargée en chlorures, sodium, sulfate, potassium et bicarbonate presque double de la concentration de l'eau de mer ça est du au taux de conversion de la station(45%) et ça montre la bonne sélectivité des membranes et l'efficacite de l'osmose inverse .

IV.4 Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée :

Tableau IV-3: Les Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée.

	Unité	Essai A	Essai B	Essai C	Moyenne
PH		8.41	8.32	8.32	8.35
T	C°	17.6	17.3	17.5	17.47
Conductivité	uS/cm	468	459	450	459
TDS	g/l	1.115	1.119	0.986	1.106
TAC	Ppm(caco3)	58.8	59.4	59.52	59.24
Calcium	Mg/l	23.37	23.94	24	23.77
Bore	ppm	0.751	0.748	0.752	0.75
Turbidité	NTU	0.86	1.01	0.58	0.816
Chlore libre	ppm	0.26	0.24	0.24	0.246
TA	Mg/l(caco3)	2.4	2.28	2.52	2.4
Calcium	Mg/l(caco3)	58.42	59.4	60	59.27
Magnésium	Mg/l	2.28	2.28	2.34	2.3
Carbonates	Mg/l	5.76	5.75	6.04	5.85
Bicarbonates	Mg/l	65.83	66.6	66.46	66.26

Interprétation :

A-Température :

D'après les résultats de l'eau produite, nous avons remarqué que tous les échantillons ont une température inférieure ou égale à la norme fournie ($<25^{\circ}\text{C}$), ce qui rend ce paramètre sans danger pour le consommateur.

B- Potentiel d'hydrogène (pH) :

Il s'agit d'un facteur d'investigation de l'acidité ou de l'alcalinité d'une eau.

Les valeurs de pH des eaux traitées sont comprises entre 8,32 et 8,41 avec une valeur moyenne de 8,35.

Se référant aux normes de qualité de l'eau potable, les valeurs du pH des eaux traitées sont conformes à la norme algérienne, dont les valeurs sont fixées de 6,5– 9.

C- Conductivité électriques :

Les mesures de la conductivité électrique de l'eau traitée enregistrée indiquent les valeurs suivantes:

EC min=450 et EC max = 468 $\mu\text{S}/\text{cm}$, avec une valeur moyenne de 459 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Les valeurs de conductivité électrique pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne dont la concentration maximale admissible est de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$

D-La Turbidité :

Logiquement avec la microfiltration et l'osmose inverse la turbidité a voisine une valeur de (0), mais le rajout de l'eau filtrée avec la calcite l'ont fait augmenter à la valeur tournée.

Les valeurs de turbidité pour l'eau de consommation sont conformes à la norme algérienne

E-Chlore libre :

Le chlore résiduel constitue une forme de sécurité pour traiter des petites contaminations éventuelles de l'eau. Le taux de chlore libre fluctue entre 0,24 et 0,26 mg/L, avec une valeur moyenne de 0.246 mg/L. Cette valeur est légèrement inférieure par rapport à la valeur préconisée par la norme algérienne qui est entre 0.2 et 0.6 mg/l.

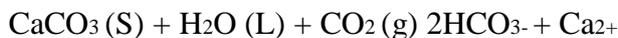
F-Alcalinité totale, bicarbonates et carbonates :

L'alcalinité correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions hydrogène (OH^-), les ions carbonates (CO_3^{2-}) et les ions bicarbonates (HCO_3^-).

Les résultats montrent des valeurs comprises entre 59.52 – 58.8 ppm CaCO_3 avec une valeur moyenne de 59.24 ppm CaCO_3 .

Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à 65 mg/L en CaCO_3 .

La présence des bicarbonates (HCO_3^-) dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique selon la réaction :



Les valeurs des concentrations en bicarbonates des eaux traitées enregistrées varient dans un intervalle de 65.83 - 66,6 mg/L, avec une valeur moyenne de 66,26 mg/L.

Les valeurs des concentrations en carbonates de l'eau traitée enregistrées varient entre 5.76 et 6.04 mg/L, soit une valeur moyenne de 5.85 mg/L.

G- Dureté totale (TH), calcium :

Les mesures de la dureté totale de l'eau traitée s'échelonnent de 67.92 – 70.3 ppm en CaCO_3 avec une valeur moyenne de 69.34 ppm en CaCO_3 .

Les valeurs enregistrées s'avèrent inférieures à la valeur maximale admissible recommandée par les normes algériennes qui est de 500 ppm en CaCO_3 .

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles :

soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution de formations gypseuses (CaSO_4).

L'analyse des concentrations en calcium sont comprises entre 58.42 mg/L en CaCO_3 et 60 mg/L en CaCO_3^- , soit une valeur moyenne de 59.27 mg/L en CaCO_3^- . Le taux de calcium est inférieur à la norme algérienne qui fixe la composition en Ca^{2+} à 200 mg/L.

H- Total des solides dissouts (TDS) :

Le total des solides dissouts ou TDS représente la concentration totale des substances dissoutes dans l'eau. Le TDS est composé de sels inorganiques et de quelques matières organiques.

Les résultats obtenus après l'analyse des eaux de consommation ont montré que le taux du TDS varie entre 225 et 230 mg/L, soit une valeur moyenne de 229.66 mg/L.

Les valeurs de TDS se révèlent conformes aux normes algériennes qui sont de 1000 mg/L dans les eaux traitées de dessalement.

Remarque :

Pour les résultats d'analyses des chlorures, sodium, potassium, sulfate, le fer, nitrite, nitrate sont inférieures aux limites de spectrophotomètre DR5000. Donc d'après le Tableau ces valeurs sont conformes à la norme algérienne.

IV.5 Quantification des différents éléments chimiques dans la saumure :

Le rejet de la saumure de la station de **FOUKA** qui contient différents éléments chimiques (Tableau IV.2) et présenté par la (Figure IV.2) se fait à une distance de 1200m de la côte et à une profondeur de 7m de la surface de la mer par un émissaire (conduite) sous marin de diamètre de 1,2m. Le débit de saumure ainsi que le débit massique de chaque élément sont présentés dans les tableaux.

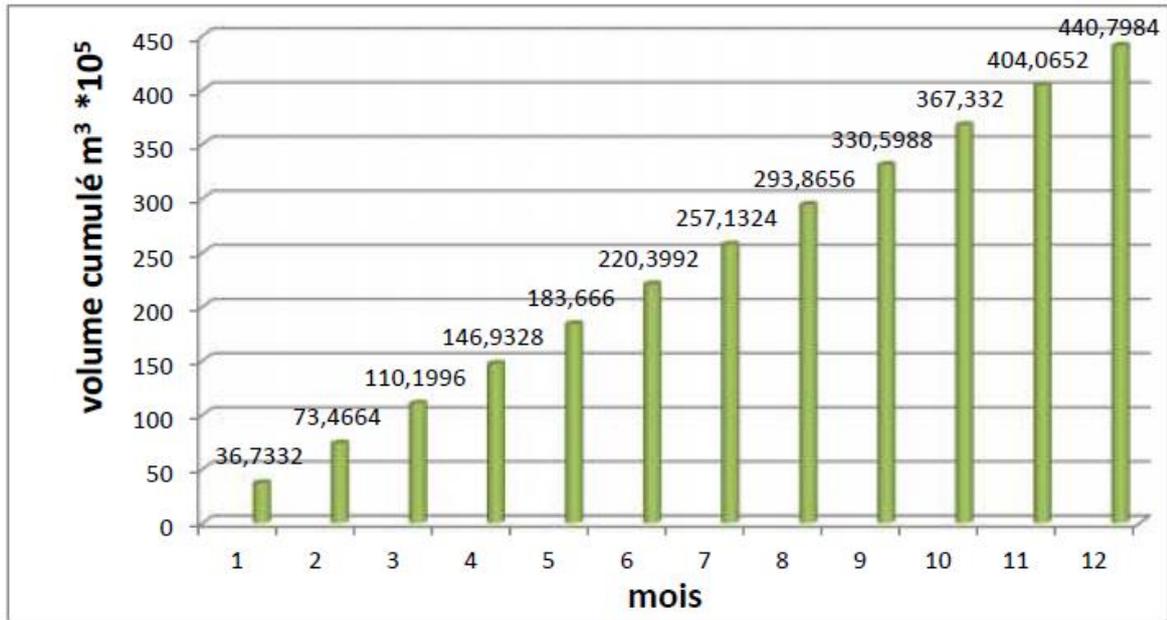


Figure IV-3: l'évolution du volume de la saumure pendant une année.

Tableau IV-4 : Les quantités des différents éléments chimiques rejetées par la station de dessalement FOUKA.

Éléments unité	Chlorure Cl ⁻	Sodium Na ⁺	Magnésium Mg ⁺²	Calcium Ca ⁺	Sulfate SO ₄ ²⁻	Potassium K ⁺
Kg/jour	2104396.05	1138729.2	126362.2	31772.9	277947.88	41251.38
Ton/année	768104.55	415636.15	461222.2	11597.14	101450.9	15056.75

Interprétation :

On sait bien que ces rejets avec cette grande quantité des éléments chimiques en évolution chaque jour, et ça donne une grande pollution sur le milieu marin et une perturbation dans la vie des organismes marins « la tolérance de certains organismes ne dépasse pas 38 g/l de salinité du milieu. Il est indubitable que l'impact sur l'environnement le plus préoccupant est celui de la saumure, autrement dit des eaux qui contiennent une concentration élevée de sels et qui sont rejetées par toutes les usines de dessalement. La salinité de la saumure dépend du procédé utilisé.

Dans le cas des usines à osmose inverse, la salinité de la saumure dépend de la capacité de conversion de l'usine et elle est de 1,2 à 3 fois supérieure à la salinité de l'eau d'alimentation.

IV.6 Conclusion :

On sait bien que ces rejets avec cette grande quantité des éléments chimiques en évolution chaque jour, et ça donne une grande pollution sur le milieu marin et une perturbation dans la vie des organismes marins « la tolérance de certains organismes ne dépasse pas 38 g/l de salinité du milieu ».

Il est indubitable que l'impact sur l'environnement le plus préoccupant est celui de la saumure, autrement dit des eaux qui contiennent une concentration élevée de sels et qui sont rejetées par toutes les usines de dessalement. La salinité de la saumure dépend du procédé utilisé. Dans le cas des usines à osmose inverse, la salinité de la saumure dépend de la capacité de conversion de l'usine et elle est de 1,2 à 3 fois supérieure à la salinité de l'eau d'alimentation.

Chapitre V : Gestion et valorisation de la saumure.

V Chapitre V : Gestion et valorisation de la saumure

V.1 Introduction :

La saumure est un rejet du processus de dessalement .Elle se compose d'un cours d'eau avec une teneur elevee en sel .Dans le cas du dessalement de l'eau de mer par osmose inverse, la teneur en sel de saumure equivaut au double ou presque au triple par rapport a l'eau de mer Par contre, dans le cas du processus thermique, elle est approximativement de 10 % plus élève que l'eau de mer .Ce rejet d'eau contient egalement des produits chimiques de nettoyage de membrane et d'autres utilisee contre l'entartrage et pour eviter la corrosion.

V.2 L'impact de dessalement :

V.2.1 L'impact de dessalement sur l'environnement :

Parmi les impacts dus à une usine de dessalement, il y a ceux qui se limitent à la phase de construction et ceux qui sont lies a la phase d'exploitation. Les impacts commencent avec la transformation de l'occupation du sol, puis continuent avec des conséquences visuelles et des nuisances sonores pour s'etendre a des emissions dans l'atmosphere et des rejets dans l'eau ou sols ainsi qu'a des dommages potentiels pour le milieu recepneur

V.2.2 impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer :

La saumure exerce le plus fort impact sur le milieu marin .Le volume total de saumure libere dans ce milieu est determinant pour les dommages qu'il peut induire. A part le volume proprement dit, les modalites et l'emplacement du rejet sont essentiels pour les impacts qui peuvent en résulter.

La longueur de l'emissaire, sa distance au rivage, son niveau au-dessus du fond de la mer, l'existence ou non d'un diffuseur, ainsi que la profondeur de l'eau et les caracteristiques hydrodynamiques (courants ,vagues,...) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacite de la dilution au point de rejet et, par voie de consequence, l'impact potentiel sur l'environnement.

Par exemple, a l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), qui a une capacite de production de 40 000 m³/jour, la saumure, d'une salinite d'environ 72 %, est rejetee dans la mer par un emissaire dote a son extremite d'un multi diffuseur, a une profondeur d'environ 5m et une à distance de 250 m du rivage; il en résulte un accroissement de la salinite dans un

rayon de 200m à partir du rejet. De ce fait, la plus forte salinité ($\approx 54 \text{ ‰}$) a toujours été décalée au point de rejet et était possible de relever une salinité supérieure à celle de l'eau de mer ($\approx 39 \text{ ‰}$) jusqu'à 200 m du rejet. La zone d'impact présentant une forte salinité varie selon la saison, l'impact le plus marqué se produisant durant les mois d'été.

V.2.3 Impacts de salinité sur la qualité de l'eau du milieu récepteur:

La concentration élevée de salinité entraîne une augmentation de la turbidité de l'eau. Ce genre de pollution est probable à empêcher la pénétration de la lumière, et perturbe le processus de photosynthèse. L'effluent de saumure contient des substances dissoutes concentrées provenant de l'eau de mer, son poids spécifique élevé lui fait couler au fond de mer et empêchera son mélange, de ce fait créant un désert de sel à proximité du canal de décharge

V.2.4 Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés :

En plus de la concentration élevée des sels, la saumure déchargée contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de prétraitement et de post-traitement de l'unité de dessalement comme :

- Effets dus aux produits de la corrosion
- Effets dus aux additifs antitartre
- Effets des additifs antisalissure
- Effets des additifs antimousse

V.3 La pollution de la saumure :

La saumure est un sous produit du dessalement inévitable, qui est déchargée, généralement, dans l'environnement marin. Les implications environnementales de cette solution de sel fortement concentrée (TDS) est autour de 70.000 ppm sur les écosystèmes marins locaux qui ont été discutées de façon controversée pendant beaucoup d'années. Cependant, c'est maintenant qu'elle est reconnue comme une décharge étendue de saumure, comme elle constitue une couche hyper saline au fond de la mer dû à sa plus grande densité. Elle a un potentiel qui affecte fortement la faune et la flore marines. Évidemment, l'importance des impacts sur l'environnement dépend des caractéristiques du processus du dessalement - détermination de la composition chimique de la saumure produite mais également des conditions hydrodynamiques et bathymétriques normales aussi bien que des facteurs biologiques de l'environnement marin.

V.4 Composition de la saumure :

Dans tous les processus de dessalement, les saumures déchargées, sont retournées à la mer. Les concentrations des saumures s'averent habituellement double ou près du double de l'eau de mer. En plus de la concentration élevée des sels, cette eau de décharge contient de divers produits chimiques utilisés dans l'étape de pretraitement du dessalement pour augmenter la floculation ou empêcher la formation de mousse par exemple ,d'autres pour eviter la détérioration de la membrane comme la croissance biologique.

Les types et les quantités des produits chimiques utilisés dépendent de la technologie choisie et de la qualite exigee de l'eau produite.

V.5 Dispersion des sels concentrés :

Le principal problème environnemental lié à une usine de dessalement est comment se débarrasser de l'excédent des saumures concentrees. Dans la plupart des cas, ces saumures ne peuvent pas rester sur la terre en raison du danger qu'elles posent aux eaux souterraines et en raison d'autres potentiels grave set impact sur l'environnement. Une decharge normale pour ces saumures est la mer mais une technologie appropriée est exigée afin d'assurer la dispersion appropriée des solutions concentrées et réduire au minimum ainsi leurs effets nuisible sur l'environnement marin.

V.6 Etude des techniques de Gestion de la saumure proposées pour la station de dessalement de FOUKA :

Afin de diminuer l'impact environnemental des saumures et leur rejet en mer, il convient d'étudier des moyens de réduire la concentration en sels ou une valorisation de saumure.

En général, la saumure des usines de dessalement est rejetée directement dans la mer ou associée aux rejets de l'eau de refroidissement des centrales ou aux effluents des stations d'épuration.

Dans cette partie, nous avons donc réalisé l'étude de faisabilité de 5 techniques de la gestion de la saumure pour la station de dessalement de FOUKA, à savoir la :

- 1- La dilution avec un effluent de station d'épuration ,avec l'eau de pluie, ou avec l'eau de mer ;
- 2- L'évaporation de la saumure (marais salants) ;
- 3- L'injection dans les puits profonds ;
- 4- La Production d'électricité par l'énergie osmotique ;
- 5- Le Rejet direct dans les milieux marins.

V.6.1 Dilution de la saumure :

La dilution est un procédé consistant à obtenir une solution finale de concentration inférieure à celle de départ, soit par ajout de solvant, soit par prélèvement d'une partie de la solution et en complétant avec du solvant pour garder le même volume. La dilution se caractérise par son taux de dilution. Cette notion présuppose que le corps dilué soit soluble dans le solvant utilisé.

V.6.1.1 Dilution avec un effluent de stations d'épuration :

Melanger la saumure aux effluents de stations d'épuration est l'une des solutions préférables au rejet direct dans la mer. Nous allons donc réaliser l'étude de faisabilité de ce mélange avec notre usine de dessalement de Fouka

Tableau V-1: les débits des 3 stations d'épurations utilisées.

Station	Débit de rejet (m ³ /j)	Débit totale
Bousmail	100000	120000
Zeralda	15000	
Sidi abdallah nord	5000	

A-Calcul du taux de dilution :

Ayant le débit total des 3 stations d'épuration (bousmail,zeralda,sidi abdelaah nord) , nous pouvons donc calculé le taux de dilution :

$$Q_{\text{stations}} = 15000 + 100000 + 5000 = 120000 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{Or le débit de nos rejets de saumures est de } Q_{\text{saumure}} = 35094.33 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{tot}} = 120000 + 35094.33 = 155094.33 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\tau_{\text{dilution}} = Q_{\text{tot}} / Q_{\text{saumure}} = 155094.33 / 35094.33 = 4.42$$

B-Calcul de la concentration de la saumure après la dilution :

La salinité des rejets de saumures est de 52783.60 mg/l .

Après dilution, la salinité est de :

$$\text{TDS}_{\text{saumure}} = \text{TDS}_{\text{initial}} / \tau_{\text{dilution}}$$

$$\text{TDS}_{\text{saumure}} = 58.98 / 4.42 = 13.34 \text{ g/l}$$

Conclusion :

D'après la dilution de la saumure avec l'effluents des stations d'épuration on remarque que la concentration de cette saumure diminue jusqu'à 13.34g/l .mais malheureusement **la construction des tuyaux jusqu'à l'usine ne sera envisageable** qu'après **une étude technico-économique détaillée** des canalisations de transport vu **l'éloignement** de certain station d'épuration et ça reviendrait à un **coût économique très élevée**.

V.6.1.2 Dilution de la saumure avec l'eau de pluie :

La récupération d'eau de pluie consiste en un système de collecte et de stockage de l'eau pluviale dans la perspective d'une utilisation ultérieure. La mise en place d'une installation spécifique, qui peut varier dans sa complexité suivant l'utilisation finale, est nécessaire à la satisfaction de cet objectif . Les motivations sont le plus souvent d'ordre économique ou écologique; cependant dans certaines configurations, de telles installations sont indispensables pour suppléer à une alimentation en eau courante insuffisante, défaillante ou même inexistante. Le volume d'eau de pluie récupérable se calcule grâce à la formule ci-dessous:

$$V = P * C_p * S_{\text{captage}}$$

V : est le volume d'eau de pluie récupérable en m³/an.

P : est la moyenne des précipitations moyennes annuelles m³/m²/an.

C_p : est le coefficient de perte du matériau de toiture

S_{captage} : est la surface de captage (m²)

Tableau V-2: Coefficient de perte du matériau de toiture .

Type de toiture	Coefficient de perte(c _p)
Toiture en tôles ondulées	0.9
Toiture en tuiles (terre cuite)	0.8
Toiture en ardoises	0.8
Toiture végétalisée	0.5

Application :

Exemple : le volume récupérable pendant le mois de novembre

La surface de l'usine : $S = 4 \text{ Ha} = 40000 \text{ m}^2$

La précipitation (selon les statistiques de L'ANRH) : $P = 89.37 \text{ mm}$ (selon le tableau)

$C_p = 0.85$

$V_{\text{récup. (nov)}} = 89.37 * 10^{-3} * 4 * 10^4 * 0.85 = 3038.58 \text{ m}^3$

Tableau V-3: volumes mensuels récupérables.

Mois	janvier	fevrier	mars	Avril	mai	juin
Précipitation(mm)	73.56	54.27	45.47	48.66	29.15	5.8
Volume récupérable (m ³ /mois)	2501.04	1845.18	1545.98	1654.44	991.1	197.2
Mois	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	Décembre
Précipitation(mm)	4.5	9.5	26.99	51.12	89.37	77.8
Volume récupérable (m ³ /mois)	153	323	917.66	1738.08	3038.58	2645.2

Conclusion :

Au vu des résultats, le volume de pluies récupérable est très faible, soit environ $15985.46 \text{ m}^3/\text{an}$ (Tableau V.3), alors que le débit de rejets de saumures est de $35094.33 \text{ m}^3/\text{j}$ (environ le triple de volume de pluie récupérable)

Donc on peut constater que la dilution par l'eau de pluie est **envisageable si seulement** on attribue une **grande surface** a coté de la station a bur but de **collecter une grande quantité des eaux pluviales** et cela après une **étude technico économique** détaillée

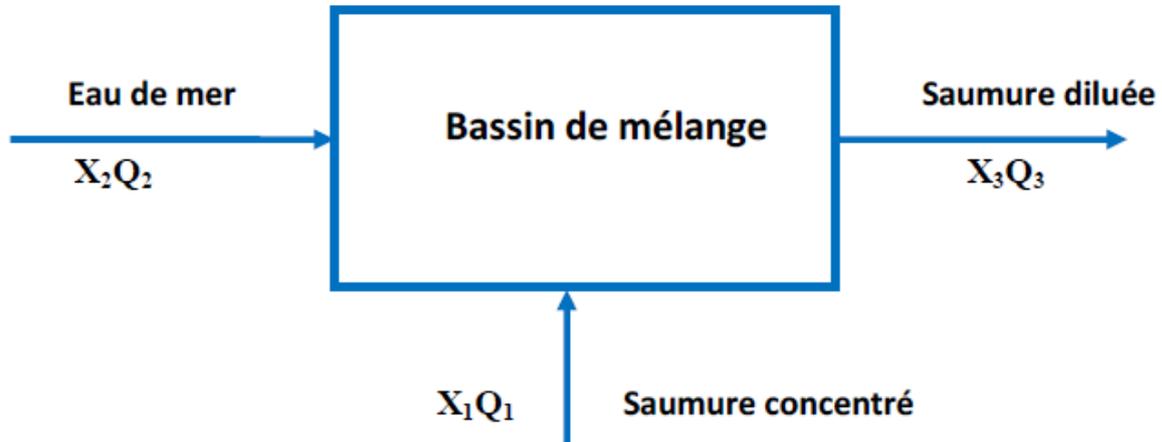
V.6.1.3 La dilution de la saumure avec l'eau de mer :

La dilution des saumures avec l'eau de mer est une solution intéressante dans les nombreux cas où il y a des zones à protéger et où la production de la saumure est très grande (dans notre cas m^3/j) . Le problème principal est le surcoût d'investissement et énergétique que cela implique. Lorsqu'une limite maximale de décharge doit être respectée (10% au-delà de la salinité de la mer), une solution est de diluer la saumure avec l'eau de mer.

Application :

on doit calculer le débit de l'eau de mer pour avoir une concentration finale de rejet :

$$X_3 = \text{TDS}_{\text{saumure}} = 13.34 \text{ g/l}$$



$$Q_3 \cdot X_3 = X_2 \cdot Q_2 + Q_1 \cdot X_1$$

$$Q_3 = Q_2 + Q_1$$

$$(Q_2 + Q_1) \cdot X_3 = X_2 \cdot Q_2 + Q_1 \cdot X_1$$

$$Q_2 = \frac{Q_1(X_3 - X_1)}{(X_2 - X_1)}$$

$$Q_2 = \frac{35094.33(13.34 - 58.98)}{(38.23 - 58.98)} = 76172.45 \text{ m}^3/\text{j}$$

Définition des données :

X_1 : concentration de la saumure (g/l)

X_2 : concentration de l'eau de mer (g/l)

X_3 : concentration de rejet (g/l)

Q_1 : débit de saumure (m^3/j)

Q_2 : débit de l'eau de mer (Débit de dilution) (m^3/j)

Q_3 : débit de rejet (m^3/j)

Conclusion :

Le débit $Q = 76172.45 \text{ m}^3/\text{j}$ donne une dilution complète la saumure avant son rejet. Ce débit doit être assuré par un système de pompage (station de pompage), avec un système de mélange au niveau de la station de dessalement, qui peut être considéré comme ouvrage annexe de la station.

V.6.2 L'évaporation de la saumure :

V.6.2.1 Les marais salants :

V.6.2.1.1 Généralités sur les marais salants :

Les marais salants permettent de récolter le sel par cristallisation. Ces sels sont obtenus par évaporation naturelle de l'eau de mer sous l'action combinée du soleil et du vent.

La Figure IV.1 illustre les étapes de fonctionnement d'un marais salant :

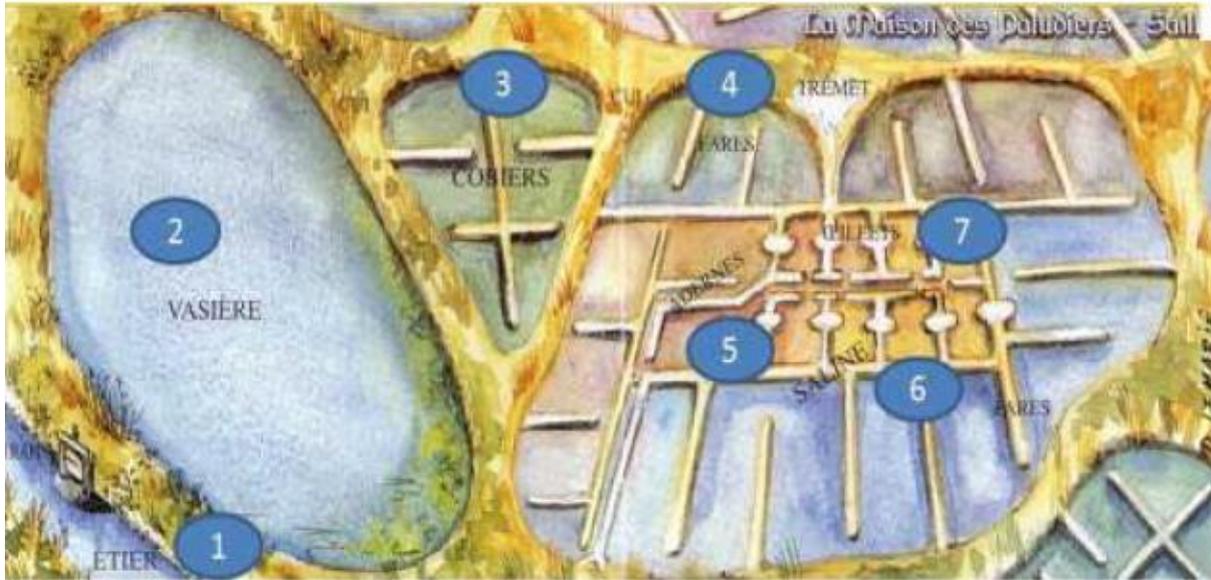


Figure V-1 : Etapes de fonctionnement d'un marais salant.

- L'eau de mer pénètre dans le marais par un canal appelé l'étier.
- L'étier alimente le réservoir du marais, la vasière ou le vasais. Celle-ci mesure plus de 1 m de profondeur.
- L'eau ne pénètre ensuite dans un bassin découpé, plus petit, plus bas et moins profond que la vasière. C'est la matière ou le cobier.
- Puis, l'eau passe dans les fares ou tables courantes : ce sont de grands bassins, peu profonds. L'eau y est ralentie par des chemins d'argile pour mieux s'évaporer et se concentrer en sel.
- L'eau circule ensuite dans des couloirs, les adernes. Ils servent à conduire l'eau saturée en sel au cœur de la saline, au niveau le plus bas.
- Après avoir parcouru plusieurs kilomètres, l'eau arrive dans le champ du marais constitué de muants, nourrices et aires saunantes: l'eau arrive saturée en sels dans des tables salantes rectangulaires où la cristallisation s'effectue. La profondeur est de quelques centimètres.
- Le paludier, ou saunier effectue la récolte du sel cristallisé dans les oeilletts.

Tableau V.3 : Rôle et concentration en sortie de chaque bassin

	Rôle	Concentration en sortie de bassin (valeurs indicatives)
Vasière	stockage de l'eau de mer pour 2 semaines de fonctionnement	35 à 50 g/L
Métière	Décantation de la vase Concentration de la saumure	50 à 80 g/L
Fares	Concentration de la saumure Dépôts des carbonates	80 à 180 g/L
Champ du marais	Concentration de la saumure Dépôts des sulfates	180 à 280 g/L
Oeillets	Concentration finale de la saumure pendant la cristallisation du NaCl	280 à 380 g/L

V.6.2.1.2 Saturation en sels de la saumure (seuils de cristallisation) :

L'objectif du marais salant est de concentrer les sels en faisant évaporer l'eau jusqu'à atteindre les seuils de saturation au-delà desquels les sels se cristallisent. Pour NaCl, le seuil de cristallisation est de 300 à 320 g/l. et aussi de récolter le chlorure de sodium (NaCl) dans les oeillets.

La concentration de saturation est variable selon les sels :

-Si le sel est peu soluble dans l'eau (cas des sels de Calcium), la saturation est plus rapide et une cristallisation se produit très tôt dans le circuit du marais salant.

-S'il est très soluble, la cristallisation ne s'effectue que lorsque les concentrations seront fortes (cas du chlorure de Magnésium).

Cristallisation fractionnée :

Le but des marais salants est de récolter le chlorure de sodium (NaCl) dans les oeillets.

La concentration de saturation est variable selon les sels :

-Si le sel est peu soluble dans l'eau (cas des sels de Calcium), la saturation est plus rapide et une cristallisation se produit très tôt dans le circuit du marais salant.

-S'il est très soluble, la cristallisation ne s'effectue que lorsque les concentrations seront fortes (cas du chlorure de Magnésium).

V.6.2.1.3 Les facteurs favorisant l'évaporation:

-grande surface d'échange entre l'eau et l'air (étendre le linge favorise l'évaporation).

-sécheresse de l'air ambiant au-dessus du plan d'eau, favorisée par le vent.

-températures élevées de l'eau et de l'air, favorisées par la chaleur du soleil, car l'évaporation (tout comme l'ébullition) est endothermique, c'est-à-dire qu'elle demande de la chaleur à l'environnement.

-L'air est plus sec.

-la vitesse du vent est plus grande.

-l'eau du marais est plus chaude (grâce au rayonnement solaire).

Afin de diminuer l'impact environnemental de notre usine, nous avons donc choisi de valoriser nos saumures par les marais salants.

V.6.3 Surface nécessaire des marais salants

Formule de Rohwer :

En tenant compte de l'effet du vent, le taux d'évaporation E (en mm/jour) d'un plan d'eau pure peut donc s'exprimer à l'aide de la formule synthétique suivante :

$$E=0,484.(1+0,6u) \exp(17,27.t(237,3+t)).(1-Hr100) \quad (4.9)$$

avec :

u (m/s) : vitesse du vent

t (°C) : température de l'air

Hr (%) : humidité relative de l'air

Calcul de l'évaporation E :

Conditions:

u = 2,32 m/s soit 8,35 km/h.

t = 17,75 °C.

Hr = 72,1 % .

Ainsi pour une surface d'1 m²,

E=2,38 mm/jour

Application : Calcul de la surface des marais salants

$$Q_{\text{évap}}=Q_{\text{saumure}}.(1-C_{\text{saumure}}/330)$$

$$S=Q_{\text{évap}}/ E$$

A l'entrée du marais salant, dans le cas de l'OI, nous avons un débit de 35094.33m³/j avec une concentration en sel de 13.34g/L . Pour arriver à saturation dans les oeillets, on fixe la concentration de saturation à 330 g/L car il ne faut pas dépasser 380 g/L.

Donc :

$$\begin{aligned} Q_{\text{évap}} &= Q_{\text{saumure}}. [1- (C_{\text{saumure}} / 330)] \\ &= 35094.33. [1-(13.34 / 330)] = 28822.02 \text{ m}^3/\text{j} \end{aligned}$$

La surface des marais salants est obtenue par la relation suivante:

$$S= Q_{\text{évap}} . E^{-1}$$

$$S=28822.02 \cdot (0.00238)^{-1} = 12110090.8 \text{ m}^2 = 1211.009 \text{ ha}$$

S : Surface des marais salants (m²).

E : Evaporation (mm).

Qevap : Débits d'évaporation (m³/J).

Conclusion :

Ainsi, nous obtenons une surface de 1121 ha dou la construction du marais salant n'est pas envisageable pour ce cas car ces 1121 ha seront à prendre en compte dans la superficie de l'usine et c'est très vaste . **En revanche, elle pourra être effectuée dans le cas ou** on met un raccordement d'un système hybride a notre système osmose inverse qui le **procédé DMV (distillation membranaire sous vide)** Ce procédé va ici permettre de **réduire le volume de saumure** et d'**en augmenter la concentration** en évaporant l'eau qu'elle contient d'où **la diminution de la surface nécessaire pour le marais salant**. Les objectifs sont de parvenir à concentrer ces saumures pour **faciliter la cristallisation du sel** et de permettre d'augmenter le rendement du dessalement afin de réduire le volume d'eau de mer pompée et ainsi, en **diminuer la consommation énergétique**.

La possibilité d'éviter le rejet par la mise en place de marais salants a été étudié. Ceci permet de réduire significativement l'impact environnemental de ces rejets.

Etant donné que les rejets de saumure peuvent contenir des **produits de corrosion** (chrome, nickel, molybdène, cuivre....) ainsi que des **réactifs utilisés** (antitatre, antimousses, produits anticorrosion, coagulants,...), le sel produit sera **uniquement utilisé pour le déneigement ...**

V.6.4 L'injection dans les puits profonds :

L'injection dans les puits profonds (Deep well injection) est actuellement appliquée dans le monde entier pour l'élimination de déchets industriels, pollueur et dangereux. Ces dernières années, cette technologie a été considérée comme une option pour l'élimination permanente des rejets des station de dessalement.

L'injection dans les puits profond ou l'injection souterraine implique l'élimination du la saumure dans les aquifères des eaux souterraines inutilisables, généralement à des profondeurs allant de 330 à 2 600 m .

La faisabilité de l'injection dans les puits profond dépend fortement des conditions du site en particulier sur les conditions géologiques et hydro-géologiques. D'où le fait que la méthode ne peut être applicable sur tous les sites.

Afin d'assurer la performance globale et la fiabilité de cette technique , une étude géologique approfondie du site sélectionné doit être menée avant la conception et le forage des puits profonds.

Des emplacements appropriés pour les puits profonds peuvent être envisagés potentiellement dans les zones avec des aquifères qui peuvent accepter de plus grandes quantités de concentré. La capacité du

réservoir doit être capable de recevoir un concentré pendant toute la durée de vie de conception de l'usine de dessalement.

La détermination de faisabilité des puits profonds coûte cher, donc cette option est considéré comme rentable pour l'élimination des gros volumes concentrés. Même suite à des essais réussis, il n'existe toujours aucune garantie à long terme du fonctionnement du système de puits.

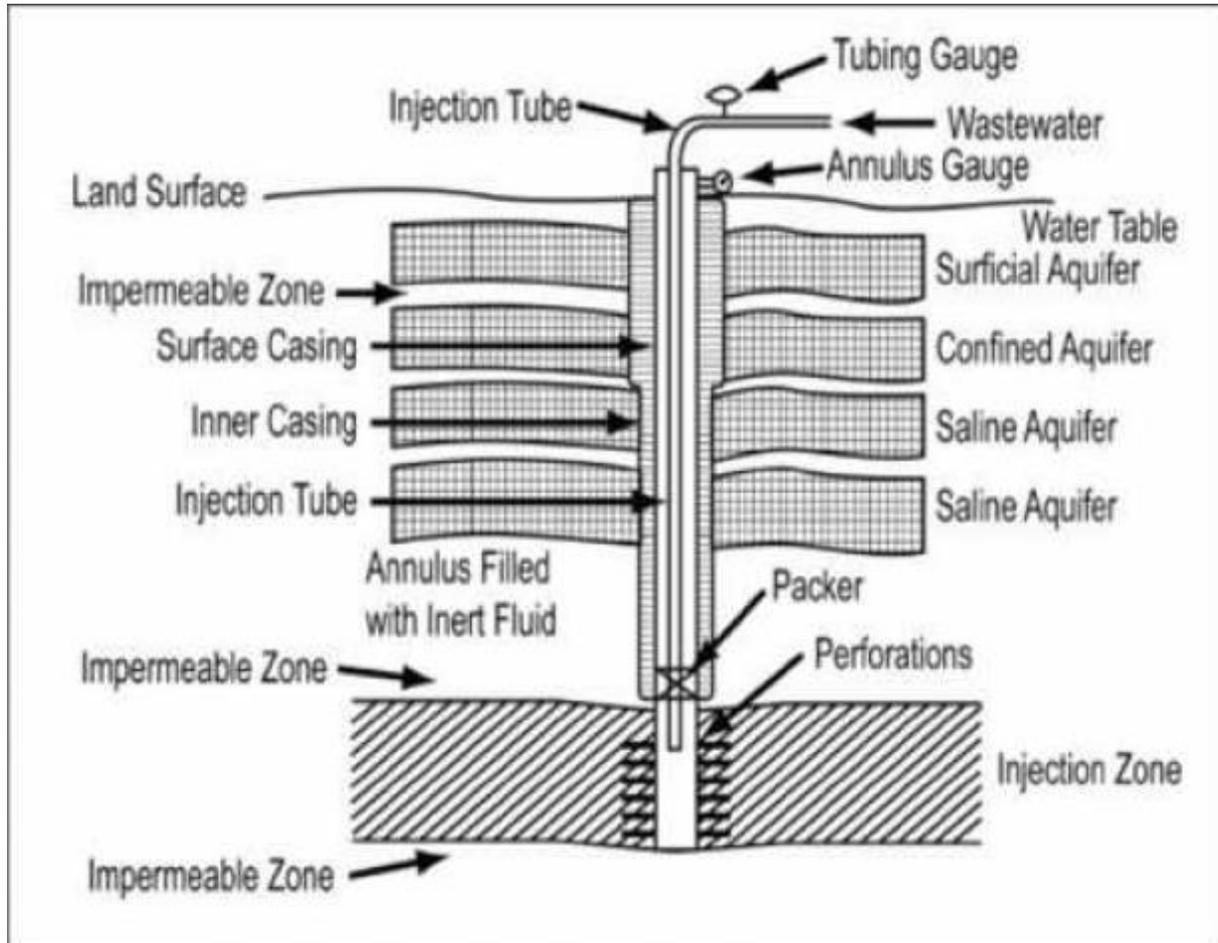


Figure V-2:: Schéma de L'injection dans les puits profonds.

V.6.5 Production d'électricité par l'énergie osmotique :

V.6.5.1 Définition :

L'énergie osmotique désigne l'énergie exploitable à partir de la différence de salinité entre l'eau de mer et l'eau douce, les deux natures d'eau étant séparées par une membrane semi-perméable. Elle consiste à utiliser une hauteur d'eau ou une pression créée par la migration de molécules d'eau à travers ladite membrane. La pression d'eau en résultant assure un débit qui peut alors être turbiné pour produire de l'électricité.

Il est également possible d'utiliser le principe d'osmose pour produire de l'électricité en actionnant une turbine grâce à la pression osmotique. Une pression de 12 bars dans le réservoir d'eau salée confère à

l'eau acheminée vers la turbine la même énergie qu'un volume d'eau chutant de 120 m dans un barrage hydroélectrique.

Concrètement, une centrale osmotique a pour objectif d'exploiter la différence de salinité là où l'eau salée et l'eau douce se rencontrent naturellement, c'est-à-dire aux embouchures des fleuves.

Les différents éléments composant ce type de centrale sont :

- la membrane semi-perméable séparant les réservoirs d'eau salée et d'eau douce.
- les pompes et les conduites acheminant l'eau dans les réservoirs ;
- un échangeur de pression pressurant l'eau salée en amont ;
- une station d'épuration et des équipements de lavage des membranes permettant d'éviter leur encrassement ;
- la turbine productrice d'électricité

V.6.6 Rejet direct en mer :

V.6.6.1 Les émissaires marins :

Un émissaire marin est un long pipeline (généralement de quelques kilomètres) qui transporte les eaux usées et les diffuse loin des zones côtières par une simple ouverture à son extrémité ou par un diffuseur équipé d'orifices (un seul port, deux ports ou ports multiples)

Un diffuseur équipé de ports multiples est appelé diffuseur multiport.

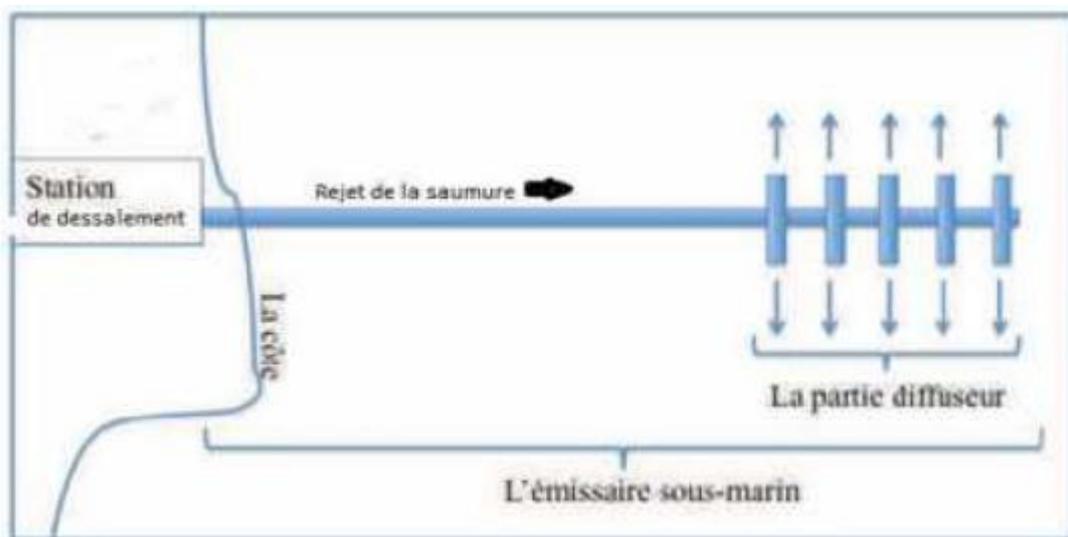


Figure V-3: Schéma d'un émissaire marin équipé d'un diffuseur multiport.

L'objectif fondamental de l'utilisation d'un émissaire marin est de garantir la dilution maximale entre le rejet et le milieu récepteur, ce qui permet de réduire l'impact environnemental du rejet sur le milieu naturel. Ce but est atteint en respectant les conditions suivantes:

- ✓ Éloigner les rejets des côtes et bien choisir la localisation du point de rejet afin de se servir de la capacité des courants marins et d'autres paramètres météorologiques pour éloigner le rejet des zones sensibles et augmenter la dilution.
- ✓ Assurer une configuration de la partie diffuseur, adaptée au terrain, y compris son orientation, son inclinaison, la distance entre les orifices ainsi que le nombre de ports dans chaque orifice et l'arrangement de ces ports.

L'émissaire marin qui satisfait à ces conditions est considéré comme émissaire efficace.

Un émissaire efficace réduit l'impact environnemental des rejets y compris l'effet sanitaire de l'usage de l'eau.

Rejets marins :

La façon la plus courante de l'élimination des déchets dans la mer est à décharger par l'intermédiaire d'émissaires immergés, qui se composent essentiellement d'un tuyau avec un ou plusieurs ports de déchargement. Le comportement initial de l'effluent rejeté dépend essentiellement de la source de certains flux (quantité de mouvement, de masse et de flottabilité), et sur l'orientation et la géométrie des ports. Plus loin, plusieurs facteurs environnementaux agiront sur le fluide libéré.

Les phases possibles d'une décharge marine sont: jet pur, plume pure et jet flottant, jusqu'à ce que la densité de la décharge et que de l'eau recevoir devient semblable, et présente les effets de stratification d'eau et les courants ambiants sur la décharge

V.7 La valorisation de la saumure à l'échelle internationale :

Une fois les sels purifiés, ils peuvent être utilisés en tant que matière première dans différents secteurs d'activité. Ils remplacent certains matériaux principalement issus de carrières, de mines ou fabriqués par des industries. Les différentes applications sont présentées dans cette partie en fonction du domaine industriel concerné.

V.7.1 Fondant routier :

L'hiver, la France consomme 0,5 à 2 millions de tonnes de sels en tant que fondant routier.

Le sel utilisé provient à 99% des mines ou des marais salants alors que certains sels industriels pourraient être aussi employés.

Le chlorure de sodium est le sel le plus utilisé pour le salage des routes de par sa disponibilité, ses critères économiques et sa viabilité pour la santé et les équipements.

Le salage des routes en France est réglementé via des normes. Ces normes précisent quels sels peuvent être utilisés et quels sont leurs critères d'acceptabilité.

V.7.2 Industrie chimique :

L'industrie chimique est un important consommateur de sel, notamment de chlorure de sodium, sulfate de sodium et carbonate de sodium. Les produits chimiques pouvant être fabriqués à partir de ces sels sont développés ci-après.

V.7.3 Matériaux de construction (gypse et CaCO_3) :

Le secteur du bâtiment utilise du gypse et du carbonate de calcium pour la fabrication des matériaux de construction. Ces deux produits proviennent de gisements naturels mais certains procédés industriels en produisent de grandes quantités

V.7.4 Production de verre (Na_2CO_3 et Na_2SO_4) :

Dans l'industrie verrière, le carbonate de sodium sert d'apport d'oxyde de sodium. Ce dernier est le fondant qui transforme par réaction chimique la silice en silicate. Le carbonate de sodium est à la fois issu de la synthèse et des carrières. Il doit être très pur. Le chlore et le fluor sont particulièrement surveillés. Les exigences de qualité liées à ce produit ne permettent pas d'utiliser du sel recyclé dont la qualité pourrait être insuffisante voire variable dans le temps.

V.7.5 Papeterie (CaCO_3 et Na_2SO_4) :

En papeterie, le carbonate de calcium est utilisé avec la pâte à papier lors du mélange. Pendant les étapes de couchage et de calandrage, il se répartit sur la surface du papier puis migre vers les parties externes de la feuille. Il permet ainsi d'obtenir un papier de bonne qualité avec un haut degré de brillance et une plus longue durée de conservation. Ce sel doit être très blanc et pur. Il est donc plus difficile de valoriser le carbonate de calcium issu du traitement d'effluents salins pour cette utilisation.

V.7.6 Agriculture (gypse, struvite, CaCO_3) :

V.7.6.1 Gypse :

Les gypses synthétiques peuvent être valorisés, selon leur qualité, en amendement ou en engrais.

Le gypse a plusieurs rôles dans le sol :

- Amélioration de la structure des sols argileux en permettant aux argiles de former un réseau de micropores à son contact,
- Echange d'ions pour désaliniser les sols sodiques,
- Correction du pH des sols acides
- Le pouvoir neutralisant du calcium est possible après dissolution du SO_4 qui est absorbé par les végétaux,

- Amélioration du drainage dans le sol,
- Rétention des métaux lourds (sulfogypse).

V.7.6.2 Engrais :

Le gypse peut servir d'engrais soufré mais cette voie de valorisation est très peu utilisée car le soufre des engrais sur le marché est plus facile d'utilisation. C'est également un réactif pour fabriquer du sulfated'ammonium .

V.8 Les retours d'expériences tout autour du monde :

V.8.1 Centrale thermique à charbon de Changxing :

Le groupe Huaneng a conçu une centrale thermique à Changxing dans la province chinoise Zhejiang. La centrale dispose d'une station d'épuration qui traite les eaux d'épuration des gaz et les purges de la tour de refroidissement. La station d'épuration ; a été basée sur le principe du zéro rejet liquide (ZLD) en réutilisant l'eau recyclée pour alimenter la chaudière. Elle intègre notamment un procédé d'osmose directe puis après le traitement elle adopte un système de centrifugation et séchage à l'air élimine l'eau résiduelle (à moins de 0,5%) et produit des cristaux à plus de 95% de NaCl et de Na₂SO₄. Ces sels sont mis en sacs et vendus aux industrieschimiques de la région.

V.8.2 Usine de teinture textile en Inde :

Les rejets polluants dans les rivières indiennes doivent être réduits pour améliorer la qualité de l'eau. Les industries générant des effluents polluants telles que les teintureries et les tanneries sont contraintes à installer des stations de type ZLD (zéro rejets liquides) .

La teinturerie de Arulpuram près de Tirupur en Inde a développé une filière de recyclage de toutes ses eaux d process supprimant les rejets dans la rivière Noyyal après le traitement des effluents La majorité de la saumure générée est traitée par résine échangeuse d'ions pour éliminer les colorants et diminuer sa dureté. L'excès de saumure est concentré dans un Evaporateur multiple-effets (MEE) puis dans un cristalliseur. Les sels obtenus sont centrifugés pour être réutilisés et la liqueur résiduelle est traitée dans un second évaporateur MEE. Le schéma complet de l'installation de traitement est présenté en Figure V.3 .

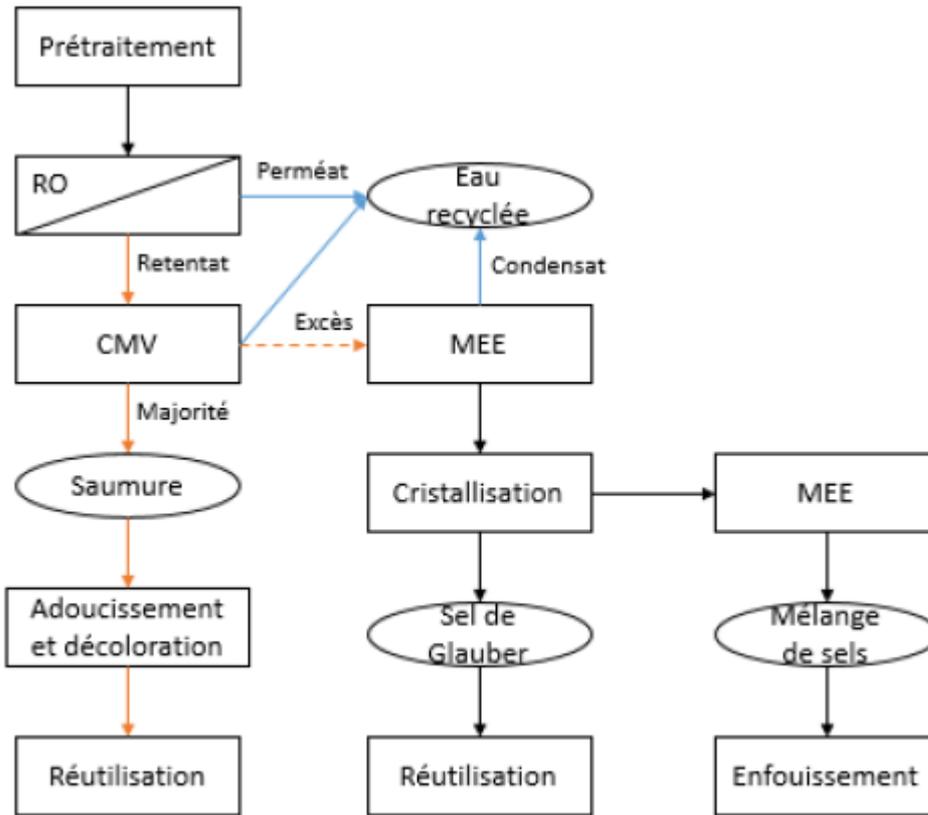


Figure V-4: Schéma de la filière de traitement .

La proportion de sel récupérée après cristallisation s’élève entre 80 et 90% du sel présent dans les effluents. Une proportion de 20 à 30% du sel est du sulfate de sodium (sel de Glauber, pureté 98,5%) dont une partie est réutilisée dans le procédé et l’autre est vendue. Le sel restant est un mélange qui est pour le moment évacué en installation de stockage des déchets, mais des recherches sont en cours pour en récupérer la fraction valorisable. Dans les nouvelles installations de teinture de l’usine, du chlorure de sodium est récupéré par nanofiltration.

V.8.3 Conserverie d’olives en Californie :

La conserverie Oberti à Madera en Californie produit des olives en conserve et de l’huile d’olive. Historiquement, les eaux usées étaient stockées dans des lagunes d’évaporation. Le durcissement des contraintes réglementaires et la présence de sels dans les eaux souterraines (stockages non suffisamment étanches) a nécessité de reconsidérer le mode de traitement des effluents.

Il a été choisi de mettre en place une station de traitement basée sur le principe de zéro rejet liquide. La saumure issue de ce traitement est utilisée pour le restockage des autres olives (elle va être réintégrée dans le processus de conservation).

V.8.4 Industrie minière Debiensko en Pologne :

Le rejet des eaux de drainage des mines a entraîné un important problème de pollution des rivières polonaise. Celles-ci ne pouvaient plus être utilisées pour les activités économiques et la production d'eau potable. Pour lutter contre ce problème, la mine de charbon Debiensko traite ses eaux de drainage avec un système de type zéro rejet liquide.

Le rétentat contenant 80 000 à 90 000 mg/L de TDS est concentrée dans un évaporateur à CMV jusqu'au point de cristallisation du NaCl. Des billes de sulfate de calcium sont mélangées à l'effluent pour servir de support cristallisation aux sels.

Cet ensemencement permet de maintenir les sels en suspension évitant ainsi leur cristallisation sur les surfaces d'échange de l'évaporateur. Les billes sont recyclées par des hydrocyclones et l'effluent concentré passe dans un clarificateur lamellaire pour retenir le sulfate de calcium en suspension.

Le distillat produit est réutilisé en intégralité, en partie dans le système de production d'énergie et de chaleur et le Le NaCl cristallisé est centrifugé puis séché. Ces sels ont une qualité et une pureté uniformes (99,5%) et sont vendus sous forme de sel de table et pour le marché de l'industrie chimique.

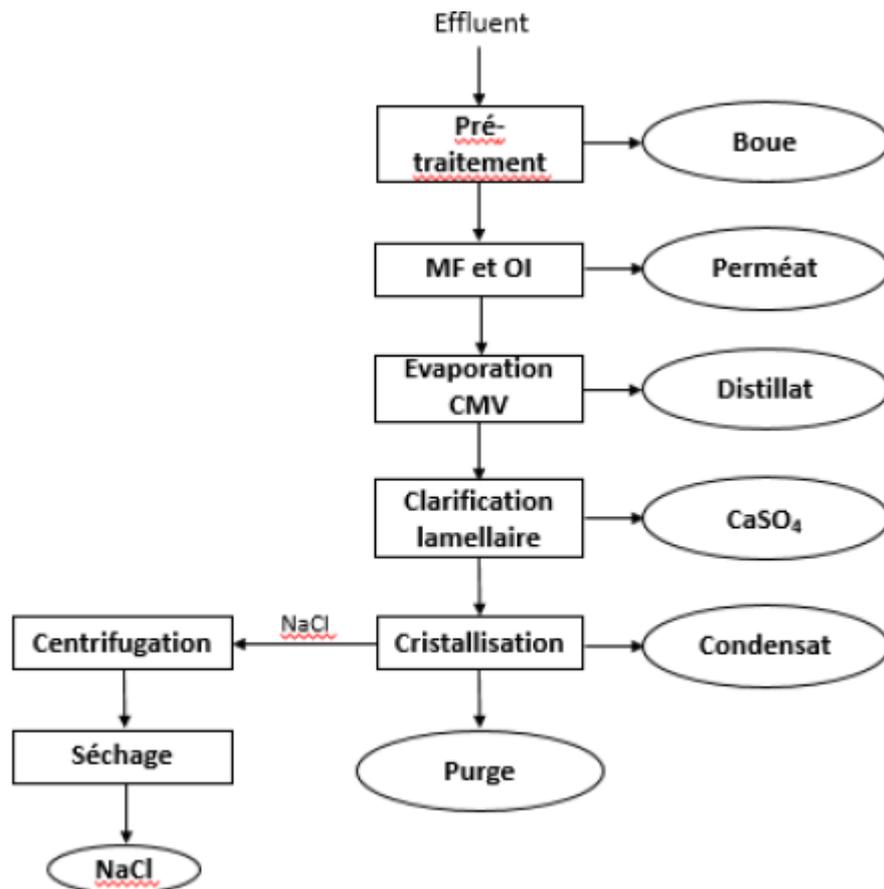


Figure V-5: Schéma de la filière de traitement de Debiensko .

Conclusion générale

Dans ce présent travail on a étudié la faisabilité de cinq techniques de gestion et de valorisation de la saumure appliquées sur la station de dessalement par osmose inverse de FOUKA et qui rejette un grand débit de saumure de 35094.33 m³/jour avec une salinité d'environ 68.84 g/l.

La dilution de la saumure avec les eaux de rejet des stations d'épurations est très motivante et qui a donné un mélange de salinité de 13.34 g/l.

Au vu que, certaines stations d'épuration sont relativement éloignées de l'usine et la construction

de tuyau jusqu'à l'usine ne serait pas envisageable et reviendrait à un coût économique très élevée, et ca nécessite une étude technico-économique approfondie.

La quantité d'eau de pluie récupérable est très faible par rapport au débit de rejet de saumure donc on a considérée que cette moyenne de dilution n'est pas envisageable.

Pour une gestion et une valorisation de saumure l'étude et le dimensionnement de marais salant a été effectué dans ce présent travail.

Etant donné que les rejets de saumure peuvent contenir des produits de corrosion (chrome, nickel, molybdène, cuivre.....) ainsi que des réactifs de prétraitements, les sels récupères sont uniquement utilisés pour le déneigement

Pour la dilution avec l'eau de mer, un débit $Q = 76172.45 \text{ m}^3/\text{j}$ donne une dilution complète de la saumure avant son rejet.

Ce débit doit être assuré par un système de pompage (station de pompage), avec un système de mélange au niveau de la station de dessalement, qui peut être considéré comme ouvrage annexe de la station.

La meilleure dilution a été observée dans les conditions moyennes de vent et de courant ($U_A = 0.1 \text{ m/s}$ et $U_W = 4 \text{ m/s}$) pour un diffuseur de 100m avec 40 ports de diamètre 0.075m qui assure une concentration d'environ 40 g/l a 3 mètre a partir du point du rejet.

En fin et comme toutes les techniques de valorisation et gestion des rejet des usines de dessalement de l'eau de mer restent couteuses et ne sont pas toujours assurées car il dépendent des paramètres naturels aléatoires (vents, vagues, courant, température,...).

nous recommandons de penser à l'installation d'un ouvrage annexe de dilution des saumures de dessalement avec l'eau de mer avant leur rejet dans le milieu marin, sans émissaire sous-marin (couteux et difficilement géré) et avec une dilution sûre et maîtrisée.

ANNEXE

Tableau -01- : Normes de potabilité

Paramètres	Unité	Norme OMS	Norme algérienne
Couleur		25 sans unité	15 mg/l
Odeur	Taux de dilution	Doit être acceptable	4 à 12°C
Saveur	Taux de dilution	Doit être acceptable	4 à 25°C
Conductivité électrique	µs/cm	2800	2800 à 25°C
Turbidité	NTU	1-2	5
Température	°c	25	25
pH	-	6.5-8.5	6.5-8.5
Résidu sec	mg/l	2000	1500
Calcium	mg/l en CaCO ₃	200	200
Magnésium	mg/l	150	150
Sodium	mg/l	200	200
Potassium	mg/l	12	12
Chlorure	mg/l	250	500
Sulfate	mg/l	400	400
Nitrate	mg/l	50	50
Nitrite	mg/l	0.1	0.2
Fer	mg/l	0.3	0.3
Cuivre	mg/l	2	2
Zinc	mg/l	1-5	5
Manganèse	µg/l	0.3	0.05
Plomb	mg/l	0.05	10

Tableau -02- : Classification des eaux selon la salinité

Type d'eau	Salinité (mg/l)
Eau douce	< 500
Eau légèrement saumâtre	1000-5000
Eau modérément saumâtre	5000-15000
Eau très saumâtre	15000-35000
Eau de mer	35000-42000

Tableau -03- : caractéristiques de perméateurs

Types de Perméateurs	type B-10	B-9	TFC-7020SS	SW30-2540
Caractéristiques et conditions opératoires	Débit de production $Q_0 = 52.99 \text{ m}^3/\text{j}$ Température $t_0 = 25 \text{ °C}$ Concentration en sel de l'eau d'alimentation $C_{F1} = 30000 \text{ mg/l en NaCl}$ Conversion $Y_1 = 30\%$ Pression de fonctionnement $P_F = 5516 \text{ Kpa}$ Taux de passage de sel $SP = 1.5 \%$	Débit de production $Q_0 = 52.99 \text{ m}^3/\text{j}$ Température $t_0 = 25 \text{ °C}$ Concentration en sel de l'eau d'alimentation $C_{F1} = 1500 \text{ mg/l en NaCl}$ Conversion $Y_1 = 75\%$ Pression de fonctionnement $P_F = 2760 \text{ Kpa}$ Taux de passage de sel $SP = 10 \%$	Débit de production $Q_p = 1.04 \text{ m}^3/\text{j}$ Température $t_0 = 25 \text{ °C}$ Concentration en sel de l'eau d'alimentation $C_{F1} = 32800 \text{ mg/l en NaCl}$ Conversion $Y_1 = 75\%$ Pression de fonctionnement $P_F = 5510 \text{ Kpa}$ Taux de passage de sel $SP = 10 \%$	Débit de production $Q_p = 1.89 \text{ m}^3/\text{j}$ Température $t_0 = 25 \text{ °C}$ Concentration en sel de l'eau d'alimentation $C_{F1} = 35000 \text{ mg/l en NaCl}$ Conversion $Y_1 = 75\%$ Pression de fonctionnement $P_F = 5510 \text{ Kpa}$ Taux de passage de sel $SP = 10 \%$

BIBLIOGRAPHIE :

- 01- ALAIN Maurel, (2001)**, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », éditions Technique & Documentation.
- 02- ALAIN Maurel, (2006)**, «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», 2^{ème}éditions, 286 P.
- 03- ARNOULT et FOURNIER, (1999)**, Dessalement de l'eau de mer.
- 04- ANNIK Bouroche et MICHELE le Bars,(1994)** ,«Techniques de séparation par membranes : vocabulaire français-anglais», P 60.
- 05- BALASUBRAMANIAN.P, (2013)**, A brief review on best available technologies for reject water (brine) management in industries, J. Environ. Sci.3 (2013) 2010–2018.
- 06- Article** : Le Journal de l'Eau et de l'Environnement et technique scientifique Revue semestrielle
- 07- Contrat EPC**, Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka, 2005.
- 08- BENMOUSSAT. A, AMARA. S, (2007)**, «*Etude sur la distillation thermo –solaire à simple effet, site d'Adrar*, Proceedings ICRESD_07, Tlemcen, May», 108p, Vol.I 2
- 09- Usine de dessalement de Fouka-Algérie**. Project Number: 0172543000-45ED-3-0001_R08 Acciona.
- 10- National Eau et Environnement (NEE)**, étude d'impact sur l'environnement de la réalisation et l'exploitation de l'usine de dessalement d'eau de mer de FOUKA.
- 11- BLENINGER .T, .JIRKA.G.H, (2010)**, « Environmental Planning, Prediction and Management of Brine Discharges from Desalination Plants, Final report, MEDREC Project:07-AS-003, Muscat, Sultanate of Oman»
- 12- BUSHNAK.A, (2012)**, «Évaluation des meilleures technologies disponibles pour le dessalement en zones rurales/locales. Rapport final, Gestion Intégrée Durable de l'Eau – Mécanisme de Soutien (SWIM - SM) »
- 13- CHEKROUD Med Rida, (2014)**, « Etude des performances de la station de dessalement de la wilaya de Skikda », Thèse d'ingénieur d'état
- 14- Centre de développement des énergies renouvelables (CDER)**, 2009
- 15-Farid TATA-DUCRU** «Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes» Janvier 2009
- 16-Viviane Renaudin**, «le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres».CNRS, Nancy, article 2003

- 17-** http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0607/beiere/1/html/projet_dessalement2.html.
- 18- Youssef Mandri** «Etude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide» ; mémoire de doctorat ; université de lyon 1 ; 2011.
- 19-** <http://www.lenntech.fr/.htm>
- 20-Bilel FATHALLI** ; «influence des paramètres opératoires sur les performances d'un système de dessalement par osmose inverse» ; Ecole Nationale des Ingénieurs de Tunis ;2010/2011
- 21-BANDELIER Philippe** ;«Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres» ; Article:
121 janv-2017.
- 22- Alain .MAUREL.** «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», édition technique et documentation. 2006.
- 23-TRIKI Zakaria** ; «Études, Analyses et Optimisation de la Consommation Énergétique des Unités de Dessalement pour les Sites Isolés » mémoire de Doctorat ; Université Constantine1 ; 2014.
- 24-SÉVERINE – PLANTIER** ; « procédé de prétraitement d'eau de mer avant osmose inverse en présence d'efflorescences algales » mémoire de doctorat ; Université de Nantes ;2013.
- 25-Mme. CHENAOUI BAKHTA** ; Chargé de cours. Département d'hydraulique. Université de CHLEF ; «Dessalement de l'eau de mer à la station de MAINIS et son impact sur l'environnement».
- 26-Cours Thématique sur le dessalement d'eau** ; bonnes pratiques d'ingénierie pour le dessalement d'eau ; avril 2013
- 27-J.Schipper** ; « Environmental impact from desalination plants – Pollution of the sea » ; WHO cours, Desalination March 2000
- 28-C.le Guern,P.la chassagne** ;« dessalement et recharge artificielle: synthèse technoéconomique» rapport final mars 2003
- 29-Technical Manual** ; dow water solution, FILMTEC N° 1 Reverse Osmosis Membranes, document interne de CDJ, 2012.
- 30-film tec manuel membranaires N°2** / Document interne de CDJ
- 31-service de formation professionnelle** , Document interne de CDJ 2012
- 32-N. NOUREDDINE et N. HASSINI** ; Impact environnemental de la station de dessalement de Brédéah (Algérie) : entre le légal et le réel .
- 33-C. Vanhems**, « Critical Review of Desalination Concentrate Disposal to Surface Water »,

USA, 1992. (after UNEP, 2001)

34-<http://animal.memozee.com/view.php?tid=3&did=11552>

35-J.Jaime Sadhwani,Jose M.Veza, Carmelo Santana ; « Case studies on environmental impact of seawater Desalination » ; Desalination Vol.185,(2005)

36-Pilar Palomar and Iñigo. J. Losada ; « Impacts of Brine Discharge on the Marine Environment. Modelling as a Predictive Tool » ; Environmental Hydraulics Institute “IH Cantabria”, (Universidad de Cantabria) Spain 2011 ;

37-Réunion des coordonnateurs nationaux ; « dessalement de l’eau de mer dans les pays méditerranéens : Évaluation des impacts sur l’environnement et Lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure » ; Venise, Italie, 28-31 mai 2001 ;

38-Rachid Miri, Abdelwahab Chouikhi ; « Ecotoxicological marine impacts from seawater desalination plants » ; Desalination, Vol. 182, 2005 ;

39-http://www.ecotoxicologie.fr/notions_bases.php;

40-« Amélioration de la gestion de l'eau sur le site de l'INP» BEI 2010 2011 Toulouse Labège;