

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire de Master

En vue de l'obtention de diplôme de Master

EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : Génie de l'Environnement

Thème

**Audit de conformité réglementaire dans le domaine de
l'environnement : cas de la station de dessalement des
eaux de mer de Fouka wilaya de Tipaza**

Réalisé par :

BENKADDA Chams Eddine Zakaria

SLAMANI Meriem

Encadré par :

Dr. DADOU Salima

Année universitaire 2021 /2022

Remerciements

Nous remercions en premier lieu Allah le tout puissant qui nous a prêté vie, santé et volonté pour achever ce travail, de nous avoir guidé vers le droit chemin et de nous avoir guidé tout au long de nos années d'étude.

Nous remercions nos chers parents qui nous ont soutenus depuis les premiers jours de nos vies et pour leurs encouragements constants.

Notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements sont distingués à notre promotrice Madame DADOU Salima d'avoir acceptée de nous encadrer et de nous guider dans la réalisation de ce modeste travail.

Au terme de ce travail. Nous sommes agréables d'exprimer notre sincères remerciements à Mr KHATEB Mohamed, directeur technique de la station de dessalement FOUKA (Tipaza) a qui ont bien voulu nous accueillir au sein de leur service.

Nous exprimons nos respectueux remerciements à Mr BADIS Abdel Malek chef d'option de génie de l'environnement au département de génie des procédés à l'université de Saad Dahleb de Blida 1, qui nous ont guidés au cours de la formation de master.

Nous exprimons nos respectueux remerciements aux membres de jury pour l'honneur qu'il nous en fait en acceptant de juger notre mémoire.

Nous respects et considération s'adressent également à tous nos enseignants, plus particulièrement ceux du département génie des procédés, qui ont participé à notre succès durant tout notre cursus.

Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble du personnel du Département de Génie des procédés de l'université Blida 1.

Dédicace

A toi chère maman *Samia*

Aucune dédicace très chère maman, ne pourrait exprimer la profondeur des sentiments que j'éprouve pour vous, vos sacrifices innombrables et votre dévouement firent pour moi un encouragement. Vous avez guetté mes pas, et m'avez couvé de tendresse, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Vous m'avez aidé et soutenu pendant de nombreuses années avec à chaque fois une attention renouvelée. Puisse Dieu, tout puissant vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

A toi cher papa *Foucef*

Toute l'encre du monde ne pourrait suffire pour exprimer mes sentiments envers un très cher. Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour. Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence, la lumière qui illumine mon chemin. Ce travail est le résultat de l'esprit de sacrifice dont vous avez fait preuve, de l'encouragement et le soutien que vous ne cessez de manifester, j'espère que vous y trouverez les fruits de votre semence et le témoignage de ma grande fierté de vous avoir comme père. J'implore Dieu, tout puissant, de vous accorder une bonne santé, une longue vie et beaucoup de bonheur.

A mes chères sœurs *Hourda* et *Maria*, pour leur appui, encouragement permanent et leur soutien moral. Merci d'être là pour moi, je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A ma grande mère que dieu vous garde pour nous.

A mon cher binôme *Meriem*, merci d'avoir partagé ma joie et ma peine durant ces longues années.

Ainsi, une dédicace spéciale à une personne très chère dans ma vie *Korchi Fatma Zahra* qui m'a donné à chaque fois la volonté, la motivation et qui m'a soutenu tout au long de ce travail, je souhaite que Dieu te garde toujours à moi.

A ma chère amie *Salmoun Fatouma* qui m'a toujours soutenu et réconforté dans les moments propices.

A tous mes amis particulièrement :

*Zakaria, Anes, Ouatid, Sami, Anis, Zaki, Mohamed, Brahim, Riadh, Rihab, Rania, Sarah, Wissem, Shahinez, Nazili.....*ect. je vous remercie pour les moments inoubliable que nous avons partagé ensemble et pour le plaisir dont j'ai joie avec vous .

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A toute mes amis de la promotion génie de l'environnement 2022.

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible.

Merci d'être toujours là pour moi.

Zakaria

Dédicace

A toi chère maman *Zahra*

Tu m'as donné la vie, la tendresse, et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices et l'amour que vous me portez depuis mon enfance. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés le fruit de vos innombrables sacrifices, puisse dieu, le très haut, vous accorder la santé, le bonheur et longue vie.

A toi cher papa *Mohamed*

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, le dévouement, la reconnaissance le respect que je porte au grand homme que vous êtes. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit et les sacrifices consenti pour mon instruction et mon éducation et mon bien être. Que dieu te préserve et te procure santé et longue vie.

A mes chères sœurs *Rahma, Fasmine, Dodo* et mon cher frère *Abdou* pour leur appui, encouragement permanent et leur soutien moral. Merci d'être là pour moi, je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A mon cher binôme *Zakaria*, merci d'avoir partagé ma joie et ma peine durant ces longues années.

A ma chère amie *Snès* qui m'a toujours soutenu et réconforté dans les moments propices.

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

A tous mes amis, je vous remercie pour les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble et pour le plaisir dont j'ai joie avec vous.

Et à la fin à tous ce qui allumer un bouger dans la route de la reconnaissance et tous ce qui j'ai l'honneur de son lecteur de notre travail et de prendre des informations à partir de lui.

Meriem

Résumé

ملخص:

في مواجهة المشكلة الرئيسية المتمثلة في نقص المياه ، تعد تحلية المياه خيارًا إستراتيجيًا بالنسبة للجزائر ، التي أطلقت صناعة حقيقية لتحلية مياه البحر ، وهذا خلال تحقيق قدرة إنتاجية تقدر بحوالي 2.260 مليون متر مكعب في اليوم بسبب ثلاثة عشر محطة تحلية عبر القطر الجزائري .

ومع ذلك ، فإن إنشاء محطات تحلية المياه ترتبط حتما بكارثة بيئية ناجمة عن المخلفات الملوثة كالمواد الكيميائية و الكميات الكبيرة من الأملاح .

الهدف من هذا العمل هو دراسة أداء محطة التحلية بواسطة التناضح العكسي الموجودة في مدينة فوكا ولاية تيبازة وايضا من أجل فحص تأثير البيئي هذا المعمل على البيئة البحرية.

الكلمات المفتاحية: تحلية,محطة,التناضح العكسي,الأملاح,مواد كيميائية.

Abstract:

In the face of the main problem of water shortage, desalination is a strategic option for Algeria, which launched a real seawater desalination industry, by achieving an estimated production capacity of about 2.260 million m³/d due to 13 desalination plants across the Algerian country.

However, the establishment of desalination plants is inevitably linked to an environmental disaster caused by polluting waste such as chemicals and large amounts of salt.

The aim of this work is to study the performance of the desalination plant by reverse osmosis located in the city of Fouka, Tipaza state, and also in order to examine the environmental impact of this plant on the marine environment.

Keywords: desalination, plant, reverses osmosis, salts, and chemicals.

Résumé:

Face au principal problème de pénurie d'eau, le dessalement est une option stratégique pour l'Algérie, qui a lancé une véritable industrie de dessalement d'eau de mer, en atteignant une capacité de production estimée à environ 2,260 millions m³/j grâce à 13 usines de dessalement à travers le pays algérien. .

Cependant, la mise en place d'usines de dessalement est inévitablement liée à une catastrophe environnementale causée par des déchets polluants tels que des produits chimiques et de grandes quantités de sel.

L'objectif de ce travail est donc d'étudier les performances de l'usine de dessalement par osmose inverse située dans la ville de Fouka, wilaya de Tipaza, et également dans le but d'examiner l'impact environnemental de cette usine sur le milieu marin.

Mots clés : dessalement, station, osmose inverse, sels, produits chimiques.

Sommaire

Liste des Figures.....	
Liste des Tableaux.....	
Liste des Abréviations.....	
Introduction générale.....	p1

Chapitre I

Dessalement de l'eau de mer en Algérie : un nouveau plan d'urgence

I.1.Introduction.....	p3
I.2.Historique du dessalement de l'eau de mer en Algérie.....	p3
I.3.Stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie (SDEM).....	p4
I.3.1. Grandes Stations de dessalement en Algérie.....	p4
I.3.2. Petites stations (type monobloc) en Algérie.....	p5
I.4.Liste des stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie (Année 2022).....	p6
I.5. Perspective du dessalement en Algérie.....	p8
I.6.Production effectives des stations de dessalement.....	p9
I.7.Demande d'énergie pour le dessalement.....	p9
I.8.Conclusion.....	p10

Chapitre II

Station de dessalement de l'eau de mer : cas de la SDEM de Fouka

II.1. Introduction.....	p11
II.2. Présentation et localisation de la zone d'étude (Situation géographique).....	p12
II.2.1. Localisation de la station (Situation géographique).....	p12
II.2.2. Plan de l'investissement du projet de station du dessalement de Fouka (Myah Tipaza). p13	
II.3. Capacité de la station et le processus de fonctionnement	p15
II.3.1. Capacité de la station	p15
II.3.2. Plan générale de l'usine.....	p15
II.3.3. Installations et processus	p16
II.4. Description détaillée du processus utilisés dans l'usine.....	p17
II.4.1. Pompage de l'eau de mer (Prise de l'eau brute).....	p17
II.4.1.1. Conception de la prise d'eau	p17
II.4.1.2. Conduite de prise d'eau	p18
II.4.1.3. Station de pompage d'eau brute.....	p20
II.4.1.4. Critères de conception des dégrilleurs.....	p20
II.4.2. Prétraitement de l'eau de mer.....	p21

Sommaire

II.4.2.1. Prétraitement chimique	p22
II.4.2.2. Filtres bicouches gravitaires.....	p23
II.4.2.3. Lavage des filtres.....	p25
II.4.2.4. Filtres à cartouches (micro filtre).....	p26
II.4.3. Procédé de dessalement par osmose inverse dans la station de Fouka.....	p28
II.4.3.1. Différents types de Pompe	p30
II.4.3.2. Détermination des caractéristiques hydrauliques et électriques des groupes d'alimentation haute-pression.....	p31
II.4.3.3. Critères de choix d'une pompe	p33
II.4.3.4. Fiche technique des pompes de la station de dessalement de Fouka	p33
II.4.4. Système de récupération d'énergie	p35
II.4.4.1. Principe de fonctionnement d'un récupérateur d'énergie	p36
II.4.5. Post-traitement de l'eau de mer.....	p37
II.4.5.1. Reminéralisation.....	p38
II.4.5.2. Simulations concernant la reminéralisation	p39
II.4.6. Station de pompage de l'eau traité.....	p40
II.4.7. Réservoirs d'effluents	p41
II.5. Services de l'entreprise.....	p41
II.5.1. Sous station électrique.....	p41
II.5.2. Laboratoire de contrôle de qualité.....	p41
II.5.3. Salle de contrôle.....	p43
II.6. Conclusion.....	p43

Chapitre III

Étude de performance de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka

III.1. Introduction.....	p44
III.2. Consommation énergétique par rapport aux autres alternatives de ressources en eau potable.....	p44
III.3. Avantages et les inconvénients de l'osmose inverse	p44
III.3.1. Modules spirales	p45
III.3.2. Membranes organiques	p46
III.4. Inconvénients de la suppression de la pré-chloration.....	p46

Sommaire

III.5. Inconvénients de la suppression d'un bassin de coagulation-floculation.....	p47
III.6. Inconvénients de la suppression du décanteur.....	p48
III.7. Problèmes rencontrés dans la station.....	p48
III.7.1. Corrosion	p48
III.7.2. Colmatage des membranes d'osmose inverse.....	p49
III.7.3. Entartrage	p50
III.7.4. Colmatage abiotique et microbiologique.....	p49
III.7.4.1. Conséquences du colmatage	p51
III.7.4.2. Facteurs influençant les colmatages des membranes	p51
III.7.5. Problèmes dans le système de fabrication de CO ₂	p52
III.7.6. Problèmes dans le système d'eau de service	p53
III.7.7. Problèmes dans le système des rejets de la station	p53

Chapitre IV

Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin

IV.1. Introduction	p54
IV.2. Type des rejets et ses origines	p54
IV.2.1. Rejets atmosphériques	p54
IV.2.2. Rejets chimiques.....	p54
IV.2.3. Saumure concentrée	p55
IV.3. Impacts des rejets de dessalement.....	p58
IV.3.1. Impact du bruit.....	p58
IV.3.2. Effets dus au prélèvement d'eau mer	p59
IV.3.3. Effets dus aux produits de la corrosion	p59
IV.3.3.1. Traces des métaux	p59
IV.3.3.2. Cuivre	p59
IV.3.3.3. Fer.....	p60
IV.3.4. Effets dus aux additifs antitartres	p60
IV.3.5. Effets des additifs antisalissure	p60
IV.3.6. Effets des additifs antimousses	p60
IV.3.7. Effets potentiels des rejets de saumures concentrées.....	p60
IV.3.8. Impact des rejets de saumures sur l'écosystème marin	p61
IV.4. Élimination de la saumure	p62

Sommaire

IV.5. Collision d'organismes marins contre les tambours tamiseurs.....	p63
IV.6. Techniques pour minimiser les impacts du dessalement sur l'environnement	p64
IV.7. Conclusion	p65
Conclusion générale.....	p66
Références bibliographiques.....	

Liste des Figures

Chapitre I.....	
Chapitre II.....	
Figure II.1. Station de dessalement de Fouka.....	p10
Figure II.2. Localisation géographique de la station du Fouka sur la carte d'Algérie.....	p12
Figure II.3. Contrat de partenariat.....	p12
Figure II.4. Structure gouvernance.....	p13
Figure II.5. Structure de l'usine de dessalement du Fouka.....	p13
Figure II.6. Étapes de dessalement.....	p15
Figure II.7. Tête de prise d'eau.....	p17
Figure II.8. Émissaire submersible.....	p17
Figure II.9. Bouées de signalisation indiquant le positionnement de la conduite d'aspiration d'eau de mer.....	p18
Figure II.10. Pompage d'eau brute et injection des réactifs.....	p19
Figure II.11. Grilleurs et la station de pompage.....	p20
Figure II.12. Étapes du prétraitement avant osmose inverse.....	p20
Figure II.13. Prise des produits chimiques.....	p22
Figure II.14. Filtre à sable.....	p24
Figure II.15. Filtre à cartouches.....	p26
Figure II.16. Cartouches.....	p26
Figure II.17. Système de dessalement par osmose inverse.....	p27
Figure II.18. Membrane polyamide.....	p28
Figure II.19. Présentation d'optimisation de la station de Fouka avec système de récupération échangeur de pression.....	p29
Figure II.20. Pompe haute pression au niveau de la station de Fouka.....	p32
Figure II.21. Système de récupération d'énergie de la station de Fouka.....	p34
Figure II.22. Procédé d'osmose inverse sans récupération d'énergie.....	p34
Figure II.23. Système de récupération d'énergie de type échangeur de pression.....	p35
Figure II.24. Schéma de principe d'une unité de dessalement basé sur le principe d'osmose inverse.....	p35
Figure II.25. a) Saturation de la chaux, b) Silos de la chaux.....	p37
Figure II.26. Station de fabrication de CO ₂ sur site.....	p37
Figure II.27. Station de pompage d'eau traitée.....	p39
Figure II.28. Sous station électrique.....	p40

Liste des Figures

Figure II.29. Laboratoire de contrôle de qualité.....	p41
Figure II.30. Salle de contrôle.....	p41
Chapitre III.....	
Figure III.1. Quelque signe de corrosion au sien de la station.....	p48
Figure III.2. Congélation des tuyaux.....	p51
Figure III.3. Fuite dans le système de production de CO ₂	p51
Figure III.4. Nouvelle conduite d'eau de service.....	p52
Chapitre IV.....	
Figure IV.1. Conduite de saumure vers l'eau.....	p55
Figure IV.2. Ratios des caractéristiques de la saumure et celles des eaux de mer.....	p57
Figure IV.3. Dilution en fonction de la distance du point de rejet aux différentes valeurs de vitesse de vent.....	p62

Liste des tableaux

Chapitre I.....	
Tableau I.1. Les grandes stations de dessalement en Algérie.....	p4
Tableau I.2. Les petites stations de dessalement en Algérie (gérées par l’ADE).....	p5
Tableau I.3. Les petites stations de dessalement en Algérie (gérées par SEAAL).....	p5
Tableau I.4. Les petites stations de dessalement en Algérie (gérées par SEOR).....	p6
Chapitre II.....	
Tableau II.1. Fiche Technique de la station de Fouka.....	p11
Tableau II.2. Capacité de la station de Fouka.....	p14
Tableau II.3. Caractéristiques de la membrane SW4+.....	p28
Tableau II.4. Simulations concernant la reminéralisation.....	p38
Tableau II.5. Résumé des caractéristiques des pompes.....	p38
Chapitre III.....	
Tableau III.1. Les avantages et les inconvénients des membranes organique.....	p45
Chapitre IV.....	
Tableau IV.1.caractéristiques des effluents déversés par l’émissaire sous-marin de l’usine de dessalement de Fouka.....	p55
Tableau IV.2.caractéristiques physico-chimiques de l’eau de mer et de la saumure.....	p56

Liste des Abréviations

ONU :	Organisation des Nations Unies
MRE :	Ministère des Ressources en Eaux
RO :	Reverse Osmosis
SDEM :	Station de Dessalement de l'Eau de Mer
DEM :	Dessalement de l'Eau de Mer
ADE :	Algériennes des Eaux
SEAAL :	Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger
SEOR :	Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran
MSF :	Multi-Stage Flash distillation
OI :	Osmose Inverse
AEC :	Algérien Energy Company
BOO :	Build Own Operate
PEHD :	Polyéthylène Haute Densité
PH :	Potentiel Hydrogène
SDI :	Silt Density Index
TAC :	Titre Alcalimétrique Complet
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
SCADA :	Supervisory Control And Data Acquisition
TDS:	Taux Des Sels Dissout
TA:	Titre Alcalimétrique
MES :	Matière En Suspension
TH:	Titre Hydrométrique (dureté totale)
NTU:	Néphélométrie Turbidité Unit

Introduction Générale

Introduction générale

Le manque d'eau progresse à un rythme que tous les experts, (de l'ONU, des instituts spécialisés et des entreprises privées du secteur de l'eau), jugent dangereux pour l'avenir de l'humanité. Les projections de ces mêmes experts montrent qu'avant l'an 2050 la demande humaine d'eau, dans toutes ses formes, dépassera l'offre [1]. De ce fait, il est important de prendre conscience de ce risque et de poser le problème d'une gestion optimale équitable de cette matière première.

La pauvreté en eau est une réalité en Algérie. Cependant, ce fait brutal est parfois mal compris. La forte croissance démographique associée à l'industrialisation exige un mode d'utilisation durable de l'eau dans les secteurs industriel, agricole et domestique. Les problèmes causés par la pauvreté de l'eau impliquent des changements importants dans les critères et les objectifs des politiques de l'eau [1].

L'Algérie dépend principalement des eaux de surface. Elle compte actuellement près de 80 retenues de surface et ambitionne de les porter à 139 d'ici 2030 [2]. Ces retenues sont destinées à répondre aux besoins en eau potable et à la demande d'irrigation des hauts plateaux. Cependant, les barrages sont confrontés à une forte évaporation, à l'envasement et aux fuites à travers leurs berges et leurs fondations. Plus précisément, les longues périodes de sécheresse signifient que les barrages sont rarement pleins, ce qui affecte leur fiabilité en tant que source d'eau [3]. Pour gérer la répartition inégale des ressources en eau, des investissements importants ont été alloués à des projets visant à transférer l'eau des régions excédentaires vers les régions déficitaires. Le projet est considéré par certains comme une réalisation majeure, permettant d'approvisionner en eau les régions les plus reculées du pays. Cependant, il a également été fortement critiqué pour son approche pharaonique et son coût élevé, visant principalement à maintenir les dépenses sociales dans un contexte d'instabilité politique et ne tenant pas compte d'autres alternatives locales [3].

La plus importante méthode sur laquelle s'est basée l'excellente politique de notre Ministère des Ressources en Eaux (MRE) pour mettre fin à cette situation de crise, est la technique de dessalement de l'eau de la mer méditerranée, dont la salinité est de 35 mg/litre, pour alimenter en eau potable les villes de la zone côtière.

Parmi les nombreuses méthodes de dessalement ayant fait leurs preuves, l'Algérie a opté, dans la grande majorité des cas, pour la technique dite à Osmose Inverse (RO : Reverse Osmosis).

En effet, cette technique nécessite un prétraitement physico chimique minutieux pour protéger les membranes. Parmi les ennuis que rencontre cette technique le colmatage ; due principalement au dépôt de certains sels sur les membranes.

Introduction générale

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 (35 g /L en mer Méditerranée).

Les rejets et les déchets issus d'usine de dessalement ont des impacts non négligeables sur l'environnement. Le dessalement génère des déchets et des eaux à fortes concentrations en sels.

L'objectif de notre travail est de planifier un audit environnemental sur la station de dessalement d'eau de mer de Fouka (Tipaza). Le manque de données nous a contraints à poser de nombreuses hypothèses qui sont à prendre en considération.

Ce mémoire est devisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur le dessalement en Algérie : un nouveau plan d'urgence.

Le deuxième chapitre a pour objectif de présenter selon la littérature la station de dessalement de l'eau de mer : Cas de la SDEM du Fouka.

Le troisième chapitre porte sur la présentation selon la littérature l'étude de performance de la station de dessalement du Fouka.

Dans le quatrième chapitre les impacts des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin sont présentés. Nous terminons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Dessalement de l'eau de mer en Algérie : un nouveau plan d'urgence

I.1. Introduction

Les ressources en eau, menacées par les activités humaines, industrielles et agricoles, et par le réchauffement climatique, sont devenues un enjeu majeur, auquel l'état Algérien attache aujourd'hui une très grande importance. Toutefois, il faut admettre que les ressources en eau en Algérie sont limitées, vulnérables et inégalement réparties. Ceci nous amène à dire que l'Algérie par la force de la nature et de l'être humain, se trouve aujourd'hui confronté, à un problème de disponibilité en quantité et en qualité suffisante. Il est particulièrement important de noter ici que, la Banque Mondiale classe l'Algérie dans la catégorie des pays « les plus pauvres en matière de potentialités hydriques », avec uniquement 11,5 milliards de mètres cube d'eaux renouvelables par an, soit 292 m³ par personne, alors que la moyenne mondiale est de 6 000 m³ par personne.

I.2. Historique du Dessalement de l'eau de mer en Algérie

La question de l'eau constitue un défi permanent pour les pays de l'Afrique de l'Ouest en général et l'Algérie en particulier. La demande est en constante augmentation, notamment pour le secteur de l'agriculture qui absorbe plus de 87 % du potentiel disponible. Par ailleurs, et à l'instar des pays riverains de la Méditerranée, le développement socio-économique des pays de cette région s'est accompagné d'une profonde modification des rapports que l'homme entretient avec la ressource en eau.

La dépendance par rapport aux eaux de surfaces et souterraines est extrêmement variable d'un pays à l'autre. L'Algérie, a connu plusieurs grandes sécheresses durant ce siècle. L'observation des moyennes pluviométriques annuelles relevées entre 1924 et 2000 met en évidence une alternance de périodes pluviométriques humides et sèches : une période relativement humide entre 1924 et 1934 suivie d'une période relativement sèche entre 1935 et 1945 à laquelle succède une période humide (1946/1976) qui laisse place à une période très sèche entre 1977 et 2000 [4].

La mobilisation des eaux souterraines au nord du pays a atteint son seuil maximal, d'où une sur exploitation des nappes superficielles et la détérioration de la qualité de l'eau. Le recours au Dessalement d'eau de mer devient alors indispensable pour sécuriser l'alimentation en eau potable dans cette région. Un programme d'urgence de Dessalement de l'eau de mer (DEM) a donc été adopté dès 2002 pour répondre aux besoins. Il a été suivi d'un autre programme issu

Chapitre I Dessalement de l'eau de mer en Algérie : un nouveau plan d'urgence

des résultats de l'étude générale sur le Dessalement d'eau de mer, pour la réalisation de 13 grandes stations d'une capacité avoisinant 2,2 millions de m³ /jour.

Cette étude a été élaborée par le secteur des ressources en eau (2002-2004) dans le but de définir une stratégie à court, moyen et long terme sur le développement du Dessalement de l'eau de mer. Elle a touché 20 wilayas dont 14 côtières et 6 limitrophes et a porté sur :

- i) L'évaluation des besoins (domestiques, industriels et agricoles),
- ii) Le recensement des infrastructures de mobilisation et transfert (barrages et adductions),
- iii) L'évaluation des ressources en eau (superficielles et souterraines) et l'évaluation des ressources en eau non conventionnelles (eaux usées épurées et eaux dessalées) (MRE).

I.3. Stations de Dessalement de l'eau de mer en Algérie (SDEM)

Le littoral de l'Algérie compte 21 stations de Dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas côtières et 2 autres en construction, qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau (MRE). Elles fournissent 17 % de l'eau consommée dans le pays et alimente 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/jour.

I.3.1. Grandes Stations de Dessalement en Algérie

L'une des stations à grande capacité est celle d'El-Hamma (fonctionnelle en 2007) à Alger produit 200 000 m³ par jour (plus grande usine de Dessalement d'Afrique). Le Tableau (I.1) ci-dessous donne la répartition des stations de Dessalement en Algérie entre 2005 -2014.

Tableau I.1. Grandes stations de Dessalement en Algérie (Algériens des eaux (02-10-2012)).

N°	Localisation	Capacité (m ³ /j)	Mise En service	Investisseurs (SDEM)
1	Arzew / Oran	90 000	2005	Black- Veach (Afrique du sud)
2	Souk Tleta/Tlemcen	200 000	2011	Hyflux -Malakoff Singapour)
3	Honaine/Tlemcen	200 000	2012	Geida (Espagne)
4	Mostaganem	200 000	2011	Inima- Aqualia (Espagne)
5	Ain Temouchent	200 000	2009	GEIDA (Espagne)
6	Mactaa/Oran	500 000	Q à l'arrêt 2019	Hyflux-Malakoff (Singapour)
7	Hamma/ALGER	200 000	2007	GE. Ionix (USA)
8	C D/Boumerdes	100 000	2012	Inima- Aquaalia(Espagne)
9	Fouka /Tipaza	120 000	2011	SNC Lavalinpredisa (Canada Espagne)
10	Oued Sebt/Tipaza	100 000	SDEM non lancée	Biwater *(Angleterre)
11	Tenes / Chlef	200 000	Travaux en cours	BEFESA AGUA (Espagne)
12	Echatti/Tarf	100 000	SDEM non lancée	-
13	Skikda	100 000	2009	GEIDA (Espagne)

I.3.2. Petites stations (type monobloc) en Algérie

Ce sont des stations de petite capacité (2500 m³/j). L'Algérie en possède 23 petites stations de dessalement d'eau de mer pour une capacité de 57 500 m³/j ont été réalisées et réparties à travers 08 wilayas. Cette opération a fait l'objet d'une passation de deux marchés.

16 stations du tableau, sur 12 sites d'une capacité globale de 57 500 m³/j ont été réalisées par l'entreprise Allemande LINDE-KCA (Algériens des eaux (02-10-2012)).

Tableau I.2. Petites stations de dessalement en Algérie (gérées par l'ADE) [Algériens des eaux (02-10-2012)].

Stations gérées par l'ADE	Capacité (m ³ /j)
Ghazaouet 1	2 500
Ghazaouet 2	2 500
Bou Ismail	5 000
Tigzirt	2 500
Skikda 1	2 000
Skikda 2	5 000
Bouzedjar	5 000
Chatt El ward	5 000
Tenes	5 000
Total	34 500

Tableau I.3. Petites stations de dessalement en Algérie (gérées par SEAAL). [Algériens des eaux (02-10-2012)]

Stations gérées par SEAAL	Capacité (m ³ /j)
Zeralda 1	2 500
Zeralda 2	2 500
Ain Benian 1	2 500
Ain Benian 2	2 500
Palm Beach	2 500
Total	12 500

Tableau I.4. Petites stations de Dessalement en Algérie (gérées par **SEOR**). (Algériens des eaux (02-10-2012)).

Stations gérées par SEOR	Capacité (m ³ /j)
Bousfer	5 500
Les Dunes	5 000
Total	10 500

I.4. Liste des stations de Dessalement de l'eau de mer en Algérie (Année 2022)

Le littoral de l'Algérie compte 21 stations de Dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas côtières [6] et 7 autres en construction [7], qui relèvent du Ministère des Ressources en Eau (MRE) 5. Elles fournissent 17 % de l'eau consommée dans le pays et alimente 6 millions de personnes avec un volume de 2,6 millions m³/jour.

La wilaya de Chlef comprend les stations de Dessalement d'eau de mer suivantes :

- Station de Dessalement de Ténès : 200 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Beni Haoua (en cours de réalisation) : 5 000 m³/jour d'eau potable.

La wilaya de Béjaïa comprend la station de Dessalement d'eau de mer suivante :

- Station de Dessalement de Tighremt dans la commune de Toudja : en construction, prévision 300 000 m³/jour d'eau potable⁶.

La wilaya de Tlemcen comprend les stations de Dessalement d'eau de mer suivantes :

- Station de Dessalement de Souk Tléta : 200 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Honaïne : 200 000 m³/jour d'eau potable.

La wilaya de Tizi Ouzou comprend la station de Dessalement d'eau de mer suivante :

- Station de Dessalement de Tigzirt : 2 500 m³/jour d'eau potable.

La wilaya d'Alger comprend les stations de Dessalement d'eau de mer suivantes :

- Station de Dessalement du Hamma : 200 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Staoueli (Palm Beach), mise en service le 19 août 2021, 7 500 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Aïn Benian, mise en service le 18 septembre 2021, 10 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Zeralda, mise en service le 27 octobre 2021, 10 000 m³/jour d'eau potable [8].
- Station de Dessalement de Bordj El Kiffan (quartier du Bateau cassé), mise en service en avril 2022, 10 150 m³/jour d'eau potable [9].
- Station de Dessalement d'El-Marsa en projet [10].

La wilaya de Jijel comprend la station de Dessalement d'eau de mer suivante :

- Station de Dessalement de Jijel : 200 000 m³/jour d'eau potable.

La wilaya de Skikda comprend la station de Dessalement d'eau de mer suivante :

- Station de Dessalement de Skikda : 100 000 m³/jour d'eau potable.

La wilaya de Mostaganem comprend la station de Dessalement d'eau de mer suivante :

- Station de Dessalement de Mostaganem : 200 000 m³/jour d'eau potable.

La wilaya d'Oran comprend les stations de Dessalement d'eau de mer suivantes :

- Station de Dessalement d'Arzew : 90 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Bousfer : 5 500 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Aïn Turck : 5 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Mactaâ : 500 000 m³/jour d'eau potable.
- Station de Dessalement de Cap Blanc: en construction : 300 000 m³/jour d'eau potable.

La wilaya de Boumerdès comprend les stations de Dessalement d'eau de mer suivantes :

- Station de Dessalement de Djinet : 100 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Corso en projet [10].
- Station de Dessalement de Cap Djinet, en construction, capacité prévue : 300 000 m³/jour d'eau potable [7].

La wilaya d'El Tarf comprend les stations de Dessalement d'eau de mer suivantes :

- Station de Dessalement d'El Tarf : 50 000 m³/jour d'eau potable.
- Station de Dessalement de Koudiet Eddraouche, commune de Berrihane (en construction), destinée à alimenter les wilayas d'El Tarf, Guelma, Souk Ahras et Skikda, capacité prévue : 300 000 m³/jour d'eau potable [11].

La wilaya de Tipaza comprend les stations de Dessalement d'eau de mer suivantes :

- Station de Dessalement d'Oued Sebt : 100 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Douaouda dite "Fouka 1" : 120 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement dite "Fouka 2", en construction, capacité prévue : 300 000 m³/jour d'eau potable [12] ;
- Station de Dessalement de Bousmail : 10 000 m³/jour d'eau potable.

La wilaya de Aïn Témouchent comprend les stations de Dessalement d'eau de mer suivantes

- Station de Dessalement de Béni Saf : 200 000 m³/jour d'eau potable ;
- Station de Dessalement de Chatt El Hilal : 200 000 m³/jour d'eau potable.

I.5. Perspective du Dessalement en Algérie

Un nouveau plan d'urgence permettant de doter l'ensemble des wilayas côtières d'une station de Dessalement d'eau de mer (SDEM) est en préparation, a indiqué jeudi, 29 juillet 2021 à Alger le ministre des Énergies et des Mines, Mohamed Arkab. Ce plan prévoit, dans sa première phase, la réalisation d'une SDEM d'une capacité de 250.000 m³/j dans la capitale (Alger-Ouest), une autre à Cap Djenat (400.000 m³/j) et une troisième station à El Tarf (250.000 m³/j), a précisé le ministre.

Les quatre autres stations seront implantées dans les villes d'Oran, Boumerdès, El Tarf et Bejaïa au cours du second semestre 2022. Chaque installation aura une capacité de

dessalement de 300 000 m³ par jour, soit une capacité totale de 1,5 million de m³ pour l'ensemble des stations.

D'autres projets "sont en phase d'étude" et concerneront les wilayas d'Oran, Mostaganem, Jijel, Skikda, Béjaïa et Tizi Ouzou, dans le cadre de ce plan, a également révélé le ministre, affirmant que "l'objectif est d'implanter une station de dessalement dans chaque wilaya du littoral algérien" (Algérie presse service).

I.6. Production effectives des stations de dessalement

Mise à part les deux unités de dessalement Arzew (Oran) et el Hamma (Alger) mise en service respectivement en 2005 et 2007, nous ne disposons pas de suffisamment de données concernant la production effective des usines de dessalement de grosses capacités compte tenue de la mise en service récente de ces stations.

La production effective de l'unité d'Arzew est évaluée en moyenne à 80 000 m³/jour (source ADE) depuis sa mise en service. Cette station utilise le procédé de dessalement par distillation (MSF), elle fonctionnant en cogénération avec une centrale électrique, d'où l'avantage qu'elle ne subit aucune coupure ou fluctuation de l'alimentation électrique

L'usine d'el Hamma (procédé osmose inverse) produit en moyenne 1500 000 m³/jour (source ADE) depuis sa mise en service, soit environ 75% de sa capacité nominale de production.

Cette production amoindrie à plusieurs causes a cité notamment :

- Des ruptures fréquentes d'alimentation électrique.
- L'augmentation de la turbidité de l'eau de mer en hiver.

I.7. Demande d'énergie pour le dessalement

Le dessalement de l'eau de mer, quelle que soit la technologie employée, est un processus relativement énergivore. C'est pourquoi les coûts de dessalement sont fortement corrélés aux prix de l'énergie (NAS 2008).

Les besoins énergétiques des usines de dessalement dépendent des éléments suivants :

- Volume d'eau produit ;
- Salinité et température de l'eau d'alimentation ;
- Qualité de l'eau produite ;
- Technologie de dessalement utilisée.

En raison du développement de grandes pompes qui utilisent des turbines modernes et efficaces et d'autres dispositifs de récupération d'énergie et atteignent ainsi des rendements

approchant environ 90 %, l'énergie spécifique pour le dessalement par OI a considérablement diminué au cours de la dernière décennie et se rapproche du minimum thermodynamique théorique. Les dispositifs plus récents, appelés turbocompresseurs, échangeurs de pression ou échangeurs de travail, noms adoptés par différents constructeurs, représentent des moyens efficaces de récupérer le contenu énergétique du concentré haute pression sortant du module membranaire [13]. Les turbines convertissent la pression du concentré en vitesse d'un jet qui fait tourner une roue, qui est utilisée soit pour réduire la consommation d'énergie du moteur entraînant la pompe, soit pour augmenter la pression de l'alimentation à un deuxième étage. Compte tenu des besoins de pompage supplémentaires liés à l'acheminement de la vapeur d'alimentation, de concentrat et de perméat, les besoins énergétiques globaux sont inférieurs à $3,7 \text{ kWh.m}^{-3}$ de produit en dessalement d'eau de mer [13].

I.8. Conclusion

Assurer l'alimentation en eau potable dans les régions impactées par le stress hydrique et éviter une crise de la soif a été l'un des défis majeurs relevés durant l'année 2021, le ministère des Ressources en eau et de la Sécurité hydrique a initié des plans d'urgence, à travers la réalisation de plus de 600 forages dans les régions affectées et la mise en service de plusieurs stations de dessalement de l'eau de mer, pour compenser le défi en eau superficielle.

À travers ce chapitre, on a pu mettre un aperçu sur l'historique du dessalement de l'eau de mer en Algérie. Nous avons rappelé les stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie (SDEM) et la production effective des SDEM.

Chapitre II

Station de dessalement de l'eau de mer : Cas de la SDEM de Fouka

II.1. Introduction

La station de dessalement de Fouka est l'un des 13 projets décidés par le gouvernement algérien au début des années 2000 qui venait suite à 20 années de sécheresse. Sur décision du conseil interministériel du 12 octobre 2003, l'Algérie opte pour le dessalement d'eau de mer. Un grand programme est lancé et l'AEC (Algérien Energy Company) créée en 2001 est chargée de sa mise en œuvre. L'AEC lance un appel d'offre international dans le cadre d'une BOO (Build Own Operate) afin de sélectionner une entreprise ayant les compétences, dans le cadre d'une société de projet créée à cet effet, pour concevoir, réaliser, posséder, exploiter, maintenir et commercialiser l'eau produite à savoir 120.000 m³ /jour d'eau potable destinée à l'ouest d'Alger et l'est de la wilaya de Tipaza.

Le marché a été attribué en 2005 par le groupement SNC-Lavalin, société d'ingénierie et de construction canadienne présente depuis 20 ans en Algérie, et Acciona Agua, société Espagnole spécialiste du dessalement d'eau de mer. L'usine de dessalement de l'eau de mer de Fouka est gérée par –MIYAH TIPAZA SPA créée en 2007. Les travaux de construction de l'usine ont commencé en avril 2008. L'usine est mise en service en juillet 2011.

La station de dessalement de l'eau de mer de Fouka, implantée sur la frontière séparant la commune de Fouka à celle de Douaouda, s'étend sur une superficie de 8 hectares. La station a une capacité de traitement de 120.000 m³ /jour. Une partie de l'eau dessalée est destinée à l'alimentation en eau potable de la partie Est de la wilaya de Tipaza (18 communes) et le reste est acheminé vers Alger pour le renforcement du système de distribution de la Zone Côtière Ouest.



Figure II.1. Photographie montrant la station de dessalement de Fouka

Chapitre II Station de dessalement de l'eau de mer : Cas de la SDEM de Fouka

Tableau II.1. Fiche Technique de la station de Fouka [14]

Dénomination	Myah Tipaza SpA (MT Spa)
Localisation	Commune de Fouka, wilaya de Tipaza.
Date de création	21 mai 2007
Investissement	180,5 Million USD
Procédé	Osмосe inverse
Financement	Fonds propres 20% 36,1 MUSD Emprunt bancaire (CPA) 80% 144,4 MUSD
Exploitant de l'Usine	SNC-Lavalin Internacional Espana S.A.U – Acciona Agua, S.A.U., Union Temporal de Empresas
Mise en service	12 juillet 2011
Production journalière	120 000 m ³
Production d'eau cumulée à fin mai 2021	385 926 416 m ³

II.2. Présentation et localisation de la zone d'étude (Situation géographique)

II.2.1. Localisation de la station (Situation géographique)

Fouka est située sur une plaine à 130 mètres de hauteur qui s'arrête brutalement sur une falaise qui forme un ravin abrupt avant de descendre vers la mer en traversant une bande côtière agricole de 300 mètres de large. Elle n'est traversée par aucun cours d'eau important [14].

Le site de l'usine de dessalement de l'eau de mer de fouka est localisé dans la wilaya de Tipaza, à 20 km du chef-lieu de wilaya et a environ 35km à l'ouest d'Alger. L'usine est située à l'entrée de Fouka et à la sortie de la ville de douaouda marine. Elle est sillonnée par la route nationale RN°11 en provenance d'Alger et en direction vers chlef ; et relié à koléa par le chemin de wilaya N°110 et à bou-ismail par le chemin de wilaya N°126.

La commune de fouka s'étend sur une superficie de 1273 ha et se situe au nord-est de la ville de Tipaza .elle est limitée :

- Au Nord : la mer méditerranée.
- Au Sud : la commune koléa.
- À l'Est : la commune douaouda.
- À l'Ouest : la commune de bou-ismail.

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



Figure II.2. Localisation géographique de la station du Fouka sur la carte d'Algérie.

II.2.2. Plan de l'investissement du projet de station du dessalement de Fouka (Myah Tipaza)

Près de 14 contrats ont été signés entre les différents partenaires du projet qui sera géré par la société créée à cet effet dénommée Myah Tipaza. Cette dernière a été créée le 21 mai dernier entre l'AEC et SNC Lavalin. Elle est détenue à hauteur de 49% par AEC qui est une filiale de Sonatrach et de Sonelgaz. SNC Lavalin et Acciona Agua se partagent 51% à parts égales dans le capital de Myah Tipaza.

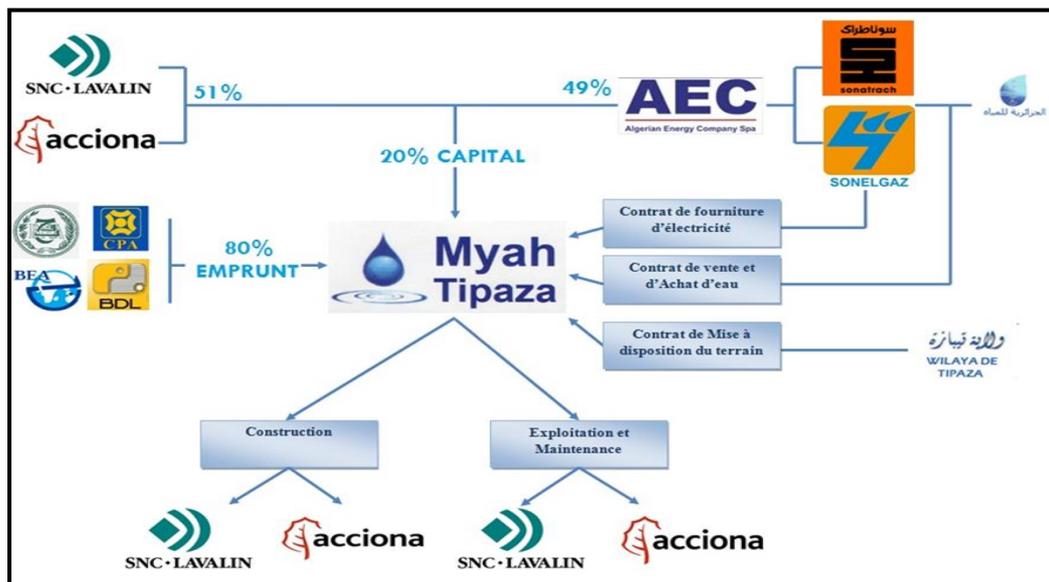


Figure II.3. Contrat de partenariat

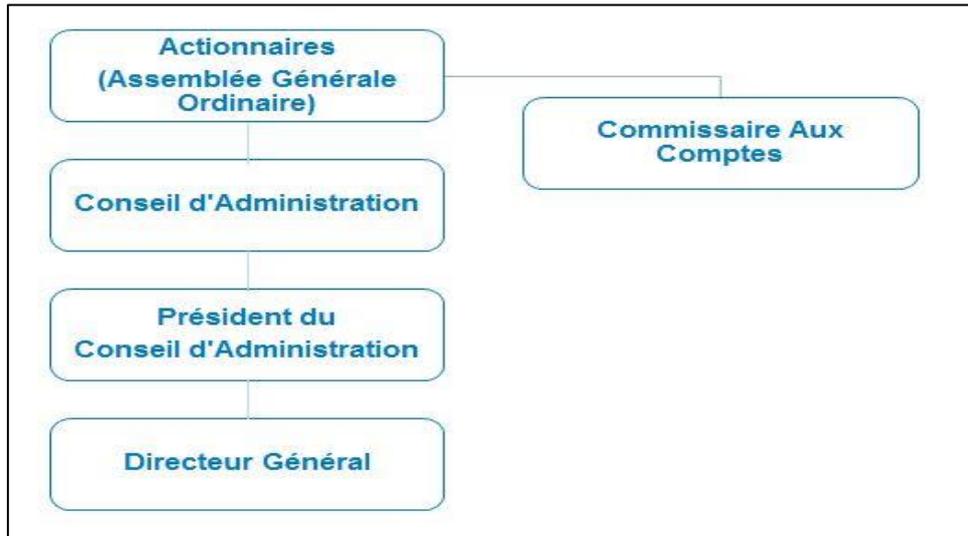


Figure II.4. Structure gouvernance.

Le projet de Fouka utilisera la technologie de l'osmose inverse pour le dessalement de l'eau et sera réalisé selon le schéma Boo (design, Built Own and Operat) construire, exploiter et posséder. L'eau dessalée de cette unité sera cédée ensuite par Myah Tipaza à l'entreprise Sonatrach, chargée de l'achat, au prix de 0,7505 dollar le mètre cube, soit 54 DA au taux de change d'un dollar pour 72 DA. L'eau sera commercialisée par l'ADE (Algérienne Des Eaux).



Figure II.5. Structure de l'usine de dessalement de Fouka.

II.3. Capacité de la station et le processus de fonctionnement

II.3.1. Capacité de la station

La capacité de traitement de la station est de 120.000 m³ /jour basée sur un approvisionnement en eau brute d'environ 273.697 m³ /jour. La production est étalée sur une période de 24h/jour soit 5000 m³ /heure. Le système d'osmose inverse est conçu de façon modulaire. Il est composé de six (6) unités d'osmose inverse (OI) d'une capacité unitaire de 20.000 m³ /jour chacune. Il est possible de faire fonctionner l'usine afin de produire les gammes des débits journaliers suivantes :

Tableau II.2. Capacité de la station de Fouka

Nombre d'unité d'osmose inverse	Débit (m ³ /jour)	débit nominal (%)
1	20.000	17
2	40.000	33
3	60.000	50
4	80.000	67
5	100.000	83
6	120.000	100

De plus, l'usine pourra fonctionner avec une (1) des deux (2) conduites de la prise d'eau à l'arrêt. Il sera alors possible de passer 100% du débit dans une seule conduite pour une production de 120.000 m³ /jour.

II.3.2. Plan générale de l'usine

Les principaux composants de l'usine sont les suivants :

- 1) Deux prises d'eau de mer ouverte avec têtes de prise ;
- 2) Une station de pompage d'eau de mer ;
- 3) Prétraitement : injection de produits chimiques (hypochlorite de calcium, acide sulfurique, chlorure ferrique, poly électrolyte, inhibiteur) ;
- 4) Prétraitement de l'eau par filtration gravitaire et filtres à cartouches ; Les prétraitements ont pour rôle d'améliorer la qualité de l'eau d'alimentation du système d'osmose inverse afin de protéger les membranes.
- 5) Dessalement par osmose inverse. Système d'osmose inverse, Pompes haute pression et Système de récupération d'énergie ;
- 6) Post-traitement, la reminéralisation par l'ajout de produits alcalins (Chaux) et CO₂;
- 7) Un réservoir d'eau traitée avec une station de pompage pour distribution ;

- 8) Réservoir de traitement des effluents ;
- 9) Systèmes auxiliaires : réseaux, contrôles, systèmes de préparation et de dosage de produits chimiques, système de nettoyage des membranes et équipements et produits d'entretien ;
- 10) Bâtiments de service.

Avec le principe de vases communicantes l'eau de mer coule depuis les prises d'eau de mer jusqu'au puits d'eau de mer. Dans le réservoir d'eau de mer l'eau est conduite par des pompes.

Une fois que l'eau est passé à travers les cartouches filtrantes il y a une augmentation de sa pression avec des pompes à haute pression pour passer à travers les membranes d'osmose inverse, où se génèrent deux flux : un d'eau d'osmose à basse pression, qui passe à la reminéralisation, et l'autre de saumure à haute pression qu'avant d'être envoyé au réservoir de lavage de filtres à sable passe par les récupérateurs d'énergie pour inter-changer la pression à la deuxième partie d'eau de mer qui ne passe pas par les pompes de haute pression.

II.3.3. Installations et processus

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

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

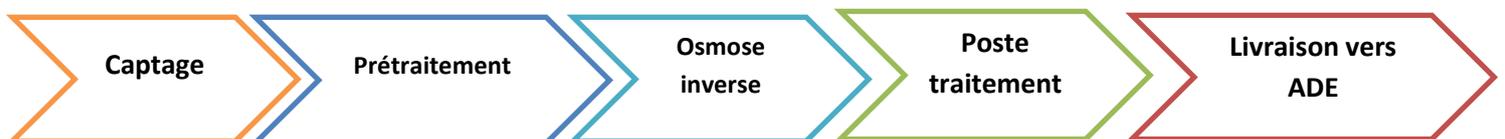


Figure II. 6. Étapes utilisées dans le dessalement

II.4. Description détaillée du processus utilisés dans l'usine

Dans le présent paragraphe on exposera le fonctionnement de chacun des systèmes qui composent l'usine. Cette tâche sera détaillée bâtiment par bâtiment.

II.4.1. Pompage de l'eau de mer (Prise de l'eau brute)

II.4.1.1. Conception de la prise d'eau

Les têtes des prises d'eau sont en acier. Au stade de la proposition, il est considéré que les têtes des prises d'eau reposeront sur un fond marin stable et qu'aucune fondation particulière n'est nécessaire.

La conception de la prise d'eau est basée sur deux (2) prises (chacune des deux (2) conduites de prise est munie d'une tête indépendante) (Figure II.7), les dimensions de chacune seront les suivantes :

- Débit d'eau brute instantané 11 404 m³/h
- Débit par prise 5 702 m³/h
- Vitesse d'entrée au débit moyen 0,1 m/s
- Barreaux 20 mm espacés à 100 mm c/c
- Facteur d'encombrement 80 %
- Surface requise d'entrée 39,6 m²
- Longueur de grille 20,0 m
- Hauteur de grille 2,0 m retenu

Les grilles d'entrée de la prise d'eau sont à environ 6 m du fond marin pour éviter l'entraînement de particules du fond marin remises en suspension par l'action des courants et pour éviter une mise à l'air lors des houles extrêmes. La vitesse d'entrée de la prise d'eau est limitée à 0,1 m/s afin d'éviter l'aspiration des solides en suspension et des débris. Des barreaux de 20 mm espacés de 100 mm c/c sont prévus pour minimiser l'introduction de gros débris dans la prise d'eau. Ces barreaux sont montés sous la forme des grillages amovibles qui peuvent être facilement démontables pour l'entretien. En effet, il est prévu que ces grilles constitueront des endroits propices à la prolifération de moules étant donné que la faible vitesse de l'eau à ces endroits favorise la croissance des larves.



Figure II.7. Photographie montrant la tête de prise d'eau



Figure II.8. Photographie montrant l'émissaire submersible

Une chloration choc est prévue à l'intérieur des têtes de prise d'eau. Il n'est cependant pas réaliste de considérer que les grilles, compte tenu de leur surface, seront exposées à des concentrations assez élevées de chlore pour empêcher la prolifération biologique.

La chloration choc aura cependant un effet positif pour limiter la prolifération des organismes à l'intérieur des conduites.

L'injection d'acide sulfurique à l'intérieur des têtes de prises sera prévu pour augmenter l'effet bactéricide de l'hypochlorite et protéger plus efficacement les conduites jusqu'au puits d'eau de mer. Les prises d'eau sont munies de trappes d'accès permettant un accès aux conduites. Les chambres seront remorquées jusqu'à leur emplacement et seront submergées de façon contrôlée sur un lit horizontal creusé auparavant dans le fond de la mer (Documentation de Myah Tipaza, 2018).

II.4.1.2. Conduite de prise d'eau

Les critères de conception pour les conduites de prise d'eau sont les suivants :

- Deux conduites avec un diamètre DN1600 mm sont prévues (2× 100%).
- En condition normale, chaque conduite passe 100% du débit ;

La conception des conduites d'amenée est aussi basée sur les principes suivants :

- Les conduites sont en PEHD.
- Le puits de pompage d'eau brute et les pompes sont conçus pour permettre le fonctionnement des prises d'eau lors de l'entretien d'une conduite.
- La longueur et l'emplacement des prises d'eau sont environ 1100 m de longueur et à 15 m de profondeur d'eau.
- Les conduites d'adduction sont posées en pente constante à un niveau de radier croissant en direction de la berge afin d'éviter l'accumulation d'air ou de gaz.
- Des regards d'inspection sont prévus à tous les 300 m environ afin de permettre une inspection visuelle.
- La vitesse dans les conduites est comprise entre 1,0 et 2,0 m/s pour limiter la formation des dépôts et réduire l'incrustation de moules.
- Un coefficient de friction $C=150$ a été retenu pour les calculs. Des vérifications sont également réalisées pour un $C= 130$, soit la condition selon laquelle des algues se développeraient à l'intérieur des conduites en polyéthylène.

Notons que la perte de capacité en raison de prolifération de moules zébrées à l'intérieur des conduites n'est pas prévue, car la vitesse à l'intérieur des conduites est supérieure à 1,0 m/s. En effet, la littérature indique que les moules ne peuvent se former à cette vitesse.

Les conduites seront déposées sur le fond marin. Cependant, les 300 premiers mètres de conduite à partir de la station de pompage seront enfouis sous le fond marin pour protéger les conduites et assurer leur stabilité contre l'effet des vagues. Cette longueur correspond à une hauteur d'eau entre 5 et 6 m au-dessus des conduites [15].



Figure II.9. Bouées de signalisation indiquant le positionnement de la conduite d'aspiration d'eau de mer.

II.4.1.3. Station de pompage d'eau brute

La station de pompage d'eau brute sert à relever les eaux jusqu'aux filtres à sable. Trois (3) dégrilleurs verticaux sont placés à l'entrée de la station pour la protection des pompes. Des vannes murales permettront l'isolation du puits de pompage pour l'entretien. Des vannes d'isolement sont également prévues de chaque côté des dégrilleurs pour isoler chacun d'eux pour entretien. Les pompes de type centrifuge verticales, sont soigneusement choisies pour résister à la forte agressivité de l'eau de mer.

La station de pompage est constituée de 7 pompes, 6 en service et une de réserve, d'une capacité de 1974 m³/h chacune (soit un total de 11 844 m³/h > 11 404 m³/h pour absorber le débit supplémentaire pendant la maturation des filtres à sable) [14].

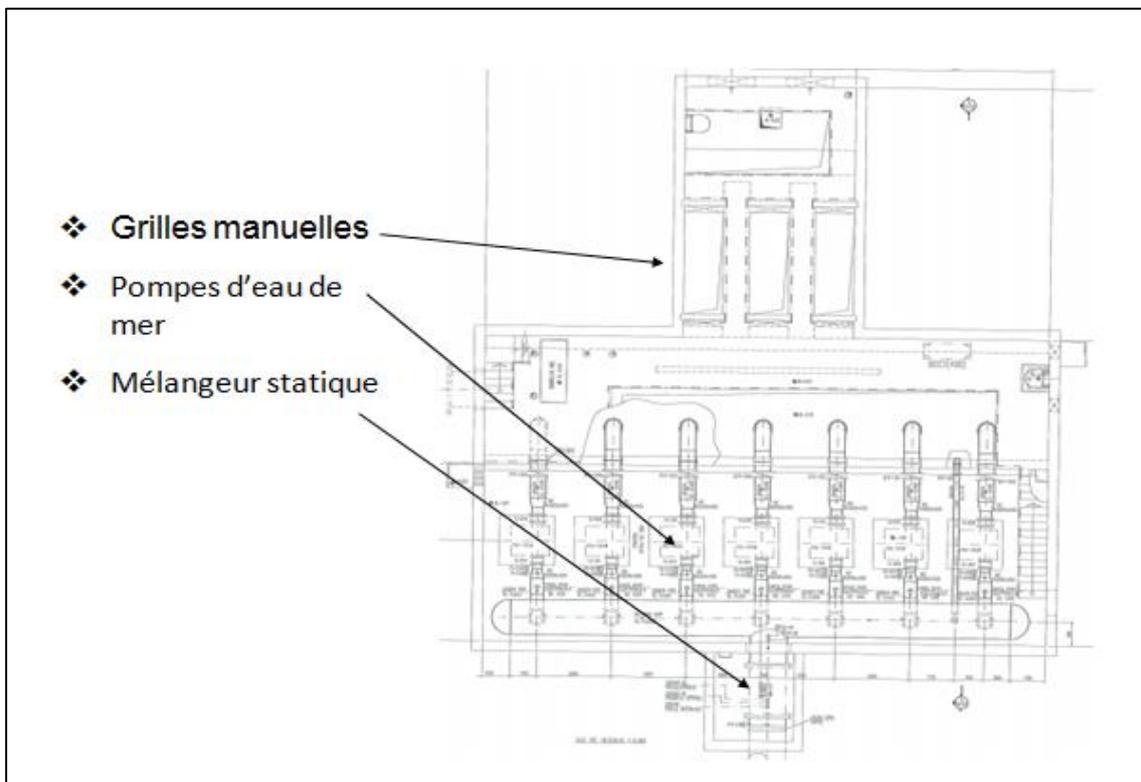


Figure II.10. Pompage d'eau brute et injection des réactifs.

II.4.1.4. Critères de conception des dégrilleurs

- Débit (m³/h) = 11 404
- Épaisseur des barreaux (mm) = 10
- Épaisseur entre les barreaux (mm) = 50
- Vitesse à travers les barreaux (m/s) = 1,0
- Section équivalente à travers les barreaux (%) = 83% [16].



Figure II.11. Grilleurs et la station de pompage [17].

II.4.2. Prétraitement de l'eau de mer

Le dessalement par osmose inverse nécessite d'abord un prétraitement très poussé de l'eau de mer pour éviter le dépôt de matières en suspension sur les membranes qui conduirait très rapidement à une diminution des débits produits. Ces dernières sont également très sensibles au colmatage par matières colloïdales et les micro-organismes, raison pour laquelle le prétraitement doit garantir une eau dessalée compatible avec les exigences du fabricant des membranes. Ainsi l'eau de mer aspirée doit subir un prétraitement par pré-chloration, coagulation, acidification, etc.

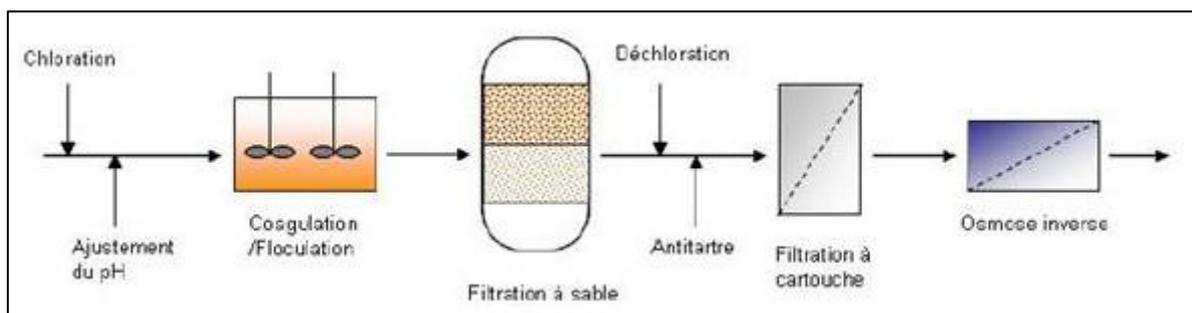


Figure II.12. Étapes du prétraitement avant osmose inverse.

Les procédés de prétraitement sont divisés en deux catégories : les prétraitements chimiques et les prétraitements physiques [15].

II.4.2.1. Prétraitement chimique

Il s'agit d'une injection de plusieurs réactifs.

- **Pré-chloration**

La pré-chloration de l'eau de mer est assurée par l'un des produits suivants : le chlore gazeux ; L'hypochlorite de calcium où l'hypochlorite de sodium, ce dernier est utilisé comme traitement de choc de l'eau brute à l'entrée de la station, pour limiter la formation de biofilm dans les conduites de la prise d'eau et les filtres mais surtout pour contrôler le colmatage biologique (biofouling) des membranes.



Toutefois la plupart des membranes utilisées actuellement en OI ne tolèrent pas le chlore ; pour les protéger une solution de bisulfite de sodium est ajoutée.

- **Coagulation**

Avec un débit 110 L/hr et une concentration entre 3 et 5 ppm, le chlorure ferrique (FeCl_3) est ajouté à l'eau brute en amont des filtres pour agir en tant que coagulant et agglomérer les particules fines. Un polymère pourrait être injecté lorsque l'eau brute sera très turbide [16]

- **Acide sulfurique**

L'injection d'acide sulfurique entre 21 et 50 ppm à l'entrée des filtres, avec un débit de 350 L/h [16].

A pour objectifs de :

- Ajuster le pH ;
- Garantir l'effet bactéricide du chlore ;
- Optimiser la performance du coagulant ;
- Eviter la précipitation de CaCO_3 à l'intérieur des membranes.

- **Décantation**

L'ouvrage de décantation est nécessaire lorsque l'eau brute est trop chargée pour subir une filtration directe (MES supérieure à 25 mg/l environ). Pour améliorer la décantation, il est préférable d'aménager une zone de floculation avec agitation lente à l'entrée du bassin, pour favoriser le grossissement des floes et améliorer leur décantation [15].

- **Élimination du chlorure d'actif**

Compte tenu de la grande sensibilité des membranes d'osmose inverse en polyamide, il est indispensable d'assurer une déchloration de l'eau de mer avant son entrée dans les modules on ajoute un anti scalant (ou Méta bisulfate de sodium) un réducteur de chlore [15].



Figure II.13. Prises des produits chimiques [17].

II.4.2.2. Filtres bicouches gravitaires

Au niveau de la filtration gravitaire on utilise des filtres bicouches qui fonctionnent à un niveau et débit constant et ils ont opté pour une installation des filtres bicouches.

Dans les filtres bicouches, la couche supérieure est faite d'un matériel épais et de faible densité (anthracite dans notre cas). C'est dans cette première couche que la majorité des particules est retenue. La couche inférieure inclut un matériel fin et plus épais, constituant un traitement d'affinage.

Les caractéristiques des filtres ouverts sont :

- Nombre d'unités en service : 18
- Nombre d'unités en maturation ou lavage : 2
- Type de filtre : Filtre ouvert
- Largeur : 5 m
- Longueur : 15,5 m
- Hauteur de couche : 1 000 mm
- Surface de filtration : 77,5 m²
- Surface totale : 1 395 m²

- Temps de rétention sur couche pour coagulation : 15 min
- Volume requis : 159 m³
- Hauteur d'eau : 2,1 m
- Perte de charge minimale : 0,32 m
- Perte de charge maximale admise: 2 m

Couches filtrantes

a) Anthracite

- Hauteur de couche 400 mm
- Taille effective 1,5 mm
- Coefficient d'uniformité 1,3
- Volume par filtre 31 m³
- Volume total 620 m³
- Densité apparente 0,74
- Poids par filtre 23 t
- Poids total 459 t

b) Sable de silex

- Hauteur de couche 600 mm
- Taille effective 0,66 mm
- Coefficient d'uniformité 1,57
- Volume par filtre 47 m³
- Volume total 930 m³
- Densité apparente 1,50
- Poids par filtre 70 t
- Poids total 1 395 t

c) Gravier (ou membrane filtrante)

- Hauteur de couche 100 mm
- Taille effective 2 mm
- Coefficient d'uniformité 1,45
- Volume de sable par filtre 8 m³
- Volume total 155 m³
- Poids de sable par filtre 12 t
- Poids total 233 t

Sachant que les crépines sont remplacées par des faux fonds en plastique renforcé et les bassins de filtration ont été couverts avec des dalles en plastique afin d'éviter le développement des algues.



Figure II.14. Photographie montrant le filtre à sable

Ce système élimine la plupart des matières en suspension $MES \geq 25 \mu m$ de certains parasites, huiles et graisses, particules et des précipités de fer, aluminium et manganèse qui restent dans l'eau de mer, à travers un passage de 20 filtres bicouches qui sont constitués d'une couche de sable, et une couche de carbone actif (anthracite) qui va rendre l'eau inodore, sans goût et sans chlorure [15].

II.4.2.3. Lavage des filtres

Le lavage des filtres se fait automatiquement à l'air et à l'eau, pour le lavage des filtres, un réservoir de saumure de $750 m^3$ est prévu. Ce réservoir a une capacité suffisante pour réaliser un lavage de filtres.

Le lavage des filtres se fait avec de la saumure. Le remplissage du réservoir de saumure se fait grâce à une conduite d'un diamètre de 1 000 mm en GRP provenant du rejet des unités d'osmose.

Le lavage des filtres avec saumure est recommandé pour les raisons suivantes :

- La saumure est un sous-produit qui, dans ce cas, est réutilisée.
- Le lavage avec saumure permet une diminution des besoins en eau filtrée et donc une économie énergétique dans le pompage d'eau de mer.
- Le lavage avec saumure permet un choc osmotique aidant au contrôle de la croissance bactérienne.

La nouveauté dans cette station c'est que dans le système de lavage, les crépines ont été remplacées par des faux fonds en plastique renforcé.

- Fréquence de lavage des filtres,

La fréquence de lavage des filtres est en fonction des matières en suspension (MES) contenues dans l'eau brute.

- Les filtres sont conçus en fonction d'une charge massique de 2 kg/m^2 .
- Pour une turbidité de 1,5 NTU (MES = 7,5 mg/L), le lavage s'effectue également aux 24 heures.
- En fonction de MES de l'ordre de 10 à 20 mg/L, les lavages s'effectueront respectivement aux 18 et 10 heures.

II.4.2.4. Filtres à cartouches (micro filtre)

Afin de filtrer les petites particules pouvant s'échapper des filtres à sable et protéger ainsi les membranes contre un encrassement, des filtres à cartouches capables de filtrer des particules jusqu'à 5 microns sont installés en amont des unités d'osmose.

Le colmatage des cartouches est contrôlé par :

1. La diminution de débit à la sortie.
2. L'augmentation de la pression.
3. Le changement de la couleur des cartouches (du blanc vers le marron).
4. La mesure de l'indice de colmatage (SDI) en amont et en aval du microfiltre.

Dans ce cas la cartouche du filtre doit être remplacée. La fréquence de remplacement est estimée à environ 4 fois l'an.

Les caractéristiques des filtres à cartouches sont les suivantes :

- Nombre de vaisseaux 9 + 1R
- Nombre de filtres par vaisseau 360
- Nombre total de filtres 3 600
- Débit total maximum $11\,412 \text{ m}^3/\text{h}$
- Débit par vaisseau $1\,268 \text{ m}^3/\text{h}$
- Salinité 38 000 mg/L
- Densité d'eau $1\,030 \text{ kg/m}^3$
- Température de l'eau 15 – 27 °C
- Solides totaux en suspension $< 4 \text{ mg/L}$

- Niveau de filtration 5 μm - 1 μm Nominal
- Pression à l'entrée 4 bars
- Perte de charge
- Minimum 0,5 bar
- Moyen 1,0 bar
- Maximum 1,5 bars
- Filtre
- Diamètre du filtre 1 700 mm
- Longitude cylindrique 2 000 mm
- Pression de design 7 bars
- Composition des filtres Ebonited Carbon Steel
- Débit par faisceau 1 268 m³/h
- Cartouches
- Type Double open ended
- Longueur unitaire des cartouches 1 500 mm (6 cartouches)
- Diamètre par cartouche 63 mm (nominal)
- Débit par cartouche 3,52 m³/h – 58,7 l/min
- Débit max. Autorisé par cartouche 100 l/min
- Débit par 10" de cartouche 587 l/h
- Débit recommandé par 10" de cartouche 600 L/h/10"
- Composition des cartouches Polypropylène.



Figure II.15. Filtration à cartouches



Figure II.16. Cartouches

Chapitre II Station de dessalement de l'eau de mer : Cas de la SDEM de Fouka

C'est une microfiltration permettant d'éliminer les MES ≥ 2 à $1 \mu\text{m}$, assurée par des cartouches dans 10 filtres (cylindres), chaque filtre contient 275 cartouches.

Le chlore est l'ennemi de la membrane, alors il faut le réduire en ajoutant le bisulfate de sodium dans l'aval de la microfiltration.

Lorsque la baisse de pression à travers les filtres à cartouches dépasse une valeur préétablie (environ 1,5 bars), la cartouche du filtre doit être remplacée.

La fréquence de remplacement est estimée à environ 4 fois par l'an.

Les paramètres suivants sont mesurés une dernière fois avant l'arrivée de l'eau aux membranes :

- Turbidité ;
- pH avec alarme de bas et haute niveaux ;
- Température avec alarme de bas et hauts niveaux ;
- Potentiel redox avec alarme de bas et hauts niveaux ;
- Chlore libre résiduel avec alarme de bas et haute niveaux ;
- Indice d'encrassement (SDI) (mesures manuelles périodiques).

II.4.3. Procédé de dessalement par osmose inverse dans la station de Fouka

L'eau filtrée est aspirée par des pompes Haute Pression (jusqu'à 70 bars) et refoulée à travers les membranes d'Osmose. Environ la moitié de l'eau passe à travers les membranes, débarrassée d'une grande partie de son sel (eau déminéralisée, également appelée -Perméat-).

L'autre moitié, très concentrée en sel (appelée -Concentrât-), retourne à la mer après que son énergie (pression) a été récupérée (Système ERI et pompes booster), en passant par un réservoir qui sert à alimenter le lavage des filtres à sables et par un dispositif de traitement des effluents. Le système d'osmose est constitué de 9.072 membranes identiques disposées en parallèle dans 6 filières de production d'une capacité unitaire de 20.000 m³/jour pour une production nette totale de 120.000 m³/jour.



Figure II.17. Photographie montrant le système de dessalement par osmose inverse

A. Membrane utilisée

Dans la station de dessalement de Fouka les membranes sont faites à base de polyamide, sont fabriqués en forme plate et ensuite sont enroulés pour former les membranes en spirale [15].

B. Type des membranes utilisées

La membrane utilisée dans l'étude c'est la membrane SW4+ était fabriquée en polyamide d'une formule suivante :

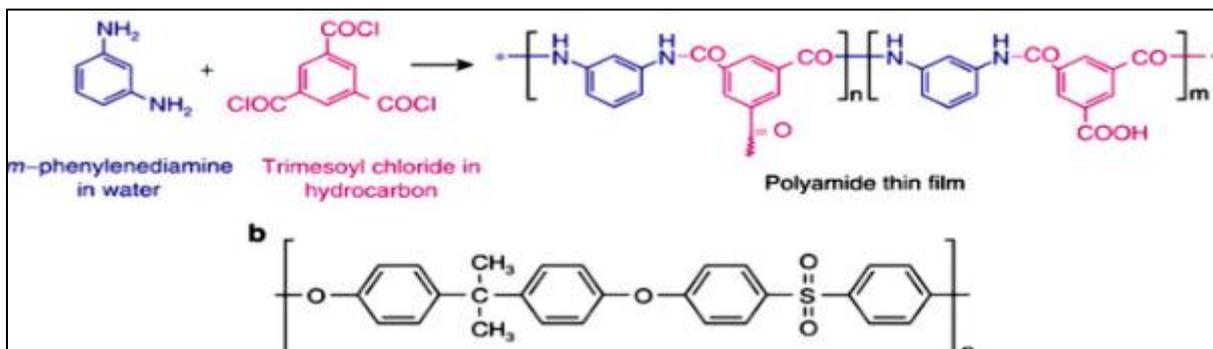


Figure II. 18. Structure de la membrane polyamide

C. Caractéristiques de la membrane SWC4+

Le tableau suivant récapitule les caractéristiques concernant la membrane SWC4+ :

Tableau II. 3. Caractéristiques de la membrane SW4+

Type	Membrane	Diamètre (mm)	Débit de perméat (m ³ /j)	Surface Actif (m ²)	Pression max (bar)	Rejet en sel (%)
Hydranautics	SWC4+	8	24,6	37,2	82,7	99,8

- Chaque filière est composée de :
- Train de membranes (rack) composé 216 tubes de pression contenant chacun 7 membranes.
- Une pompe HP de 2 MW ;
- Une pompe booster de 230 kW ;
- Un dispositif de récupération d'énergie (ERI) qui récupère une partie de l'énergie nécessaire à l'osmose inverse, réduisant la consommation totale d'énergie ;

L'usine dispose d'un dispositif de lavage des membranes (Bacs de préparation, pompes, filtre et tuyauteries).

II.4.3.1. Différents types de pompe

Pour obtenir une productivité acceptable économiquement des membranes d'OI, la pression d'alimentation doit être de l'ordre de 65 bars (de 56 à 80 bars). La mise en pression est assurée, soit par :

- Les pompes centrifuges : le mouvement du liquide résulte de l'accroissement d'énergie qui lui est communiqué par la force centrifuge.
- Les pompes volumétriques : l'écoulement résulte de la variation d'une capacité occupée par le liquide. Il faut noter que les pompes volumétriques étant plutôt adaptées aux faibles débits, (Débits < 100 m³ /h). [19].

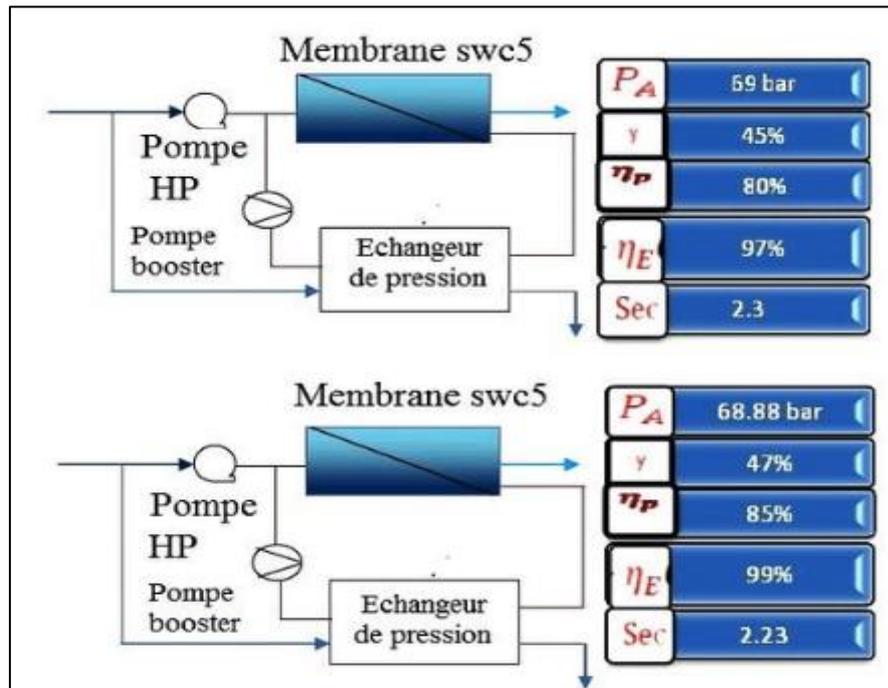


Figure II.19. Présentation d'optimisation de la station de Fouka avec système de récupération échangeur de pression

II.4.3.2. Détermination des caractéristiques hydrauliques et électriques des groupes d'alimentation haute-pression

Les dispositifs d'alimentation haute-pression des membranes d'osmose inverse doivent permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie.

A. Débit

Le débit d'alimentation (Q_f) est en fonction de la capacité de production désirée d'eau douce (Q_p) et du facteur de conversion (Y) qui est égal au rapport du débit produit (Q_p) sur le débit d'alimentation (Q_f).

La valeur du facteur de conversion se situe généralement entre 40 % et 50 % pour les usines de dessalement d'eau de mer (dans le cas de la station de dessalement de Fouka la conversion est de l'ordre de 45%).

B. Pression

Le débit d'alimentation doit être fourni aux membranes à une certaine pression, qui dépend essentiellement :

- de la minéralisation de l'eau, et donc de sa pression osmotique,

- de sa température, et donc de sa viscosité
- de l'origine des membranes (fabricant, matériau, ...),
- de l'âge des membranes : celles-ci se compactant dans le temps, la pression doit être augmentée pour maintenir un flux traversier constant,
- du facteur de conversion. Les fabricants de membranes d'osmose inverse mettent à la disposition des concepteurs d'usines de dessalement des logiciels de dimensionnement permettant notamment de déterminer la pression nette d'alimentation.

Pour permettre à l'eau de traverser les membranes, il faut que la pression d'alimentation soit supérieure à sa pression osmotique. Plus la pression d'alimentation sera élevée, plus le flux transmembranaire sera important. Au-delà de la valeur de la pression osmotique, le débit est directement proportionnel à la pression nette d'alimentation, celle-ci étant limitée par la résistance mécanique des membranes, les valeurs de la pression d'alimentation se situent dans la gamme 60 à 80 bars sachant que La pression osmotique d'une eau de mer standard (36 g/l pour l'océan atlantique) étant d'environ 28 bar, les pressions d'alimentation des modules sont en moyenne égales à environ 2,5 fois la pression osmotique. A la pression nette d'alimentation, il convient d'ajouter :

- les pertes de charge dans les tuyauteries de liaison et les collecteurs, entre pompes et modules,
- les pertes de charge dans les accessoires de tuyauterie et de régulation,
- la contre-pression existante en sortie du perméat, due aux pertes de charge dans les tuyauteries aval et à la hauteur d'élévation entre les modules et le réservoir de stockage de l'eau traitée,
- les pertes de charge induites par le colmatage non permanent des membranes, colmatage intervenant entre deux nettoyages chimiques.

Dans le cas de la station de dessalement de Fouka la pression différentielle appliqué est de l'ordre de 66 bars dans les conditions normales d'utilisation.

C. Puissances

Connaissant le débit et la pression d'alimentation nécessaires, il peut être choisi la pompe définie par ces caractéristiques hydrauliques donnée par la formule suivante :

$$P_a \text{ (Kw)} = 981 Q_f \text{ (m}^3 \text{ /s).} P \text{ (m)} \quad \text{(Eq.II.2)}$$

Avec :

Q_f = Débit d'alimentation ;

P = Pression fournie par la pompe ;

II.4.3.3. Critères de choix d'une pompe

Les critères de choix du type de pompe sont :

1. Assurer le débit appelé Q_f et la hauteur HMT ;
2. Meilleur rendement ;
3. Vérifier la condition de non cavitation par la vérification de la condition suivante $(NPSH)_d > (NPSH)_r$ ou le NPSH requis (charge nette disponible en amont des pompes) est une donnée imposée par le constructeur, pour un modèle de pompe donné et le NPSH disponible dépend des caractéristiques des installations.
4. Encombrement et poids les plus faibles ;
5. Vitesse de rotation la plus élevée ;
6. Puissance absorbée minimale ;

II.4.3.4. Fiche technique des pompes de la station de dessalement de Fouka

A. Caractéristique générale

- Quantité : 6
- Tag : PU-311 A/B/C/D/E/F
- Type : Pompe horizontal, chambre divisée axialement, multi étape ou pompe Segmentée radiale ;
- Fournisseur : FLOWSERVE ;
- Modèle de la pompe : 8x15DMX-4



Figure II.20. Pompe haute pression au niveau de la station de Fouka

B. Caractéristique de service

- Débit de La pompe Haute pression: 1851 m³/h
- Pression différentielle : 66 bars
- Pression d'aspiration min : 2 bars
- Pression aspiration max : 4 bars
- Rendement nominal : 85 %
- Vitesse : 3000 r.p.m.
- Puissance absorbée : 1851 kW.
- Vitesse variable : Non

C. Caractéristiques constructives

- Poids de la pompe : 13500 kg.
- Courbe caractéristique : Oui
- Tolérance : ISO 9906

D. Conditions d'opération

- Service : Alimentation de OI
- Fluide : Eau de mer
- Opération : Continu
- Température du fluide : 15 à 27 °C
- Température ambiante : 45 °C
- Contenu des solides : 0 ppm
- Salinité : 36000-38000 mg/Ll
- Densité : 1030 kg/m³

E. Connexion aspiration

- Taille / Type : 10 ”
- Pression nominale : PN16
- Position : Radial

F. Connexion refoulement

- Taille / Type : 8 ”
- Norme : ANSI R.F
- Position : Radial

G. Moteur électrique

- Type : Electric

- Puissance : 2050 Kw
- Rendement : > 97%
- Vitesse variable : Non
- Vitesse du moteur : 3000 rpm
- Voltage et fréquence : 6000 V/ 50Hz
- Type d'actionnement : Couple direct.
- Direction de montage : Horizontal
- Courant en plein charge : 238 A
- Température de calcul : 45 °C

II.4.4. Système de récupération d'énergie

Il existe actuellement deux systèmes de récupération de l'énergie hydraulique :

- A. Turbines couplées directement aux pompes HP.
- B. Échangeurs de pression, considéré le système présentant le meilleur rendement.

Dans le cas de la station de Fouka la récupération d'énergie de saumure produite pendant le procédé d'osmose se fait grâce à des échangeurs de pression car ces derniers sont plus efficaces par rapport aux turbines (Figure II.21).



Figure II.21. Système de récupération d'énergie de la station de Fouka

Pour une conversion de 45% (Cas de la station de Fouka), 55% du débit d'alimentation sera rejeté comme concentrât à pression élevée. Donc le concentrât à une énergie hydraulique importante (pression disponible du concentrât = pression d'alimentation – perte de charge en fonction du nombre d'éléments par tube de pression 'environ 4 bar'), grâce au système de

récupération d'énergie, il est possible de réutiliser cette l'énergie où elle va être transmise à une partie de l'eau d'alimentation.

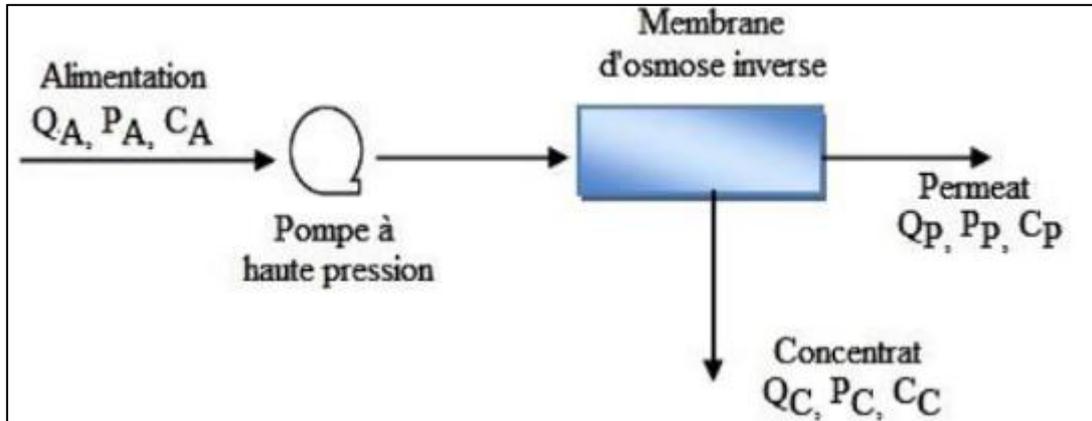


Figure. II.22. Procédé d'osmose inverse sans récupération d'énergie

Ce procédé est le plus simple, la pompe à haute pression joue le rôle d'un récupérateur d'énergie doit permettre d'assurer un débit d'eau à une pression donnée, tout en absorbant le minimum d'énergie, comme indique la figure (II.23).

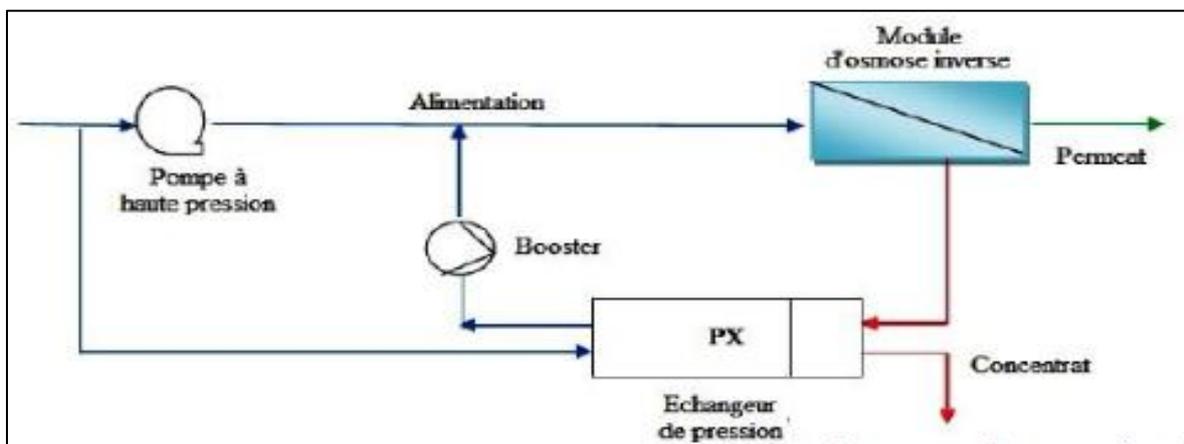


Figure. II.23. Système de récupération d'énergie de type échangeur de pression

II.4.4.1. Principe de fonctionnement d'un récupérateur d'énergie

Un échangeur de pression comporte 04 conduites : 02 entrées (entrée du concentrât à haute pression, et entrée d'alimentation à faible pression) et 02 sorties (sortie alimentation à haute pression, et sortie concentrât à faible pression). En pratique l'opération se fait en deux phases comme suit :

- Le concentrât à haute pression est injecté dans la chambre du rotor (l'alimentation à base pression est déjà dans la chambre), il comprime l'alimentation et la refoule vers la sortie HP (le concentrât devient à faible pression).
- L'alimentation à faible pression entre dans la chambre (la chambre est déjà plein de concentrât à faible pression), elle le refoule à la sortie rejet.

Il est à remarquer que ce système permet de réduire la taille de la pompe haute-pression.

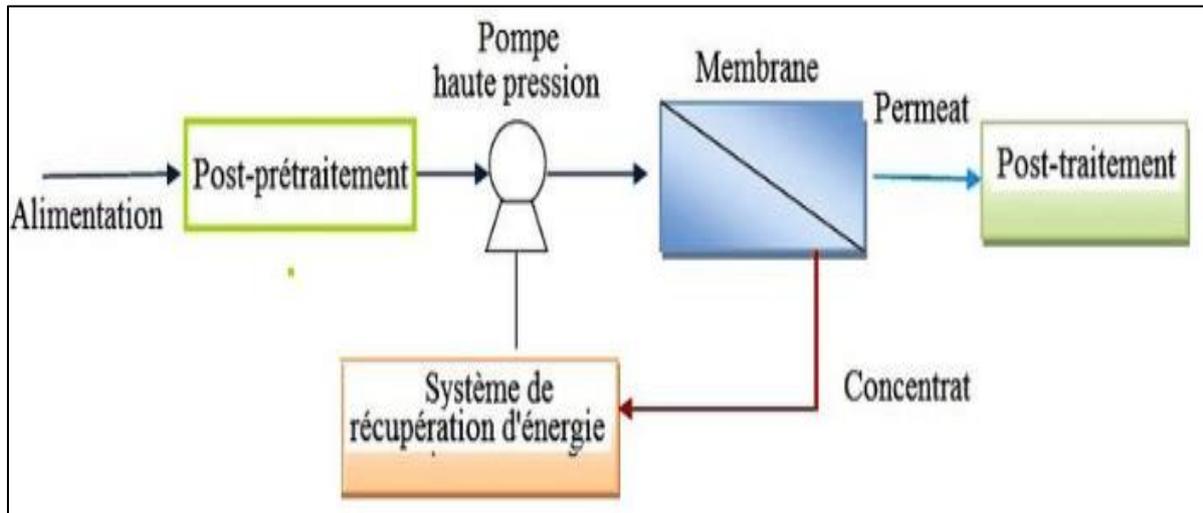


Figure II.24. Schéma de principe d'une unité de dessalement basé sur le principe d'osmose inverse [20].

La perte de charge à travers les membranes d'osmose inverse est d'environ 1.5 à 2 bars, en fonction du nombre d'éléments par tube de pression, le concentrât sort donc à haute pression. Grâce au système de récupération d'énergie, il est possible de réutiliser l'énergie du concentrât. Le concentrât est dirigé vers le système de récupération d'énergie, où il transmet directement son énergie à une partie de l'eau d'alimentation. Par conséquent, l'énergie de consommation dans les stations de dessalement par osmose inverse sans système de récupération varie de 5,5 à 8 kWh/m³, par contre les procédés avec installation de système de récupération, l'énergie (turbine ou échangeur de pression) variée entre 5-3 kWh/m³.

II.4.5. Post-traitement de l'eau de mer

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

Le perméat d'osmose est traité (post-traitement) avant d'être distribué aux consommateurs. L'usine de Fouka est équipée de dispositifs de correction de la dureté et

de l'alcalinité pour stabiliser la nature relativement agressive de l'eau dessalée produite et lui conférer un goût plus satisfaisant. Un dispositif additionnel de désinfection par chloration est également inclus pour prévenir tout risque de développements bactériens dans les réservoirs et les systèmes de distribution.

II.4.5.1. Reminéralisation

La reminéralisation augmente la dureté, l'alcalinité, le pH et l'indice de Langelier.

Le système de reminéralisation est basé sur la méthode de gaz carbonique et de chaux.

a) Ajout de la chaux

La chaux est une matière généralement poudreuse et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique du calcaire de formule $\text{Ca}(\text{OH})_2$. L'ajout se fait dans un bac où on met de la chaux en poudre plus l'eau de service. Une fois le mélange du lait de chaux fait dans les réservoirs de préparation sous agitation, et après une décantation des résidus dans le fond des entonnoirs, le lait de chaux sera pompé vers le saturateur de chaux pour obtenir de l'eau de chaux et ce dernier est pompé vers le mélangeur statique qui lui sera utilisée afin d'ajuster le pH de l'eau et l'enrichir en calcium [15].

Il est utilisé afin d'atteindre l'équilibre sur les valeurs de TAC et de dureté.

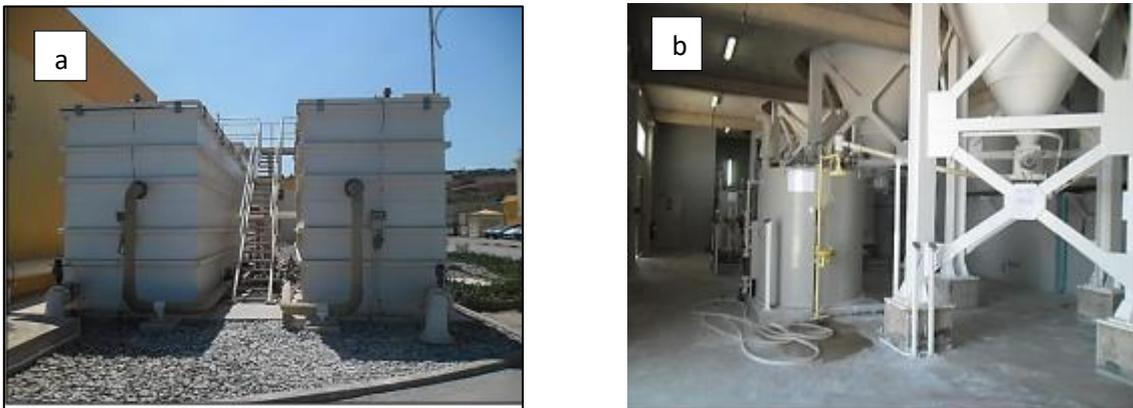


Figure II.25. a) Saturation de la chaux, b) Silos de la chaux

b) Ajout de CO_2

Une petite unité de production de CO_2 utilisant du gaz naturel (méthane) comme carburant principal (Figure II.26). Le procédé de production du CO_2 est composé de plusieurs équipements (pompes, chaudières, échangeurs, vannes, tour de refroidissement, etc). Pour permettre la production, nettoyage, compression, refroidissement, liquéfaction et le stockage du CO_2 dans deux réservoirs extérieurs. Afin de réduire la concentration des chlorures dans l'eau qui est utilisée dans le système de production de CO_2 , un petit système d'osmose inverse est installé dans le même bâtiment (pour déminéraliser l'eau de service).

Cette eau déminéralisée est stockée dans un réservoir extérieur avant d'être pompée vers le système de production de CO₂. Les pompes d'eaux saturée de l'eau de chaux sont envoyées jusqu'au mélangeur de reminéralisations où avec le CO₂ qui provient du bâtiment de génération de CO₂ est injecté avant que l'eau arrive au réservoir d'eau traitée [15]. Le CO₂ sert à augmenter la dureté de l'eau.



Figure II.26. Station de fabrication de CO₂ sur site.

c) Désinfection

Bien que le perméat soit d'une qualité bactériologique excellente, il est nécessaire de le désinfecter avant distribution, pour protéger l'eau contre toute pollution ultérieure lors de son stockage et de sa distribution. La désinfection permet également d'oxyder les polluants pouvant être apportés par l'injection des solutions de produits de post-traitement. Elle est assurée par injection de chlore sous forme d'hypochlorite de sodium ou d'une solution d'hypochlorite de calcium

II.4.5.2. Simulations concernant la reminéralisation

À partir de la qualité de perméat, les dosages de réactifs requis (chaux et CO₂) ont été établis et vérifiés afin d'obtenir la qualité d'eau potable reminéralisée.

Les caractéristiques de l'eau produite garantie d'eau sont données dans le tableau (II.3).

Tableau II.4. Caractéristiques de l'eau potable reminéralisée.

Dureté totale	80 mg/L – 150 mg/L de CaCO ₃
Alcalinité	60 mg/L de CaCO ₃ (valeur minimale)
TDS	150 mg/L – 500 mg/L
pH	7,0 – 8,5
Indices Langelier	0 à 0,4

II.4.6. Station de pompage de l'eau traité

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

Tableau II. 5. Résumé des caractéristiques des pompes (www.eldjazaircom.dz).

Description	Ligne1
Nombre de pompes	6+1
Débit des pompes	833,3
Pression des pompes (bar)	24
Puissance électrique moteur (kW)	750



Figure II.27. Station de pompage d'eau traitée [17]

II.4.7. Réservoirs d'effluents

Les rejets de procédé comprennent les éléments suivants :

- Les eaux de lavage ou flashing de l'osmose inverse.
- Lavage des saturateurs de chaux.

Ces eaux sont acheminées vers le réservoir de traitement d'effluent (neutralisations des effluents), puis vers l'émissaire. Le volume du réservoir de traitement des effluents est de 100 m³. Les eaux du réservoir d'effluents s'écoulent en temps normal gravitairement et dans le cas d'opération spécifiques, ils sont pompés vers la chambre de rejets.

Le dosage de chaux et d'acide sulfurique est possible dans le réservoir afin de neutraliser les eaux avant rejet si requis.

II.5. Services de l'entreprise

II.5.1. Sous station électrique

L'alimentation continue en électricité de l'usine est indispensable. Elle est assurée par 2 lignes Sonelgaz (Mazafran et Hamr el Ain) de 60 kV, alimentant une station de transformation composée de 2 transformateurs de 30 MVA dont la tension de sortie est de 6000V.



Figure II.28. Sous station électrique

II.5.2. Laboratoire de contrôle de qualité

Toutes les analyses et le contrôle de la qualité d'eau distribuée à la population selon les normes de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) tel que :

- Calcium, Magnésium, Sodium, Potassium, Ammonium, Barium, Strontium, Aluminium, Fer et Manganese;
- Chlorures, sulfates, phosphate, nitrates, bicarbonate, carbonate, fluor, silice,

bore et CO₂ libre ;

- Fer total en ions et mg équivalent ;
- pH;
- Dureté totale, dureté calcique ;
- Alcalinité
- Solides totaux dissous ;
- Coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques ;
- Conductivité ;
- Indice de Langelier ;
- Index *Stiff Davis*;
- SDI (automatique et manuel);
- Turbidité.



Figure II.29. Laboratoire de contrôle de qualité. (<http://www.myahtipaza.dz/>)

II.5.3. Salle de contrôle

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

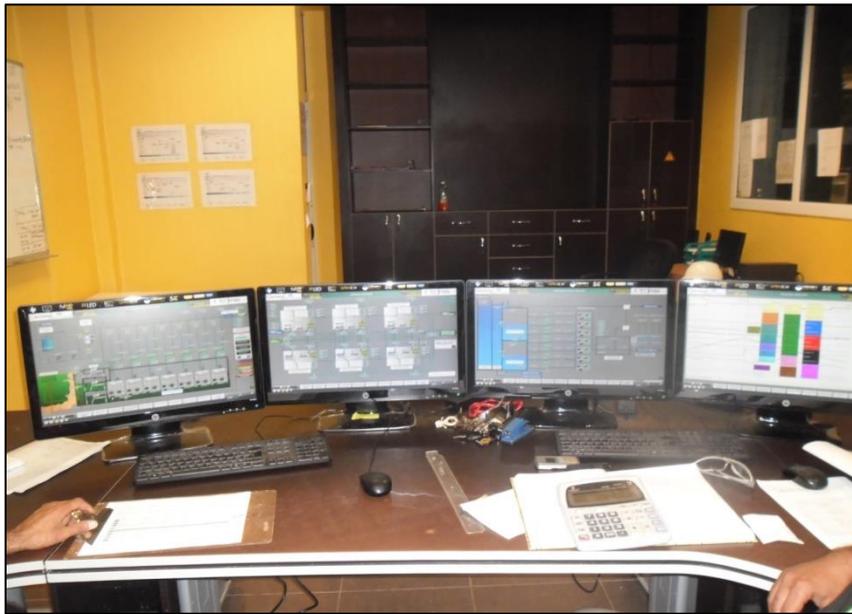


Figure II.30. Salle de contrôle. <http://www.myahtipaza.dz/>

II.6. Conclusion

La présentation de la zone d'étude est une étape essentielle et nécessaire dans toute étude, car elle permet de bien comprendre les problèmes rencontrés sur terrain, ce qui va nous permettre de bien les analyser et de réagir dans ce sens, afin de garantir le meilleur remède possible. L'objectif de ce chapitre est de faire la présentation la plus possible de la région d'étude, au plan géographique ; et ce dans la perspective d'aborder au mieux notre projet de fin d'étude.

Chapitre III

Étude de performance de la station de dessalement de l'eau de mer de
Fouka

III.1. Introduction

Dans ce chapitre, on va étudier les performances de la station de dessalement de l'eau de mer de Fouka (Tipaza) et pour cela on doit faire un diagnostic des différentes étapes : prétraitement, unité d'osmose inverse et poste de traitement pour relever tous les dysfonctionnements.

III.2. Consommation énergétique par rapport aux autres alternatives de ressources en eau potable

La consommation énergétique importante des usines de dessalement est l'un des principaux inconvénients de cette source alternative d'eau potable. Cette consommation est due, d'une part, au pompage à haute pression (deux tiers du total) et, d'autre part, au reste des rejets et impacts des usines de dessalement pompées de l'usine : pompage d'eau de mer, lavage des filtres et membranes, pompes vide cave, ponts roulants, éclairage, etc.), qui constituent l'autre tiers.

III.3. Avantages et les inconvénients de l'osmose inverse [17]

➤ Avantages

- L'eau osmosée est antioxydant, alors que l'eau en bouteille est plus oxydée du fait du délai souvent trop long entre la mise en bouteille et la consommation.
- Le procédé d'OI ne demande pour sa mise en marche ou son arrêt que quelques secondes.
- Faible consommation d'énergie, par rapport aux autres procédés.
- Le pH légèrement acide de 6,6, idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments.
- Obtention d'une eau très pure après osmose inverse.
- L'OI peut être schématisée par une pompe à haute pression et un ou plusieurs modules (simplicité de représentation).
- Résistivité élevée 20000 à 30000 *ohms*, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins.

➤ Inconvénients

- Le remplacement des membranes d'OI représente 5% du coût du traitement.
- La capacité unitaire d'un module d'OI ne dépasse pas 20 m³/j d'eau.
- Nécessité d'un prétraitement de l'eau brute
- La séparation membranaire possède un talon d'Achille c'est le « le colmatage qui est responsable dans trois quarts des cas du vieillissement de la membrane.

- L'eau de mer, et donc une installation de grande capacité sera constituée de plusieurs modules, ce qui entraîne une complexité de l'installation et un coût élevé.
- Impact négatif du rejet de la saumure sur l'environnement.
- Les pertes en eau : le rendement n'est que de 75% , et 25% de saumure (solution aqueuse très concentrée en sel) restent à la fin et sont inutilisables.

III.3.1. Modules spirales

➤ Avantages

- Compacité élevée (300 à 1000 m²/m³).
- Faible volume mort.
- Coût d'investissement relativement faible.

➤ Inconvénients

- Sensible au colmatage.
- Difficulté de nettoyage.

III.3.2. Membranes organiques

Il y a plusieurs types des membranes organiques, nous donnerons donc des avantages et des inconvénients à chaque type :

Tableau III.1. Avantages et inconvénients des membranes organiques

Types de membrane organique	Avantages	inconvénients
Acétate de cellulose	Perméabilité élevée Sélectivité élevée Mise en œuvre assez aisée Adsorption des protéines faible => colmatage moindre	Sensible à la température Sensible au pH Sensible au chlore Sensible au compactage Sensible aux microorganismes
Type polyamide	Bonne stabilité chimique, thermique et mécanique	Grande sensibilité aux oxydantes Faibles perméabilités Phénomènes d'adsorption
Type poly sulfone	Bonne stabilité thermique Bonne tenue au pH Résistance au chlore	Sensible au compactage Adsorptions
Matériaux à céryliques	Bonne stabilité thermique et chimique Stockage à sec possible	Faible résistance mécanique Pores de diamètres assez élevés
Matériaux fluorés	Bonne stabilité thermique et chimique	Faible perméabilité Microfiltration uniquement
Membranes composites	Bonnes caractéristiques : perméabilité et sélectivité Stabilité de pH 2 à 11 Bonne tenue en température	Mauvaise tenue au chlore

III.4. Inconvénients de la suppression de la pré-chloration

La Pré chloration peut avoir plusieurs objectifs :

- l'élimination de la couleur, des odeurs et du gout.
- l'élimination du fer et du manganèse en les transformant en hydroxydes insolubles.
- L'oxydation des matières organiques dissoutes.
- Amélioration de la qualité microbiologique.
- contrôle de la prolifération des algues.

La suppression du chlore à l'entrée de la station peut avoir comme conséquences :

- La formation de biofilm à la surface du filtre à sable car c'est le premier ouvrage qui reçoit l'eau de mer, qui contient divers micro-organismes, bactéries, protozoaires qui contribuent à la formation de ce biofilm en cas d'absence de la chloration.
- Le colmatage biologique dans les membranes ;
- La prolifération des algues qui va affecter la qualité de l'eau ;
- La chloration systématique de l'eau est un des procédés les plus utilisés pour protéger les circuits de l'usine des fixations de moules et d'autres encrassements d'origine biologique.

Dans le cas où il n'y a pas la chloration, les différents ouvrages vont être colmatés par les moules ce qui diminue les diamètres des conduites de prise d'eau et augmente les pertes de charge, ce qui influe sur la quantité d'eau [21].

Cette chute de performance quantitative et qualitative va influencer sur toute l'usine et elle peut conduire à la fermeture de la station s'il aura un risque pour les membranes.

Les études sur la chloration de l'eau de mer ont montré que celle-ci ne pouvait être assimilée à celle des eaux douces. La différence provient de la présence de bromures dans l'eau de mer (65 mg/L pour une salinité de 35 mg/L) qui sont rapidement oxydés lors de la chloration en brome libre.

III.5. Inconvénients de la suppression d'un bassin de coagulation-floculation

Dans la station de dessalement ils font injection du coagulant et du floculant lors de la prise d'eau c'est-à-dire à partir de la crépine des conduites de prise, ce qui implique qu'il n'y a pas vraiment un calcul de temps de contact des produits chimiques avec l'eau de mer car l'eau pompé arrive directement au filtre à sable sans passer par un bassin de coagulation et de floculation ce qui influe négativement sur la qualité des floques formés donc sur la qualité d'eau filtrée car si l'étape de coagulation, floculation n'était pas optimale, il aura des particules qui vont s'échapper même au filtre à sable et qui vont atteindre le filtre à cartouche et le colmater rapidement, et dans le cas d'une forte turbidité il aura un risque d'abord sur le filtre à sable qui va se colmater car il reçoit directement toute les impuretés d'eau de mer sans aucun ouvrage en amont pour le protéger et dans ce cas on peut aller jusqu'à l'arrêt de la station pour protéger les ouvrages de l'installation.

III.6. Inconvénients de la suppression du décanteur

Le bassin de décantation permet de réduire la turbidité d'eau de mer par l'élimination des floccs ainsi formés par l'étape de coagulation, floculation.

En absence du décanteur les floccs formés vont atteindre le filtre à sable ce qui favorise son colmatage et réduit ses performances.

Le renforcement du prétraitement est indispensable puisque la qualité d'eau de mer est variable et la turbidité peut atteindre des valeurs très importantes ; comme ça était le cas en mai 2012 où la forte turbidité d'eau de mer a eu des conséquences néfastes sur les membranes et sur les performances de la station, d'une manière générale. Ce qui a conduit à l'arrêt total de la station.

III.7. Problèmes rencontrés dans la station

On rencontre plusieurs problèmes dans le dessalement de l'eau de mer, les problèmes rencontrés au sein de la station de mer de Fouka sont :

III.7.1. Corrosion

La corrosion est la dégradation d'une substance, en particulier un métal ou un alliage, provoquée par l'action chimique d'un liquide ou d'un gaz sur la substance. Le terme corrosion s'applique plus particulièrement à l'action graduelle d'agents naturels, tels que l'air ou l'eau salée sur les métaux.

Au niveau de la station de Fouka on observe la corrosion dans le système d'injection des produits chimique dans la prise d'eau, dans l'anti-bélier, dans les tuyaux d'eau filtrée et de rétro lavage des filtres, dans l'unité d'osmose inverse et dans les silos de stockage des produits chimiques, les premières causes de la corrosion sont les fuites et le climat humide de la région, seul les armoires électriques échappent à ce problème car ce sont des installations sensibles, qui se trouve dans des chambre isolées avec un système qui garde une température constante sur toute l'année ce qui est impossible de faire avec tous les ouvrages de la station.

Les principales conséquences de la corrosion sont :

- Rupture des conduites
- Augmentation de la rugosité
- Fuites d'eau
- Pollution de l'eau produite par des agents extérieurs.



Figure III. 1. Quelque signe de corrosion au sien de la station

III.7.2. Colmatage des membranes d'osmose inverse

Le colmatage est généralement le problème majeur des installations membranaires. En effet, il entraîne une perte des performances des membranes due au dépôt de substances à la surface, à l'entrée ou à l'intérieur des pores, un très large spectre d'espèces peut contribuer au colmatage, comme des macromolécules organiques, des substances organiques et inorganiques dissoutes, des particules colloïdales, des particules en suspension et des microorganismes.

Les dépôts qui sont à l'origine du colmatage (fouling) des surfaces d'échange peuvent être classés en trois catégories :

- les dépôts minéraux qui correspondent au phénomène d'entartrage.
- les dépôts organiques (colmatage microbiologique) tels que les matières en suspension, les acides humiques, les micro-organismes ainsi que les produits excrétés par les micro-organismes (polysaccharides).
- les dépôts colloïdaux (colmatage abiotique) tels que la silice et les hydroxydes de fer, de manganèse d'aluminium...

En général, un dépôt est constitué par un mélange de ces différents types auxquels il faut rajouter les produits de corrosion, ainsi que les précipités résultants des réactifs ajoutés (antitartres, floculant)...etc. Selon la possibilité d'enlèvement de ce dépôt on considère deux types de colmatage : le colmatage réversible et irréversible.

La partie du colmatage qui peut être enlevée par lavage est appelée « colmatage réversible ».

Le colmatage qui correspond à la perte « définitive » d'une partie de la perméabilité est généralement appelé « colmatage irréversible ». A priori, ce type de colmatage est essentiellement dû à une forte adsorption de substances qui ont une grande affinité pour la membrane. À noter que le caractère réversible du colmatage est très relatif aux moyens qui sont mis en œuvre pour laver les membranes (le nettoyage des membranes).

III.7.3. Entartrage

L'entartrage est un dépôt de sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces d'échanges. A cause des ions présents dans les eaux salines (calcium, magnésium, bicarbonates et sulfate). Ces dépôts sont constitués principalement par du carbonate de calcium (CaCO_3) ; de l'hydroxyde de magnésium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) et de sulfate de calcium (CaSO_4)...etc. Par la diversité de leurs origines, les dépôts de tartre ont des conséquences considérables sur le fonctionnement des installations de dessalement :

- Réduction de la section de passage.
- Dégradation des états de surface.
- Par leur très forte adhérence, les tartres mènent à une constance de débit; - Augmentation des pertes de charge pour un débit constant.
- Obturation des conduites du fait de la diminution de son diamètre par les dépôts de tartre.

III.7.4. Colmatage abiotique et microbiologique

Il existe deux principales catégories de colmatage : le colmatage microbiologique et le colmatage abiotique. Dans le cas d'un colmatage microbiologique, des microorganismes peuvent s'attacher, croître à la surface des membranes et produire suffisamment de substances polymériques extracellulaires pour faciliter le développement d'un biofilm à la surface des membranes. En plus des microorganismes il y a de nombreux éléments colmatant présents dans les eaux naturelles telles que les particules, les colloïdes, les substances organiques dissoutes et les substances inorganiques peu solubles. Ces agents colmatant sont associés au colmatage abiotique qui peut se manifester de deux façons par :

- Le dépôt de matière à l'intérieur des pores de la membrane.
- Le dépôt de matière à sa surface.

III.7.4.1. Conséquences du colmatage

Le colmatage des membranes de dessalement dans ces deux formes microbologique et abiotique génère plusieurs modifications du fonctionnement du système :

- Le colmatage perturbe l'écoulement le long de la membrane de dessalement, engendre une augmentation de la couche de polarisation à la surface de la membrane. Cette couche de polarisation, zone où les composés retenus par la membrane s'accumulent, engendre une augmentation de la concentration et donc de la pression osmotique à la surface de la membrane et engendre donc une diminution de la pression efficace à la filtration, d'où une baisse de la production. L'augmentation de la couche de polarisation engendre aussi des concentrations en sels plus importantes au voisinage de la membrane de dessalement, et donc une augmentation du risque de précipitation des sels présents en sursaturation. Cela engendre soit une précipitation de sels, donc un colmatage plus rapide des membranes de dessalement, soit une surconsommation de réactifs mis en œuvre pour éviter ou bien retarder cette précipitation.
- Le colmatage engendre aussi une augmentation de la perte de charge entre l'alimentation et le rejet de concentrât, perte de charge qui entraîne une diminution de la pression disponible pour la filtration, d'où une perte de production à pression constante. Au-delà d'une certaine valeur de perte de charge, la résistance des matériaux constitutifs de l'élément membranaire étant dépassée, il peut y avoir des dommages mécaniques irréversibles de l'élément membranaire.

Dans le cas de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka le colmatage des membranes en mois de Mai 2015 entraîne la séparation entre les membranes dans un même tube de pression ce qui est engendré par l'augmentation de la salinité d'eau produit. Ce problème induit a un arrêt d'une unité d'osmose inverse pendant une semaine pour le nettoyage et la réparation de ces fuites interne dans l'unité.

III.7.4.2. Facteurs influençant les colmatages des membranes

Il est important de bien connaître les facteurs influençant le colmatage afin de développer des stratégies visant à minimiser ce phénomène et ainsi réduire les coûts d'opération et augmenter la durée de vie des membranes. Ces facteurs sont :

- Les caractéristiques de la membrane.

- les conditions d'opération du procédé membranaire : Ces conditions sont la vitesse de pénétration, le taux de récupération global, la vitesse d'écoulement tangentielle et la pression d'opération.
- les caractéristiques de l'eau à traiter : le colmatage est aussi dépendant de la nature de l'eau à traiter et de la concentration de ses principaux constituants. En général, plus une eau est chargée en particules et plus elle aura tendance à colmater les membranes.

Le pouvoir colmatant des particules en suspension d'une eau s'exprime en « Silt Density Index » (SDI).

III.7.5. Problèmes dans le système de fabrication de CO₂

L'eau déminéralisée est une eau agressive qui doit être reminéralisée pour satisfaire aux critères de potabilité, A cette fin, l'usine est équipée d'un système de reminéralisations qui comprend une injection de CO₂ (gaz carbonique) produit in-situ à partir de gaz naturel. Le système de production le CO₂ consiste à bruler le gaz et de joué sur l'état de ce gaz, premièrement il va passer dans un dispositif pour éliminer toutes les impuretés après dans un autre dispositif pour passer de l'état gazeux a l'état liquide et évacuer toute la vapeur d'eau après dans un autre diapositif qui va le transformer en liquide dense (forme de neige), dans le dernier dispositif et à cause de la différence de température à l'intérieur du bâtiment il y a une fuite d'eau utilisée pour le refroidissement et les tuyaux de ce dispositif son congelé (couvert d'une couche épaisse de CO₂ en forme de neige car ce dernier se transforme en glace dès qu'il rencontre l'air) ce qui influence sur la performance du système et augmente la probabilité d'endommagement des tuyaux et par la suite l'arrêt du système.



Figure III. 2. Congélation des tuyaux.



Figure III. 3. Fuite dans le système de production de CO₂

III.7.6. Problèmes dans le système d'eau de service

Le système d'eau de service permet de ramener l'eau potable pour le mélange des produits chimiques (la chaux, l'hypochlorite de sodium, le bisulfite de sodium...etc.), la conduite qui doit ramener l'eau se situe à une profondeur de 1,5m ce qui provoque un problème de localisation de fuite et de réparation, et à cause de l'importance de ces produits dans le fonctionnement de la station : dans le prétraitement, l'osmose inverse et dans la désinfection d'eau potable, ils ont changé la profondeur de la conduite presque sur sol pour faciliter la recherche et la réparation en cas de fuite.



Figure III.4. Nouvelle conduite d'eau de service

III.7.7. Problèmes dans le système des rejets de la station

Tous les rejets de la station sont évacués vers un réservoir d'effluent, où on effectue l'ajustement du pH afin qu'il soit compatible avec l'eau de mer mais même avec l'ajustement du pH, la salinité et la composition chimique de l'effluent qui regroupe tous les rejets et les produits chimiques utilisés représentent un danger pour l'environnement marin de la région de Fouka

Chapitre IV

Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur
l'environnement marin

Chapitre IV Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin

IV.1. Introduction

Le dessalement de l'eau de mer constitue une solution compétitive pour pallier à la rareté de cette ressource. Les techniques de dessalement ont connu une amélioration continue permettant pour atteindre des coûts raisonnables et des débits plus importants. Les quantités colossales en eau dessalée que compte l'Algérie mobiliser à court et à moyen terme laisse à réfléchir sur les impacts environnementaux de cette industrie.

Ces rejets chimiques, contenus dans la saumure rejetée par cet ensemble de stations de dessalement auront des effets néfastes sur l'environnement marin.

Ce chapitre traite l'impact des rejets chimiques de la station de dessalement de Fouka (Tipaza) sur l'environnement marin.

IV.2. Type des rejets et ses origines

IV.2.1. Rejets atmosphériques

Les techniques utilisées pour le dessalement de l'eau sont très consommatrices en énergie, même si la tendance est à la baisse, notamment grâce au développement des technologies innovantes.

Or, cette énergie est le plus souvent fournie par des combustibles fossiles qui présentent pour l'environnement l'inconvénient d'émettre des polluants atmosphériques, notamment du dioxyde de carbone (CO_2), des oxydes de soufre et d'azote et des particules solides.

Il a ainsi été estimé que le système de production espagnol rejetait 680 grammes de CO_2 par mètre cube d'eau dessalée, ce qui, pour une production de plusieurs millions de mètres cubes par jour se traduirait par l'émission dans l'atmosphère de plusieurs milliers de tonnes de CO_2 par jour.

Cette contribution à l'effet de serre est loin d'être négligeable dans le contexte actuel de lutte contre le réchauffement climatique [15].

IV.2.2. Rejets chimiques

Toutes les usines de dessalement utilisent des produits chimiques pour le prétraitement de l'eau d'alimentation ainsi que le post-traitement de l'eau produite.

Pour éviter tout développement biologique dans l'eau d'alimentation, l'injection de l'hypochlorite de sodium (NaClO) ou de son équivalent l'eau de Javel (NaCl), doit se faire dès la prise d'eau.

Pour l'oxydation de la matière organique on utilise le permanganate de potassium (KMnO_4).

Chapitre IV Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin

L'addition de l'acide sulfurique (H_2SO_4) 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 CO_2 résiduelle.

Pour le procédé de (coagulation/floculant) on utilise le sulfate ferrique $Fe(SO_4)_3$ /et polymères anioniques ou non anioniques. L'addition de bisulfite de sodium (Na_2SO_3) est nécessaire pour neutralise le chlore, ou l'élimination du chlore résiduel de l'eau afin d'éviter le colmatage biologique des membranes. La dissolution calcite et la réduction du pH se fait par l'injection de CO_2 .

La potabilisation de l'eau déminéralisée est effectuée en deux étapes à la sortie de l'unité de dessalement. La première consiste en une correction de la corrosivité par l'ajouter du carbonate de chaux ($Ca(OH)_2$) ou du carbonate de calcium ($CaCO_3$).

Une désinfection finale par Injection de l'hydroxyde de sodium ($NaOH$) et hypochlorite de sodium ($NaClO$) est nécessaire pour l'élimination d'éventuels micro-organismes.

La plupart de ces produits chimiques, ils finissent par modifier la composition de la saumure concentrée. La présence de certains métaux, qui sont des produits de la corrosion du circuit, influent aussi sur la composition de la saumure concentrée [22].

IV.2.3. Saumure concentrée

Une concentration élevée en sels des eaux rejetées et des fluctuations du degré de salinité peuvent être, à proximité de l'émissaire, une cause de mortalité parmi les organismes qui y sont sensibles.

De plus, les rejets provenant des usines de dessalement ont une densité plus élevée que celle de l'eau de mer et peuvent se déposer au fond de la mer et avoir éventuellement des effets préjudiciables pour les communautés benthiques.

Chapitre IV Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin



Figure IV. 1. Conduite de saumure vers la mer

Les paramètres techniques initiaux du rejet par l'émissaire sous-marin de l'usine de dessalement de Fouka, qui sont pris en compte afin de réaliser des simulations dans différentes situations de caractéristiques océanographiques de cette zone méditerranéenne, sont les suivants en Tableau (IV.1).

Tableau IV.1. Caractéristiques des effluents déversés par l'émissaire sous-marin de l'usine de dessalement de Fouka. Source : Station de Fouka

Paramètres	Valeurs
Salinité de rejet (g/L)	69,53
Salinité initiale (g/L)	39
Variation de la salinité	35,5
Débit (m ³ /s)	1,56
Diamètres (m)	1,4
Vitesse d'écoulement (m/s)	1
Nombre de diffuseurs	1

Des analyses, au laboratoire, de la saumure et des eaux de mer ont été effectuées. En effet, ces analyses sont focalisées sur la quantification des concentrations des paramètres physicochimiques du milieu marin ainsi que ceux des rejets (saumure).

Le tableau (IV.2) présente les résultats des analyses physico- chimiques de l'eau de mer et de la saumure effectuées à la sortie de la station de dessalement de Fouka (coté rejet).

Chapitre IV Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin

Tableau IV.2. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer et de la saumure

Paramètres	Unité	Saumure	Eau de mer
pH		6,90	7,7
Conductivité	ms/cm	94,9	56,2
Turbidité	NTU	0,39	1,05
TDS	g/L	65,5	36,1
T	°C	18	15,6
Ammonium NH ₄ ⁺	mg/L	00	-
Nitrites NO ₂ ⁻	mg/L	<0,02	-
Nitrate NO ₃ ⁻	mg/L	10	5,8
TA	°F	00	-
TAC	°F	14,5	13,4
Bicarbonates HCO ₃ ⁻	mg/L	145	134
TH	°F	1390	450,3
Calcium Ca ²⁺	mg/L	310	220
Magnésium Mg ²⁺	mg/L	930	807
Chlorures Cl ⁻	mg/L	20750	6532
Chlore libre	mg/L	0,01	-
Chlore totale	mg/L	0,02	-
Potassium K ⁺	mg/L	890	145,7
Fe ⁺⁺⁺	mg/L	-	0,011
Fe ⁺⁺	mg/L	0,09	0,09
Sulfates SO ₄ ²⁻	mg/L	5820	1100
O ₂ dissous	mg/L	9,00	0,2
MES	mg/L	14	4,6
Résidus secs à 180 °C	g/L	65,75	30,5
Résistivité ms/cm	ms/cm	10,8	-

On conclut donc que, pour la caractérisation de la saumure, il est plus intéressant de comparer la qualité des rejets par rapport à la qualité du milieu récepteur (eaux de mer) au lieu des normes de rejets. Pour cela, nous avons effectué le rapport entre les concentrations des caractéristiques physicochimiques des eaux de rejet et les eaux de mer naturelle afin d'obtenir la variation entre ces différents paramètres (Figure IV.2).

Chapitre IV Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin

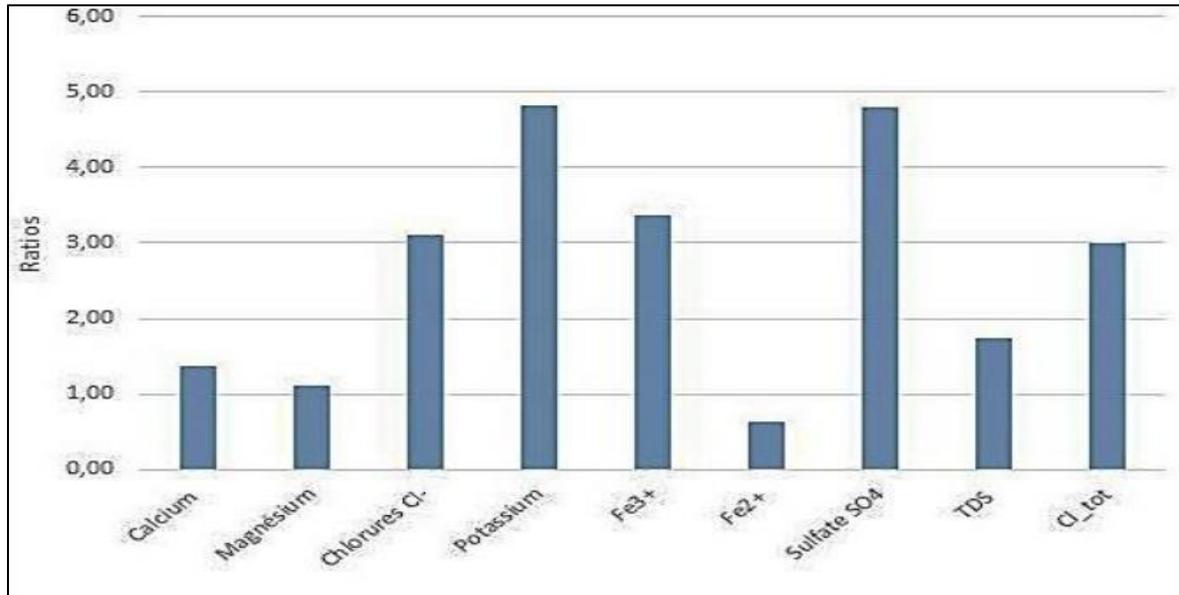


Figure IV.2. Histogramme montrant les ratios des caractéristiques de la saumure et celles des eaux de mer [23].

IV.3. Impacts des rejets de dessalement

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 ainsi qu'à des dommages potentiels pour le milieu récepteur.

Les activités de construction et d'exploitation peuvent se traduire par une série d'impacts sur les zones littorales, affectant notamment la qualité de l'air, la qualité de l'eau, la flore et la faune marines, la perturbation d'écosystèmes importants (dunes de sable, herbiers marins et autres habitats vulnérables par suite de l'emplacement choisi pour le trajet des canalisations), le dragage et l'élimination des déblais qui en résultent, le bruit.

Toute une série de produits chimiques et d'additifs servent en effet, lors du dessalement, à prévenir ou combattre l'entartrage ou la prolifération de microorganismes dans les circuits, faute de quoi la bonne marche de l'exploitation serait entravée [24].

IV.3.1. Impact du bruit

Une usine de dessalement par filtration membranaire est plus bruyante, et la majeure partie de ce bruit provient des pompes haute pression et des turbines de récupération d'énergie qui présente un danger pour les travailleurs de la station [25].

IV.3.2. Effets dus au prélèvement d'eau mer

Les usines de dessalement de l'eau de mer ont des dispositifs d'admission situés au large qui leur permettent de prélever de grosses quantités d'eau à proximité de certains habitats marins. Par exemple, des tambours tamiseurs sont souvent disposés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation afin d'empêcher des débris flottants, des organismes marins volumineux et autres matières de pénétrer dans le circuit de pré-traitement de l'usine de dessalement.

Le prélèvement représente deux sources potentielles d'impact, à savoir le heurt du poisson sur les tambours et l'introduction de biotes dans le circuit d'eau d'alimentation qui représente une menace importante pour le phytoplancton et le zooplancton, pour conséquences des dommages physiques comme l'écaillage et des troubles tels qu'une désorientation. Ce phénomène entraîne une augmentation de la mortalité par maladie et une vulnérabilité accrue à la prédation [26].

IV.3.3. Effets dus aux produits de la corrosion

Sont rejetés par les unités de dessalement et peuvent constituer une menace pour les organismes d'estuaire en raison de leur toxicité. Nous avons :

IV.3.3.1. Traces des métaux

Le Ni, Mo, Fe, Cr, Zn, provenant de la dissolution de tuyauterie et système de condensateur de refroidissement et autres dépendants des alliages présents dans la ligne du process.

Ces métaux provoquent des stressés au niveau des communautés aquatiques et leurs effets seront plus marqués au niveau des habitats benthiques soumis à un enrichissement plus élevé de métaux trace [27].

IV.3.3.2. Cuivre

À forte concentration, le Cuivre est très toxique et joue le rôle d'inhibiteur d'enzymes au niveau de l'organisme et peut entraîner le décès d'un nombre important d'espèces susceptibles. Pour le phytoplancton, le Cuivre inhibe la photosynthèse, limite l'absorption et l'assimilation du nitrate et l'adsorption du silicate. Au niveau des poissons d'estuaire, des changements apparaissent dans la physiologie de l'organisme, la reproduction et le développement [28].

IV.3.3.3. Fer

Le Fer est contenu dans certains additifs entrants dans le processus de dessalement. En présence d'une forte salinité peut conduire à un accroissement de la turbidité qui risquera de perturber la photosynthèse [28].

IV.3.4. Effets dus aux additifs antitartres

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 antitartres les plus largement utilisés ont été les polymères de l'acide maléique pour empêcher l'apparition d'effets néfastes de l'eutrophisation [27].

IV.3.5. 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 halogénés les constituants organiques de l'eau de mer [28].

D'autres agents antisalissure comme les sels de cuivre entraînent des rejets de cuivre dans la saumure, et ce métal, même à de très faibles concentrations (moins de 1ppm), peut avoir des incidences sur l'environnement par suite de son accumulation [27].

IV.3.6. Effets des additifs antimousses

Les agents antimousses sont des détergents. Les détergents ont des effets nocifs sur les organismes en altérant le système membranaire intracellulaire. Les effets sur l'écosystème marin n'ont pas été étudiés mais pourraient être négligeables [27].

IV.3.7. Effets potentiels des rejets de saumures concentrées

Une variation de la salinité et/ou de la température due au rejet de saumure retentit aussi sur les habitudes migratoires du poisson le long des côtes. Si certaines espèces de poissons ressentent une variation de la salinité ou de la température, elles peuvent éviter la zone du panache et s'éloigner au large. Il s'ensuit que le poisson peut être forcé de nager sur une plus longue distance, de quitter la zone de plus grande disponibilité alimentaire et

Chapitre IV Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin

devenir davantage exposé aux prédateurs. Les impacts de ces modalités nouvelles sont incertains car notre connaissance de la migration du poisson le long des côtes reste limitée et que l'on ne sait pas avec certitude quelle est la taille du panache susceptible d'occasionner ces effets [29].

La température d'effluent a une influence importante sur les propriétés physiques de l'eau de mer et peut détériorer sa qualité.

La solubilité d'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, cette température élevée de l'eau accélère la respiration de bactéries et peut promouvoir l'anoxie ou l'hypoxie contribuant à l'élimination de la vie aquatique, en particulier durant l'été [30].

IV.3.8. Impact des rejets de saumures sur l'écosystème marin

Les eaux de rejet d'une usine de dessalement ont une salinité de l'ordre du double de celle de l'eau de mer, ce qui les rend beaucoup plus denses. Lorsque ces eaux sont déversées en mer, elles s'enfoncent en raison de leur poids plus important et créent une couche dense et hypersaline qui s'achemine vers le fond. Lorsque le rejet déversé entre en contact avec le fond marin, il se forme une sortie hydraulique à la suite de laquelle la couche dense se déplace sous forme de courant de densité en suivant la bathymétrie du fond. Cette couche dense peut s'avérer préjudiciable pour les écosystèmes benthiques de la zone touchée. Il est donc nécessaire de trouver un système de rejet capable de diluer suffisamment les eaux de rejet afin de ne pas les affecter.

Le concentrât contient également les résidus des produits chimiques ayant servi aux prétraitements. Ils entraînent en particulier une acidification de l'eau (pH compris entre 6 et 6.5) ce qui a un impact sur la matière biologique, et en particulier sur les coraux. Si l'on utilise du méta bisulfite de sodium pour la déchloration de l'eau d'alimentation ou en tant que traitement biocide, ce produit a un impact sur le phytoplancton en particulier [31].

Les effets de ces rejets sur le milieu marin, comme l'ont démontré de nombreuses études, sont les suivants :

- Anoxie au niveau des fonds marins : la colonne d'eau se trouve divisée en deux : l'eau de mer constitue la couche supérieure et la saumure la couche inférieure. Dans des conditions de calme du milieu récepteur, avec un faible renouvellement des algues, la présence d'espèces benthoniques, consommatrices d'oxygène, peut conduire à des périodes d'anoxie du fond marin [30].

Chapitre IV Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin

- Diminution de la lumière : la présence d'un fluide hypersalin modifie le coefficient de réflexion de la lumière filtrée, provoquant la formation d'un brouillard qui rend difficile le passage de la lumière, affectant ainsi la photosynthèse des espèces marines végétales.
- Affection des espèces marines : on a détecté des réductions significatives dans les communautés des échinodermes (utilisés comme bio indicateurs pour leur sensibilité) près de la zone de rejet [30].
- Affection des phanérogames marines : la mer méditerranée est la zone du monde où le plus grand nombre d'études a été réalisé à ce sujet. On a détecté des effets négatifs sur les phanérogames marines. Notamment, en ce qui concerne la Posidonie océanique, on a détecté une augmentation de la mortalité des individus, apparition de nécrose sur les tissus et plus grande chute des feuilles [25].

IV.4. Élimination de la saumure

L'élimination de la saumure est un vrai problème environnemental devant être pris en considération et étudié lors de l'implantation d'une unité de dessalement. Dans la plupart des cas, la manière la plus facile de se débarrasser du débit important de saumure (70 à 55% du débit d'alimentation) est de le décharger dans la mer grâce à une conduite.

La concentration en saumure varie de 50 à 75 g/L et a une densité beaucoup plus élevée que l'eau de mer. De ce fait, la saumure tombe sur le sol sous-marin proche de la sortie de la conduite (effet panache) et forme ainsi une couche très salée pouvant engendrer des impacts négatifs sur la faune et la flore maritime ainsi que d'éventuelles activités humaines.

Les conditions de la mer : courant marin, vagues, eau calme ou agitée influent immédiatement sur la concentration des saumures au contact de la mer [26].

Belkacem Filali, a étudié la dilution des déchets saumâtres de la station de Fouka avec différentes vitesses de courants environnementaux, si l'on considère les magnitudes des vitesses enregistrées dans la zone.

Aucune distinction n'est faite entre la trajectoire Est et Ouest du panache de déchets hypersalins, étant donné que dans la simulation, les résultats sont symétriques dans les deux directions. (Figure. IV.3) représente les dilutions dans différents cas de vitesse et avec une géométrie d'émissaire et des conditions de rejets fixes.

Les pires conditions de dilution sont avec des vitesses comprises entre les valeurs de 2

cm/s et 5 cm/s, tandis qu'avec une vitesse très élevée, la dilution s'améliore, compte tenu du processus de mélange turbulent [26].

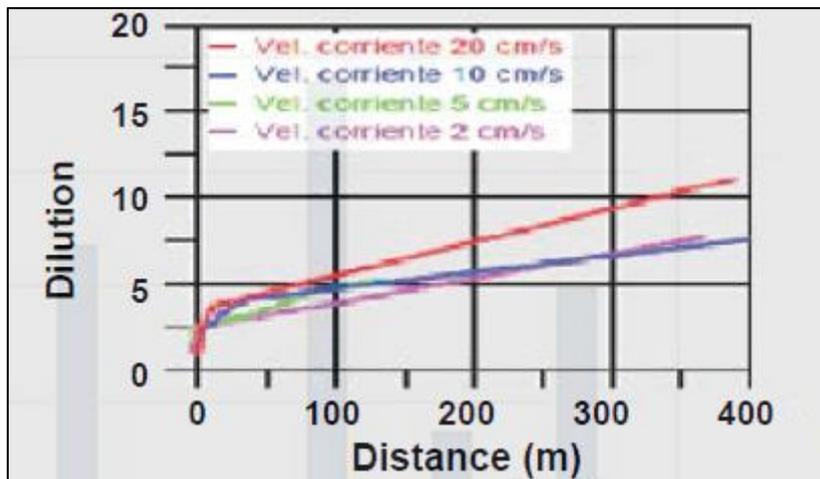


Figure IV.3. Dilution en fonction de la distance du point de rejet aux différentes valeurs de vitesse du vent [32]

Il existe deux concepts identifiés réalistes pour l'élimination de la saumure :

➤ Afin d'éviter l'effet panache, il est avantageux de placer la sortie de la conduite au niveau d'un courant fort, optimisant ainsi le mélange de la saumure et de l'eau de mer.

La dilution de ces saumures dépend instantanément de leur dispersion dans le cas d'une mer agitée et de leur localisation dans le cas d'une mer calme. Comme par exemple, les saumures prennent beaucoup de temps pour se diluer quand la mer est calme. Ce qui influe directement sur le milieu aquatique.

IV.5. Collision d'organismes marins contre les tambours tamiseurs

Les dispositifs de prélèvement de l'eau installés par les usines de dessalement ne sont pas sans impacts sur les écosystèmes locaux. En effet, dans le but d'empêcher des débris ou des gros organismes de pénétrer dans le réseau d'eau de l'usine, des tambours tamiseurs (structures de prélèvement) d'un maillage moyen de 5 mm sont placés entre le dispositif d'apport et les pompes d'alimentation.

Des organismes marins tels que des poissons peuvent heurter ces tambours et se blesser (écaillage, troubles de l'orientation...,etc.). Ces troubles physiques peuvent être à l'origine d'une mortalité accrue due aux maladies et à l'augmentation de la prédation [33].

IV.6. Techniques pour minimiser les impacts du dessalement sur l'environnement

Les saumures fortement salines en contact avec la mer descendraient au fond de la mer et prolongeraient sur un rayon de centaines de mètres présentent une source continue et cumulative de pollution, qui aurait comme conséquence des détriments continus sur la vie aquatique à proximité (zone hyper saline).

Pour réduire au minimum ces effets nuisibles des usines de dessalement de l'eau de mer ils proposent des remèdes pour débarrasser le surplus des saumures concentrées [34,35].

Il est souhaitable de placer le point de décharge de saumure loin de la plage et des endroits rocheux qui sont riches en organismes à partir d'un émissaire sous-marin, ou par incorporation des diffuseurs sur les tubes de décharges pour améliorer la dilution des saumures.

- Utilisation de l'eau déchargée de la centrale électrique pour la dilution des saumures concentrées (un taux élevé de dilution pourra réduire la tendance de dessalement au fond).
- Diriger les saumures vers une usine de production de sel. Cette solution présentera beaucoup d'avantages environnementaux et économiques.
- La décharge zéro au moyen d'un procédé d'évaporation des produits concentrés qui permet d'obtenir des résidus secs. Cette issue nécessitera une forte augmentation du capital d'investissement et de la consommation d'énergie.
- Utilisation des énergies renouvelables (solaires) pour fonctionner les usines de dessalement et essaient de produire un déversement nul de saumure dans la mer (usine de dessalement environnemental).
- La réalisation d'une cartographie sous-marine des habitats écologiques à protéger dans toute la région. Cette information doit être autant décisive que les contraintes sociales ou économiques, au moment de choisir la parcelle où on situera l'usine de dessalement.
- Le choix adéquat du type de rejet, soit direct sur la côte soit par le biais d'un émissaire sous-marin : il faut tenir compte de l'importance de la vitesse et de l'angle de sortie du jet ou des diffuseurs d'eau, de la bathymétrie du fond marin, du régime des houles et courants marins,...etc.

Chapitre IV Impact des rejets de la station de dessalement du Fouka sur l'environnement marin

- Le rejet simultané de saumures avec les eaux de refroidissement d'une centrale thermique ou avec l'effluent d'une usine de traitement d'eaux résiduelles est une solution intéressante à adopter, dans la mesure du possible.

Afin de minimiser encore plus l'impact du rejet de saumure dans la mer, il serait intéressant, en perspective, d'installer un système de dilution en amont de l'émissaire de rejet, au niveau de la côte ou de la station de dessalement elle-même [36].

Ce système pourrait être représenté par l'installation d'un bassin qui servirait à diluer, au préalable le rejet de la station de dessalement avec les effluents des stations d'épuration d'eau de mer se trouvant autour d'elle. [37,38].

IV.7. Conclusion

Dans ce chapitre on a évoqué les différents types du rejet et leur impact sur l'environnement. La comparaison de la qualité physico-chimique de la saumure et de l'eau de mer a montré l'augmentation de la salinité engendrée par le déversement de la saumure.

Pour le cas de la station de Fouka des efforts ont été consentis pour la protection de l'environnement, ainsi avant le rejet, la saumure est neutralisée et son pH ajusté à celui de l'eau de mer. D'autre part, l'installation d'un émissaire par diffusion pour assurer une meilleure dilution de la saumure et limiter les impacts de la station sur l'environnement.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'eau et l'énergie sont deux ingrédients essentiels au maintien de la vie sur cette planète. Ces deux quantités sont aussi irrémédiablement liées par un certain nombre de conditions critiques, en particulier lorsque l'on considère les sources d'énergie manufacturées et l'eau potable.

Le dessalement est une bonne solution pour l'Algérie, vu l'explosion démographique et la croissance économique entraînant une demande en eau, qui dépasse de très loin les ressources disponibles. Selon les spécialistes la méthode par osmose inverse donne de bas prix grâce à l'amélioration des technologies (membranes plus performantes et à durée de vie plus longue).

Le dessalement d'eau de mer, gourmand en énergie et à l'origine de rejets polluants, n'est pas une option de développement durable, même si des études à long terme manquent pour évaluer précisément l'impact de ces usines.

Il s'agit d'une alternative d'adaptation au changement climatique qui ne devrait être adoptée que lorsque toutes les autres possibilités « durables » ont déjà été exploitées (en particulier l'utilisation rationnelle de l'eau et le recyclage des eaux usées) et qui devrait se limiter à la production d'eau potable pour la consommation humaine. A capacité identique, le recyclage des eaux usées est nettement moins cher que le dessalement d'eau de mer, avec une consommation d'énergie deux fois moins importante. Le procédé de désalinisation doit par ailleurs être amélioré par le développement de nouvelles techniques de traitement utilisant moins de produits chimiques.

Lorsque le dessalement est l'unique solution pour alimenter les populations en eau douce, des études scientifiques précises doivent être menées sur site avant implantation de l'usine, pour en limiter les impacts, au risque de détruire les écosystèmes marins locaux.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Nadjib.D; 2019. Water Policies in MENA Countries, Global Issues in Water Policy Publisher: Springer Nature Switzerland. Book. DOI: 10.1007/978-3-030-29274-4-2.
- [2] Algérie Focus, 2017. Ressources en eau/ L'Algérie comptera 140 barrages en 2030.
- [3] Hassen B et Abid O ; 2017. « Fuites d'eau de surface, sédimentation et évaporation dans les régions arides : étude de cas du barrage de Gargar, Algérie ». Journal du développement de l'eau et des terres 35 : 73-81.
- [4] Sid Ahmed Bellal, Said Mokrane, Tarek Ghodbani et Ouassini Dari, Ressources, usagers et gestionnaires de l'eau en zone semi-aride : Le cas de la wilaya d'Oran ouest algérien, Territoire en mouvement Revue de géographie et aménagement ; 25-26 2015 ; <http://journals.openedition.org/tem/2859>; DOI : <https://doi.org/10.4000/tem.2859>.
- [5] Bengueddach.B ; 2005. Recours au dessalement d'eau de mer en Algérie, 1er Salon international des ressources en eau, des boissons et dérivés 1er SIREB, MRE, 07 .10/05/2005.
- [6] Agence de dessalement de l'eau ADE: près de 17% de l'eau distribuée provient des stations de dessalement.
- [7] L'AEC installe les chantiers pour la réalisation de 3 nouvelles stations de dessalement d'eau, sur aps.dz ; 17 juin 2022.
- [8] Alger: mise en service de la station de dessalement de Zéralda, site aps.dz ; 27 octobre 2021.
- [9] Station de dessalement d'eau de mer SDEM : Capacité de production en hausse ; archive, site elwtan-dz.com, 27 avril 2022.
- [10] Mise en service de la station de dessalement de l'eau de mer d'Ain Benian ; archive, site aps.dz, 18 septembre 2021.
- [11] El Tarf : lancement des travaux de réalisation d'une station de dessalement d'eau de mer à Berrihane archive, site aps.dz ; 16 juin 2022.
- [12] Sonatrach : l'AEC installe les chantiers pour la réalisation de 3 nouvelles stations de dessalement d'eau archive, site aps.dz ; 17 juin 2022.
- [13] Semiat, R ; 2008. Energy issues in desalination processes. Environ. Sci. Technol., 42 22, 8193–8201, Available online at <http://dx.doi.org/10.1021/es801330u>.
- [14] Contrat EPC Annexe 2 ; 2007 : Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka. Rapport interne.
- [15] Brahimi, M, 2018. Conception et dimensionnement de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka wilaya de Tipaza, mémoire de fin d'étude. Université d'USTHB.

Références bibliographiques

- [16] Usine de dessalement de Fouka-Algérie. Project Number: 0172543000-45ED-3-0001_R08 Acciona.
- [17] Taibi. S. ; 2015. Étude des performances de la station de dessalement des eaux de mer par osmose inverse de FOUKA wilaya de Tipaza », Thèse d'ingénieur d'état, 124p.
- [18] Zamiches.S ; 2014. Présentation du projet de dessalement de FOUKA.
- [19] Corsin.P ; 2005.Dessalement de l'eau de mer par osmose inverse: les vrais besoins en énergie, l'eau, l'industrie.
- [20] A.M.K. El-Ghonemy ; 2013Waste Energy Recovery in Seawater Reverse Osmosis Desalination Plants, Part1: Review', Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 18, pp. 6 – 22,
- [21] Fiquet J.M ; 1977. La lutte contre les salissures marines au moyen de la chloration. In : Journées de la Thermoécologie, Brest COB, 15-16 novembre 1976, EDF Direction de l'Equipement.
- [22] Alain.M ; 2001. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », éditions Technique & Documentation.
- [23] Amitouche.M. , Lefkir.A. , Remini.B. , Meradji.H. , Mokhtari.O. Chemical discharge on the marine environment from desalination plants in Algeria. Larhyss journal, issn 1112-3680, n°32, déc. 2017, pp. 199-211. 2017 all rights reserved, legal depo.
- [24] MAUREL. A ; 2006. Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2e édition TEC&DOC286p et PNUE ; 2001.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», UNEP (DEC)/ MED WG.183/Inf.6, Athènes.
- [25] PNUE ; 2001. 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, UNEP (DEC)/ MED WG.183/Inf.6, Athènes.
- [26] NRC ; 2008. Desalination: A National Perspective, Committee on Advancing Desalination Technology, Water Science and Technology Board, Division on Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies.
- [27] Hoepner. Danis.P ; 2003. Dessalement de l'eau de mer». Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 700.
- [28] Rashad.D; 2007. Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on marine life, Final Project, the University of Sydney, Australia.
- [29] T.Lattemann.S; 2003. Chemical impacts from seawater desalination plants: A case study of the northern Red Sea Desalination», 152 2003 133–140.

Références bibliographiques

- [30] Fernandez-Torquemada.Y, Sanchez-Lizaso.J.L;2013. Effects of salinity on seed germination and early seedling growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* L. Delile, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 119, p. 64-70.
- [31] Cooley .H, Gleick.P.H and Wolff.G; 2006.Desalination, with a grain of salt, A California Perspective: Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security: Oakland, California.
- [32] Belkacem Filali M, Kattab A and Bessenasse M; 2018. Modelling and design of brine outfall discharges: case of a desalination plant in mediterranean. Journal of Industrial Pollution Control.
- [33] Desalination: Resource and Guidance Manual for Environmental Impact Assessments: United Nations Environment Programme UNEP – 2008.
- [34] Balasubramanian.P; 2013. A brief review on best available technologies for reject water (brine) management in industries, J. Environ. Sci.
- [35] Jenkins.S.A and al; 2013.Management of brine discharge to coastal water, recommendations of science advisory panel, Southern California coastal water research project, Tech Rpt.694.
- [36] Contrat EPC Annexe 2; 2007. Construction d'une usine de dessalement d'eau de mer de Fouka. Rapport interne.
- [37] Amitouche.M and Remini.B; 2014.Operation of Cap Djinet desalination plant and dilution of brine with power station cooling water", Desalination and Water Treatment 2014 1-8 2.
- [38] Amitouche.M ; 2016. Impacts des Rejets des Stations de Dessalement sur le Milieu Récepteur ; Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra -Algérie.