

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES
DEPARTEMENT DE GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



En vue de l'obtention du diplôme
De *MASTER en GENIE DES PROCÉDES*

Option : *Traitement des eaux*

Thème

**Gestion de la saumure de dessalement- cas de la
station de Cap-Djinet-(W)-Boumerdes**

Soutenu le : Juin 2017

Jury de soutenance :

par : KAMECHE Hamza

MADANI Khaled

Président : El. Nouri

Professeur UMBB

Promoteur : M. Amitouche

MCB UMBB

Examineur : H. Balloul

MAA UMBB

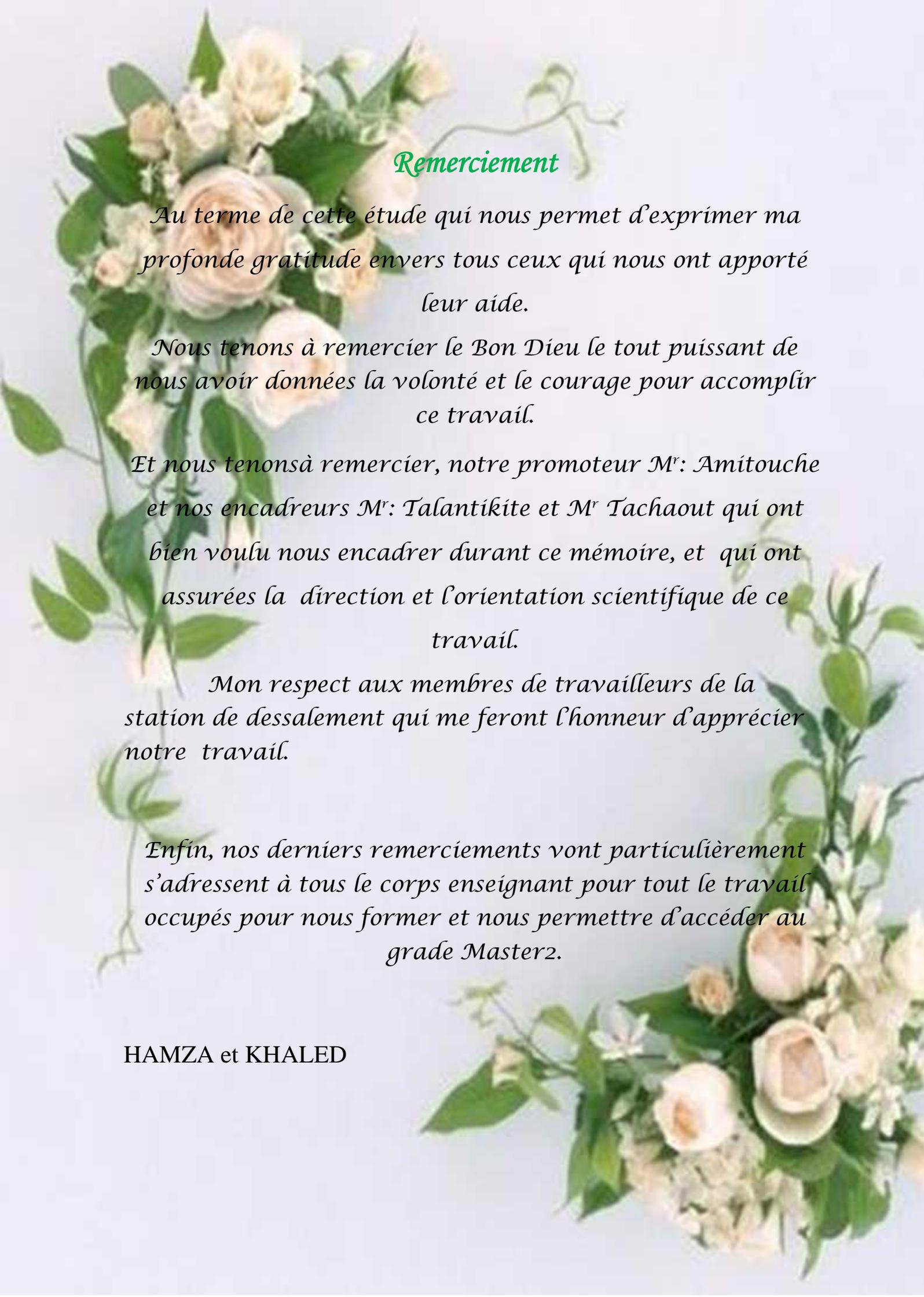
Examineur : A. Asselah

MCB UMBB

Co-promoteur : S. Talantikite

Ingénieur de laboratoire (CDJ)

Année universitaire 2016/2017



Remerciement

Au terme de cette étude qui nous permet d'exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui nous ont apporté leur aide.

Nous tenons à remercier le Bon Dieu le tout puissant de nous avoir données la volonté et le courage pour accomplir ce travail.

Et nous tenons à remercier, notre promoteur M^r: Amitouche et nos encadreur M^r: Talantikite et M^r Tachaout qui ont bien voulu nous encadrer durant ce mémoire, et qui ont assurées la direction et l'orientation scientifique de ce travail.

Mon respect aux membres de travailleurs de la station de dessalement qui me feront l'honneur d'apprécier notre travail.

Enfin, nos derniers remerciements vont particulièrement s'adressent à tous le corps enseignant pour tout le travail occupés pour nous former et nous permettre d'accéder au grade Master2.

HAMZA et KHALED



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 : **DIEUX**.*

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

*A mes **grands-parents**, que dieux les protège et les garde pour nous.*

*A mon chers frère : **ABDOU, et mes sœurs Amina et Hafsa** .
A leurs patiences, pour leur soutien moral et leurs sacrifices le long de mes études.*

A mon ami, mon binôme M.KHALED et sa famille ; je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur et de réussite.

A tous les membres de ma famille, petits et grands, veuillez trouver dans ce modeste travail l'expression de mon affection.

A mes chères amis fethi,selmane,zoubir,hafid, et à tous les étudiants de MTE15 et MGEV15.

A Mr AMITOUCHE

Un remerciement particulier et sincère pour vos efforts fournis. Vous avez toujours été présente. Que ce travail soit un témoignage de ma gratitude et mon profond respect.

KAMECHE HAMZA



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

a

Mon père pour son courage, patience et son grand sacrifice.

Mes frères Et Mes sœurs

Toute la famille MADANI.

Mon binome Kameche hamza

Ainsi que mes amis (es) : Zoubir, Selmane, Sidali Makhlouf et tous

ceux qui m'ont donné leur aide pour la réalisation

De ce travail.

KHALED

بعد تحلية مياه ، محطات التحلية تنتج من الجهة المقابلة المحلول المحلى الذي بدوره يحتوي على أملاح معادن ثقيلة ومركبات عضوية هذا المحلول ملوحته مرتين أكبر من الملوحة العادية لماء البحر (بين 50 / 80) حاليا صرف (رمي) هذا المحلول الملحي يتم تخفيفه بسرعة في الماء البحر وليس له تأثيرات خطيرة على البيئة صرف هذا المحلول بكمية كبيرة على المدى البعيد يمكن أن يعطي عدم توازن في المكونات الكيميائية لماء البحر وتأثيرات خطيرة على الوسط البحري والحياة البحرية فيما يخص نباتات أو حيو .
عملنا هذا هو دراسة وتحسين تسيير النفايات السائلة لتحلية مياه البحر (المحلول) من أجل التخفيف من التأثيرات السلبية لمحطات التحلية على البيئة في البداية قمنا بإعطاء صورة شاملة حول أساليب التحلية

الثاني يعطي مكونات وتأثيرات هذه النفايات على الوسط البحري حسب البحوث المنجزة والمنشورة عالميا مع من التحاليل الكيميائية، الفيزيائية لماء البحر وللمحلول الملحي لمحطة كاب جنات. الجزء الثالث يشرح والتقنيات لتثمين وتسيير المحلول الملحي الناتج عن تحلية مياه البحر مع تطبيقها على محطة دراستنا. ثم cormix على عدة سيناريوهات لمد .
دقيق حول التصميم الرياضي والتمثيل
9.0GT

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 80 g/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. Une seconde partie présente selon la littérature la composition et les impacts de ces déchets (rejets) sur le milieu récepteur (milieu marin) avec une série d'analyses physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure de la station de dessalement de Cap Djinet Une troisième partie présente les différents moyens et techniques de valorisation et de gestion des saumures appliquées à notre station d'étude .Puis une présentation d'une synthèse détaillée sur la modélisation de la propagation des rejet dans un milieu marin, et une simulation avec le code CORMIX9.0GT pour plusieurs scénarios pour le cas de la station Cap Djinet

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, desalination, in Algeria, its different processes and all liquid wastes emitted are inventoried in this present work. The second part presents the composition according to the literature and the impacts of such wastes (waste) on the receiving environment (marine) with a series of physical-chemical analyses of seawater and brine of Cap Djinet desalination station. A third part presents the various means and technologies for brine management applied to our research station. Then a presentation of a detailed summary on the modeling of the spread of discharge in a marine environment, and a simulation with CORMIX9.0GT code for several scenarios for the case of the CDJ Cap Djinet station

SOMMAIRE

Liste des tableaux.

Liste des figures.

Liste d'abréviation.

Introduction Générale..... 01

Chapitre I : Ressources en eau et dessalement en Algérie

I.1. Introduction	02
I.2. La situation de l'eau en Algérie	02
I.2.1. Les ressource en eau	02
I.2.2. Les potentialités globales en eau.....	02
I.2.3. Capacités de mobilisation	03
I.2.4. L'Utilisation de l'eau par secteur	04
I.2.5. Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie	05
I.2.5.1. Les problèmes lies au changement climatique	06
I.2.5.2. Les problèmes techniques.....	06
I.2.6. Constat sur la situation en ressources hydriques.....	07
I.3. Le recours au dessalement d'eau de mer	07
I.3.1. Définition du dessalement de l'eau de mer	08
I.3.2. Historique du dessalement en Algérie.....	08
I.3.3. La capacité installée	09
I.3.3.1. Les grandes stations.....	10
I.3.3.2. Les stations monoblocs	10
I.3.4. Les avantages et les inconvénients de dessalement en Algérie.....	11
I.3.5. Aboutissement du dessalement dans le pays.....	12
I.3.6. Soulagement de la demande en eau.....	13
I.4. Conclusion	13

Chapitre II : Les différents procédés de dessalement

II.1. Introduction	15
II.2. Les principales technologies de dessalement des eaux de mer.....	15
II.2.1. Procèdes par distillation.....	17
II.2.1.1. Distillation à simple effet	17

II.2.1.2.	Distillation à multiples effets (MED)	17
II.2.1.3.	Distillation à détente étagées ou multi flash (MSF)	18
II.2.1.4.	distillations par compression de vapeur	19
II.2.2.	Les procédés membranaires.....	19
II.2.2.1.	L'électrodialyse	20
II.2.2.2.	Procédé d'osmose inverse	21
II .2.2.2.1.	Descriptions et définition.....	21
II .2.2.2.2.	Principe de l'osmose inverse.....	23
II .2.2.2.3.	la pression osmotique.....	24
II .2.2.2.4.	Schéma générale d'une installation d'osmose inverse	24
II .2.2.2.5.	Paramètres de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse	25
II .2.2.2.6.	Système de prétraitement	26
II .2.2.2.6.1.	chloration	26
II .2.2.2.6.2.	Coagulation/Floculation.....	26
II .2.2.2.6.3.	Sédimentation.....	27
II .2.2.2.6.4.	la filtration sur sable	27
II .2.2.2.6.5.	Prévention de l'entartrage	27
II .2.2.2.6.6.	la Dé chloration	27
II .2.2.2.6.7.	Filtration de sécurité sur cartouches	28
II .2.2.2.7.	moyens d'élimination des dépôts	28
II .2.2.2.8.	système de récupération d'énergie	29
II .2.2.2.9.	Système de post-traitement	30
II .2.2.2.10.	les avantages est les inconvénients des procédés par osmose inverse...	31
II.2.3.	Autres procédés.....	32
II.2.3.1.	La congélation.....	32
II.2.3.2.	Le dessalement par énergie solaire et éolienne	32
II.3.	Les ajouts chimiques dans une station de dessalement	32
II.3.1.	les Coagulants	32
II.3.2.	Agents antitartre	33
II.3.3.	Agents antisalissure	33
II.3.4.	Agents anti mousses	33
II.4.	Qualité de l'eau produite	33
II.4.1.	Par distillation	33
II.4.2.	Par les procédés a membranes	34
II.5.	Les coûts du dessalement.....	34

Chapitre III : Analyse et interprétation des résultats

III.1.	Introduction	35
III.2.	Présentation de la station de dessalement de «Cap -Djinet»	35
III.2.1.	La situation de l'usine de dessalement « Cap-Djinet ».....	35
III.2.2.	L'usine de dessalement « Cap- Djinet »	36
III.2.3.	Les activités de la station	36
III.2.4.	Les différentes étapes de l'usine de dessalement	37
III.3.	Analyses et interprétations	46
III.3.1	Mode de prélèvement	46
III.3.2	Analyses physico-chimiques de l'eau de mer	46
III.3.3	Les résultats des analyses physico-chimiques de la saumure	48
III.3.4	Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée	50
III.4.	Quantification des différents éléments chimiques dans la saumure	53
III.5.	L'impact de dessalement sur l'environnement	56
III.5.1	La pollution de la saumure.....	56
III.5.1.1	Composition de la saumure.....	57
III.5.1.2	Dispersion des sels concentrés	57
III.5.2	L'impacts Négatives de dessalement	58
III.5.2.1	impact sur l'environnement marin en raison de renvoyer la saumure concentrée à la mer	58
III.5.2.2.	Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés	59
III.5.2.3.	Impacts marins éco toxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer	61
III.5.2.4.	Impact de salinité	62

Chapitre IV :

IV .1.	Introduction.....	65
IV .2.	Gestion de la saumure des usines de dessalement	65
IV .2.1.	Dilution de la saumure	65
IV .2.1.1.	Dilution avec un effluent de stations d'épuration.....	65
IV .2.1.2.	Dilution de la saumure avec l'eau de pluie.....	66
IV .2.1.3.	La dilution de la saumure avec l'eau de mer	68
IV .2.2.	L'évaporation de la saumure (marais salants).....	69
IV .2.2.1.	Généralités sur les marais salants.....	69
IV .2.2.2.	les facteurs favorisant l'évaporation	71

IV .2.2.3.	Surface nécessaire des marais salants.....	71
IV .2.3.	L'injection dans les puits profonds.....	73
IV .2.4.	Production d'électricité par l'énergie osmotique	74
IV .2.4.1.	Définition.....	74
IV .2.4.2	Principe de l'osmose.....	74
IV .2.4.3.	Application à la production d'électricité.....	75
IV .2.5.	Rejet direct en mer.....	76
IV .2.5.1.	Les émissaires marins.....	76
IV .2.5.2.	Rejets marins.....	78
IV .2.5.3.	Simulation des rejets de saumure de la station de Cap Djinet	79
IV .2.5.3.1.	Description du modèle CORMIX	79
IV .2.5.3.2.	Paramètres de simulation	79
IV .2.5.3.3 .	Résultats de simulation.....	81
Conclusion Générale		88
Référence bibliographie.....		89
Annexes		

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : La ressource en eau dans les cinq régions hydrographiques.....	02
Tableau I.2 : Liste des grands barrages en Algérie.....	03
Tableau I.3 : Répartition de la consommation des eaux par secteur d'activités (Mm ³).....	05
Tableau I.4 : Différentes installations existants en Algérie.....	09
Tableau I.5 : Les stations «monobloc »en Algérie.....	10
Tableau I.6 Les grandes stations en Algérie.....	11

Chapitre II

Tableau II.1 : les technologies communes de dessalement	15
Tableau II.2 : prétraitement sur eau de mer avant osmose inverse.....	28
Tableau II.3 : Les produits utilisés pour le nettoyage des membranes.....	29

Chapitre III

Tableau III.1 : Les différentes étapes de dessalement de l'eau de mer au niveau de l'usine de «Cap-Djinet».....	41
Tableau III.2 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer.....	46
Tableau III.3 : Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure.....	48
Tableau III.4 : Les Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée.....	50
Tableau III.5 : La quantité de saumure rejetée dans une durée d'une année à l'usine de dessalement CDJ.....	53
Tableau III.6 : Comparaison quantitative de la composition de l'eau de mer, l'eau traitée et de la saumure.....	54
Tableau III.7 : Les quantités des différents éléments chimiques rejetées par la station de dessalement de cap-djinet.....	55
Tableau III.8 : Résumé des phases de traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement.....	60
Tableau III.9 : Les limites de la salinité pour différents écosystèmes et espèces présentes en Méditerranée.....	63

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Les débits des 3 stations d'épurations utilisées.....	66
Tableau IV.2 : Coefficient de perte du matériau de toiture.....	67
Tableau IV.3 : Volumes mensuels récupérables.....	67
Tableau IV.4 : Rôle et concentration en sortie de chaque bassin.....	70
Tableau IV.5 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures (ONM)Période : 1994-2008 .	72
Tableau IV.6 : Moyennes mensuelles et annuelle de la vitesse des vents Période : 1994-2008 ONM	72
Tableau IV.7 : Moyennes mensuelle et annuelles d'humidité (ONM).....	72
Tableau IV.8 : Paramètres du l'eau de mer.....	79

Liste des tableaux

Tableau IV.9 : Paramètres du la saumure.....	80
Tableau IV.10 : Données concernant l'émissaire.....	80

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : Répartition des barrages en exploitation dans le nord algérien.....	04
Figure I.2 : consommation des eaux en milliard de m ³	05
Figure I.3 : la situation géographique des stations de dessalement en Algérie.....	14

Chapitre II

Figure II.1: Procèdes industrialisés de dessalement.....	16
Figure II.2 : Schéma générale d'une station de dessalement.....	16
Figure II.3 : Distillation à simple effet.....	17
Figure II.4 : Schéma de principe d'un système Distillation à multiples effets (MED).....	18
Figure II.5 : principe de fonctionnement d'un système.....	19
Figure II.6: Principe de distillation à compression de vapeur.....	19
Figure II.7: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.....	20
Figure II.8: Principe de fonctionnement de la membrane	21
Figure II.9 : Représentation d'un module spirale.....	23
Figure II.10 : Principe de l'osmose inverse	23
Figure II.11 : Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse.....	25
Figure II.12 : Récupération de l'énergie du concentrât par turbin Pelton.....	30
Figure II.13 : Récupération de l'énergie par des échangeurs de pression.....	30

Chapitre III

Figure III.1 : Localisation géographiques de la zone d'étude.....	35
Figure III.2 : Les modules d'osmose inverses.....	37
Figure III.3 : Captage d'eau de mer.....	37
Figure III.4: Stockage des produits chimiques.....	38
Figure III.5 : Zone des filtres.....	38
Figure III.6 : La conduite de saumure vers la mer.....	39
Figure III.7: L'eau produite vers distribution.....	39
Figure III.8 : Schéma générale de la station de dessalement de Cap-Djanet.....	40
Figure III.9 : Concentration des déférents éléments chimiques dans l'eau de mer	47
Figure III.10 : Comparaison des déférents composants de l'eau de mer et de la saumure.....	49
Figure III.11 : L'évolution du volume de la saumure pendant une année.....	54

Liste des figures

Figure III.12 : Rejet de l'usine de dessalement d'eau de mer d'Al-Doha, Koweït.....	57
Figure III.13 : Décharge sous marin de la saumure proche de la plage de Maspalomas (Iles canaries).....	59
Figure III.14 : Herbier de posidonies de Méditerranée (<i>Posidonia oceanica</i>).....	63
Figure III.15 : Mussels de la méditerrané	64
Figure III.16 : <i>Caulerpa prolifera</i> de la Méditerrané	64
 Chapitre IV	
Figure IV.1 : Etapes de fonctionnement d'un marais salant.....	69
Figure IV.2 : Schéma de L'injection dans les puits profonds	74
Figure IV.3 : Principe de l'osmose.....	75
Figure IV.4 : Modèle de fonctionnement du prototype de central osmotique de Tofte	76
Figure IV.5 : Schéma d'un émissaire marin équipé d'un diffuseur multiport.....	76
Figure IV.6 : Comparaison de deux systèmes de rejet et leurs impacts sur le milieu récepteur exprimés par la fréquence de dépassement des normes de qualité de l'eau de baignade. À gauche : émissaire court. À droite : émissaire efficace multiport.....	77
Figure IV.7 : La répartition des champs issus des rejets en mer.....	78
Figure IV.8 : Interface de CORMIX.....	80
Figure IV.9 : Graphiques des concentrations (a) et dilutions (b) et en fonction de la distance	81
Figure IV.10 : Graphiques des concentrations (a) et dilutions (b) et en fonction de la distance	82
Figure IV.11 : Graphiques des concentrations (a) et dilutions (b) et en fonction de la distance.....	83
Figure IV.12 : Graphiques des concentrations (a) et dilutions (b) et en fonction de la distance	84
Figure IV.13 : Graphiques des concentrations (a) et dilutions (b) et en fonction de la distance	85
Figure IV.14 : Profil vertical du centre du panache.....	86

Liste des figures

Liste d'abréviation

ADE	Algérienne des eau
OI	Osmose inverse
MSF	Multi-stage-flash distillation
MED	Multi-effet-distillation
VCD	Distillation par compression de vapeur
TDS	Solides dissous totaux
NA	Norme algérienne
CDJ	Cap-djinet
Y	Taux de conversion
Q_p	Débit de perméat
Q₀	Débit d'alimentation
TR	La sélectivité d'une membrane
C₀	Concentration de l'espèce a retenir dans la solution
C_p	Concentration de l'espèce a retenir dans le perméat
Je	Densité de flux volumique
S	La surface de la membrane.
ONM	Office national de météorologie
Psem	Pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée
NTU	Nephelometric turbidity <i>unit</i>
MTD	Matière totale dissout
PPM	Partie par million
Psu	Practical Salinity Unit
CORMIX	Modèle de simulation spécialisé (Cornel Mixing Zone Expert System).
dilution	Taux de dilution

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 Cap Djinet. Une troisième partie présente les différents moyens et techniques de valorisation et de gestion des saumures appliquées à notre station d'étude.

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 (Psem). En Algérie, plusieurs facteurs peuvent expliquer la situation de stress hydrique. [1]

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. [2]

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).[3]

Tableau I.1 : La ressource en eau dans les cinq régions hydrographiques [4]

Régions hydrographiques	Eaux superficielles	Eaux Souterraines	Total de la ressource
Oranie - Chott Chergui	1 milliard de m ³	0.6 milliard de m ³	1.6 milliard de m ³
Cheliff - Zahrez	1.5 milliard de m ³	0.33 milliard de m ³	1.83 milliard de m ³
Algérois - Hodna – Soummam	3.4 milliard de m ³	0.74 milliard de m ³	4.14 milliard de m ³
Constantinois - Seybouse - Mellegue	3.7 milliard de m ³	0.43 milliard de m ³	4.43 milliard de m ³
Sahara	0.2 milliard de m ³	5 milliard de m ³	(il s'agit de la nappe albiennne)

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 [3]

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 :

- 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. [3]

Tableau I.2 : Liste des grands barrages en Algérie. [5]

N°	Barrage	Wilaya	Date de la mise en eau	Capacité initiale Mm ³	N°	Barrage	Wilaya	Date de la mise en eau	Capacité initiale Mm ³
01	Souani	Tlemcen	2005	47	30	Keddara	Boumerdes	1985	145
02	Bouhrara	Tlemcen	1999	175	31	B.Amrane	Boumerdes	1988	16
03	Beni bahdel	Tlemcen	1952	63	32	Lekhal	Bouira	1985	30
04	Mefrouch	Tlemcen	1963	15	33	Ksob	Msila	1977	30
05	Sidi Abdeli	Tlemcen	1988	110	34	Tisedit	Bouira	2205	167
06	Sarno	S.Belabes	1954	22	35	Taksebt	Tiziouzou	2001	175
07	Ouizert	Mascara	1986	100	36	Ain Zada	B.Bareridj	1986	125
08	Bouhanifia	Mascara	1948	73	37	Lghil Emda	Béjaia	1953	155
09	Fergoug	Mascara	1970	18	38	Erraguene	Jijel	1961	200
10	Cheurfas II	Mascara	1992	82	39	El Agrem	Jijel	2002	34
11	SM Benaouda	Relizane	1978	235	40	Beni Hroun	Mila	2004	960
12	Bakhada	Tiaret	1963	56	41	H.Grouz	costantine	1987	45
13	Dahmouni	Tiaret	1987	41	42	Beni Zid	Skikda	1993	40
14	Merdja	Relizane	1984	55	43	Guenitra	Skikda	1984	125
15	Gargar	Relizane	1988	450	44	Zardezas	Skikda	1977	27
16	Sidi Yakoub	Chlef	1985	280	45	Zit emba	skikda	2001	117
17	Bouguera	Tissemsilt	1989	13	46	H.debagh	Guelma	1987	200
18	Kouidat Rasfa	Tissemsilt	2004	75	47	Ouedcherf	o. bouaghi	1995	157
19	Oued Fodda	Chlef	1932	228	48	Ain dalia	Souk ahras	1987	82

20	Oued Melouk	Ain Defla	2004	127	49	Chafia	El taref	1965	171
21	Harreza	Ain Defla	1984	70	50	Mexa	El taref	1998	47
22	Deurdeur	Ain Defla	1984	115	51	K.medaoar	batna	2004	69
23	Ghrib	Ain Dafla	1939	280	52	F. el gueiss	Khenchla	1939	3
24	Boughezoul	Médéa	1934	55	53	Babar	Khenchla	1995	41
25	Boukourdane	Tipaza	1992	97	54	F. gherza	Biskra	1950	47
26	Meurad	Tipaza	1860	1	55	F.gazelles	Biskra	2000	55
27	Bouroumi	Blida	1985	188	56	Brezma	El bayadh	2000	122
28	Ladtrat	Médéa	1989	10	57	Djorf torba	Bechar	1969	350
29	Hamiz	Boumerdes	1935	21					

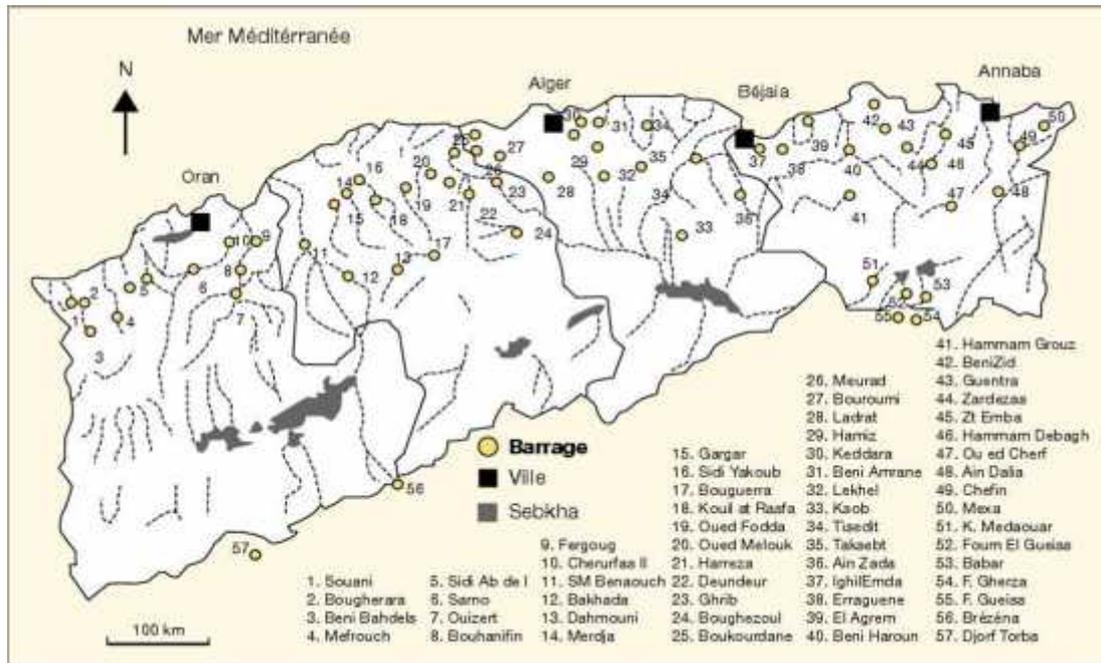


Figure I.1 : Répartition des barrages en exploitation dans le nord algérien. [5]

- L'exploitation des eaux souterraines atteint actuellement 1.6 milliards de m³ par forages et 85 millions de m³ par foggaras.
- 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.[3]

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. [6]

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.

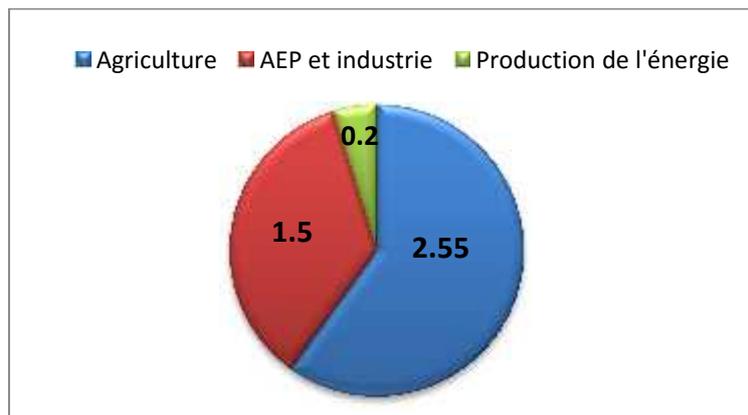


Figure I.2 : consommation des eaux en milliard de m³

Tableau I.3 : Répartition de la consommation des eaux par secteur d'activités (Mm³) [7]

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.

Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025.[6]

I.2.5.1. Les problèmes liés au changement climatique :

a.) 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 .[6]

b.) 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.[6]

I 2.5.2. Les problèmes techniques :

a.) 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.

b.) 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. De plus, la plupart des barrages sont soumis à une perte de capacité due essentiellement à trois phénomènes à savoir : les fuites d'eau, l'envasement et

l'évaporation.

c.) 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 :

- **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 ;
- **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 ;
- **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. [6]

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 1 200 km de côtes, a mis en œuvre 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.3.1. Définition du dessalement de l'eau de mer :

Le dessalement s'appelle aussi désalinisation ou plus rarement dessalage. Il consiste à séparer l'eau et les sels à partir d'une eau brute, qui peut être de l'eau de mer ou une eau saumâtre d'origine continentale. [8]

I.3.2. Historique du dessalement en Algérie :

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est étroitement liée au développement de l'industrie, tout particulièrement de l'industrie pétrolière et sidérurgique. Le recours au dessalement en vue d'un usage destiné exclusivement à l'alimentation de la population en eau potable est quasi-inexistant.

Une seule expérience a été tentée dans une situation où il n'existait aucune autre solution.

Il s'agit de l'unité de déminéralisation d'Ouled Djellaba, dans la wilaya de Biskra (sud-est algérien).

En 1964, trois petits blocs de 8 m³/h chacun ont été installés au complexe Gaz liquéfié d'Arzew (ville côtière à l'ouest du pays). Le procédé utilisé est la distillation à multiple effet «**Multi effet distillation, MED**».

En 1969, une autre installation a vu le jour à Arzew avec une capacité de production de 4560 m³/j. Le procédé utilisé est le multi stage flash - MSF.

D'autres installations ont été mises en exploitation pour les besoins en eau de haute pureté nécessaire au processus des complexes de production de l'électricité (Cap Djinet à l'Est d'Alger) et l'industrie de liquéfaction (Arzew et Skikda). Il y a également quelques installations qui sont destinées, principalement dans le sud, à fournir de l'eau de qualité pour la consommation humaine dans les bases pétrolières. [2]

Tableau I.4 : Différentes installations existantes en Algérie [2]

Sites	Nombre d'unités	Débit (m ³ /j)	Procédé	Mise en service
Skikda	1	1440	Flash	1971
Skikda	2	720	Flash	1971
Skikda	-	1440	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	2	960	Echangeurs d'ions	1971
Annaba	2	3600	Echangeurs d'ions	1973
Ghazaouet	1	840	Echangeurs d'ions	1974
Arzew	6	3888	électrodialyse	1975
Arzew	-	960	Echangeurs d'ions	1975
Hassi messaoud	6	1000	électrodialyse	1975
Hassi messaoud	2	110	Electrodialyse	1976
Hassi touil	1	55	Electrodialyse	1977
Arzew	1	350	Thermo compression	1978
Annaba	3	14180	Multi flash	1978
Hassi messaoud	2	350	Electrodialyse	1978
Bel abbas	-	1500	Echangeurs d'ions	1978
Haoud berkaoui	1	55	Electrodialyse	1979
Hassi messaoud	2	300	Electrodialyse	1979
Rhoud el bague	1	25	Electrodialyse	1979
Arzew	1	960	Multi flash (5etages)	1979
Annaba	2	144	Echangeurs d'ions	1979
Annaba	2	576	Echangeurs d'ions	1979
Hassi rmel	3	792	Osmose inverse	1979
Annaba	2	6240	Echangeurs d'ions	1980
Ghardaia	-	960	Osmose inverse	1980
Arzew	1	960	Multi flash (6etages)	1980
Mostaghanem	-	57600	Osmose inverse (6lignes)	1980
Rhoud el bague	1	300	Electrodialyse	1981
Biskra	2	864	Osmose inverse	1981
Annaba	-	1800	Echangeurs d'ions	1981

I.3.3. La capacité installée :

L'expérience algérienne dans le dessalement remonte aux années 60. La première installation a été implantée à Hassi Messaoud pour le traitement des eaux saumâtres par la SONATRACH. Vers le milieu des années 70, on avait prévu de réaliser une centrale électrique à Marsat El-Hadjadj, près d'Arzew, utilisée pour alimenter une usine de dessalement de 800 m³/j soit près de 30 millions de m³/an. Cette eau devrait subvenir aux

besoins des unités de la zone industrielle d'ARZEW (ZIA).

Actuellement, 23 stations « monobloc » d'une capacité totale de 57500 m³/j sont installées presque dans toutes les wilayas de la région côtière.

Une dizaine de grosses unités de plus de 50000 m³/j sont installées dans les grandes villes (Hamma 200000 m³/j Arzew 90000m³/j . Le site le plus important est celui de Hamma. il s'agit de la plus grosse unité de dessalement en Afrique par procédé d'osmose inverse, mise en fonction en février 2008 et qui répond à 25% des besoins domestiques en eau de la capitale. D'autres stations sont en cours de réalisation (Jijel 50000 m³/j, El. Kala 50000m³/j. Ain Timouchent 150000m³/j, Annaba 100000m³/j). [9]

I.3.3.1. Les grandes stations : [10]

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.

I.3.3.2. Les stations monoblocs : [10]

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 I.5 : Les stations «monobloc »en Algérie [6]

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

Tigzirt	Tizi ousou	2500
Bateau casse	Alger	2500
Cap caxine	Alger	2500
Corso	Boumerdes	5000
Les dunes	Oran	5000
Bateau casse 2	Alger	2500
Ain benian 3	Alger	2500

Tableau I.6 : Les grandes stations en Algérie [6]

Nom	wilaya	Année de mise en service	Capacité (m³/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 djetet	Boumerdes	2010	100 000
Mactaa	Oran	2015	500 000
Oud sebt	Tipaza	2010	100 000
Ténès	Chelef	2010	200 000
Echatt	Taref	2011	50 000
TOTAL			226 0000

Depuis 2005, 12 stations ont été réalisées suivant la formule BOO (Build, Own, Operate), ou conception, réalisation et exploitation de l'usine elle sont à la charge de l'investisseur privé étranger pendant le temps de la concession accordée par l'Etat, et sont en service. La construction de 33 nouvelles autres stations est programmée à l'horizon 2019.

I.3.4. 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).
- Une importante demande en eau se situe à proximité de la côte ce qui réduit davantage les prix de revient d'eau.

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. [9] 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 inconvénients :

- 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. [9]

I.3.5. Aboutissement du dessalement dans le pays :

L'implantation d'usine de dessalement, selon la démarche utilisée par l'Algérien Energy Company, 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 ;
- Participation à l'absorption du déficit en eau au niveau national ;
- Libérer les quantités d'eau utilisées par la population et l'industrie à l'agriculture, ce qui nous permettra d'améliorer les rendements et par voie de conséquence,

l'autosuffisance alimentaire ;

- Création d'emplois pendant la réalisation et pendant l'exploitation de ces usines ;
- Création de nouveaux métiers (spécialistes en dessalement).

➤ 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 ;
- Participation au bien-être de la population.

➤ 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.[9]

I.3.6. Soulagement de la demande en eau :

Du fait que les stations de dessalement seront installées tout au long du littoral, l'eau potable livrée par ces stations peut être utilisée pour couvrir les besoins des régions côtières et, par conséquent, les autres ressources non conventionnelles seront mobilisées pour satisfaire la demande se situant à l'intérieur du pays.

D'autre part, le dessalement d'eau de mer est une source inépuisable qui permet d'avoir une alimentation continue en eau de consommation (domestique et industrielle). [9]

I.4. Conclusion :

D'après les données citées précédemment, nous pouvons clairement conclure que la situation de l'eau en Algérie s'est améliorée grâce aux différentes 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 déjà acquise dans d'autres pays. Dans le cas algérien, le dessalement réduit de manière durable les pénuries d'eau, car plus de la moitié de la population réside sur la longue bande littorale de 1600km, théâtre d'un déficit chronique en eau potable.

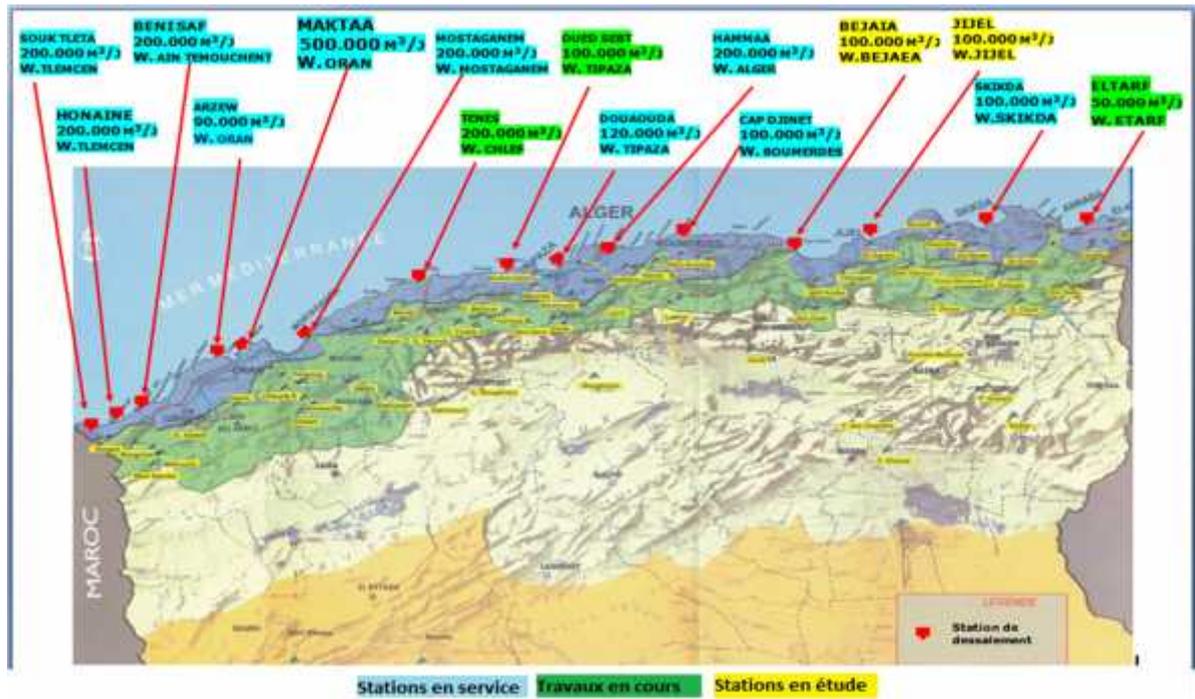


Figure I.3 : la situation géographique des stations de dessalement en Algérie.

II.1. Introduction :

La crise de l'eau potable annoncée pour les années 2000-2020 relance fortement l'intérêt de développer rapidement des techniques de dessalements moins chers, plus simples, plus robustes, plus fiables, si possible moins consommatrices d'énergie et respectant l'environnement. [11]

La désalinisation peut être effectuée selon plusieurs principes physiques : la distillation qui repose sur un changement de phase eau-vapeur, une séparation sel-eau faisant appel à des membranes semi-perméables où le moteur est soit la pression (osmose inverse), soit un champ électrique (électrodialyse). [12]

Tableau II.1 : les technologies communes de dessalement [9]

Osmose inverse(OI)	Processus membranaire, le système le plus commun en service. Une membrane semi-perméable sépare deux solutions de concentration différentes.
Electrodialyse	Processus membranaire, une série de membrane est placée entre deux électrodes et subit un champ électrique. Il est en générale approprié à l'eau saumâtre et pour traiter les puits pollués.
Distillation à détente étagée(MSF)	Processus d'évaporation, en combinaison avec des centrales électriques. le système inclut une série de compartiments. l'écoulement d'eau chaud dans un compartiment avec une basse pression résulte l'évaporation d'une partie de l'eau.
Distillation à effet multiple (MED)	Processus d'évaporation, basé sur le cycle de la chaleur latente en produisant un ruisseau d'eau, habituellement utilisé en combinaison avec les centrales électriques.
Distillation par compression de vapeur (VCD)	Processus d'évaporation, basé selon le principe d'une pompe à chaleur. Cycles répètes de condensation et d'évaporation .

II.2. Les principales technologies de dessalement des eaux de mer :

Les différents procédés peuvent être classés en trois grandes familles :

1 - les procédés faisant intervenir un changement de phase :

- évaporation,
- congélation.

2- les procédés de perméation sélective à travers une membrane :

- transfert d'ions sous l'action d'un champ électrique (électrodialyse) ou d'un

gradient de pression (piezodialyse),

- transfert d'eau sous l'action d'un gradient de pression (osmose inverse) ou sous l'action d'un gradient de température (thermo-osmose).

3- les procédés chimiques :

- échange d'ions,
- extraction par solvant.

En fait, la totalité des installations actuellement en service fait appel à deux grandes familles de procédés : les procédés par évaporation et les procédés de séparation par membranes qui sont plus récents. [13]

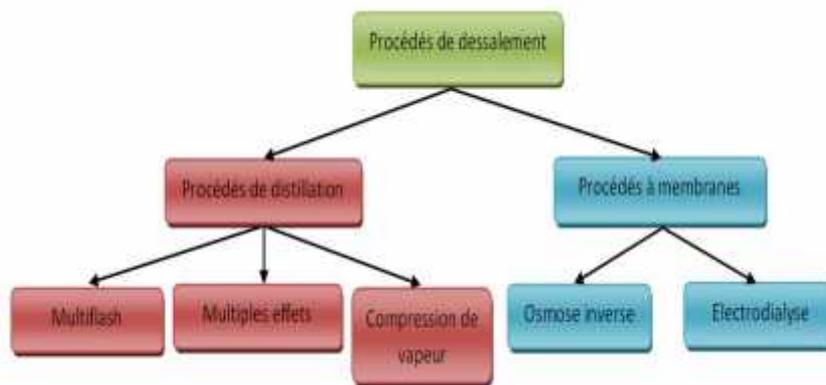


Figure II.1: procédés industrialisés de dessalement [14]

Une installation de dessalement peut être schématiquement subdivisée en 4 postes : une prise d'eau, un prétraitement, l'installation de dessalement et post-traitement.

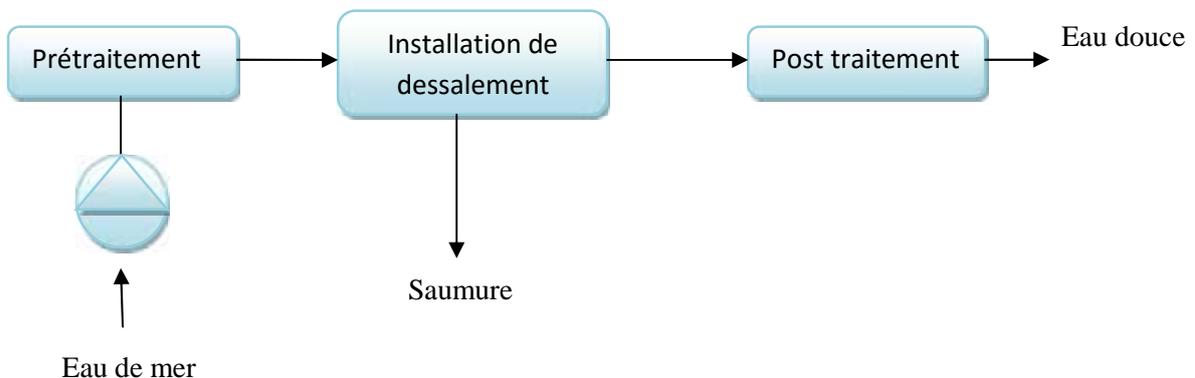


Figure II.2 : Schéma général d'une station de dessalement

II.2.1. Procédés par distillation:

II.2.1.1. Distillation à simple effet :

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- 1) Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage 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 ou saumure. [15]

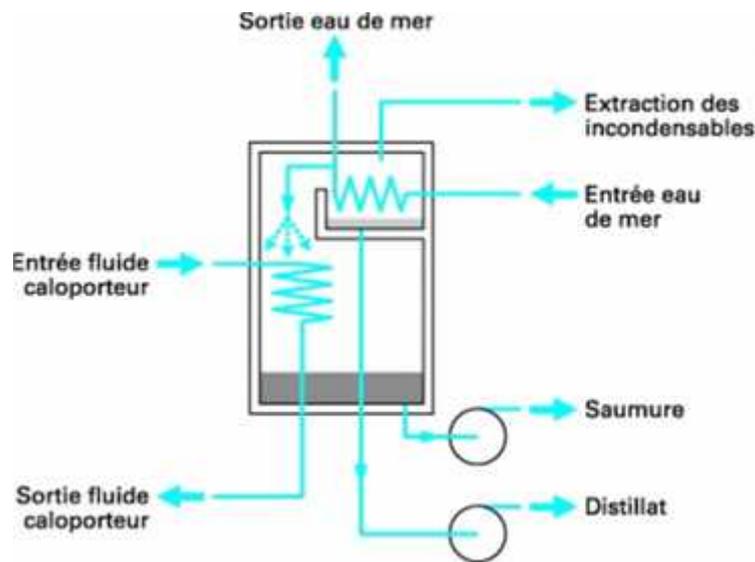


Figure II.3 Distillation à simple effet

II.2.1.2. Distillation à multiples effets (MED) :

Ce procédé est basé sur le principe d'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C.

L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite (voir figure II.4). Ainsi, seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³d'eau douce produite). [16]

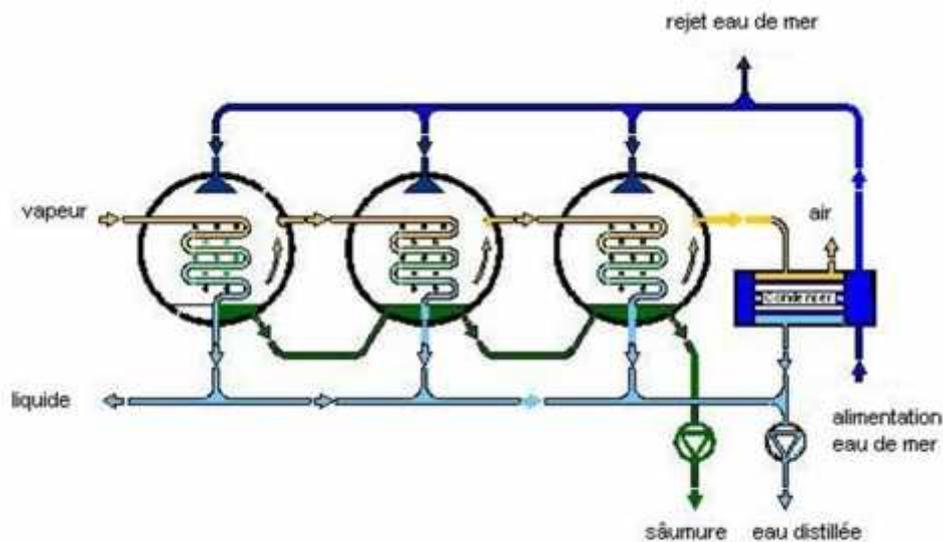


Figure II.4 Schéma de principe d'un système Distillation à multiples effets (MED). [17]

II.2.1.3. Distillation à détente étagées ou multi flash (MSF) : [18]

Ce procédé dit flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée flash. Une fraction de l'eau s'évapore (figure II.5) puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière. Cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il faut également fournir de l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer.

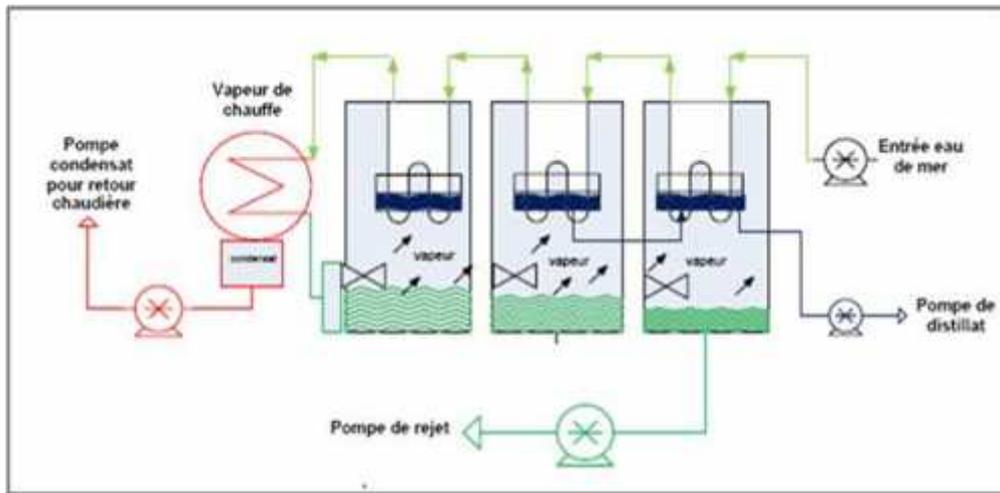


Figure II.5 : principe de fonctionnement d'un système (MSF)

II.2.1.4. Distillations par compression de vapeur :

L'eau de mer à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte thermique isolée (figure II.6), 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. [9]

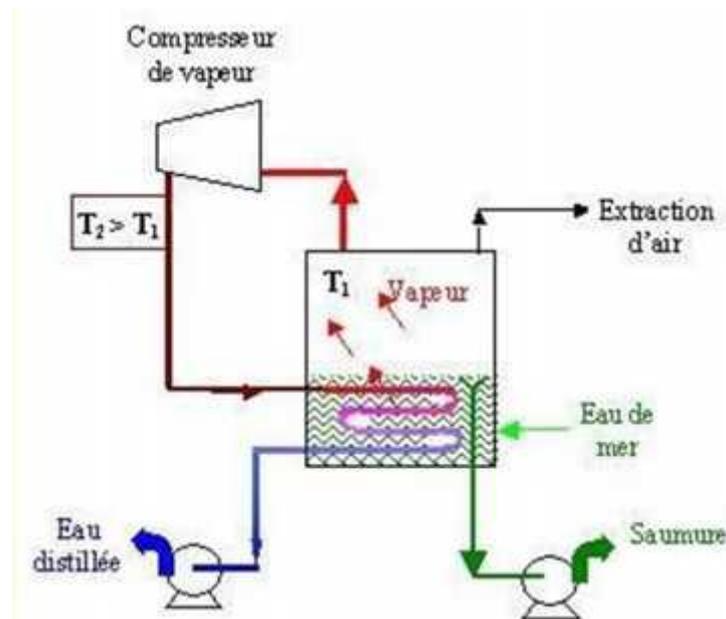


Figure II.6: Principe de distillation à compression de vapeur

II.2.2. Les procédés membranaires :

Au lieu d'extraire par évaporation l'eau douce de l'eau de mer, on peut envisager une séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes sélectives. Deux procédés

utilisant de telles membranes sont actuellement commercialisés. Ce sont l'électrodialyse et l'osmose inverse.

II.2.2.1. L'électrodialyse :

Le principe de l'électrodialyse est bien connu. Les ions d'un sel dissous dans l'eau, comme le chlorure de sodium par exemple, déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide.

Les ions positifs, ou cations (par Na^+), sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive.

Dans l'électrodialyse, on intercale alternativement des membranes filtrantes soit imperméables aux anions et perméables aux cations, soit imperméables aux cations et perméables aux anions. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration.

L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer. Les membranes utilisées en électrodialyse laissent passer les ions mais sont imperméables à l'eau. C'est exactement l'inverse pour les membranes utilisées en osmose inverse. [12]

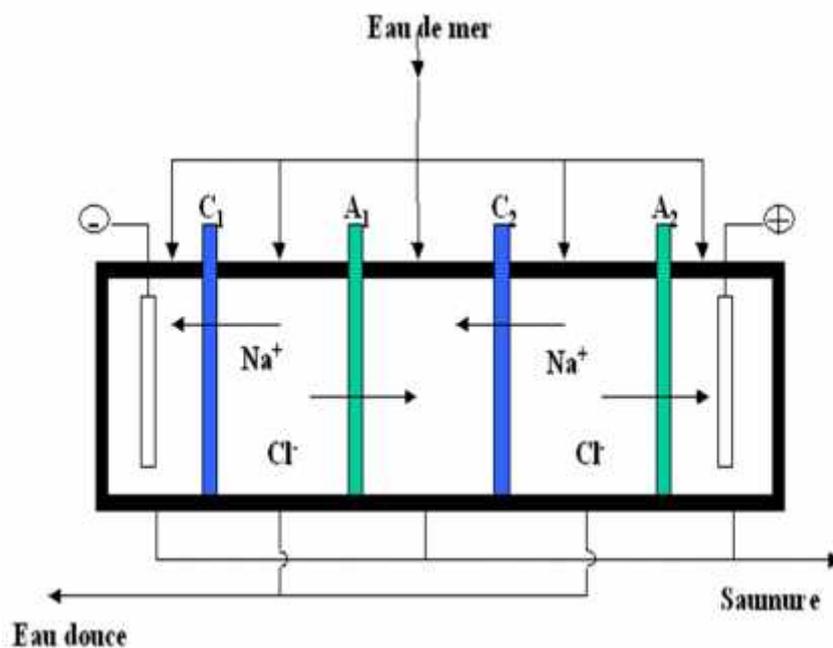


Figure II.7: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse. [19]

II.2.2.2. Procédé d'osmose inverse :

II .2.2.2.1. Descriptions et définitions :

❖ L'osmose inverse :

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille.

❖ Membrane d'osmose inverse :

Les membranes d'osmose inverse sont des membranes artificielles poreuses, Les matériaux utilisés pour leur fabrication sont de nature organique (polymères de deux classes, à savoir les acétates de cellulose et les polyamides) ou minérale. Généralement, ces membranes sont constituées d'une couche mince, ou couche active, ou encore peau, de faible épaisseur, comprise entre 0,1 et 1,5 μm - comportant des micropores : c'est la partie sélective de la membrane. Cette couche active est supportée par une ou plusieurs couches, à la fois plus poreuses et mécaniquement plus résistantes.

Du fait de leur nature organique, les membranes doivent être utilisées dans des conditions assez restreintes (pH entre 2 et 11, température maximale de 50 $^{\circ}\text{C}$).

Pratiquement, les membranes sont assemblées sous forme de modules regroupant généralement plusieurs membranes. En osmose inverse, les modules spiralés sont majoritairement employés ainsi que les fibres creuses. [20]

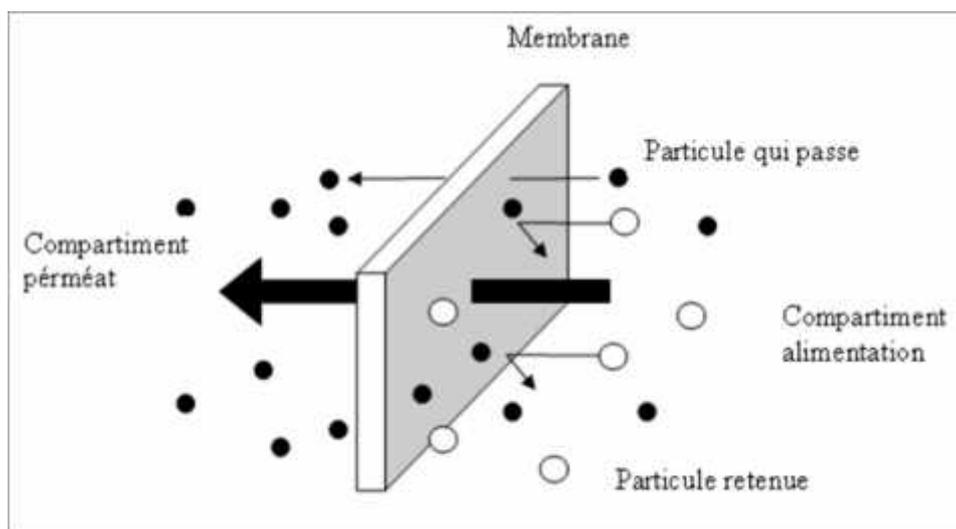


Figure II.8: Principe de fonctionnement de la membrane

❖ Différents modules des membranes : [19]

Il y a quatre différents types de modules d'osmose inverse, qui sont utilisés pour les procédés d'osmose inverse, principalement des procédés de dessalement :

a) Module tubulaire :

Les membranes tubulaires ne sont pas des membranes auto-supportées. Elles sont placées à l'intérieur d'un tube, fait avec un type spécial de matériau. Ce matériau est la couche support de la membrane. L'attachement de la membrane à la couche support est assez faible. Les membranes tubulaires ont un diamètre d'environ 5 à 15 mm. Du fait de la taille de la surface de la membrane, l'obstruction de la membrane est peu probable.

b) Module capillaire :

Dans les membranes capillaires, les membranes servent de barrières spécifiques, suffisamment fortes pour résister aux pressions de filtration. Le diamètre des membranes capillaires est beaucoup plus petit que celui des membranes tubulaires, à savoir entre 0.5 et 5 mm. Du fait du diamètre plus petit les risques d'obstruction sont beaucoup plus élevés. Un avantage est que la densité de conditionnement est plus élevée.

c) Module à fibre creuse :

Les membranes fibres creuses sont des membranes avec un diamètre inférieur à 0.1 μm . Par conséquent les risques d'obstruction sont très élevés. Les membranes ne peuvent être utilisées que pour le traitement d'eau avec peu de solide en suspension. La densité de conditionnement est très élevée. Les fibres creuses sont presque toujours utilisées pour la nano-filtration et l'osmose inverse.

b) Module spirale :

Les membranes en spirale sont constituées de deux couches de membranes. Ces membranes sont enroulées autour d'un drain central permettant de récupérer le perméat (voir le dessin ci-dessous). De ce fait la densité de l'ensemble est plus élevée. Les membranes spiralées sont uniquement utilisées pour les applications de nano filtration et d'osmose inverse.

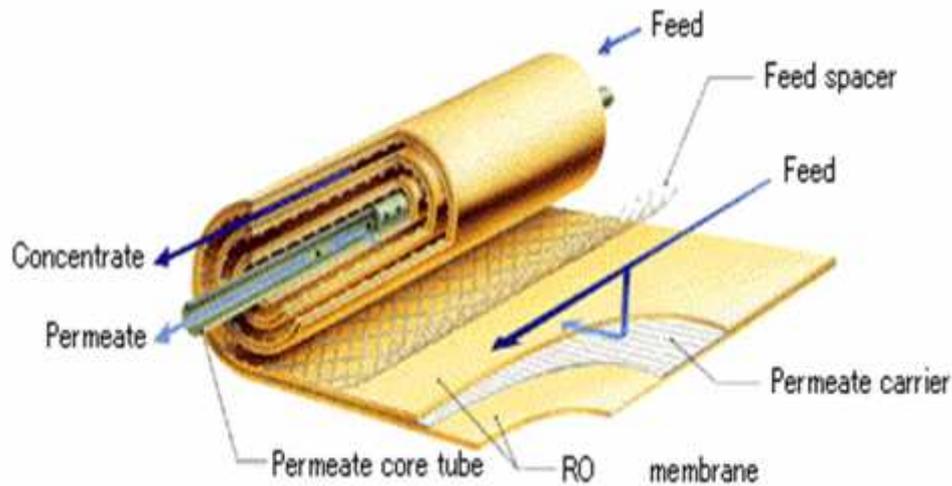


Figure II.9 Représentation d'un module spirale

II .2.2.2.2. Principe de l'osmose inverse :

L'osmose est un mécanisme naturel d'échange présent dans tous les organismes vivants au niveau des cellules. Sous l'effet d'un écart de concentration, les molécules diffusent des régions les plus concentrées vers les moins concentrées, y compris à travers de fines membranes, comme celles des cellules, si leur nature physico-chimique le permet. Si ce n'est pas le cas, c'est l'eau qui va migrer à travers la membrane pour diluer la zone concentrée et équilibrer les concentrations. A l'équilibre, la différence de pression est appelée pression osmotique. (Figure II.10)

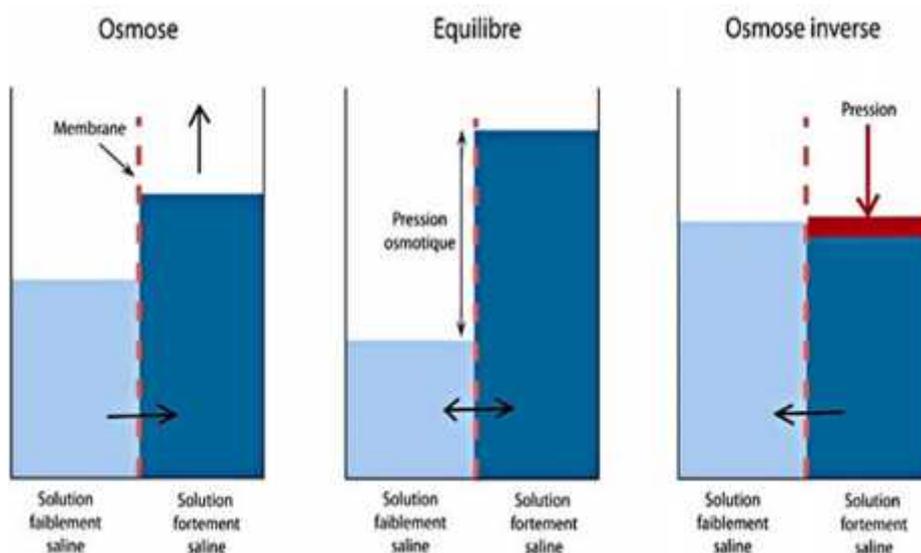


Figure II.10 Principe de l'osmose inverse

L'osmose inverse, qui est au contraire un procédé de séparation, est exactement le phénomène inverse : en appliquant une pression suffisante, on force l'eau à quitter la zone concentrée pour rejoindre la zone à faible concentration.

La membrane séparatrice doit bien évidemment avoir la capacité de laisser passer les molécules d'eau tout en arrêtant le sel. La pression à exercer dépend de la concentration en sel et sert à empêcher l'eau pure de retourner diluer l'eau salée...par phénomène d'osmose. On comprend aisément que la pression minimale à appliquer est au moins égale à la pression osmotique, qui correspond juste à l'état d'équilibre. Si on considère l'eau de mer, la valeur de la pression osmotique est environ $29 \cdot 10^5$ Pascals (Pa), soit près de 30 fois la pression atmosphérique. Pratiquement, pour obtenir un flux significatif et vaincre la pression osmotique qui augmente au fur et à mesure que l'eau est extraite, la pression de travail varie entre 60 et $70 \cdot 10^5$ Pa. [21]

II .2.2.2.3. La pression osmotique :

En première approximation, la pression osmotique peut être calculée en Assimilant le comportement des molécules du soluté à celles de molécules gazeuses. Dans le cas d'une solution diluée, on peut appliquer la loi des gaz parfaits.

La loi de Van't Hoff exprime que la pression osmotique exercée par le soluté est égale à la pression que ce corps aurait exercée dans l'état gazeux parfait dans le même volume V et à la même température T. Si le soluté est dissocié en i ions la pression osmotique sera i fois supérieure. La pression osmotique d'une solution est directement proportionnelle à la concentration en soluté : [22]

$$P = i C R T$$

- P : pression osmotique en bar ;
- i : nombre d'ions dissociée dans le cas d'une électrolyte ;
- C : concentration molaire en mol/l ;
- R : constante des gaz parfait ($0.082 \text{ l.bar.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$) ; ($8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).
- T : température absolue en K ;

II .2.2.2.4. 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

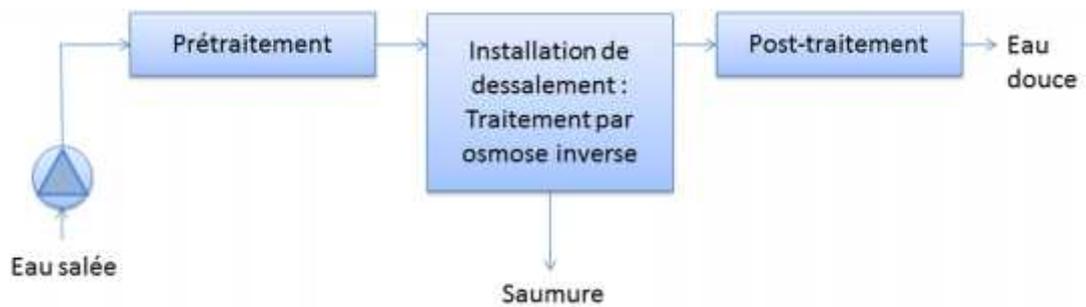


Figure II.11 Schéma de principe d'une unité d'osmose inverse [14]

II .2.2.2.5. Paramètres de fonctionnement d'une unité d'osmose inverse :[23]

a) Taux de conversion :

Le taux de conversion d'un système d'OI est le rapport entre le débit produit et le débit d'alimentation :

$$Y = Q_p / Q_0$$

b) La sélectivité :

La sélectivité d'une membrane est en générale définie par le taux de rétention ou le taux de rejet de l'espèce (sel, macromolécule, particule) que la membrane est censée retenir :

$$TR = (C_0 - C_p) / C_0$$

C_0 : concentration de l'espèce à retenir dans la solution

C_p : concentration de la même espèce dans le perméat

c) Le débit spécifique :

Pour une sélectivité donnée, le débit par unité de surface (densité de flux volumique) doit être le plus élevé possible de manière à minimiser la surface de membrane à mettre en œuvre et par là même l'investissement.

Le débit spécifique s'exprime le plus souvent en $L.h^{-1}.m^{-2}$ [22]

$$Je = Q_p/S$$

Je : densité de flux volumique ($L.h^{-1}.m^{-2}$).

Q_p : le débit de perméat .

S : la surface de la membrane.

II .2.2.2.6. Système de prétraitement :

Le rôle principal du prétraitement de l'eau dessaler est de limiter l'encrassement et l'entartrage, afin de maximiser la durée de fonctionnement des membranes, Cela concerne principalement la teneur en chlore, le pouvoir encrassant (colmatage) et les précipitations de sels en sursaturation.

Ce poste représente environ 10% de l'investissement total et 10% du prix final de l'eau. Il nécessite une surveillance très stricte au risque de détruire irrémédiablement les membranes. [21]

II .2.2.2.6.1. Chloration :

La chloration a pour objectif l'inactivation des micro-organismes (bactéries principalement) mais aussi micro-algues, champignons, qui, outre le fait que certains peuvent être pathogènes, sont à l'origine d'un colmatage important des membranes appelés *biofouling*. La prolifération des organismes vivants est bloquée par un procédé de désinfection. Sinon, cela peut conduire à l'obstruction des canalisations ou au colmatage des membranes. Le procédé le plus répandu consiste à injecter du chlore, réactif dont le stockage et la manipulation exigent des précautions strictes. Le chlore dissous dans l'eau libère l'ion hypochloreux ($HClO^-$), qui est l'agent actif de la stérilisation. Pour éliminer le danger lié au chlore, on peut lui substituer l'hypochlorite de sodium (eau de Javel). [17] [22]

II .2.2.2.6.2. Coagulation/Floculation :

Le but de la coagulation est la neutralisation des charges primaires qui permet d'annuler les forces de répulsion suivie par le piégeage dans les précipités. Cette neutralisation se déroule par l'intermédiaire des composés de deux métaux lourds Al^{3+} et Fe^{3+} .

La floculation consiste à agglomérer sous forme de floccs les particules colloïdales neutralisées par coagulation. Les doses optimales des différents produits (coagulants, floculation) sont déterminées par les méthodes de jar test. [24], [25]

II .2.2.2.6.3. Sédimentation :

Ce type de procédé est utilisé en amont de la filtration (filtre à sable ou membrane) lorsque l'eau brute possède une turbidité supérieure à 30 NTU. L'objectif en sortie du bassin de sédimentation est d'obtenir une eau dont la turbidité serait inférieure à 2 NTU avec un SDI inférieur à 6. Pour cela les étapes de coagulation et floculation associées à la sédimentation sont nécessaires. La sédimentation se déroule dans les mêmes bassins que la coagulation/floculation, il est donc normal d'avoir le même nombre de bassins pour ces deux étapes. [24]

II .2.2.2.6.4. La filtration sur sable :

La filtration sur sable est le procédé de prétraitement le plus souvent utilisé dans les usines de dessalement par osmose inverse. L'étape de coagulation/floculation avant la filtration est nécessaire car elle permet d'augmenter la taille des particules à filtrer par la formation d'agglomérats, ce qui rend la filtration plus efficace. . [24]

II .2.2.2.6.5. Prévention de l'entartrage :

L'entartrage des équipements doit être évité. La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres (CaCO_3 , CaCO_4 ,...) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres. Les produits utilisés sont:

- Les poly phosphates : ces produits sont efficaces et bon marché mais ils peuvent éventuellement former des dépôts d'ortho phosphates par suite de phénomènes d'hydrolyse.
- Les polymères carboxyliques : efficaces sur la plupart des tartres, ces produits ne posent pas de problèmes pour les rejets. Ils présentent l'inconvénient d'être chers.

L'acidification de l'eau brute, en provoquant la décomposition des bicarbonates, est aussi un moyen efficace de prévenir les dépôts de CaCO_3 . [22].

II .2.2.2.6.6. La Déchloration :

Compte tenu de la sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide (membranes les plus utilisés actuellement), il est indispensable d'assurer

une déchloration de l'eau de mer avant son entrée dans les modules. cette de chloration est effectuée par ajouts de réactif chimique : bisulfite de sodium NaHSO_3 .[17]

II .2.2.2.6.7. Filtration de sécurité sur cartouches :

L'eau passe à travers des cartouches de microfiltration de 5 micromètres, qui retiennent les particules potentiellement nuisibles pour les membranes. Il faudra respecter scrupuleusement la fréquence de changement des cartouches. Celles-ci ne devront pas être nettoyées ni réutilisées. [26]

Tableau II.2 prétraitement sur eau de mer avant osmose inverse[22]

Chloration	Traitement choc :7 à 8 ppm de chlore pendant 1h toutes les semaines
Coagulation	FeCl_3 – dose : 10 g/m^3
Floculation	Polyélectrolyte anionique ou non anionique. Dose : 1à 5 g/m^3 .
Décantation	Décanteurs lamellaires dimensionnés sur la bae de 8 à $12 \text{ m}^3/\text{h}$ par m^2 de surface plane.
Filtration sur sable	Filtre bicouche sous pression . Vitesse de filtration de 10 à 15 m/h .
Acidification	H_2SO_4 : $20\text{-}25 \text{ g/m}^3$
Déchloration	NaHSO_3 : $5\text{-}10 \text{ g/m}^3$
Antitartre	Polymères carboxyliques-dose : 1g/m^3
Filtration sur cartouches	Cartouches à base de propylène $5 \mu\text{m}$

II .2.2.2.7. Moyens d'élimination des dépôts :

Même avec un prétraitement bien conçu et des conditions opératoires convenablement choisies, on constate dans la plupart des cas un colmatage progressif des membranes au cours du temps. Le nettoyage chimique est presque toujours nécessaire si l'on veut que l'installation fonctionne suivant ses performances nominales.

❖ Fréquence de nettoyage :

La fréquence de nettoyage dépend de la qualité des eaux prétraitées .Elle est en générale comprise entre une fois par mois et une fois par an. Cette opération nécessite l'arrêt de l'installation pendant 1 à 2 jours selon le nombre de réactifs utilisés.

La décision d'effectuer un nettoyage chimique d'un module d'osmose inverse peut être liée :

- Soit à une valeur de la perte de charge que l'on s'impose comme maximum à ne pas dépasser ;
- Soit à une valeur de débit de perméat lorsque la diminution atteint 20 à 25% par rapport au débit nominal ;
- Soit à un programme de nettoyage systématique prédéterminer. Ceci est utilisé lorsque l'on a une installation importante qui comporte un nombre élevé de modules. On peut ainsi avoir une partie des modules en nettoyage tandis que le reste assure la production. [22]

❖ Solution de nettoyage

Le choix des solutions de nettoyage dépend d'une part de la nature des dépôts qui sont à l'origine du colmatage et d'autre part de la nature des membranes ; il faut en effet dissoudre les dépôts sans détériorer ces dernières. On comprend dans ces conditions que chaque fournisseur de membranes préconise pour chaque cas une solution de nettoyage en fonction de la nature de sa membrane et de la nature du dépôt.

Tableau II.3 Les produits utilisés pour le nettoyage des membranes [22]

Produits de nettoyage	Types des dépôts
Solutions acides (acide citrique, acide chlorhydrique)	Dépôts carbonatés, Hydroxydes
Solutions basiques (soude caustique)	Dépôts organiques
Solutions de détergents (avec ou sans enzymes)	Dépôts organiques, protéines
Solutions oxydantes (chlore)	Dépôts biologiques

II .2.2.2.8. Système de récupération d'énergie :

Dès que l'OI a été appliquée au dessalement de quantités importantes d'eau de mer, on a tout naturellement pensé à récupérer l'énergie hydraulique du concentrât, qui est de l'ordre de 55% de celle nécessaire à la mise en pression des modules d'OI. [23]

La décision d'adopter un système de récupération d'énergie doit être prise en comparant le coût des annuités financières dues à cet investissement supplémentaire et le coût de l'énergie récupérée. Elle dépend de : [22]

- de la taille de l'unité.
- du coût de l'énergie.
- de la pression de fonctionnement.
- du taux de conversion.

Du point de vue technologique deux solutions sont actuellement disponibles : les turbines Pelton et les systèmes dits échangeurs de pression.

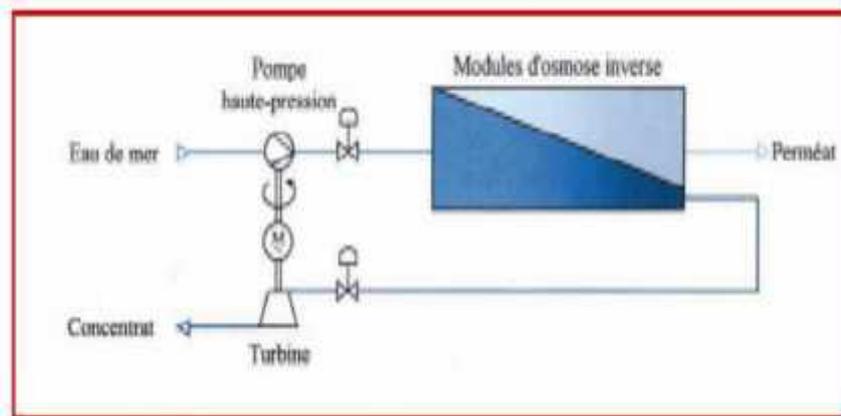


Figure II.12 : récupération de l'énergie du concentrat par turbine Pelton

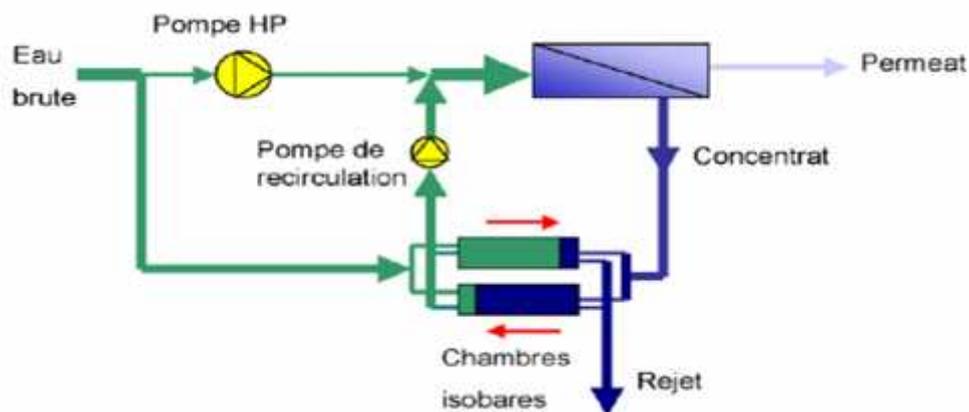


Figure II.13 : Récupération de l'énergie par des échangeurs de pression

II .2.2.2.9. Système de post-traitement :

Le système de post-traitement concerne la phase d'adaptation de l'eau dessalée à la consommation. Il est nécessaire de dégazer pour éliminer l'acide carbonique (causé par l'acidification en prétraitement) et l'hydrogène (H₂S souvent présent dans les eaux souterraines) qui passe à travers les membranes. Le post-traitement de l'eau dessalée par OI

est habituellement nécessaire, il ne dépend pas du dispositif de dessalement, de l'arrangement ou de la nature chimique des membranes. Le degré et le type de post-traitement souhaité dépendent essentiellement de l'utilisation de cette eau dessalée. Par exemple, l'eau potable destinée à la consommation humaine nécessite une désinfection et un traitement de prévention contre la corrosion des tuyauteries et des différents équipements. Si l'hydrogène sulfurée H₂S est présent : le dégazage est à envisager.

Si l'eau dessalée est à utiliser dans les chaudières à HP : on envisage de compléter la déminéralisation pour éviter l'entartrage, et de désoxygéner pour minimiser la corrosion. Si on prévoit de produire de l'eau pure (pour l'industrie haute technologie): le post-traitement doit comprendre une complète déminéralisation, une stérilisation et une élimination des solides en suspension. Le plus souvent, le post-traitement consiste à : compléter la déminéralisation, l'ajustement du pH, traitement de réduction de la corrosivité, la désinfection et le dégazage. [23]

II .2.2.2.10. Les avantages et les inconvénients des procédés par osmose inverse :

a) Les avantages :

- faible consommation énergétique : environ 3 à 4 KWh / m³ dans le cas d'eau de mer à 35g/l, grâce en particulier à la mise en place de système de récupération d'énergie ;
- investissement plus faible dus en particulier à l'amélioration des performances des membranes ;
- gamme de capacités disponible commercialement très vaste ;
- gérer les résidus (concentrat) pour améliorer le bilan environnemental ;
- maîtriser les phénomènes de colmatage.

b) Les inconvénients :

- La membrane n'a une durée de vie que d'environ 3ans , ce qui veut dire qu'à longue une usine dépense énormément en frais d'installations puisque les membranes industrielles sont relativement chères.
- Le rendement n'est pas totale, a la fin de ces procédés il reste 25% d'eau non utilisable (il s'agit de la saumure, solution très sel), rejetée alors dans la mer ce qui provoque un réel désastre pour l'écosystème !
- La pureté de l'eau n'est jamais totale, elle reste constamment inférieure à 100%.

II.2.3. Autres procédés :

Un certain nombre d'autres procédés ont été utilisés pour dessaler les eaux saumâtres ou marines. Ces procédés n'ont pas permis d'obtenir le rendement de la distillation ou de l'osmose inverse, mais ils se sont avérés valables dans certaines circonstances ou appellent encore des perfectionnements.

II.2.3.1. La congélation :

Lors du processus de congélation, les sels dissous sont naturellement éliminés lors de la formation initiale de cristaux. Le refroidissement de l'eau salée pour former des cristaux de glace sous des conditions bien définies est un moyen de dessaler l'eau de mer.

Il existe plusieurs procédés de congélation pour dessaler l'eau de mer, et un petit nombre d'usines ont été installées à cet effet au cours des 50 dernières années.

II.2.3.2. Le dessalement par énergie solaire et éolienne :

Au niveau mondial, environ une centaine d'unités de dessalement associées aux énergies renouvelables ont été construites ces 20 dernières années. La plupart sont des petites installations expérimentales ou de démonstration (0,5 à 200 m³/j). Plusieurs sont localisées en Méditerranée (Égypte, Algérie, Tunisie, Espagne). Elles fonctionnent avec un stockage d'énergie par batteries, entraînant des coûts élevés et pâtissent du manque de compétence locale en particulier pour la maintenance. Cependant, l'expérience montre que les unités de dessalement solaire et éolien de petite capacité, bien conçues et exploitées, peuvent permettre d'alimenter en eau de bonne qualité des sites isolés, à des coûts dès aujourd'hui intéressants. Mais si l'on veut éviter des difficultés de fonctionnement dans la durée et assurer bonne maintenance et durabilité, les installations doivent être les plus simples et les plus fiables possibles. [6]

II.3. Les ajouts chimiques dans une station de dessalement : [27]**II.3.1. Les Coagulants :**

Les usines OI utilisent généralement du chlorure ferrique ou du chlorure d'aluminium pour améliorer le filtrage des matières en suspension présentes dans l'eau d'alimentation. Les additifs de coagulation (substances organiques comme le polyacrylamide) et le contrôle du pH à l'acide sulfurique sont des moyens supplémentaires de renforcer le processus.

II.3.2. Agents antitartres :

Les dépôts de tartre se forment sur les surfaces du matériel de dessalement. La présence de tartre entraîne inmanquablement des difficultés d'exploitation et/ou de perte de rendement. Les additifs antitartres le plus largement utilisés semblent être des polymères de l'acide maléique, .Ces polymères empêchent les matières dissoutes de précipiter, décanter et former une croûte sur les surfaces.

II.3.3. Agents antisalissure :

Les salissures constituent un processus à phase multiples dans lequel interviennent de nombreux groupes d'organismes. Elles commencent par l'adsorption de substances polymères de l'eau non traitée sur les surfaces solides, ce qui permet la formation d'un film précurseur pour la colonisation par des bactéries. Depuis longtemps, les composés de chlore sont utilisés pour désinfecter les systèmes d'apport d'eau de mer et l'usine située en amont, afin de prévenir les salissures.

II.3.4. Agents anti mousses :

La mousse produite par l'eau de mer aux étages du procédé de distillation multi flash est imprévisible mais a tendance à poser un problème plus grave quand les séparateurs sont proches de la surface du courant de saumure, ce qui ne permet pas de séparer qu'un volume réduit en phase aqueuse et la phase vapeur. Les agents anti mousses sont habituellement des poly glycols alkyles, des acides gras et des esters d'acides gras. Les agents sont tension- actifs à l'interface eau- vapeur et empêchent la formation de mousse. La formation de mousse est une fonction des constituants organiques de l'eau de mer qui sont principalement des produits d'excrétion et de dégradation d'algues planctoniques.

II.4. Qualité de l'eau produite :**II.4.1. Par distillation :**

L'eau obtenue par distillation est très peu minéralisée, la teneur en sels dissous est généralement comprise entre 5 et 30 mg/l. Elle n'est donc pas conforme aux normes de potabilité et il est nécessaire de la reminéraliser aux environs de 300 mg/l. Cet apport peut être réalisé en faisant des mélanges d'eaux, eau distillée - eaux saumâtres par exemple ce qui permet d'une part de diminuer les coûts de dessalement par augmentation de la production et d'autre part de valoriser les eaux saumâtres existantes. [28]

II.4.2. Par les procédés à membranes :

- **Electrodialyse**

Par électrodialyse, on produit relativement facilement une eau ayant une teneur en sel de l'ordre de 300 - 400 mg/l. Ce procédé convient donc principalement Pour les usages domestiques.

- **Osmose inverse**

La salinité de l'eau produite par osmose inverse dépend principalement de la sélectivité de la membrane. Dans le cas de l'eau de mer on utilise en général des membranes ayant une sélectivité de l'ordre de 99 % ce qui permet d'obtenir une eau aux environs de 400 mg/l à partir d'une eau de mer à 40 g/l. Dans le cas des eaux saumâtres la sélectivité des membranes utilisées est plutôt d'environ 90 %.

On obtient ainsi une eau de salinité comprise entre 100 et 500 mg/l lorsque la salinité de l'eau saumâtre varie entre 1 et 5 g/l Toutefois elles sont souvent agressives et doivent être remises à l'équilibre (neutralisation). [13]

II.5. Les coûts du dessalement:

Les coûts du dessalement exprimés en USD/m³ d'eau douce produite dépendent de la technologie, de la taille de l'installation et de la teneur en sel de l'eau traitée. Les technologies membranaires peuvent produire de l'eau de bonne qualité à partir d'eau saumâtre avec un coût de 0,50 USD/m³. Les coûts, toutefois, sont plus élevés pour traiter l'eau de mer, le mètre cube produit a un coût estimé entre 0,5 et 1,1 USD pour l'osmose inverse et entre 0,65 et 1,8 USD pour la distillation. Les technologies thermiques tendent à être plus onéreuses que les technologies membranaires.

Actuellement, les coûts des deux technologies affichent une tendance à la baisse. Elles peuvent bénéficier toutes les deux des économies d'échelle mais les coûts des technologies membranaires diminuent aussi en raison de leur développement incessant qui conduit à des gains d'efficacité. [6]

III.1. Introduction :

La caractérisation de la composition chimique et physique de l'eau de mer (eau d'alimentation), de l'eau traitée (après dessalement) et la saumure (rejet), ainsi que la quantité (débit) de chacune sont d'un part les données nécessaires pour l'évolution de l'impact de dessalement sur le milieu marin et d'autre part sont les données nécessaires pour la bonne gestion des rejets (saumure) de dessalement.

III.2. Présentation de la station de dessalement de «Cap Djinet» :

III.2.1. La situation de l'usine de dessalement « Cap Djinet »

La station de dessalement **Cap Djinet** est située au bord de mer, près de la ville de Boumerdes ; à 30 km à l'est du chef-lieu de wilaya. La mise en service date d'octobre 2010, et sa capacité est de **100.000 m³ /J**

Ce sont les entreprises sotatrach et sonalgaz qui ont investi dans cette station avec un taux de 49%. Deux entreprise espagnoles se sont jointes a elles, INIMA et AQUALIA , qui détiennent chacune 25.5% de part.

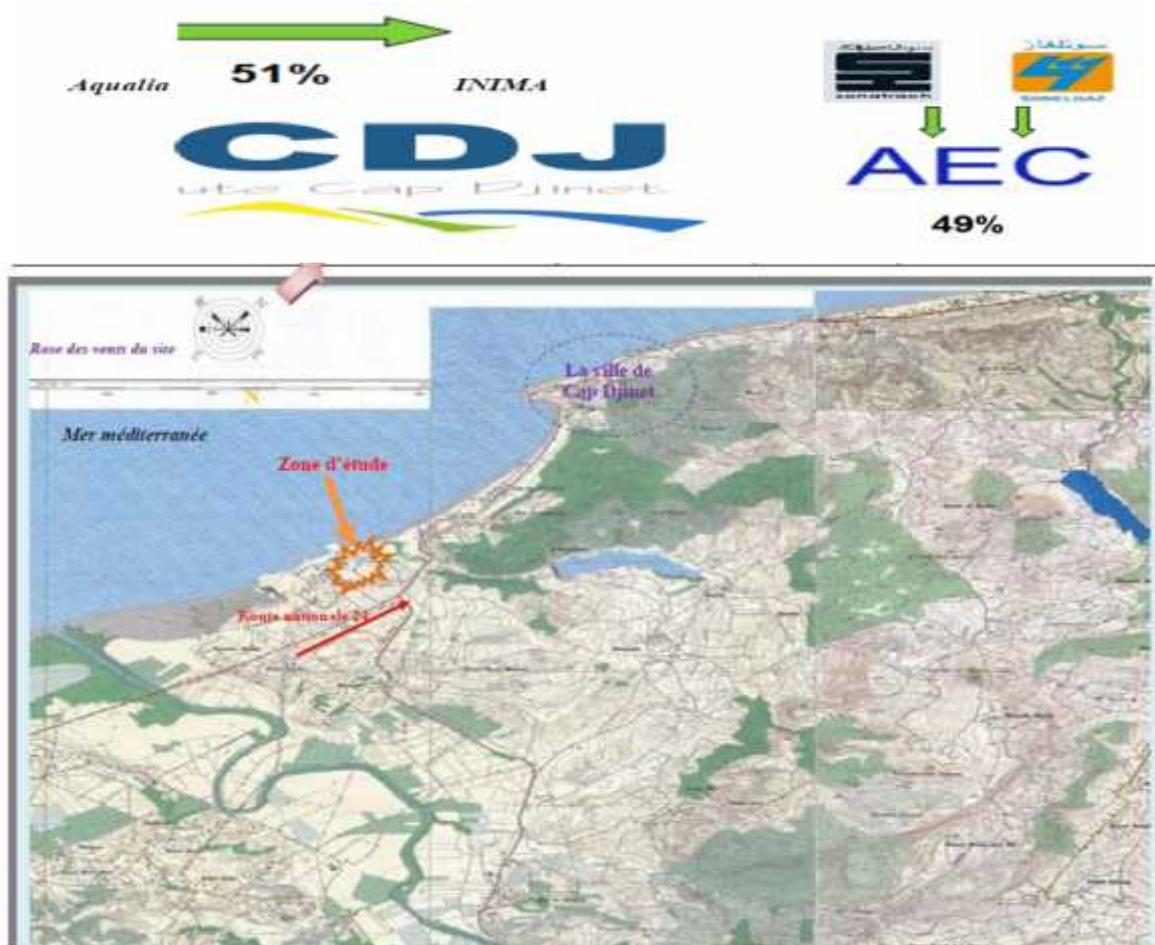


Figure III.1 : Localisation géographique de la zone d'étude.

III.2.2. L'usine de dessalement « CAP DJINET » : [29] [30]

- **Mise en service Partielle** : Octobre 2010
- **Mise en service Finale** : Aout 2012
- **Capacité** : 100 000 m³/j. par la technique de l'osmose inverse
- **Coût du projet** : 133 millions de dollars
- **Objectif** : renforcement des ressources en eau et l'amélioration de la qualité des eaux distribuées. production, traitement et transport
- **distribution** : gestion et entretien du réseau d'eau potable (Alger, bordj-menail, zemmouri, boumerdes, dellys, afér, tizirt, azfoun)
- **Les travailleurs de L'usine** : sont formés et sensibilisés à tout ce que concernent les objectifs de l'usine et leur travail
- **La station** : concernant le système de qualité, l'activité du laboratoire d'Ecoprogress s'est déroulée selon les normes UNE-EN-ISO-17025. L'entreprise dispose actuellement du Certificat UNE-EN ISO 9001:2000 en tant que système de gestion de la qualité pour la réalisation d'analyses environnementales (Certificat Num. 113/ER/04/05).

III.2.3. Les activités de la station :[30]

- **Consistance du projet** : Prise d'eau de mer directe, station de dessalement et rejet de la saumure.
- **Procédé de traitement** : Osmose Inverse avec 8 512 Membranes
- **Débit de captation** : 222 444m³/ jour
- **Taux de conversion**: 45%
- **Emissaire de captation** :DN 1800 mm, longueur 1 ,8 km, profondeur 20m
- **Emissaire de rejet de saumure** : DN 1200 mm, longueur 1,2Km, profondeur 7m

➤ Procédés d'osmose inverse :

- **Marc des membranes** : film tec (S.W :40ie)
- **Nombre de membrane /tube de pression** :7 unité
- **Nombre de tube de pression/châssis** :152 U
- **Nombre totale de châssis** :8 U
- **Nombre totale de membrane** :8 512 U
- **Module** :SW 30HRLE-400i
- **Matériel** : polyamide aromatique

- **Forme** : roulement en spirale
- **Diamètre** : 200mm
- **Pression de pompe haute pression** : 63 bars



Figure III.2 : Les modules d'osmoses inverses

III.2.4. Les différentes étapes de l'usine de dessalement :[31]

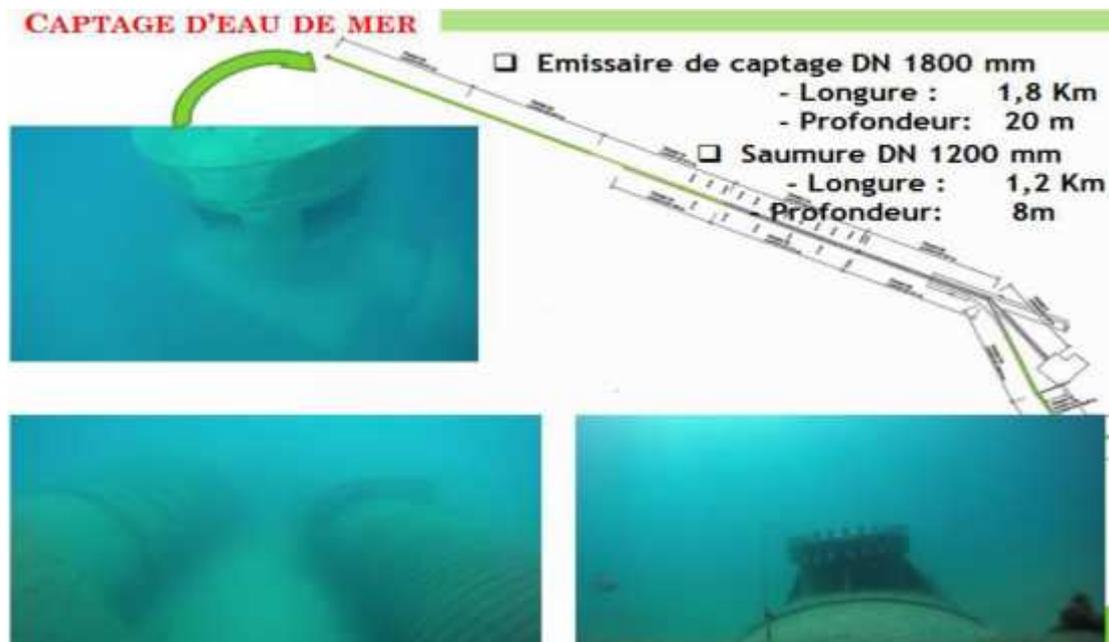


Figure III.3 : captage d'eau de mer

❖ **Pompage à haute pression**

- (4+1) pompes haute pression
- 85 bars
- Système de récupération de l'Energie
 - Pompes BOOSTER
 - Débit maximale : 120480 m³/j
 - Rendement garanti: 99 %
 - 62bar



Figure III.4: stockage des produits chimiques

❖ **Prétraitement chimique :**

L'injection et le stockage de produits

- Acide sulfurique
- hypochlorite de sodium
- bisulfite de sodium
- inhibiteur d'incrustation
- chlorure ferrique
- flocculant
- permanganate de potassium

❖ **Zone des filtres :**

- 12Filtres à Sable en Bicouche
- 8 filtres à sable en monocouche
- 9 filtres à cartouches



Figure III.5 : Zone des filtres

❖ **Zone de production :**

- 08 Pompes de recirculation
- 04 unités d'Osiose Inverse
- 05 Pompes HP

❖ **Bâtiment de saumure :**

Tous les rejets (saumure) sont collectés dans ce bassin avant d'être rejeté à la mer via un canal souterrain de « DN 1200 mm, à 1.2Km de la côte, de profondeur 7m



Figure III.6 : La conduite de saumure vers la mer

❖ **Bâtiment d'eau produit :**

- Dépôt d'eau traitée
- Reminéralisations par calcite
- Pompage d'eau produit
- Post de traitement (injection) :
 - Hydroxyde de sodium
 - Hypochlorite de sodium



Figure III.7: L'eau produite vers distribution

❖ **Différentes activités :**

- Equipement de nettoyage des membranes
- Equipement de nettoyage des filtres
- Eau de service
- Air d'instruments et de service
- Système de communication

- Laboratoire
- Ateliers
- Système de contrôle(SCADA)
- Système de contre incendie

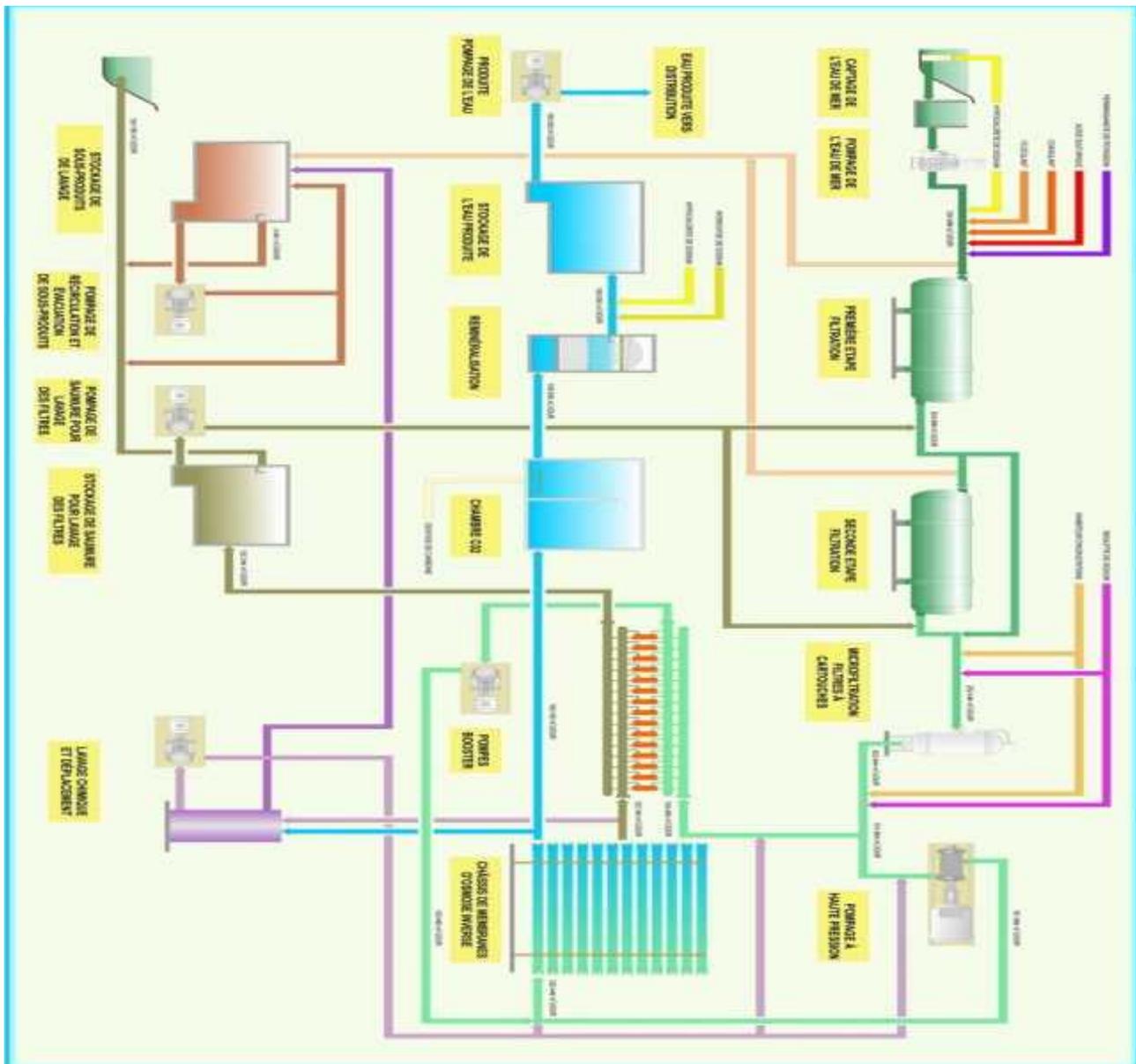


Figure III.8 : schéma générale de la station de dessalement de Cap-Djinet.

Tableau III.1 : Les différentes étapes de dessalement de l'eau de mer au niveau de l'usine de «Cap-Djinet»

- **Captage d'eau de mer « 222 .444 » m³/J**

Le captage d'eau de mer se réalise à travers un seul point qui permette 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.

- **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. Evite l'obstruction des conduites.
- ✓ pour empêcher les moules qui colle à l'intérieure de la surface de la 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.

- **Pompage de l'eau de mer « 222.444 »m³/J**

Pompage de transfert de l'eau de mer après un pré traitement à l'alimentation des filtres à sable en eau de mer.

- **Injection des produits chimiques**

- ✓ **permanganate de potassium :**

pour oxyder la matière organique

- ✓ **acide sulfurique (H₂SO₄) :**

l'addition de cet acide permet de réduire au minimum la salissure 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.

- ✓ **coagulant/ floculant :**

- 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

- ✓ **hypochlorite 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. Un produit équivalent conviendra du moment que l'eau contient moins de 0,1mg/L de chlore libre à l'arrivée sur la membrane.

1^{ère} étape de filtration

« 222.444 » m³/J

- ✓ Ce système qui contient 12 filtres a 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 .

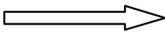
<p>2^{ème} étape de filtration « 222.444 » m³/J</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ sert à l'extraction par filtrage des impuretés de l'eau de mer ✓ retenir les matières solides en suspensions résiduelles ✓ La filtration à travers les filtres à sable sert à séparer les matières troubles et en suspensions de l'eau brute, le moyen de filtration est un remblai en sable réparti dans les réservoirs filtrants
<ul style="list-style-type: none"> • Injection :(avant et après) la microfiltration ✓ inhibiteur d'incrustations : <p>pour la protection des membranes, leur objectif d'éviter la précipitation du sel au niveau de la membrane</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ bisulfite de sodium (Na₂SO₃) : <p>l'addition de bisulfite de sodium est nécessaires pour neutralise le chlore, ou l'élimination du chlore résiduel de l'eau afin d'éviter le colmatage biologique des membranes, l'addition s'effectue après la chloration rapide par injection dans la conduite d'alimentation des micros filtres.</p> <p>éliminer les matières biologique de façon indirecte, en empêchant leur développement en réduisant l'oxygène dissous nécessaire à leur respiration en employant un réducteur ; c'est le bisulfite de sodium</p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Microfiltration « filtre à cartouches » 222.444 m³/J <p>La microfiltration est la dernière étape du prétraitement, elle a pour objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 régime à l'intérieure des corps de microfiltration. 	

- **POMPE à haute pression 70 bars « 101.964 » m³/J**

La pompe haute pression sert à alimenter l'unité d'osmose inversa en eau prétraitée et filtrée, les **PH**, utilisés dans la station de dessalement de **CAP-Djinet** sont des pompes volumétriques à piston adaptées aux faibles débits. La pression d'alimentation doit être de l'ordre de 85bar maximum.

- **Avec le procédé de l'OI (Châssis de membranes d'OI « 8 châssis »)**

Procédés membranaires : L'eau et les sels dissous sont séparés au moyen de membranes sélectives.

- ✓ 100.100 m³/j  chambre CO2
- ✓ 122.344 m³/J  la Saumur stockage de saumure pour lavage des filtres

- **Pompes BOOSTER**

- Le rapport entre le débit du perméat et le débit d'alimentation donne le facteur de conversion (**Y=45%**), on déduit donc que **55%** de l'eau de mer est rejetée représente le concentrat qui possède une énergie hydraulique très importante qu'il convient de récupérer afin de réduire la consommation en énergie électrique.
- Dans le but de compenser les pertes de charge produites dans les membranes et la tuyauterie, la station doit être dotée d'une pompe de recirculation pour augmenter la pression de l'eau de mer provenant du système de récupération d'énergie (px) avant l'arrivée du flux d'eau de mer provenant de la pompe centrifuge à haute pression.
- Grâce à un *rotor*, un système d'échange de pression s'effectue entre la saumure provenant des membranes à haute pression et l'eau de mer à basse pression, une récupération importante d'énergie permet la réduction de coût de dessalement de l'eau de mer.

- **Chambre CO2 « 100.100 » m³/J**

- ✓ Pour mettre le milieu acide
- ✓ Pour dissoudre la calcite
- ✓ Pour réduire le pH

- **Reminéralisation « 100.000 » m³/J**

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

Le perméat d'osmose inverse est traité (post-traitement) avant d'être distribué aux consommateurs.

L'usine de Cap Djinet est équipé 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 gout 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.

- **Stockage de l'eau produite « 100.000 » m³/J**

Le post-traitement permet de potabilité l'eau en 2 étapes (en sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée).

1) Correction de la corrosivité : le traitement consiste à ajouter du CaCO₃.

2) Désinfection finale : bien que certains procédés (osmose inverse) retiennent tous les micro-organismes, il est nécessaire d'assurer une désinfection à la sortie de l'usine.

- **Injection des produits**

- hydroxyde de sodium
« la soude NaOH »
- hypochlorite de sodium

pour la correction de p^H (augmenté le p^H) Jusqu' à un p^H d'équilibre non nuisible béton et à la tuyauterie.

pour désinfecter l'eau contre toute contamination microbienne éventuelle. Permettra de la protéger lors de son stockage et de son transport

- **Les dernières étapes**

- Produit pompage de l'eau
- Eau produite vers distribution
- Stockage de saumure pour lavage des filtres
- Pompage de saumure pour lavage des filtres
- Pompage de recirculation et évacuation de sous -produits
- Stockage de sous-produit de lavage(les lavages chimiques et déplacement, lavage des filtres)

III.3. Analyses et interprétations :

Dans cette partie pratique et expérimentale on a effectué une série d'analyses physico-chimique 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).

III.3.1 Mode de prélèvement :

Les échantillons d'eaux traitée ont été prélevés en vu de l'analyse physico-chimique. Le prélèvement 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 a 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 2017. Sont effectuées des analyses des paramètres physico-chimiques au niveau de laboratoire de la station de dessalement de **CDJ –Cap Djinet** .

III.3.2 Analyses physico-chimiques de l'eau de mer :

Tableau III.2 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau de mer.

essais Paramètres	Unité	Essai A 08/03 /2017 A 13:30	Essai B 15/03/2017 A 14 :00	Essai C 22/03/2017 A 13 :00	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 NO ₂ -	Mg/l	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015
Nitrate NO ₃ -	Mg/l	<0.23	<0.23	<0.23	<0.23
TA	°F	00	00	00	00
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 Ca ²⁺	Mg/l	372.68	394	385.34	384
Magnésium Mg ²⁺	Mg/l	1290	1162	1238	1290
Chlorures	Mg/l	21012	22040	21430	21494
Chlore libre	Mg/l	00	00	00	00
Sodium (ROSA)	Mg/l	11051.76	12652.79	11515.47	11740
Potassium K ⁺	Mg/l	422	445	417	428
Fer	Mg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Sulfate SO ₄ ⁻²	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

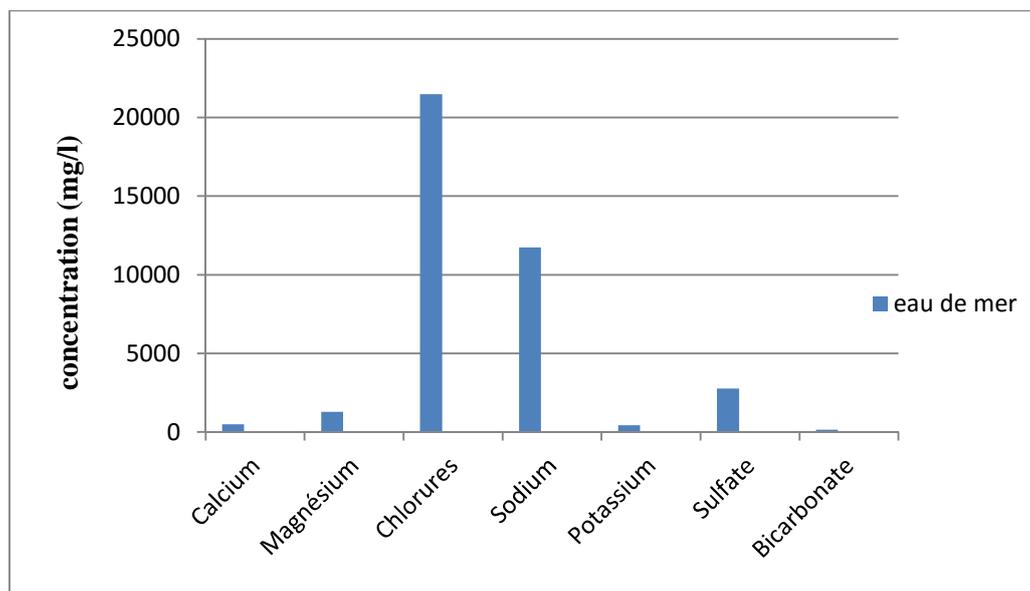


Figure III.9 : Concentration des différents éléments chimiques dans l'eau de mer

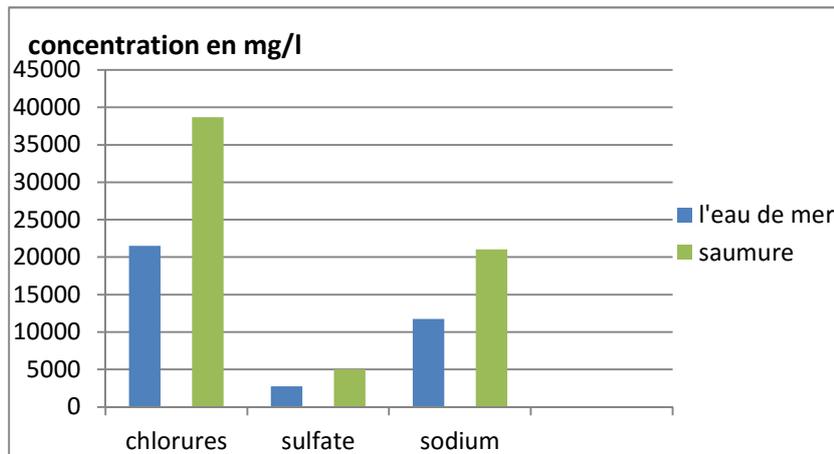
III.3.3 Les résultats des analyses physico-chimiques de la saumure :

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 III.3 : Résultats des analyses physico-chimiques de la saumure.

essais Paramètres	Unité	A	B	C	Moyenne
		08/03 /2017 A 14:45	15/03/2017 A 15 :30	22/03/2017 A 14 :00	
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	68	68.92	69.6	68.84
T	C°	18.2	19.2	20.3	19.23
Nitrites NO ²⁻	Mg/l	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015
Nitrate NO ³⁻	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 Ca ²⁺	Mg/l	639.6	670.4	620.48	643.49
Magnésium Mg ²⁺	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 (ROSA)	Mg/l	20432.37	20903.53	21784.1	21040
Potassium K ⁺	Mg/l	744.6	813	737.38	764.9
Fer	Mg/l	0.234	0.263	0.222	0.239
Sulfate SO ₄ ²⁻	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	21.70

(a)



(b)

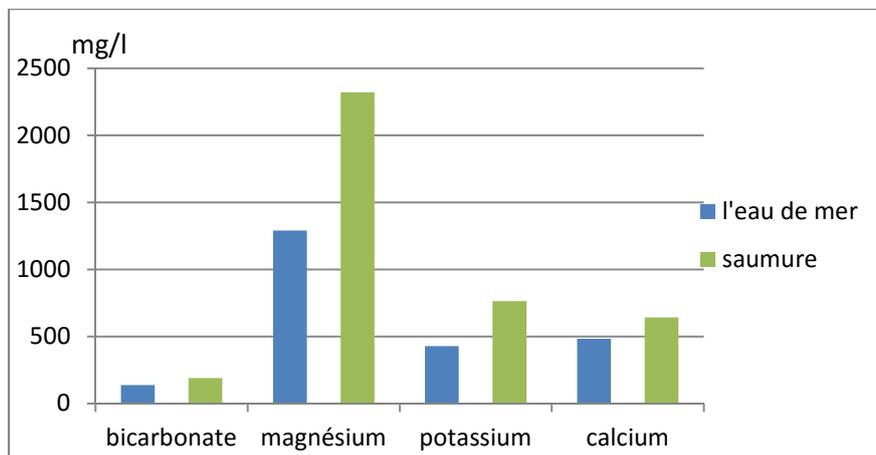


Figure III.10 : comparaison des différents composants de l'eau de mer et de la saumure

❖ 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 à tout usage agricole ou industriel, est loin d'être potabilisée.

La salinité qui était dans l'eau de mer de 38.23 g/l est passée à 68.84 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 à une variation de la composition de l'eau de mer à 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'efficacité de traitement (l'osmose inverse) .

III.3.4 Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée :

Tableau III.4 : Les Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau traitée

PARAMETRE	LIMITES SPECTRO	UNITE	05/04/2017	06/04/2017	09/04/2017	MOYENNE
			10:30	10:30	10:30	
MTD		Ppm	234	230	225	229.66
Dureté totale		ppm CaCO3	67,92	70,3	69,82	69.34
PH			8,41	8,32	8,32	8.35
Température		deg C	17,6	17,3	17,5	17.46
Conductivité		µS/cm	468	459	450	459
		mS/m	46,8	45,9	45	45.9
Total alcalinité (TAC)		ppm CaCO3	58,8	59,4	59,52	59.24
Calcium		mg/l	23,37	23,94	24	23.77
Bore	0,05	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
Alcalinité (TA)		mg/L(CaCO3)	2,4	2,28	2,52	2.4
Calcium		mg/L(CaCO3)	58,42	59,4	60	59.27
Sodium	161	mg/L				
Potassium	8	mg/L				
Magnésium	0,5	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
Chlorures	70	mg/L				
Nitrites	0,015	mg/L				
Nitrates	0,23	mg/L				
Sulfates	40	mg/L				
Fer	0,2	mg/L				

❖ 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 ($<25^{\circ}\text{C}$), (NA, 2014 tableau A.1) 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 (NA, 2014 ; Tableau A.1) dont les valeurs sont fixées de 6,5 – 9.

c) Conductivité électriques :

Les mesures de la conductivité électrique de l'eau traitée enregistrée indique 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 (NA, 2014 ; Tableau A.1) 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 avoisine 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 (NA, 2014 ; Tableau A.1)

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 (NA, 2014 ; Tableau A.1) qui est entre 0.2 et 0.6 mg/l.

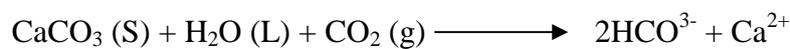
f) Alcalinité totale, bicarbonates et carbonates :

L'alcalinité correspond à la présence d'espèces basiques telles que les ions hydrogène (OH⁻), les ions carbonates (CO₃²⁻) et les ions bicarbonates (HCO₃⁻).

Les résultats montrent des valeurs comprises entre 59.52 – 58.8 ppm CaCO₃ avec une valeur moyenne de 59.24 ppm CaCO₃.

Ces valeurs sont également conformes aux normes algériennes qui limitent le taux d'alcalinité des eaux de consommation à 65 mg/L en CaCO₃.

La présence des bicarbonates (HCO₃⁻) 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 CaCO₃ avec une valeur moyenne de 69.34 ppm en CaCO₃.

Les valeurs enregistrées s'avèrent inférieures à la valeur maximale admissible recommandée par les normes algériennes qui est de 500 ppm en CaCO₃ (NA, 2014 ; Tableau A.2).

La présence des ions Ca²⁺ dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO₃), soit la dissolution de formations gypseuses (CaSO₄).

L'analyse des concentrations en calcium sont comprises entre 58.42 mg/L en CaCO₃ et 60 mg/L en CaCO₃, soit une valeur moyenne de 59.27 mg/L en CaCO₃.

Le taux de calcium est inférieur à la norme algérienne qui fixe la composition en Ca²⁺ à 200 mg/L (NA, 2014 ; Tableau A.1).

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 norme algérienne qui sont de 1000 mg/L dans les eaux traitées de dessalement (OMS, 2006 ; Tableau A2).

❖ Remarque :

Pour les résultats d'analyses des chlorures, sodium, potassium, sulfate, le fer, nitrite, nitrate sont inférieures au limites de spectrophotometre DR5000. Donc d'après le Tableau III.4, ces valeurs sont conformes à la norme algérienne. (tableau A.1)

III.4. Quantification des différents éléments chimiques dans la saumure :

Le rejet de la saumure de la station de **Cap-Djinet (CDJ)** qui contient différentes éléments chimiques (Tableau III.3) et présenté par la (Figure III.10) se fait à une distance de 1200m de la cote 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 présentée dans les tableaux III.5 et III.6.

Tableau III.5 : la quantité de saumure rejetée dans une durée d'une année à l'usine de dessalement CDJ.

Q(m ³ /j) captage	Q (m ³ /j) saumure	Y% produite	Y% saumure	Capacité (m ³ /j)	pH	T °	Turbidité NTU	Conductivité (ms/cm)
222444	122444	45%	55%	100000	8.01	19	0.71	94.76
TDS (g/l)	Saumure (m ³ /j)		Saumure (m ³ /mois)			Saumure (m ³ /année)		
68.84	122444		3673320			44079840		

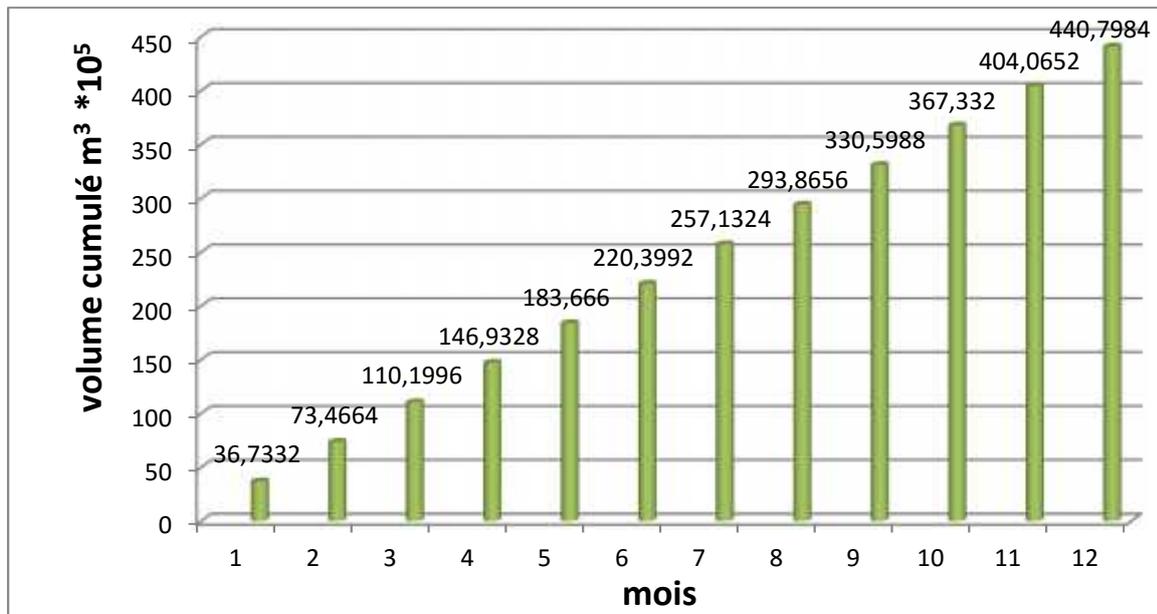


Figure III.11 : l'évolution du volume de la saumure pendant une année

Tableau III.6 : comparaison quantitative de la composition de l'eau de mer, l'eau traitée et de la saumure

Paramètres	C _{eau de mer} Mg/l	C _{eau de mer} * Q _{eau de mer} Kg/j	C _{saumure} Mg/l	C _{eau traitée} Mg/l	C _{saumure} *Q _{saumure} +C _{eau traitée} *Q _{eau traitée} Kg/j
TDS	38230	8504034	68840	229.66	8589690
Bicarbonate	138.7	30852	189.3	66.26	30183
Calcium	384	85418	643.49	23.77	82455
magnésium	1290	286952	2322	2.3	289188
chlorures	21494	4781211	38680.6	70	4820568
Sodium	11740	2611492	21040	161	2634401
Potassium	428	95206	764.9	8	95987.21
Sulfate	2760	613945	5030	40	629953
Bore	4.72	1049	8.2	0.75	1095

- ❖ D'après les résultats du tableau III.6, on constate qu'il y a une conservation de matières entre le flux qui entre (l'eau de mer) et le flux qui sort (la saumure et l'eau traitée) avec des petites erreurs de mesures, ce qui explique que les éléments présents dans la saumure proviennent de l'eau de mer, et on ne décèle pas la présence d'éléments étrangers et ça s'explique par l'absence des ajouts chimiques.

- **Méthode des calculs :**

1. **Le débit de la saumure :**

La station de cap djinet « *CDJ* »

Le taux de conversion $Y = 45\%$

$$Q_{\text{entrée}} = 222444 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{perméat}} = 100000 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{saumure}} = Q_{\text{entrée}} - Q_{\text{perméat}}$$

$$Q_{\text{saumure}} = 222444 - 100000 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{saumure}} = 122444 \text{ m}^3/\text{j}$$

2. **La quantité journalière des différents éléments chimiques excédentaires :**

[TDS] : d'eau de mer = 38.23 (g/l)

[TDS] : de la saumure = 68.84 (g/l)

[Sels excédentaire] = 68.84 - 38.23 (g/l)

[Sels excédentaire] = 30.61 g/l

[Sels excédentaire] journalière = [sels excédentaire] Kg/l * Q_{saumure} (l/j)

[Sels excédentaire] journalière = 30.61 * 10^{-3} * 122444 * 10^3 kg/j

[Sels excédentaire] journalière = 3748010.84 Kg/j

[Sels excédentaire] journalière = 1368023.95 Tan/an

- La même chose pour les quantités des autres éléments chimiques rejetés par la station de **Cap-Djinet**. (Tableau III.7)

Tableau III.7 : Les quantités des différents éléments chimiques rejetées par la station de dessalement de Cap-Djinet

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
Tan/année	768104.55	415636.15	461222.2	11597.14	101450.9	15056.75

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.

III.5. 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 liés à 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'étendre à des émissions dans l'atmosphère et des rejets dans l'eau ou les sols ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.[32]

III.5.1 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 contre-versée 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.

Evidemment, 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. [9]

III.5.1.1 Composition de la saumure :

Dans tous les processus de dessalement, les saumures déchargées, sont retournées à la mer. Les concentrations des saumures s'avèrent 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 prétraitement du dessalement pour augmenter la floculation ou empêcher la formation de mousse par exemple ,d'autres pour éviter 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 qualité exigée de l'eau produite. [33]

III.5.1.2 Dispersion des sels concentrés :

Le principal problème environnemental lié à une usine de dessalement est comment se débarrasser de l'excédent des saumures concentrées. 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 décharge normale pour ces saumures est la mer (Figure III.13), 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



Figure III.12 : Rejet de l'usine de dessalement d'eau de mer d'Al-Doha, Koweït. [34]

Après le traitement, la saumure concentrée est rejetée en mer où, dessinant l'image d'un monstre tentaculaire.

III.5.2 L'impacts Négatives de dessalement :

Les activités de dessalement d'eau de mer ont des impacts défavorables sur l'environnement. La plupart des impacts dérivent du positionnement des tubes d'alimentation et des canalisations de décharge de saumure.

Les sources d'eau appropriées pour le dessalement peuvent avoir des origines de base fondamentale: eau de mer et eau souterraine. Le dessalement d'eau de mer ou de l'eau saumâtre des usines d'osmose inverse peuvent avoir plusieurs aspects négatifs directe ou indirecte sur l'environnement. [35]

III.5.2.1 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 libéré dans ce milieu est déterminant pour les dommages qu'il peut induire. A part le volume proprement dit, les modalités et l'emplacement du rejet sont essentiels pour les impacts qui peuvent en résulter.

La longueur de l'émissaire, 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 caractéristiques hydrodynamiques (courants ,vagues,...) peuvent conditionner la dispersion de la saumure et l'efficacité de la dilution au point de rejet et, par voie de conséquence, l'impact potentiel sur l'environnement.

Par exemple, à l'usine de dessalement de Dhekelia (Chypre), qui a une capacité de production de 40 000 m³/jour, la saumure, d'une salinité d'environ 72 ‰, est rejetée dans la mer par un émissaire doté à son extrémité d'un multi diffuseur, à une profondeur d'environ 5m et une à distance de 250 m du rivage; il en résulte un accroissement de la salinité dans un rayon de 200m à partir du rejet. De ce fait, la plus forte salinité (54 ‰) a toujours été décelée au point de rejet et était possible de relever une salinité supérieure à celle de l'eau de mer (39 ‰) 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. [9]



Figure III.13 : Décharge sous marin de la saumure proche de la plage de Maspalomas (Îles Canaries).
[36]

III.5.2.2. Impact sur l'environnement marin en raison de différents produits chimiques utilisés : [35]

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 :

a) Effets dus aux produits de la corrosion :

Les usines de dessalement par distillation rejettent des métaux tels que le cuivre, le nickel, le chrome et zinc dans le milieu marin. Ces métaux ne se trouvent pas à l'état d'ions libres mais forment des complexes inorganiques et organiques qui sont adsorbés sur les matières en suspensions et déposent en s'accumulant dans les sédiments. Comme, dans ce cas, le problème ne réside pas dans la concentration effective du métal mais dans sa charge totale atteignant l'environnement, on ne peut pas atténuer les effets en diluant le rejet.

a) Effets dus aux additifs antitartre :

Les produits utilisés contre l'entartrage sont les phosphates polymères. Dans une zone marine oligotrophe comme la mer méditerranée, le rejet de ces produits peut avoir des effets drastiques tels que des efflorescences algales, des proliférations d'algues macroscopiques, etc. Ces dernières années, les agents antitartre les plus utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets eutrophisants.

b) Effets des additifs antisalissure :

Si le chlore est un agent antisalissure à large spectre, il présente aussi des effets étendus sur le milieu marin quand il est rejeté avec la saumure. Il occasionne des effets biologiques par son action stérilisante intrinsèque et des effets chimiques en halogénant les constituants organiques de l'eau de mer.

c) Effets des additifs antimousse :

Les agents antimousse sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire.

Tableau III.8 : Résumé des phases de traitement au cours de la production d'eau potable par dessalement. [37]

Traitement	Objet	Produits chimiques ajoutés	Devenir des Produits
Coagulation-filtration	Prévient les salissures et l'encrassement des membranes	Coagulants- flocculants	Les agents flocculants formés se séparent par décantation et sont éliminés par filtration
Désinfection	Prévient l'encrassement biologique et l'élimine les microorganismes qui se nourrissent des matières des membranes	Chlore (ou biocides, UV)	Chlore également réparti dans le perméat et la saumure concentrée
Déchloration	Protège les membranes sensibles au chlore	Bisulfate de sodium ou charbon actif granulaire (CAG)	Réagit avec le chlore pour former du sulfate et du chlorure qui sont retenus dans la saumure concentrée

Ajustement du pH à 7	Prévient la corrosion du système de distribution, protège la flore et la faune aquatiques en cas de rejet en surface	Noah, carbonate de sodium anhydre, chaux	Accroît le niveau de sodium dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Désinfection	Prévient la prolifération bactérienne dans le système de distribution, protège la flore et la faune aquatique si nécessaire	Chlore (ou Chlorométrie)	Le chlore est retenu dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Réduction du niveau de chlore	Élimine le chlore et d'autres oxydants	Bisulfite de sodium ou CAGE	Accroît les niveaux de sulfates et de chlorures dans l'eau produite et dans la saumure concentrée
Oxygénation	Accroît l'oxygène dissous à un niveau concourant au développement de la flore et de la faune aquatique	Aération	Accroît l'oxygène dissous dans la saumure concentrée
Élimination d'autres formes chimiques	Diminue tous les polluants susceptibles d'être présents dans l'eau produite et dans la saumure concentrée	Est fonction des formes chimiques	

III.5.2.3. Impacts marins écotoxicologiques des unités de dessalement des eaux de mer:

L'impact potentiel sur les communautés biotiques des estuaires se manifeste par la mort des différents niveaux d'invertébrés et de poissons due aux déperditions de leurs propres moyens de défenses lors de leur entraînement dans les systèmes. Beaucoup de ses organismes meurent soit par asphyxie en raison de mouvements gênants de leurs branchies soit par des dommages mécaniques internes ou externes subit lors de leur passage dans les systèmes traversés soit par les injections d'additives. La mortalité de cette faune pourra être immédiate ou latente.

De même, la majorité des œufs et de larves d'invertébrés et de poissons sera détruite. Cet enchaînement perturbe globalement certains facteurs biotiques de ses populations, telles que :

- la composition et l'abondance des espèces affectées ;
- leurs abondances dans les eaux adjacentes ;
- leur taux de survie en comparaison à la survie naturelle ;
- les rôles écologiques des organismes charriés et leurs stratégies reproductives.

Ces impacts sont plus probables à se développer dans des estuaires peu profonds fermés ou pauvrement mélangés, et dans des sites vulnérables

quand la demande en eau de mer est importante (ex : cas des stations de dessalement couplées à des centrales thermiques ; l'existence de plusieurs groupement d'industries sur le même site). [37]

III.5.2.4. Impacts de salinité: [38]

a. 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 coulé au fond de mer et empêchera son mélange, de ce fait créant un désert de sel à proximité du canal de décharge.

b. Sur les organismes marins :

- **Plancton:** une augmentation de la salinité du milieu du plancton peut réduire leur production jusqu'à leur extinction (principalement aux niveaux des larves et de jeunes individus) La susceptibilité des invertébrés varie, principalement chez les crustacées, mais en générale, ceux avec l'estomac long sont plus sensibles à une élévation de salinité que ceux avec courte. Les larves crustacées et invertébrées flottant dans la colonne d'eau sont également plus sensibles aux variations de niveaux de salinité que les individus entièrement développés.
- **Poisson :** la susceptibilité à l'élévation de salinité varie de l'espèce à l'espèce d'un endroit à l'autre, et apparemment, aucun travail ou recherche n'ont été effectués pour examiner systématiquement la résistance des diverses espèces trouvées dans le secteur méditerranéen ou du Golf.

En Méditerranée occidentale par exemple, La salinité naturelle de l'eau de mer se situe entre 37 et 38 (g/l), alors que la salinité du concentré osmotique peut atteindre les 70 g/l.

Or, en Espagne, des études menées en laboratoire et sur le terrain, ont montré que la plante à fleurs aquatique « *Posidonia oceanica* » (Figure III.15) est très sensible aux variations du taux de salinité de ses habitats naturels. Des effets notables sur la structure de la plante ont été

observés à des taux de salinité d'à peine 38,4 g/l et sur sa vitalité dès 39,1 g/l. La forte teneur en sel du concentré rejeté avec l'osmose inverse risque de porter préjudice aux bancs de *Posidonia* classés habitat prioritaire par la directive Européenne pour la conservation des habitats de la faune et de la flore.



Figure III.14 : Herbier de posidonies de Méditerranée (*Posidonia oceanica*). [39]

Tableau III.9 : les limites de la salinité pour différents écosystèmes et espèces présentes en Méditerranée. [36]

Les organismes marins	La limite de salinité	Référence
Posidonia oceanica	Ne doit pas dépasser 40 g/l	(Sánchez Lizaso et al, 2008)
Cymodocea nodosa	Ne doit pas dépasser 41 g/l	Ministère espagnol de l'environnement
Caulerpa prolifera	Autour de 50-60 g/l	(Terrados & Ros, 1992)
Zostera noltii	Ne doit pas dépasser 41g/l	(Fernández & Sánchez, 2006)
Mussels	Autour de 50-70 g/l	-



Figure III.15 : Mussels de la méditerrané [36]



Figure III.16 : Caulerpa prolifera de la Méditerrané [36]

IV .1. Introduction :

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 Cap Djinet, 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.

IV .2. Gestion de la saumure des usines de dessalement :

La saumure est un rejet du processus de dessalement .Elle se compose d'un cours d'eau avec une teneur élevée 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 à l'eau de mer Par contre, dans le cas du processus thermique, elle est approximativement de 10 % plus élevée que l'eau de mer .Ce rejet d'eau contient également des produits chimiques de nettoyage de membrane et d'autres utilisée contre l'entartrage et pour éviter la corrosion.[41]

IV .2.1. 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.

IV .2.1.1. Dilution avec un effluent de stations d'épuration :

Mélanger 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 **Cap Djinet**.

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

Stations	Débit de rejet (m ³ /j)	Débit totale
Reghaia	80000	100000
Boumerdes	15000	
Zemmouri	5000	

➤ **Calcul du taux de dilution**

Ayant le débit total des 3 stations d'épuration (boumerdes, reghaia et zemmouri) , nous pouvons donc calculé le taux de dilution :

$$Q_{\text{stations}} = 15000 + 80000 + 5000 = 100000 \text{ m}^3/\text{j}$$

Or le débit de nos rejets de saumures est de $Q_{\text{saumure}} = 122444 \text{ m}^3/\text{j}$

$$Q_{\text{tot}} = 100000 + 122444 = 222444 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{dilution} = Q_{\text{tot}} / Q_{\text{saumure}} = 222444 / 122444 = \mathbf{1.82}$$

➤ **Calcul de la concentration de la saumure après la dilution :**

La salinité des rejets de saumures est de 68.42 g/L Après dilution, la salinité est de :

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

$$\text{TDS}_{\text{saumure}} = 68.84 / 1.82 = \mathbf{37.82 \text{ g/l}}$$

- 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 37.82 g/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.

IV .2.1.2. 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, défailante ou même inexistante. [40]

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 IV.2 : Coefficient de perte du matériau de toiture [40]

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

AN :

Exemple : le volume récupérable pendant le mois de janvier

La surface de l'usine : S= 10 Ha = 100000 m²

La précipitation : P= 73.56 mm

C_p= 0.85

V= 73.56*10⁻³ *10⁵ * 0.85= 6252.6 m³

Tableau IV.3 : Volumes mensuels récupérables. (ONM)

Mois	janvier	février	Mars	avril	mai	Juin
Précipitation (mm)	73.56	54.27	45.47	48.66	29.15	5.8
Volume récupérable (m ³ /mois)	6252.6	4612.95	3864.95	4136.1	2477.75	493
Mois	Juillet	août	Septembre	Octobre	novembre	décembre
Précipitation (mm)	4.5	9.5	26.99	51.12	89.37	77.8
Volume récupérable (m ³ /mois)	382.5	807.5	2294.15	4345.2	7596.45	6613

Au vu des résultats, le volume de pluies récupérable est très faible, soit environ 43876.15 m³/an (Tableau IV.3), alors que le débit de rejets de saumures est de 122444m³/j. Nous avons conclu que la dilution par l'eau de pluie n'est pas envisageable.

IV .2.1.3. La dilution de la saumure avec l'eau de mer :

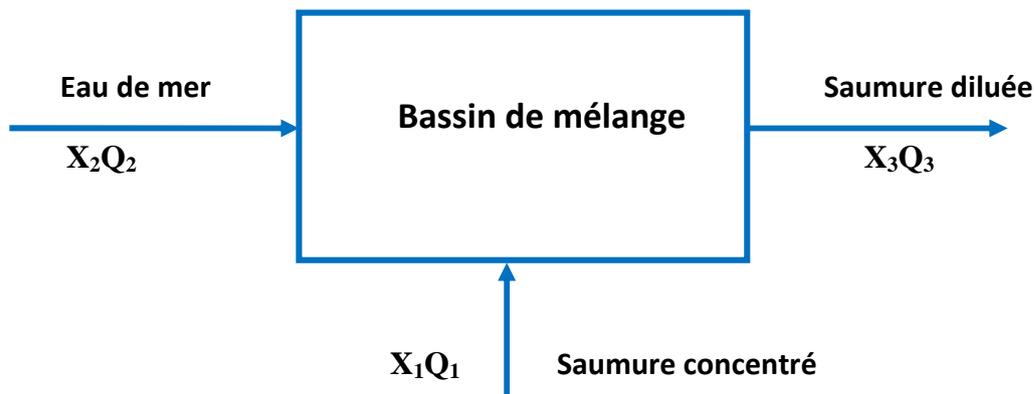
La dilution des saumures avec l'eau de mer est une solution intéressante dans les nombreux cas où il y a des zones à protéger et où la production de la saumure est très grande (dans notre cas 122444 m³/j) . Le problème principal est le surcoût d'investissement et énergétique que cela implique.

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 concertation finale de rejet

$$X_3 = 42\text{g/l.}$$



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

$$Q_3 = Q_2 + Q_1$$

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

$$Q_1 X_3 - Q_1 X_1 = X_2 Q_2 - Q_2 X_3$$

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

$$Q_2 = \frac{122444 (42 - 68.84)}{(38.23 - 42)}$$

$$Q_2 = 871723.33 \text{ m}^3/\text{j}$$

Définition des données :

X1 : concentration de la saumure. (g/l)

X2 : concentration de l'eau de mer. (g/l)

X3 : concentration de rejet. (g/l)

Q1 : débit de saumure (m^3/j)

Q2 : débit de l'eau de mer. (Débit de dilution) (m^3/j)

Q3 : débit de rejet. (m^3/j)

- Le débit $Q=871723.33 \text{ m}^3/\text{j}$ 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.

IV .2.2. L'évaporation de la saumure (marais salants) :

IV .2.2.1. Généralités sur les marais salants :[41]

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 :

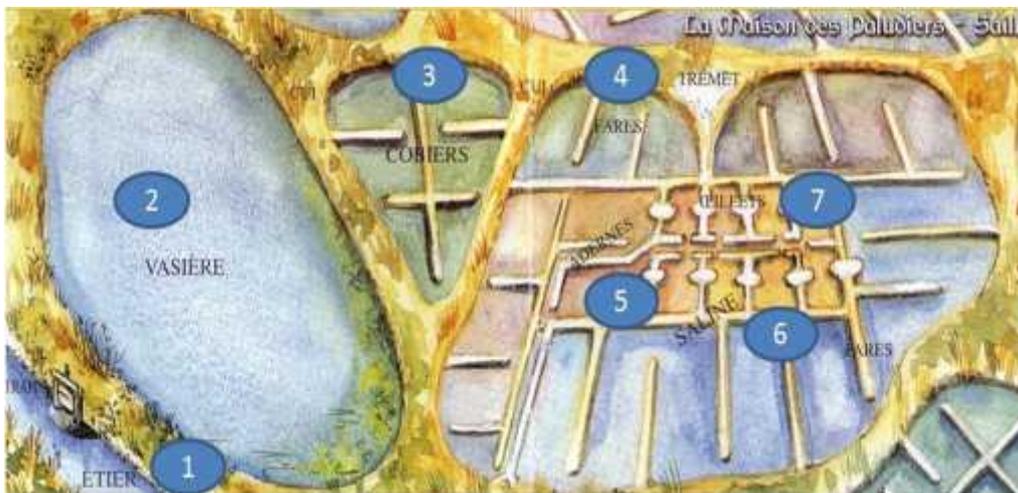


Figure IV.1 : Etapes de fonctionnement d'un marais salant

- ❖ L'eau de mer pénètre dans le marais par un canal (1) appelé l'étier.
- ❖ L'étier alimente le réservoir du marais, la vasière ou le vasais (2). 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 (3).

- ❖ Puis, l'eau passe dans les fares ou tables courantes (4) : 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 (5). Ils servent à conduire l'eau saturée en sel au coeur de la saline, au niveau le plus bas.
- ❖ Après avoir parcouru plusieurs kilomètres, l'eau arrive dans le champ du marais (6) 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 oeillets (7).

Le tableau IV.4 résume le rôle et les concentrations en sortie de chaque étapes.

Tableau IV.4 : 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

a) Saturation en sels de la saumure (seuils de cristallisation) :

En chimie des solutions, la saturation est la concentration à partir de laquelle une substance ne peut plus se dissoudre dans un solvant qui est l'eau dans le cas du marais salant. Ce point de saturation dépend de la température, de la nature du solvant : l'eau et du soluté : chaque sel, dans notre cas.

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.

b) Cristallisation fractionnée :

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

IV .2.2.2. Les facteurs favorisant l'évaporation:[41]

- ✓ 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. Dans cette partie, nous allons calculer la surface des marais salants :

IV .2.2.3. 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 :

$$E=0,484 * (1+0,6u) \exp \left(\frac{1,2 * t}{2,3+t} \right) * \left(1 - \frac{H}{1} \right)$$

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.

$t = 17,75 \text{ }^\circ\text{C}$.

$Hr = 72,1 \%$.

Tableau IV.5 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures (ONM)
Période : 1994-2008

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	M.A
Tmax	29.55	26.54	20.9	17.83	16.95	17.59	19.87	21.73	25.07	29.06	31.8	32.64	24.13
Tmoy	23.43	20.26	14.91	11.18	10.2	10.79	13.37	15.34	18.93	22.84	24.75	26.34	17.75
Tmin	16.39	13.47	8.72	6.42	7.58	5.24	6.62	8.18	11.66	15.27	17.7	19.03	11.36

Tableau IV.6 : Moyennes mensuelles et annuelle de la vitesse des vents Période : 1994-2008 (ONM)

MOIS	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	M.A
V_{moy}(m/s)	2.3	1.76	2.17	2.05	1.74	2.35	2.81	2.52	2.51	2.74	2.68	2.39	2.32

Tableau IV.7 : moyennes mensuelle et annuelles d'humidité (ONM)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	M.A
Hr%	67.15	75.3	79.3	80.1	75.25	73.4	73.65	75.75	69.1	66.75	65.65	66	72.1

Ainsi pour une surface d'1 m²,

$E=1,07 \text{ mm/jour}$

Application :

Calcul de la surface des marais salants

A l'entrée du marais salant, nous avons un débit de 122444 m³/j avec une concentration en sel de 68.84 g/L . Pour arriver à saturation dans les oeilletons, on fixe la concentration de saturation à 330 g/L car il ne faut pas dépasser 380 g/L.

$$Q_{\text{évap}} = Q_{\text{saumure}} * \left(1 - \frac{(Cs)}{3}\right)$$

Donc :

$$Q_{\text{évap}} = 122444 * [1 - (68,84 / 330)] = 96901.44 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{évap}} = 96901.44 \text{ m}^3/\text{j}$$

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

$$S = Q_{\text{évap}} * E^{-1}$$

S : Surface des marais salants (m²).

E : Evaporation (mm).

Q_{évap} : Débits d'évaporation (m³/J).

$$S = 90562093 \text{ m}^2 = 9056.20 \text{ ha .}$$

IV .2.3. L'injection dans les puits profonds :[42] [43]

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.

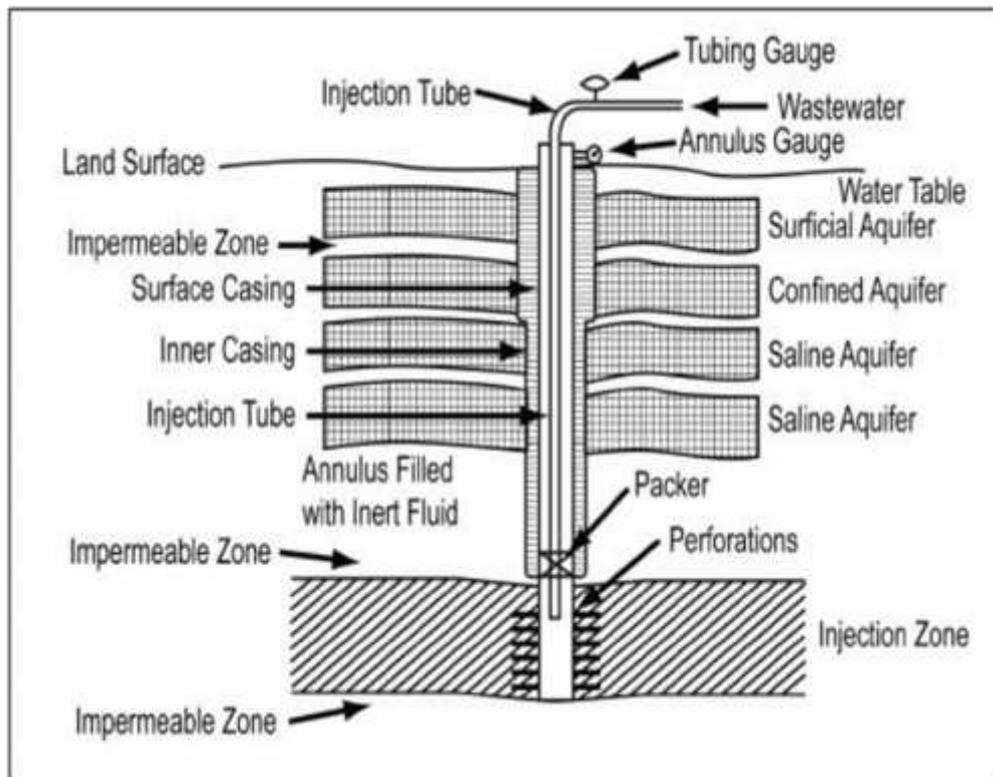


Figure IV.2 : Schéma de L'injection dans les puits profonds

IV .2.4. Production d'électricité par l'énergie osmotique :

IV .2.4.1. 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. [44]

IV .2.4.2 Principe de l'osmose :

Les sels dissouts dans l'eau de mer sont majoritairement du sodium et du chlorure que l'on retrouve dans l'eau sous forme ionique Na^+ et Cl^- . Prenons deux réservoirs remplis pour l'un d'eau douce et pour l'autre d'une solution d'eau salée de même volume séparés par une membrane semi-perméable (également dite « sélective ») qui bloque les ions de grosse taille Na^+ et Cl^- et laisse passer les molécules d'eau plus petites H_2O (on notera que l'eau douce contient également des sels mais en moindre quantité).

Les deux réservoirs étant de concentration saline différente, le niveau égal de chaque réservoir n'est pas une position d'équilibre. Il se produit donc une migration des molécules d'eau de la solution d'eau douce vers la solution saline au travers de la membrane semi-perméable. L'effet produit engendre une augmentation du niveau du réservoir d'eau saline et en même temps diminue la concentration saline de cette solution (alors que la concentration saline de la solution d'eau douce augmente parallèlement). L'effet s'arrête lorsque l'équilibre osmotique est atteint, c'est-à-dire l'équilibre entre les couples « pression » (hauteur d'eau) et « concentration » (en sels) de l'une et l'autre des solutions. [44]

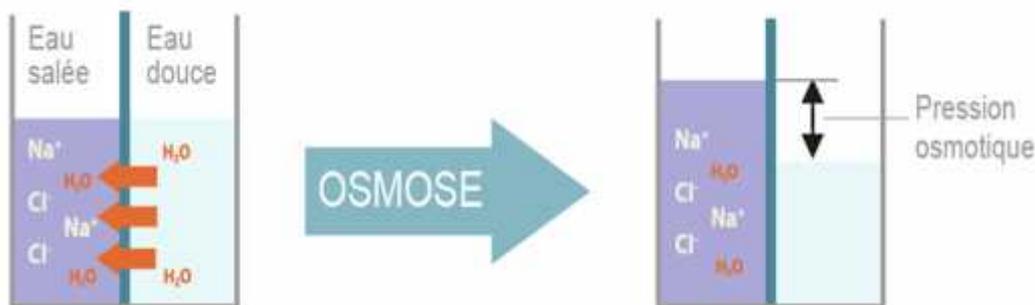


Figure IV.3: Principe de l'osmose

IV .2.4.3. Application à la production d'électricité :[45]

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.

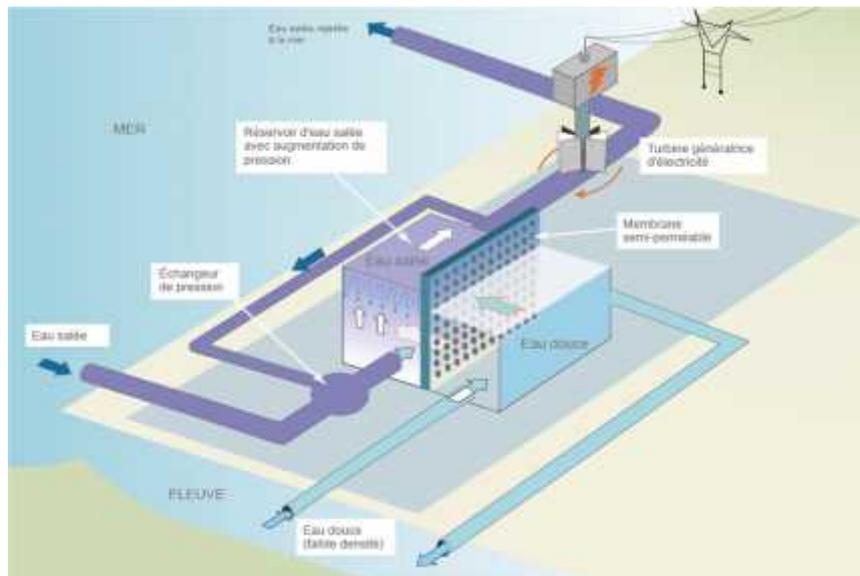


Figure IV.4 : Modèle de fonctionnement du prototype de central osmotique de Tofte

- ❖ **Note :** l'énergie osmotique dépend de la pression osmotique. Elle dépend donc de la concentration en sels selon la formule suivante : $\pi = i C R T$

IV .2.5. Rejet direct en mer :

IV .2.5.1. 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. [46]

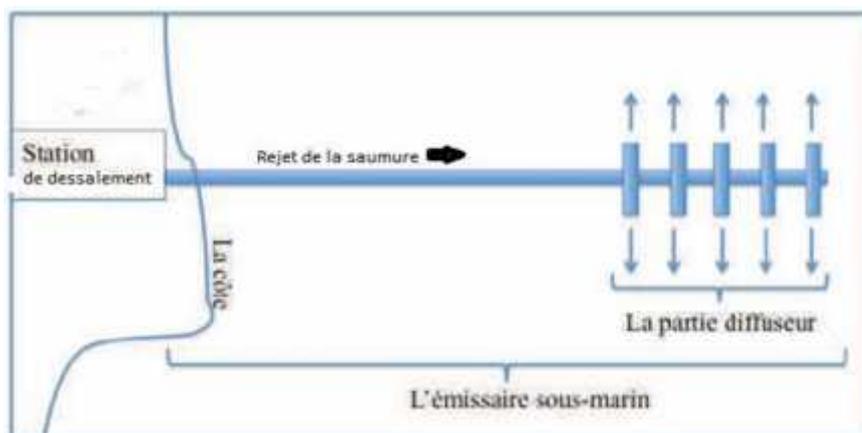


Figure IV.5: Schéma d'un émissaire marin équipé d'un diffuseur multiport [46]

Utilité de l'émissaire marin :[46]

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.

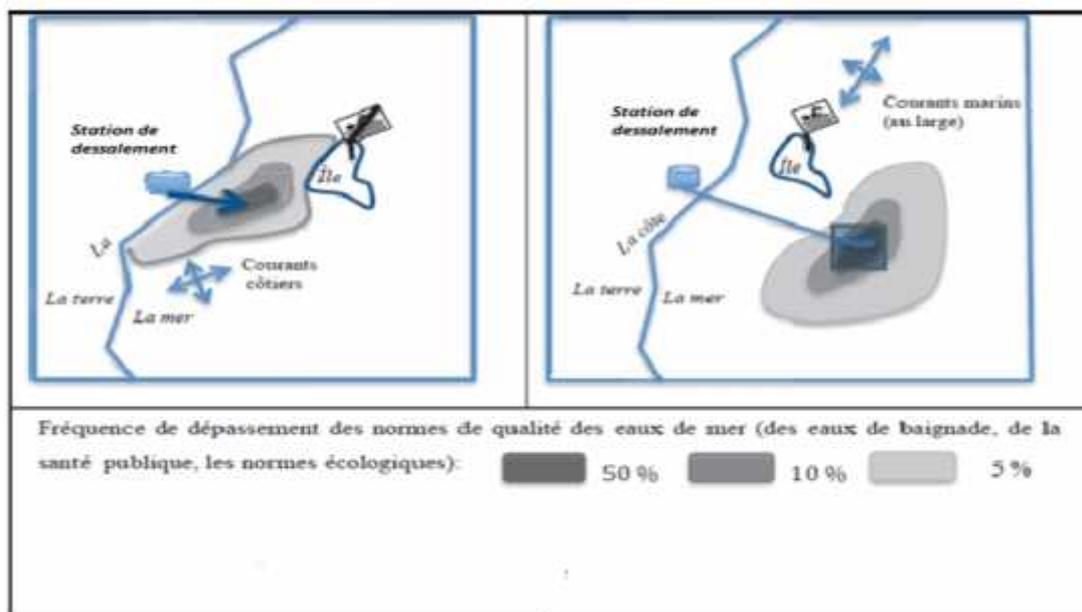


Figure IV.6 : Comparaison de deux systèmes de rejet et leurs impacts sur le milieu récepteur exprimés par la fréquence de dépassement des normes de qualité de l'eau de baignade. À gauche : émissaire court. À droite : émissaire efficace multiport.

IV .2.5.2. 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 . [41]

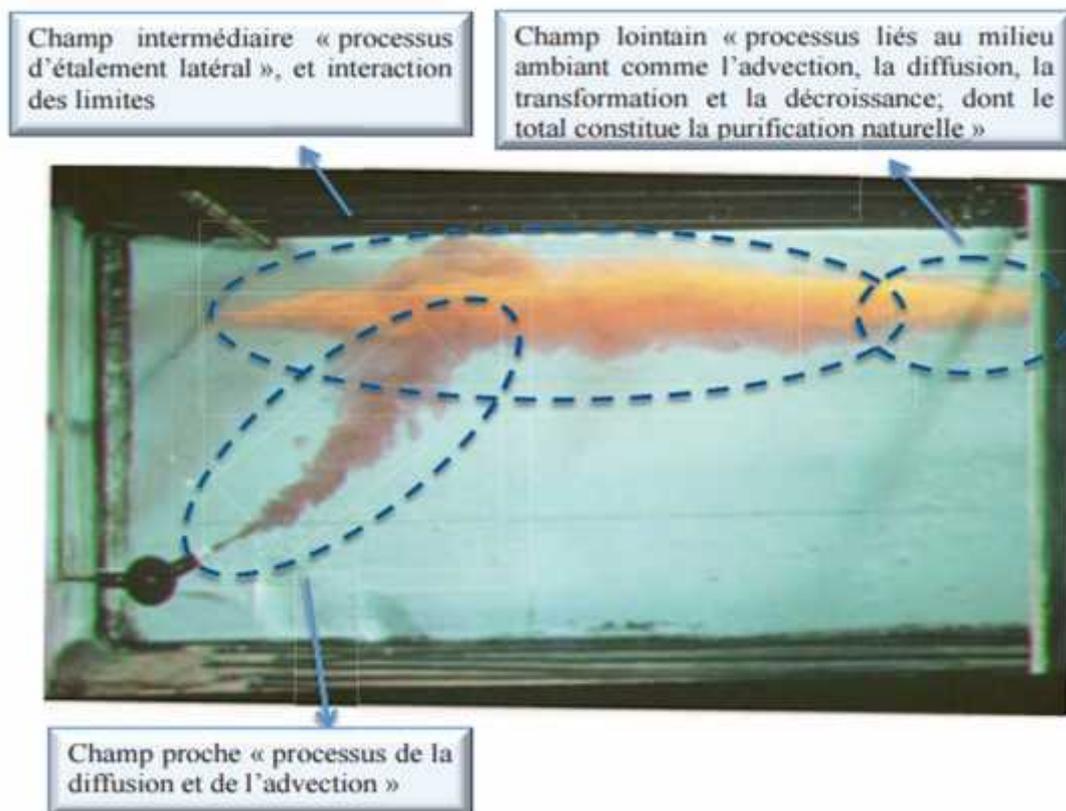


Figure IV.7 : La répartition des champs issus des rejets en mer. [46]

IV .2.5.3. Simulation des rejets de saumure de la station de Cap Djinet :

Pour la simulation de la dispersion de rejets (tant pour d'éventuels rejets d'origine terrestre que pour l'effluent), le choix s'est arrêté sur le modèle CORMIX (Cornel Mixing Zone Expert System) « au niveau de la station de Cap Djinet ». Il s'agit d'un modèle servant à l'analyse, la prédiction et la conception de rejets de liquides contaminants ou non en milieux aquatiques. Il reproduit notamment la forme et la dispersion de l'effluent dans les environs de rejet (champ proche), bien qu'il soit également capable de simuler l'évolution du rejet sur de longues distances. Le système CORMIX constitue un outil robuste et complet pour la prédiction des aspects qualitatifs (classification du flux) et quantitatifs (taux de dilution (dispersion), trajectoire de rejet) des processus hydrodynamiques de mélange résultant des diverses configurations de décharge dans tout type de milieux aquatiques, incluant les petits torrents, les grands fleuves, les lacs, les étangs, les estuaires et les zones côtières.

IV .2.5.3.1. Description du modèle CORMIX :

CORMIX est un modèle de type stationnaire qui fait partie de la catégorie des modèles échelles de longueurs. Ces modèles mesurent l'influence relative du débit de l'effluent, de sa quantité de mouvement (débit \times vitesse des eaux usées), de sa flottabilité et de la vitesse moyenne du courant du milieu récepteur sur la dispersion de l'effluent dans celui-ci.

Le modèle CORMIX a été développé à l'université Cornell entre les années 1985 et 1995. C'est un logiciel qui contient différents modules qui peuvent être utilisés pour l'analyse de la zone de mélange d'un effluent dans différents types de milieux récepteurs. Le modèle met l'emphase sur la prédiction de la géométrie de la zone de mélange et des dilutions à l'intérieur de celle-ci. Ce modèle a été développé pour représenter la dispersion des substances dissoutes contenues dans un effluent.

IV .2.5.3.2. Paramètres de simulation :

Une série de paramètres communs à l'ensemble des scénarios a été établie afin de permettre de les comparer dans des situations similaires. Il s'agit des paramètres relatifs à l'eau de mer (Tableau IV.8), à la saumure (Tableau IV.9) et à l'émissaire tableau (Tableau IV.10)

Tableau IV.8 : Paramètres de l'eau de mer

Paramètres	Valeur
salinité moyenne	38,23psu
Densité	1027,53 kg/m ³
Coefficient de manning	0,02
Courant	0,02- 0,2 m/s
Vent	2-8 m/s

Tableau IV.9 : Paramètres de la saumure

Paramètres	Valeur
salinité	68.84 psu
Densité	1050.55 kg/m ³
Limite de tolérance*	40 g/l
Débit	1.417 ³ /s

*La variation de la salinité de rejet ne doit pas dépasser 5% de la salinité ambiante. [47, 48,49]

Tableau IV.10 : Données concernant l'émissaire

Paramètres	Valeur
Distance jusqu'à la cote de tronçon diffuseur	500 m
Profondeur de rejet	7 m
Diffuseurs	40 ports
Longueur tronçon diffuseur	100 m
Distance entre diffuseur	2.5 m
Hauteur diffuseur	0.8 m
Diamètre diffuseur	0.075 m
Vitesse rejet	8.15 m/s
Angle de rejet	60°

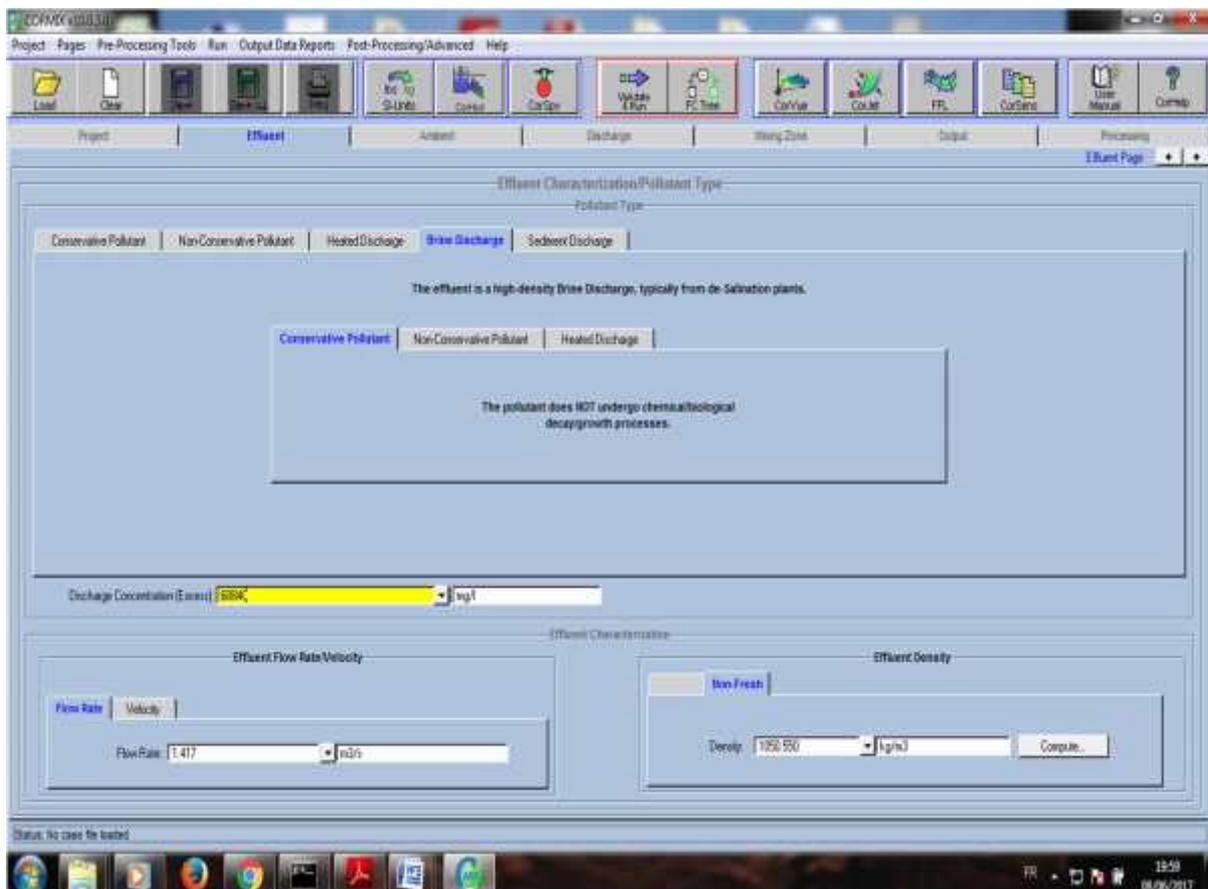


Figure IV.8 : Interface de CORMIX

IV .2.5.3.3. Résultats de simulation :

1^{er} cas : diffuseur de 100m avec 40 ports $U_w = 2\text{m/s}$; $U_A = 0.02\text{m/s}$; $D_p = 0.1\text{m}$; $\text{GAMMA}=90^\circ$ et $\text{SIGMA}=0^\circ$

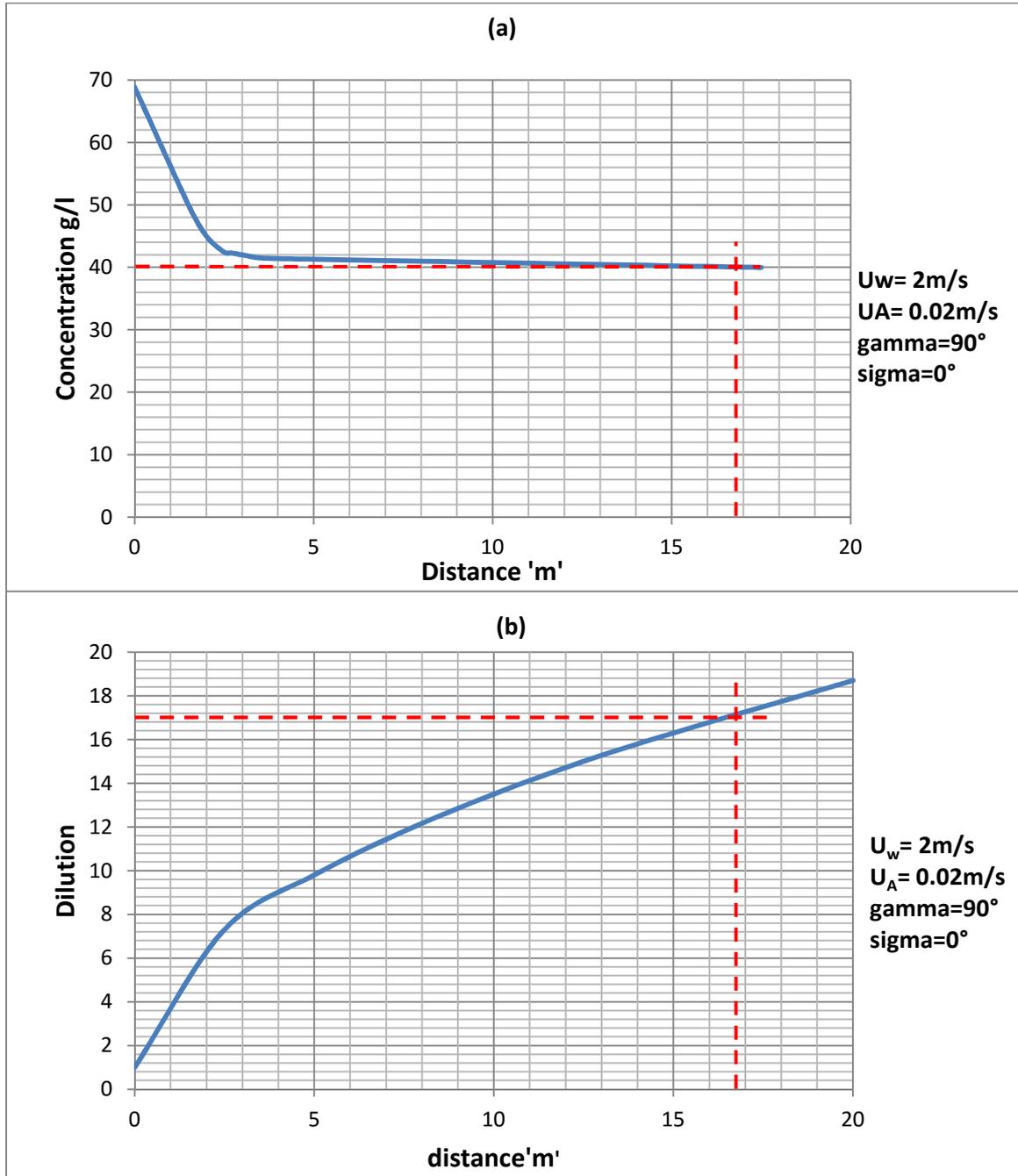


Figure IV.9 :Graphiques des concentration (a) et dilution (b) en fonction de la distance

Interprétation :

Les résultats obtenus (Figure IV.9) montrent que cette configuration du rejet et qui correspond à une vitesse de jet $U_0 = 4.58 \text{ m/s}$ permet d'obtenir la dilution nécessaire $S=17$ à une distance $X = 16.5 \text{ m}$ afin que la salinité égale 40 g/l dans la zone située à proximité du rejet, ainsi que le champ proche arrive à 50 m du point de décharge.

2^{ème} cas : diffuseur de 100 m avec 40 ports $U_w = 8 \text{ m/s}$; $U_A = 0.2 \text{ m/s}$; $D_p = 0.1 \text{ m}$; $\text{GAMMA} = 0^\circ$ et $\text{SIGMA} = 90^\circ$

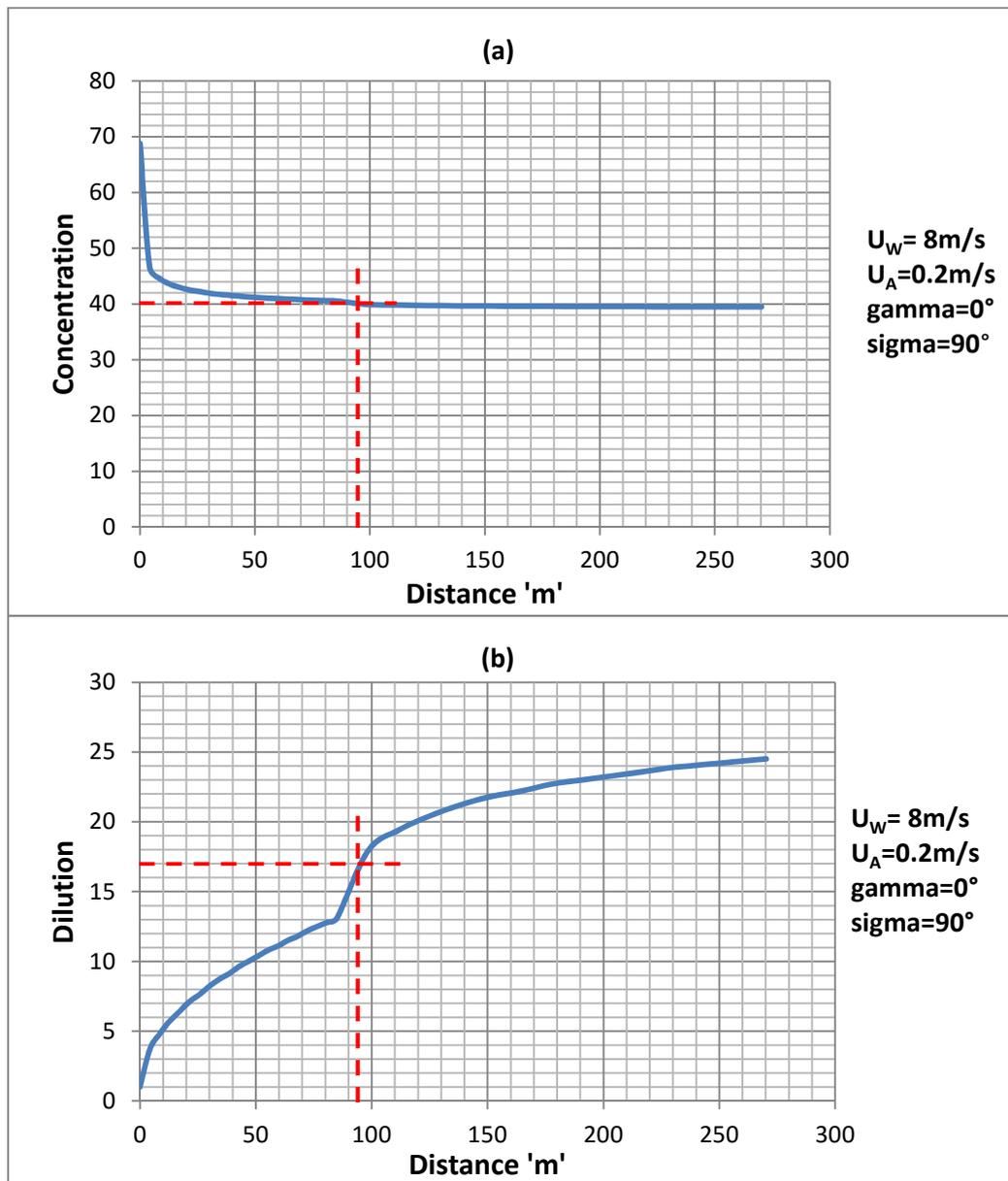


Figure IV.10 : Graphiques des concentration (a) et dilution (b) en fonction de la distance

Interprétation :

Pour ces conditions de simulation, le champ proche peut arriver à $X=50\text{m}$ on remarque clairement que un courant non parallèle à la vitesse de rejet influence négativement sur la dispersion des saumures, dont on voit que la dilution minimale admissible est de $S=17$ pour une distance $X=95\text{m}$ et qui donne une salinité de 40g/l .

3^{ème} cas : diffuseur de 100m avec 30 ports $U_w = 4\text{m/s}$; $U_A = 0.1\text{m/s}$; $D_p = 0.1\text{m}$; $\text{GAMMA}=90^\circ$ et $\text{SIGMA}=0^\circ$

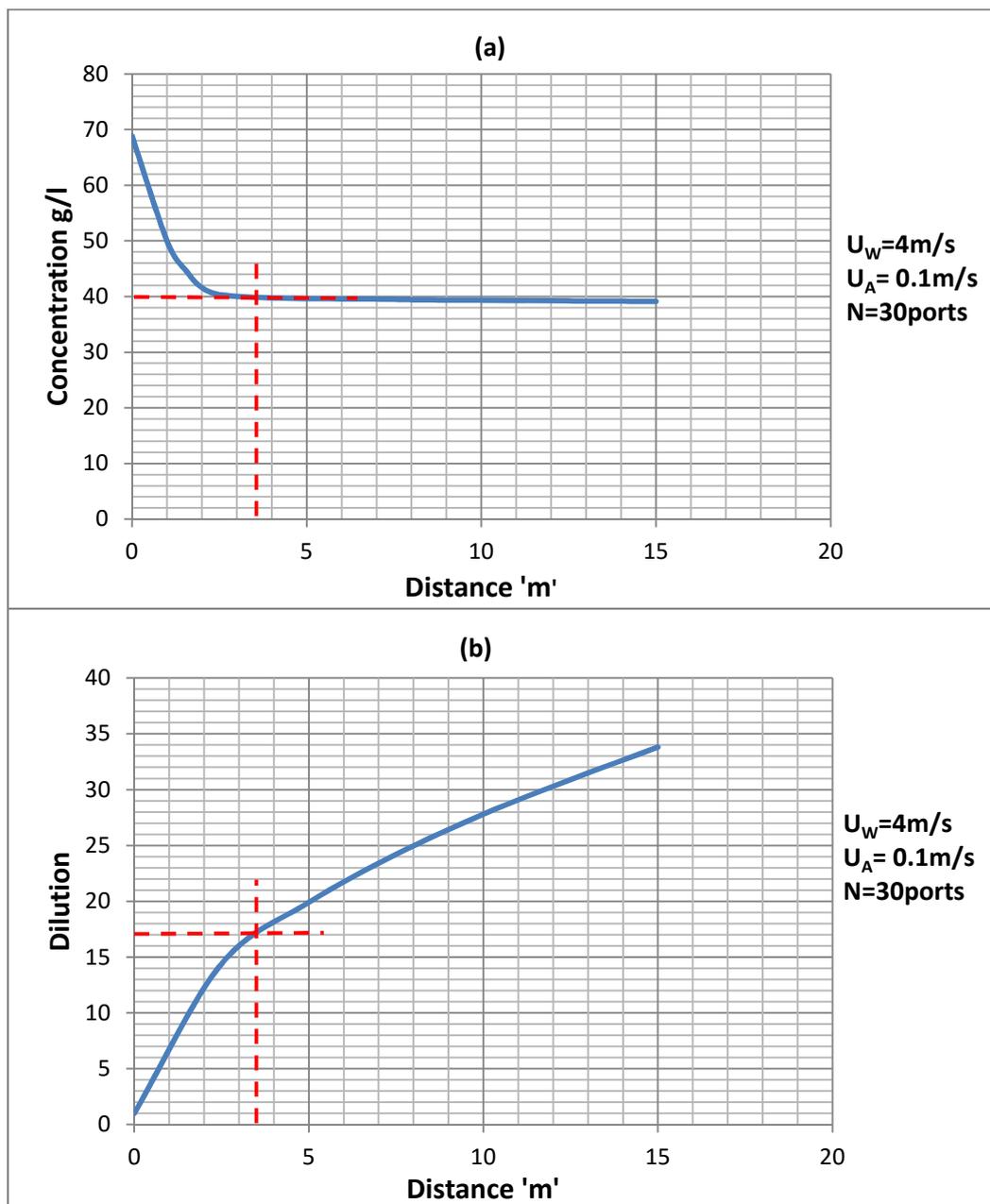


Figure IV.11 : Graphiques des concentration (a) et dilution (b) en fonction de la distance

Interprétation :

Les résultats obtenus (Figure IV.8) montrent que cette configuration du rejet permet d'obtenir la dilution nécessaires $S=17$ a une distance $X= 3.5m$ afin que la salinité égale 40 g/l dans la zone située à proximité du rejet, ce qui explique l'influence de nombre des ports sur la dilution de la saumure.

4^{eme} cas : diffuseur de $100m$ avec 40 ports $U_w = 4m/s$; $U_A = 0.1m/s$; $D_p = 0.075m$; $GAMMA=90^\circ$ et $SIGMA= 0^\circ$

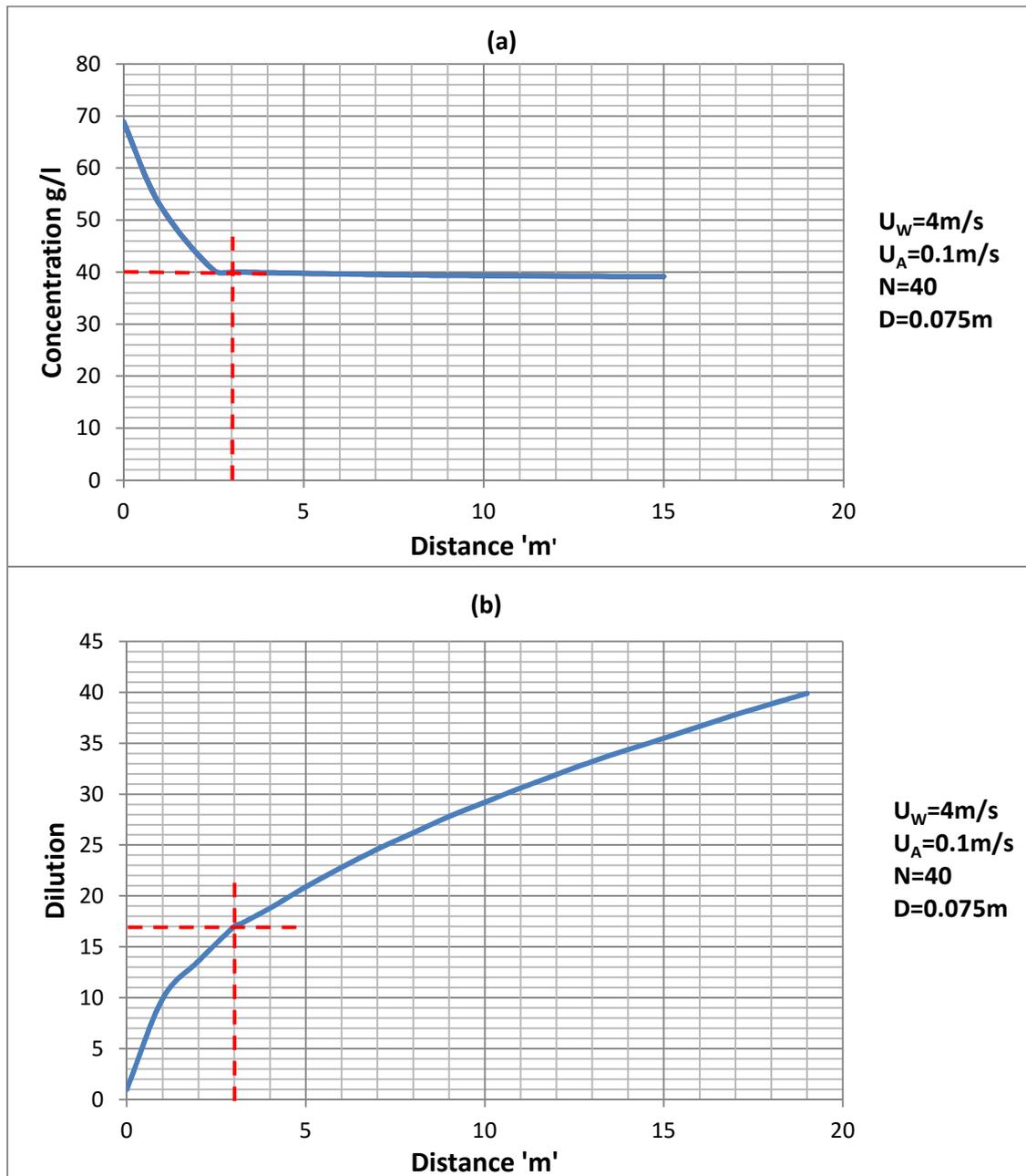


Figure IV.12 : Graphiques des concentration (a) et dilution (b) en fonction de la distance

Interprétation :

Avec des simulations pour une vitesse de sortie $U_0 = 8.15\text{m/s}$ montrent une amélioration très intéressante de la dilution à une distance très proche au point de rejet $X = 3\text{m}$ et $S = 17$, dont on peut dire que cette solution qui correspond à une augmentation de la vitesse de rejet est fortement envisageable et motivante.

5^{ème} cas : Un seul point de rejet (sans diffuseur) avec les conditions suivantes : $U_W = 4\text{m/s}$, $U_A = 0.1\text{m/s}$, $D = 1\text{m}$, $\text{THETA} = 60^\circ$, $\text{SIGMA} = 0^\circ$

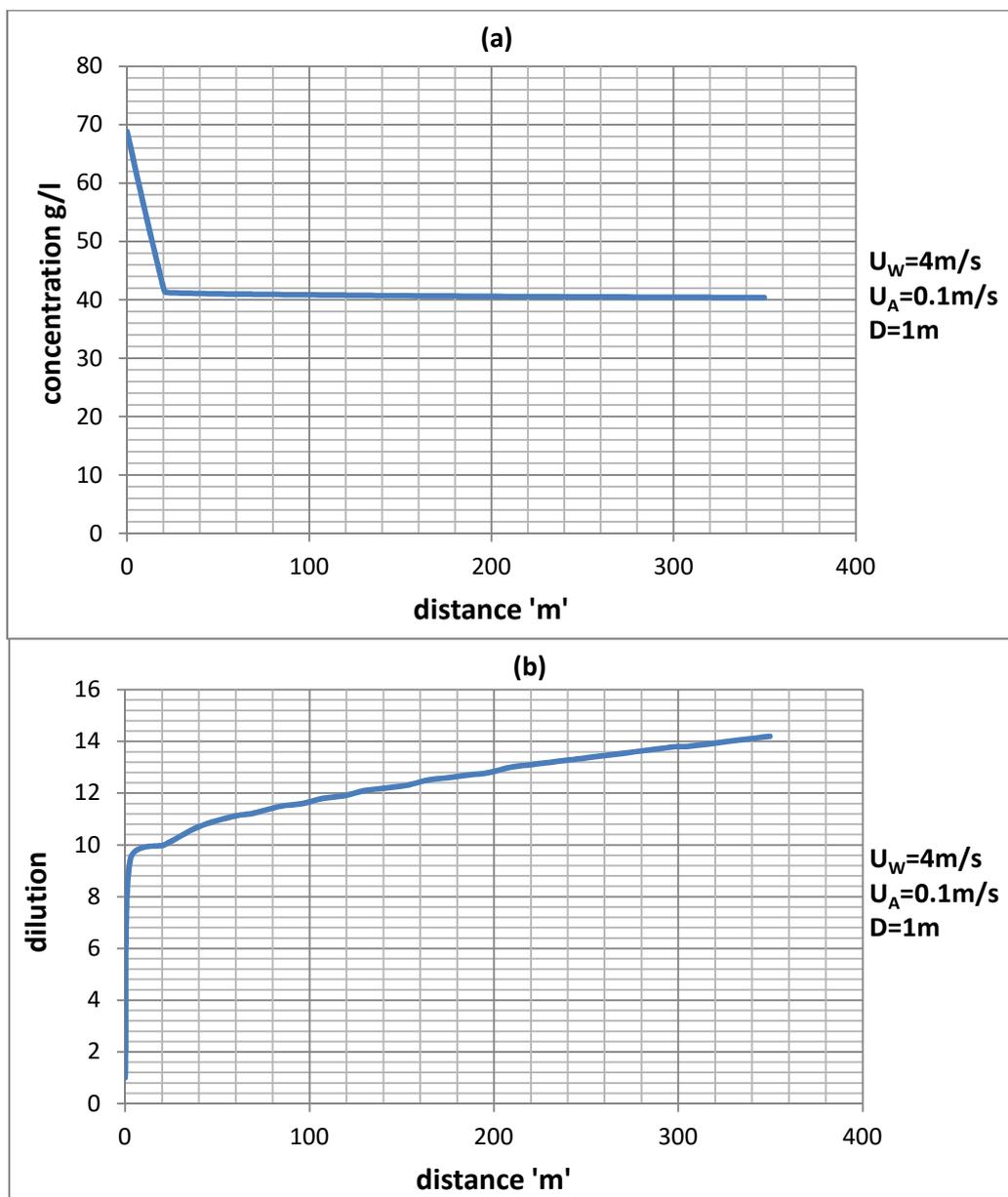


Figure IV.13 : Graphiques des concentration (a) et dilution (b) en fonction de la distance

Interprétation :

Les résultats de cette simulation pour cet éventuel scénario avec des conditions ambiantes modérées ($U_A = 0.1\text{m/s}$; $U_W = 4\text{m/s}$) où le système diffuseur est supposé qu'il ne fonctionne pas et le rejet des saumure ce fait au niveau d'un seul point et qui correspond au diamètre de la conduite principale de l'émissaire sous-marin $D_0=1\text{m}$, montre que la dilution minimale admissible ne peut pas attendre dans le champ proche à 67.81m et même à 350m du point du rejet(champ lointain) sera a plusieurs mètre a partir du point du rejet , ce qui explique l'importance du diffuseur sur la dispersion de la saumure dans le milieu marin.

- **Profil vertical du panache :**

Pour le diffuseur de 100m avec 40 ports et $U_W = 4\text{m/s}$; $U_A = 0.1\text{m/s}$; $D_p = 0.075\text{m}$; $\text{GAMMA}=90^\circ$ et $\text{SIGMA}=0^\circ$

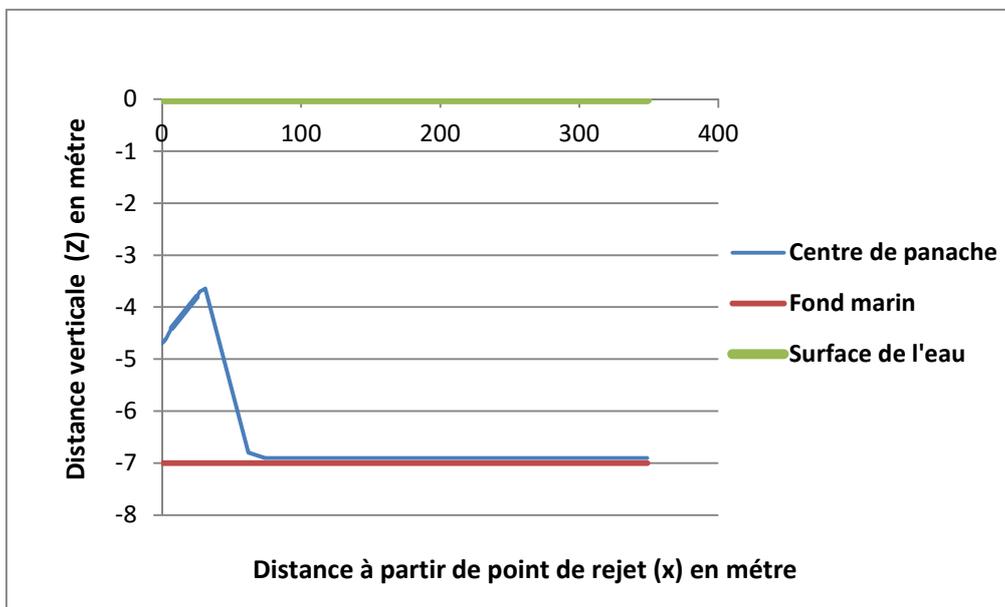


Figure IV.14 : Profil vertical du centre du panache

Interprétation :

Les simulations du 4eme cas ci-dessus Figure IV.12 et l'allure du panache de la figure IV.14, montrent que le taux de dilution requis est atteint après un parcours de 3 mètres, le panache touche le fond marin après avoir parcourue 70 mètres de point de décharge avec une dilution presque égale 80 fois et une salinité de 38.61g/l .

Identification des paramètres :

U_W : la vitesse du vents (m/s)

U_A : la vitesse du courant (m/s)

D_p : diamètre du port (m)

GAMMA : l'angle entre la linge diffuseur et la direction du vent.

SIGMA : l'angle entre la direction d'écoulement et la direction du vent

THETA : l'angle entre le diffuseur (la décharge) et l'horizontale (entre vitesse de sortie et l'horizontale)

- La configuration la plus complète, en l'occurrence celle qui permet d'obtenir la dilution nécessaire rapide dans le temps et dans l'espace a partir du point de rejet pour ne provoquer pas des dommages sur le milieu récepteur quelque soit la variation des paramètres naturelles du milieu marin (le vent et le courant).

Une étude paramétrique par simulation sur CORMIX dans les conditions naturelles pour une vitesse de vent et de courant moyenne $U_W= 4\text{m/s}$ et $U_A= 0.2\text{m/s}$, nous a montré que la configuration du système de rejet (diffuseur) la plus adéquate pour la station d'études est celle qui correspond un diffuseur de 100 m avec 40 ports et $D_p = 0.075\text{m}$; GAMMA=90° et SIGMA= 0°.

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 Cap-Djinet et qui rejette un grand débit de saumure de $122444 \text{ m}^3/\text{jour}$ 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 37.82 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 a 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.

La surface nécessaire du marais salant pour l'évaporation naturelle de la saumure est très important d'environ 9056 ha pour avoir une saturation en sels.

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 récupérés sont uniquement utilisés pour le déneigement

Pour la dilution avec l'eau de mer, un débit $Q=871723.33 \text{ m}^3/\text{j}$ 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 100 m avec 40 ports de diamètre 0.075 m 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 sure et maitrisée.

- [1] Morgan Mozas & Alexis Ghosn; État des lieux du secteur de l'eau en Algérie .Études & Analyses octobre 2013 .
- [2] Bessenasse Mohamed; Dessalement d'Eau de Mer : Etude de Trois Stations du Littoral Algérois.. Université SAAD Dahleb (Blida).
- [3] Site MRE, mre.gov.dz (ministère des ressources en eau) données publiées.
- [4] Bouchedja Abdellah ;«la politique nationale de l'eau en Algérie» ; Euro-RIOB 2012 10ème Conférence Internationale, Istanbul – Turquie – 17 au 19 Octobre 2012 .
- [5] B.Remini, C. Leduc, et W.Hallouche ; «Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens» ; Article de recherche ,Sécheresse 2009 ; 20 (1) : 96-103.
- [6] MORSLI Mebarka Soumia ; «Impact des Arrêts Techniques de L'usine de Dessalement de L'eau de Mer sur L'entreprise et L'environnement» ; mémoire de magister ; université d'Oran 2013.
- [7] Agence national des ressources hydrique ANRH. <http://www.anrh.dz/>
- [8] JEAN DUNGLAS 2014 «Le dessalement de l'eau de mer Une nouvelle méthode pour accroître la ressource en eau»
- [9] M.SEBKI et I. AISSAOUI ; « Etude paramétrique pour le dimensionnement du diffuseur de saumure de la méga station de dessalement de Magtâa » ; mémoire fin d'étude Ecole Nationale Polytechnique, Juin 2016
- [10] Ministère des ressources en eau ;«stratégie et indicateurs du secteur de l'eau en Algérie» ; le Caire 21-22 novembre 2011
- [11] Philippe Bandelier et Jean-Claude Deronzier. « Groupement pour la recherche sur les échangeurs thermiques (GRETh) ». Direction de la recherche technologique ;Grenoble (2001).
- [12] Dossier thématique - La Cité de la Mer - Technopole Cherbourg-Normandie / Avril 2012
- [13] Alain .MAUREL. «Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres», édition technique et documentation. 2001.
- [14] <http://hmf.enseiht.fr/travaux/bei/beiere/content/2012-g04/procedes-dessalement>.
- [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.enseiht.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 Constantine 1 ; 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.lachassagne ; « dessalement et recharge artificielle : synthèse techno-économique» 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 ;

- [41] Mourad AMITOUCHE ; «IMPACTS DES REJETS DES STATIONS DE DESSALEMENT SUR LE MILIEU RECEPTEUR » ; Thèse de Doctorat ,Université Mohamed Khider – Biskra , 2016 ;
- [42] Nikolay Voutchkov ; « Management of Desalination Plant Concentrate » ; 2011.
- [43] Dr. Rudolf Baten, Dr. Fulya Verdier «Desalination Using Renewable Energy» ; Task 3 – Concentrate Management ; *December 2010*
- [44] Dineshkumar U. Adokar , Dhanesh S. Patil , Amrita Gupta ; « Generation of Electricity by OSMOSIS » ; International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering ; Volume 3, Issue 3, March 2013.
- [45] <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-osmotique#quoi>
- [46] Samia Chiban ; «Modélisation de la déposition des particules solides dans les rejets urbains conduits a la mer par émissaires marins » ; Université de Strasbourg, 2013.
- [47] Fernández-Torquemada,Y. Sánchez-Lizaso,J.L. (2013),Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanic* (L.) Delile, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 119, p. 64-70.
- [48] Lattemann, S. and Höpner, T., (2003), “Seawater Desalination: Impacts of Brine and Chemical Discharge on the Marine Environment”, Desalination Publications, L’Aquila, Italy.
- [49] UNEP/MAP (2003), dessalement de l’eau de mer en méditerranée évaluation et lignes directrices, MAP Technical Reports Series No. 139, Athens

ANNEXE 1

Les méthodes d'analyse :

❖ Paramètres physico-chimiques :[30] [31]

Pour les paramètres suivants, on utilise l'appareil de mesure portable **HQd «HQ11d, HQ40d»**

- pH
- La conductivité
- La température
- O₂ dissous
- TDS «la salinité»



Figure A.1 : l'appareil de mesure **HQ11d**

1. Mesure du PH :

C'est le potentiel hydrogène , qui nous permet de Connaitre l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Exprimée par logarithme ($PH = \text{Log}_{10} [H^+]$), c'est l'inverse de la concentration de la solution en ions hydrogène $[H^+]$ exprimée en mol/l.

Mode opératoire :

Pour mesurer le PH, on utilise une sonde qui est relie a un appareil de mesure portable **HQ11d**, Cette appareil est la plus précis.

2. Mesure de la température :

Mode opératoire :

A l'aide de cet appareil de mesure portable série HQd, on peut connaitre la température.. Toutes ces analyses précédentes, ont été mesurées grâce à des sondes, qui différent selon l'analyse en question.

3. Mesure de la conductivité :

Aptitude d'une eau à permettre le passage du courant électrique. La mesure de la conductivité se fait à l'aide d'un conductimètre dont l'unité est le siemens par mètre.

Mode opératoire :

Mettre l'appareil en marche, l'étalonner le avec l'eau distille. Plonger ensuite la sonde dans l'échantillon laisser stabiliser et lire ensuite sa conductivité (en $\mu\text{s}/\text{cm}$ ou en ms/cm). Rincer l'électrode après chaque mesure.

- Procéder De la même façon pour la détermination de l' O_2 dissous, et la salinité «TDS»

4. La mesure de la turbidité :

Principe :

Comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solutions de formazine.

La mesure de la lumière diffusée est significative pour les eaux de faible turbidité non visible à l'œil nu (par exemple les eaux de boisson).

La mesure de la lumière transmise est significative pour les eaux de turbidité visible à l'œil nu (par exemple les eaux polluées) et pour les eaux de faible turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas.

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

Mode opératoire :

Remplir une cuvette de mesure propre, bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

La mesure est obtenue directement en NTU à l'aide de l'appareil de mesure **HACH 2100Q**



Figure A.2 : l'appareil de mesure **HACH 2100Q**

5. Détermination de la dureté totale TH (titre hydrométrique) :

La dureté ou titre hydrométrique d'une eau correspond à la teneur en calcium et magnésium. Les ions des éléments alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel dit sodique de l'acide éthylène diamine tetracétique à PH=10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique, en milieu convenablement tamponné pour empêcher la précipitation du magnésium. La méthode permet de doser la somme des ions du calcium et du magnésium.

Mode opératoire :

Mettre dans un erlenmeyer 100ml d'eau à analyser, ajouter 5ml de solution tampon, puis une pincée du NET «noir ériochrome T» (apparition d'une couleur rouge violet). On titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage du bleu.

$$TH = \frac{C(E) * V(E)}{V} * 10^3 \text{ méq/l} * 5 F^\circ$$

6. Détermination de titre hydrométrique calcique THCa²⁺ :

Pour la détermination du TH calcique, on utilise la méthode complexométrique par la solution d'EDTA en milieu basique à PH élevé (par la soude) et en présence d'un indicateur colore.

Annexe

Réactifs :

- Solution titrée d'EDTA (N/50)
- Solution NaOH (2N)
- Indicateur coloré (murexide)

Mode opératoire :

Dans 100 ml d'eau à analyser, on ajoute 5ml de NaOH et un peu de l'indicateur murexide (apparition d'une couleur rose violet). On titre avec l'EDTA jusqu'au point de virage du rose au mauve. Pour calculer la concentration du calcium dans la solution, on utilise la formule suivante :

$$[\text{Ca}^{+2}] = \frac{\text{VE} * \text{NE} * 5 * 1}{\text{Ve}} \text{ (f}^\circ\text{)}$$

7. Détermination de titre hydrométrique magnésium TH_{Mg²⁺} :

Pour la détermination de TH_{Mg²⁺} on utilise la formule suivante :

$$\text{TH}_{\text{total}} = \text{TH}_{\text{Ca}^{2+}} + \text{TH}_{\text{Mg}^{2+}} \longrightarrow \text{TH}_{\text{Mg}^{2+}} = \text{TH}_{\text{total}} - \text{TH}_{\text{Ca}^{2+}}$$

8. Mesure de l'alcalinité (TA, TAC):

L'alcalinité d'une eau représentent la présence des espèces chimiques :

- Les ions hydroxydes OH⁻
- Les ions bicarbonates HCO₃⁻
- Les ions carbonates CO₃⁻

On a deux types d'alcalinité:

Le titre alcalin-étique simple TA

Le titre alcalin-étique complet TAC

Principe:

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur colore,

Les réactifs :

- Eau a analyser 100ml.
- solution de phénophtaléine dans l'alcool à 0.5 %
- solution de méthyle orange à 0,5%.
- Solution H₂SO₄(1N) 20ml.
- Acide sulfurique N/50.

Mode opératoire :

✓ Détermination du TA(titre alcalimétrique simple) :

Introduire dans un erlenmeyer 100ml d'eau à analyser ajouter 1 ou 2 gouttes de phénophtaléine, une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas contraire le TA est nul et le PH est inférieur à 8.3. On titre ensuite avec l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de la couleur rose, soit «V» le volume de l'acide sulfurique couler.

✓ Détermination du TAC(titre alcalimétrique complet):

Ajouter dans l'erlenmeyer précédent deux goutte de la solution de méthyle orange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune orange (PH = 4.3). Soit «V» le volume d'acide utiliser depuis le début du dosage.

$$\text{TAC (meq/l)} = \frac{(\text{NH} \cdot \text{VH}) \cdot 1}{\text{Ve}}$$

✓ Détermination de HCO₃⁻ :

$$\text{TA} = (\text{OH}^- + \frac{1}{2} (\text{CO}_3^{2-}))$$

$$\text{TAC} = (\text{OH}^-) + (\text{CO}_3^{2-}) + (\text{HCO}_3^-)$$

$$\text{Lorsque TA} = 0 \text{ Donc TAC} = (\text{HCO}_3^-)$$

9. Pour la détermination de :

- ✓ Ammonium NH₄⁺
- ✓ Nitrates NO₃⁻
- ✓ Nitrite NO₂⁻
- ✓ Chlorure Cl⁻
- ✓ Potassium K⁺
- ✓ Sulfate SO₄²⁻
- ✓ Bore
- ✓ Fer (Fe³⁺, Fe²⁺)

Annexe

- ✓ chlore libre
- ✓ chlore totale

Au niveau du laboratoire de l'usine de dessalement **Cap-Djinet**, on a procédé aux analyses de ces éléments à l'aide d'un spectrophotomètre **DR5000** qui simplifie le travail, avec un temps très limité (quelques minutes seulement)

Les boîtes LCK (LCK341 , LCK 353 , LCK 311.....) :

Les boîtes LCK contiennent différents dosages pour la détermination des différents éléments chimiques.

Chaque analyse a sa propre méthode. A la couverture de ces boîtes, on trouve la figure qui représente les étapes de mode opératoire.

Exemple: la boîte (LCK 311) mesure des chlorure :

On prend le dosage des chlorures comme un modèle d'explication et pour les autres analyses Chaque élément a sa méthode de mesure.

Gramme de mesure (I): 1-70mg/l

1. pipette 1 ml d'échantillon
2. fermer la cuve et mélanger le contenu en la retournant plusieurs fois de suite.
3. Attendre 3 min , bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

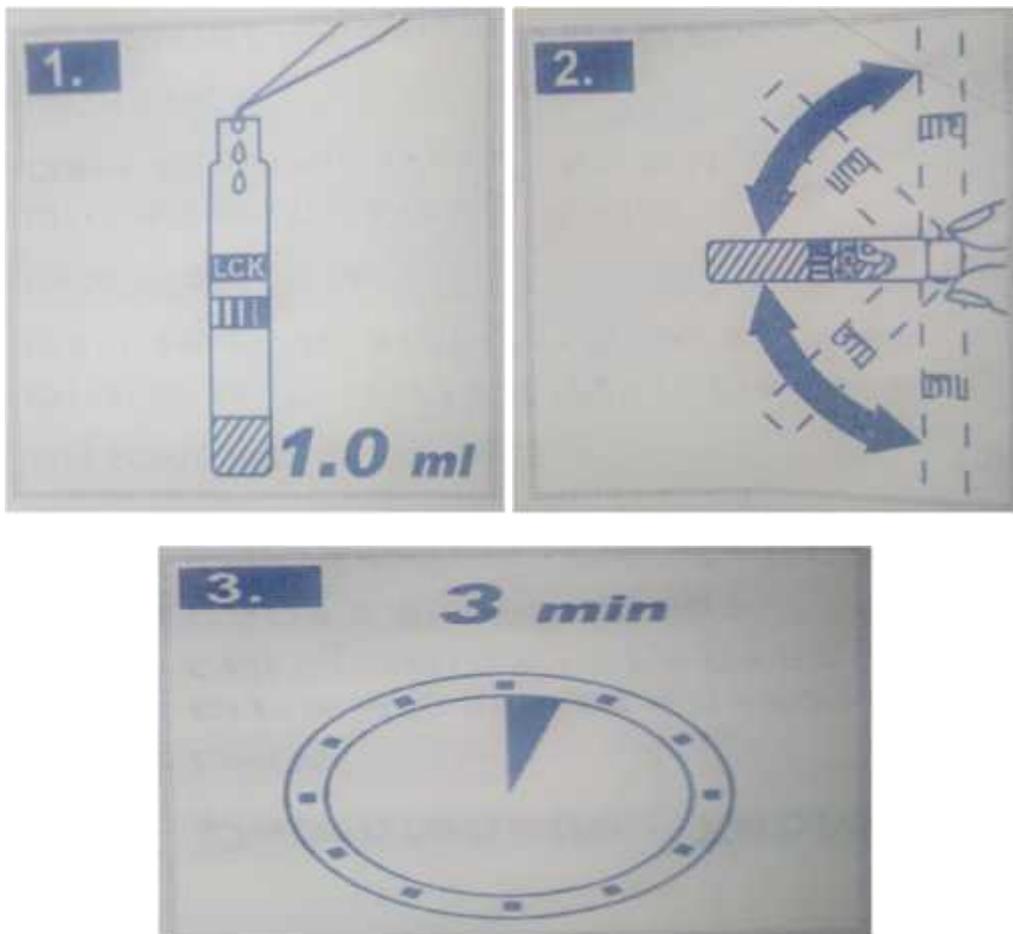


Figure A.3 : mode opératoire chlorure LCK 353

- ❖ La même méthode pour la gamme de mesure II 70-1000mg/l avec 0.1ml d'échantillon



Figure A.4 : spectrophotomètre HACH DR 5000



Figure A.4 : Les boîtes LCK

10. Détermination du sodium Na^{2+} :

Pour la détermination du sodium, on utilise la méthode par logiciel (**Rosa**), qui va faire un équilibre entre TDS et les autres éléments chimiques pour déterminer la valeur de Na^{2+}

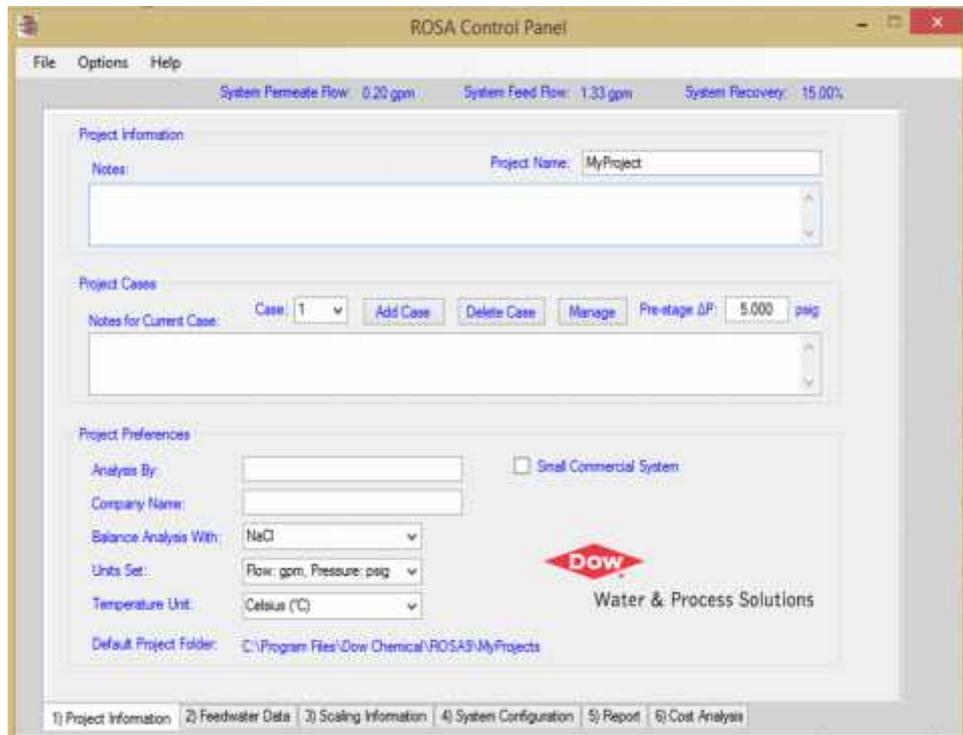


Figure A.5: interface de rosa

11. Détermination des MES :

A l'aide d'un haute filtre, on calcule la quantité des MES contenue dans l'eau. La détermination des MES à partir de verser 1 litre d'eau dans le verre filtreur et la filtration à partir des cercles glasses microfibre filtre Whatman . On mesure a l'aide d'une balance la masse du filtre avant et après la filtration et on calculer ainsi la valeur de MES.

$$\text{MES (mg/l)} = \text{masse du filtre après la filtration} - \text{la masse du filtre vide}$$



Figure A.6: Le haute filtre



Figure A.7: Balance numérique

ANNEXE 2**La norme algérienne de potabilité de l'eau de consommation(journal officiel de la république algérienne 9mars 2014)**

Décret exécutif n°14-96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.

Tableau N° 1 : paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine(norme algérienne,2014)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Parametres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux désalées ou déminéralisées : 1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanures	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
Zinc	mg/l	5	

Annexe

	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène,		
	benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01
	Benzène	µg/l	10
	Toluène	µg/l	700
	Ethylbenzène	µg/l	300

Tableau N° 1 : Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine(norme algérienne,2014).(suite)

GRUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Xylènes	µg/l	500
	Styrène	µg/l	100
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2
	Epychlorehydrine	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	1
	Pesticides par substance individualisée		
	- Insecticides organochlorés persistants	µg/l	0,1
	- Insecticides organophosphorés et	µg/l	0,1
	- Herbicides	µg/l	0,1
	- Fongicides	µg/l	0,1
	- P.C.B	µg/l	0,1
	- P.C.T	µg/l	0,1
	- Aldrine	µg/l	0,03
	- Dieldrine	µg/l	0,03
	- Heptachlore	µg/l	0,03
	- Heptachlorépoxyde	µg/l	0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
Bromates	µg/l	10	
Chlore	mg/l	5	
Trihalométhanes par substance individualisée :			
-Chloroforme	µg/l	200	
- Bromoforme	µg/l	100	
- Dibromochlorométhane	µg/l	100	

Annexe

	- Bromodichlorométhane	µg/l	60
	Chlorure de vinyle	µg/l	0,3
	1,2-Dichloroéthane	µg/l	30
	1,2-Dichlorobenzène	µg/l	1000
	1,4-Dichlorobenzène	µg/l	300
	Trichloroéthylène	µg/l	20
	Tetrachloroéthylène	µg/l	40
Radionucléides	Particules alpha	Picocuriel/L	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

Tableau N° 1 : paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine(norme algérienne,2014).(suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres Organoleptiques	couleur	mg/l platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 25 °C	Taux dilution	4
	Saveur à 25 °C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l CaCO ₃	65 pour les eaux déssalées ou déminéralisées (valeur minimale)
	Calcium	mg/l	200
	Chlorure	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20 °C	µS/cm	2800
	Dureté (TH)	mg/l en CaCO ₃	500
	Fer total	mg/l	0,3
	Manganèse	µg/l	50
	Phosphore	mg/l	5

Annexe

	Potassium	mg/l	12
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Tableau N° 2 : Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable

Elément/ substance	Symbole/ formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobie)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0,02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0,5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0,05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercur	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0,2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum entre 6,5 et 9,5
Sélénium	Se	< < 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 - 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l