

République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université A. Mira de Bejaia



Faculté de Technologie
Département de Génie des procédés

Mémoire EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE Master

Domaine : Science et Technologie Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie des procédés de l'environnement

Présenté par : **Boudraa Lyazid & Slimani Meriem**

Thème

**Étude des performances d'un filtre à sable bicouche de la station de dessalement
d'eau de mer (Fouka-Tipaza)**

Soutenue le 07/07/2022

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	UNIVERSITÉ	jury
Mme N. BELHADJ	MCB	Université de Bejaïa	Présidente
Mme H. BELKACEMI	Pr	Université de Bejaïa	Examinatrice
Mme Z. BOUARICHE	MAA	Université de Bejaïa	Encadrante

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, ma directrice de mémoire Mme. bouariche, professeur de documentation et recherches à l'université de Bejaia, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de Bejaia et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Monsieur le directeur d'SNC lavalin myah tipazza , mohamed khateb qui m'a beaucoup appris sur les défis à relever dans le monde de l'industrie et professionnel. Il a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu, tout en m'accordant sa confiance et une large indépendance dans l'exécution de missions valorisantes.

Et Monsieur marouane el kadourri , pour m'avoir accordé des entretiens et avoir répondu à mes questions sur le dessalement de Léau de mer , ainsi que son expérience personnelle.

Ils ont été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire.

Madame Nadia , l'ingénieur du laboratoire de la station pour son accueil ,sa gentillesce , et son rationalisme.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Meriem

Remerciement

Nous tenons avant tout à remercier le bon Dieu pour la volonté et la force qu'il nous a offerts pour que nous puissions réussir notre travail.

Nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier Mme BOUARICHE pour avoir acceptée de nous encadrer et de nous diriger, qu'elle trouve ici et l'expression de nos profondes gratitude.

Nous tenons à remercier Membre de jury d'avoir acceptés d'évaluer notre travail.

Nous tenons à remercier tous ce qui nous a suivis durant notre période de stage.

En particulier Nous tenons à remercier Mr KHATEB MOUHAMED pour avoir accepté de réaliser cette étude dans les meilleures conditions et de nous avoir encouragés à chaque fois, qu'il trouve ici et l'expression de nos profondes gratitude.

Nous tenons à remercier Mr EL KADDOURI MAROUANE, pour son aide et disponibilité.

Nous tenons à remercier Mme NADIA pour son accueil ,sa gentillece , et son rationalisme.

Nous tenons à remercier Mr AZOUGE de nous orienter et de nous aider.

Lyazid

Dédicace

Ce Project fin d'étude je le dédie tout d'abord à mes chers grands parents paternels décédés récemment qu'ils repose en paix

*À mes grands parents maternels ,PARTICULIÈREMENT **zohra ben amer** ,ma rose qui chaque jour à illuminé ma vie avec sa sagesse son visage d'ange , et sa gentillesse ,tu seras toujours ma deuxième maman ,ET JE TE REMERCIERAI Jamais ASSEZ*

*A mes chers parents **Mouloudj hayette** et **Mokhtar Slimani** vous êtes mon inspiration , merci à toi maman de m'avoir donnée la vie, d'avoir implanter en moi L'amour des études et de la littérature ,merci pour ta présence et ton soutiens même dans les moments les plus difficiles ,et merci à toi papa de m'avoir fait aimer l'univers de l'ingénierie , tu as toujours été un modèle de réussite pour moi*

Je vous aime même si je ne vous le dit pas souvent merci pour tous

*A toi ma sœur **Sarah** et mon frère **Massi** vous êtes tous les deux une partie de moi je serais toujours là pour vous sachez le je vous aime*

*A vous mes chers tantes **fatima,nora ,Yasmina** et a ma cousine **Radia** ,je n'est pas de grandes sœurs pour me conseiller , mais vous êtes là vous ,vous êtes mes grandes sœurs de cœurs merci*

*Ici je tiens a aussi a remercier des personnes qui mont aider lors de mon stage et qui m'ont accueillie les bras ouverts , a la résidences de l'école supérieur du commerce **dalida, imene, ikram et selwa**. C'était une nouvelle expérience pour moi , un univers qui n'était pas le mien , et J'ai été ravie de l'avoir partagé avec vous j'en garde les meilleurs souvenirs*

Je dédie aussi ce mémoire Aux membres de notre association « les pats verts »,et particulièrement a notre amie le dentiste qu'on a perdue récemment paix a son âme , pratiquer cette discipline sportif a été un échappatoire pour évacuer mon stress quotidien durant cette année éprouvantes, alors merci pour Ces fous rires qu'on a eu ensemble et je vous dit aujourd'hui est un pas vers l'avenir pour moi

*Enfin, je remercie tous mes amies que j'ai connue a l'université de Bejaia certains sont devenues très proches de moi. J'esper qu'on garderas cette amitié encore très longtemps et quand se souviendras de ces beaux moments **meriem***

Dédicaces

À ma très chère mère Malgré que tu n'es plus entre nous, mais je suis et je serai toujours envahie par ta présence dans mon cœur et mon âme, je te remercie de m'avoir donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir aujourd'hui, ne pourra exprimer l'amour que je te porte. En témoignage de mon profond cœur, je t'offre ce modeste travail, et que dieux te garde éternellement dans son vaste paradis.

Je dédie ce modeste travail À mon cher père qui es toujours cru en moi et mis tous ces efforts pour mon éducation et mon bien être et ma réussite. , je te remercie d'être mon papa, d'être l'homme parfait. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

Je dédie ce modeste travail :

À ma chère grande sœur Wahiba pour votre encouragement et votre aide

À mon cher grand frère Hocine pour votre encouragement et votre aide

À mon cher grand frère Djilali pour votre soutien et pour votre aide

À ma chère petite sœur Faiza pour votre soutien et votre encouragement et d'être toujours là pour moi

À ma chérie Kamelia pour votre aide et votre soutien et d'être à mes côtés durant tout mon parcours universitaire

À mes chers neveux, Lila et son fils Mayas et son nouveau née, Nouara, Adél et Amina, Puisse Dieu vous garder

À tous les amis, et collègue de ma promo en particulier le groupe les chanceux

Que dieux vous garde tous

Lyazid

Liste des figures

<i>Figure I.1 : Pourcentage de la population ayant accès à l'eau potable</i>	7
<i>Figure I.2 : Les stations de dessalement d'eau de mer en Algérie</i>	11
<i>Figure I.3 : Évolution du marché de dessalement dans le monde</i>	13
<i>Figure I.4 : Le dessalement en méditerranée</i>	13
<i>Figure I.5 : Techniques de dessalement utilisées dans le monde</i>	15
<i>Figure I.6 : Turbidité de l'eau</i>	19
<i>Figure I.7 : Les étapes de dessalement par osmose inverse</i>	26
<i>Figure I.8 : Étape du prétraitement avant osmose inverse</i>	27
<i>Figure I.9 : Schéma simple d'un filtre à sable bicouche</i>	29
<i>Figure I.10 : Principe d'osmose inverse</i>	31
<i>Figure I.11 : Coupe d'une cartouche à osmose</i>	32
<i>Figure I.12 : Membrane sélective</i>	33
<i>Figure I.13 : Schéma générale de Taux de conversion et récupération d'énergie</i>	34
<i>Figure II.1 : Station de dessalement d'eau de mer FOUKA (Google Earth)</i>	36
<i>Figure II.2 : Tête de prise eau de mer</i>	37
<i>Figure II.3 : Station de pompage eau de mer</i>	38
<i>Figure II.4 : Les filtres à cartouches</i>	39
<i>Figure II.5 : Les racks d'osmose inverse</i>	40
<i>Figure II.6 : Turbidimètre</i>	43
<i>Figure II.7 : appareil multi-paramètres à sonde (HACH, sension7)</i>	44
<i>Figure III.8 : pH-mètre (HACH, HQ430d)</i>	45
<i>Figure III.9 : JAR-TEST</i>	50
<i>Figure III.10 : mesure de SDI₁₅</i>	56

Figure III.1 : Variation de la turbidité en fonction de la concentration FeCl₃ injecté dans l'eau de mer -----60

Figure III.2 : Variation de fer total en fonction de la concentration de FeCl₃ injecté dans l'eau de mer -----60

Figure III.3 : Variation de MES en fonction de temps durant la maturation. -----62

Figure III.4 : Variation de la turbidité en fonction de temps durant la maturation. -63

Figure III.5 : Variation de la conductivité en fonction de temps durant la maturation -----64

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau I.1 : Répartition de l'eau sur le globe</i> -----	3
<i>Tableau I.2 : Classification des eaux selon la salinité</i> -----	4
<i>Tableau I.3 : Répartition des eaux de surface en Algérie (MAUREL, 2006)</i> -----	5
<i>Tableau I.4 : Répartition spatiale des eaux souterraines du nord du pays</i> -----	6
<i>Tableau I.5 : Liste des usines de dessalement en Algérie.....</i>	10
<i>Tableau I.6 : Principaux sels dissous pour une eau de mer de salinité 35g/l (BAKALOWICZ, 1999)</i> -----	18
<i>Tableau I.7 : Différentes pollutions des Mers et leurs origines</i> -----	21
<i>Tableau I.8 : Classement des eaux potables selon leur conductivité</i> -----	23
<i>Tableau I.9 : Classement des eaux potables selon leurs duretés</i> -----	24
<i>Tableau I.10 : Paramètre de potabilité avec valeur indicatives</i> -----	25
<i>Tableau II.1 : préparation des solutions de jar</i> -----	51
<i>Tableau II.2 : Vitesse et temps d'agitation</i> -----	52
<i>Tableau II.3 : les dimensions de filtre à sable</i> -----	53
<i>Tableau III.1 : Résultat physicochimique</i> -----	57
<i>Tableau III.2 : Mesure de la masse de MES</i> -----	58
<i>Tableau III.3 : Mesure de la masse de TDS</i> -----	58
<i>Tableau III.4 : Analyse volumétrique</i> -----	59
<i>Tableau III.5 : Résultat de l'analyse de jar-test</i> -----	59
<i>Tableau III.6 : Analyse durant la période de maturation</i> -----	61
<i>Tableau III.7 : Résultat de mesure SDI₁₅ :</i> -----	65

Liste des abréviations

AEC : Algerian Energy Company.

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

BOO : Build Own Operate.

CRECEP : Collectif Régional d'Experts et de Citoyens pour l'Environnement et le Patrimoine.

DGAIH : Direction des Grands Aménagements Hydraulique.

EDTA : Acide Éthylène Diamine Tétracétique

ERI : Energy recovery.

MES : Matière en suspension.

MRE : Ministère des Ressources en Eau.

MVA : Mégavoltampère.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit.

Ppm : Partie Par Million.

SDI : Silt Density Index.

SDEM : Station de Dessalement Eau Mer.

SNC : Lavalin : Société d'ingénierie et de construction canadienne.

TAC : titre alcalimétrique complet.

TDS : Total Dissolved Solids

TH : Titre Hydrométrique.

USD : United States dollar.

Sommaire

introduction générale.....	<u>1</u>
I.1. Répartition de l'eau sur le globe	<u>3</u>
I.2. Ressource de l'eau en Algérie	<u>4</u>
<i>I.2.1. Les ressources d'eau de surface</i>	<u>4</u>
<i>I.2.2. Les ressources d'eau souterraines</i>	<u>5</u>
I.3. Accès à l'eau et stress hydrique	<u>6</u>
I.4. Généralités sur le dessalement	<u>8</u>
I.5. Dessalement en Algérie	<u>8</u>
I.6. Production d'eau à partir du dessalement	<u>12</u>
I.7. Les coûts du dessalement.....	<u>14</u>
I.8. Principaux procédés utilisés dans le dessalement.....	<u>14</u>
I.9. Les paramètres de choix d'un procédé de traitement	<u>14</u>
I.10. Impact environnemental	<u>16</u>
I.11. Eau de mer	<u>16</u>
<i>I.11.1. Conductivité</i>	<u>18</u>
<i>I.11.2. Turbidité</i>	<u>19</u>
<i>I.11.3. Matières en suspension (MES)</i>	<u>20</u>
<i>I.11.4. Le potentiel hydrogène (pH)</i>	<u>20</u>
<i>I.11.5. Température</i>	<u>20</u>
I.12. Différents polluants et leurs origines dans les eaux de mer.....	<u>21</u>
I.13. La potabilité	<u>22</u>

I.14. Classement des eaux potables :	23
I.15. Les normes algériennes de potabilité.....	24
I.16. Prétraitement.....	26
<i>I.16.1. Dégrillage</i>	27
<i>I.16.2. Chloration</i>	27
<i>I.16.3 Coagulation-Floculation</i>	28
<i>I.16.4 Les filtres bicouches</i>	28
<i>I.16.5. Acidification</i>	29
<i>I.16.6. Déchloration</i>	29
<i>I.16.7. Antitartre</i>	30
<i>I.16.8. Filtration sur cartouches</i>	30
I.17. Traitement.....	30
<i>I.17.1 Principe de l'osmose inverse</i>	30
<i>I.17.2. Les avantages et les inconvénients du dessalement par l'osmose inverse..</i>	31
<i>I.17.3. La membrane</i>	32
<i>I.17.4 Principe de fonctionnement d'une membrane</i>	33
<i>I.17.5. Taux de conversion et récupération d'énergie</i>	34
I.18. Post de traitements de perméat :	35
<i>I.18.1. La reminéralisation</i>	35
<i>I.18.2. Correction du pH</i>	36
<i>I.18.3. Désinfection</i>	36
II.1 Présentation de la station de dessalement d'eau de mer Fouka-Tipaza.....	36
<i>II.1.1. Site de la station</i>	36
<i>II.1.2. Station de dessalement de Fouka</i>	36
<i>II.1.3. Prise eau de mer</i>	37

II.1.4. Station de pompage eau de mer	37
II.1.5. Système de prétraitement et filtration	38
II.1.6. Système d'Osmose inverse et réservoir de lavage des filtres	39
II.1.7. Traitement des effluents	40
II.1.8. Reminéralisation du perméat	41
II.1.9. Station de pompage d'eau traité	41
II.1.10. Sous station électrique 60 kw.....	41
II.1.11. Réseau de distribution externe.....	41
II.2. Matériel et méthodes	42
II.2.1. l'analyse physicochimique :.....	42
II.2.1.1. Mesure de la turbidité.....	43
II.2.1.2. Mesure de la conductivité :	44
II.2.1.3. Mesure de la température et du pH d'eau de mer.....	44
II.2.2. Mesure des TDS et de MES d'eau de mer.....	45
II.2.3. Aanalyse volumétrique d'eau traitée	46
II.2.3.1. Le calcium (CA ²⁺).....	47
II.2.3.2. La dureté totale (TH).....	48
II.2.3.3. Le magnésium (Mg ²⁺).....	48
II.2.3.4. TA et du TAC.....	48
II.2.3.5. Les chlorures (Cl ⁻)	49
II.2.3 : Déterminer le dosage optimal du chlorure ferrique (FeCl ₃) pour l'essai du jar-test.....	49
II.2.4. Colmatages et lavage du filtre bicouches	52
II.2.4.1. Évolution du nettoyage du filtre à sable	53
II.2.5. Mesure de de l'indice SDI15 (Silt Density Index)	54
III.1. Aanalyse physicochimiques	57
III.2. TDS et de MES d'eau de mer.....	57
III.3. Analyse volumétrique de l'eau traitée :.....	58

III.4. Dosage optimal du chlorure ferrique (FeCl ₃).....	59
III.5. Contrôle de l'évolution du nettoyage du filtre à sable	61
<i>III.5.1. Qualité de l'eau durant la maturation pour les (MES) :</i>	62
<i>III.5.2. Qualité de l'eau durant la maturation pour la Turbidité.....</i>	63
<i>III.5.3. Qualité de l'eau durant la maturation pour la Conductivité</i>	64
III.6. L'indice SDI ₁₅ (Silt Density Index)	64
CONCLUSION	66
Référence bibliographiques	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est un élément indispensable à toute forme de vie, elle n'est malheureusement pas disponible en quantité limitée sur notre planète et elle n'est pas toujours là où on en a le plus besoin, actuellement, selon les Nations Unies, un milliard de personnes vivent dans les zones où l'eau est rare.

L'accès à l'eau est fondamentalement un enjeu multidimensionnel avec le rythme actuel de sollicitation des ressources d'eau potables ; la moitié de la population mondiale serait en situation de stress hydrique d'ici 2030, et autant de réfugiés potentiels de la soif. L'accès à l'eau en tant que bien commun apparaît aussi comme une question humanitaire d'ordre international, nous sommes donc amenés, si on veut préserver l'avenir de notre pays il faut trouver des solutions d'urgence.

En effet, l'OMS considère qu'il y a stress hydrique lorsqu'un être humain dispose de moins de 1700 m³ d'eau par an et pénurie lorsqu'il dispose de moins de 1000 m³ par an. Malheureusement, de nos jours, plus de 1,4 milliards de personnes vivent avec moins de 1000 m³ d'eau par an (Source brgm - 2011).

La pluviométrie moyenne annuelle dans le nord de l'Algérie est évaluée entre 95 et 100 109 million de m³. Plus de 80 109 million de m³ s'évaporent, 3 109 million de m³ s'infiltrent et 125 109 million de m³ s'écoulent dans les cours d'eau. Dans le nord Algérien, l'apport principal vient du ruissellement, les eaux de surface sont stockées dans les barrages, En 2002, l'Algérie disposait de 52 grands barrages d'une capacité de 5,2 milliards de m³. Le reste (73 109 m³) se déverse directement dans la mer, le problème de l'eau s'est aggravé ces dernières années par une sécheresse qui a touché l'ensemble du territoire de notre pays, et qui a montré combien il était nécessaire d'accorder la plus grande attention à l'eau.

Pour faire face à cette pénurie d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante, Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres, Ces techniques sont opérationnelles depuis de nombreuses années mais leur coût (de 1 à 2 euros / m³) limitent souvent leurs utilisations aux pays riches. Cependant ces dernières années, la capacité des usines de dessalement s'est fortement accrue et les coûts de production par m³ ont connu une forte diminution. (Moudjeber, 2015)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Un programme d'urgence de dessalement de l'eau de mer a été adopté dès 2002 pour répondre aux besoins en eau potable. Il a été suivi d'un autre programme issu des résultats de l'étude générale sur le dessalement d'eau de mer (Bengueddach, 2005), 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 (horizon 2030) sur le développement du dessalement de l'eau de mer. (Akli et Bedrani, 2011)

Dans le dessalement, plusieurs méthodes physicochimiques permettent l'obtention de l'eau douce à partir de l'eau de mer. Celles qui ont un grand succès à nos jours sont la distillation et l'osmose inverse. Ces deux techniques sont implémentées à l'échelle industrielle pour des grandes capacités de production et ont connues des développements technologiques considérables afin de les rendre plus compétitives. Les autres techniques telles que la congélation l'électrodialyse ou bien l'humidification sont en cours de développement et ne peuvent être adaptés que pour les installations de faibles capacité (Mandri, 2011)

Dans le présent mémoire, L'étude des performances d'un filtre à sable bicouche au niveau de la station de dessalement de Fouka-Tipaza, est prise en charge en termes de contrôle qualité des eaux avant et après la filtration sur sable, Dans ce but, le manuscrit sera composé et mis en ordre de la manière suivante :

Un premier chapitre qui donne un aperçu général sur les ressources en eau, la production d'eau potable à partir du dessalement et les procédés de dessalement par osmose inverse, un deuxième chapitre qui présente l'usine de dessalement d'eau de mer Fouka-Tipaza avec matériel et méthode utilisé, le troisième chapitre qui présente les résultats et interprétation, et en fin, une conclusion générale qui résume les résultats de cette étude.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Il semble que le manque d'eau sera au XXI^e siècle le principal obstacle au développement socioéconomique (Baumont, 2007). Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs (Kouadio, 2015). En Algérie, l'eau revêt un caractère stratégique du fait de sa rareté et d'un cycle naturellement perturbé et déséquilibré. Qu'il s'agisse de l'eau souterraine ou de l'eau de surface, les ressources sont limitées et, compte tenu des problèmes démographiques et de l'occupation de l'espace (sachant que près de 60 % de la population algérienne est concentrée dans la frange septentrionale du territoire qui ne représente que le dixième de la surface totale du pays) (Boudjadja et Messahel, 2003).

I.1. Répartition de l'eau sur le globe

L'eau recouvre 72 % de la surface du globe, le tableau suivant présente la répartition de l'eau sur le globe.

Tableau I.1 : Répartition de l'eau sur le globe (Raymond, 1990)

Provenance	Quantité (%)
Eau douce de lacs	0.009
Eau de rivières	0.0001
Eau souterraine près de la surface	0.005
Eau souterraine en profondeur	0.61
Eau dans les glaciers et les calottes glaciaires	2.15
Eau salée de lacs ou de mers intérieures	0.008
Eau dans l'atmosphère	0.0001
Eau des océans	97.2

On constate rapidement que 99.3% de l'eau sur terre est soit trop salée (océans), soit située dans des régions inaccessibles (calottes glaciaires). De plus, le reste de l'eau est reparti inégalement sur le globe. Il faut donc dans certaines régions, envisager de réutiliser les eaux d'égout, de traiter des eaux saumâtres ou des eaux de mer.

Lorsqu'on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées dans le tableau (I.2).

Tableau I.2 : Classification des eaux selon la salinité (Raymond, 1990)

Type d'eau	Salinité (mg/L)
Eau douce	< 500
Eau légèrement saumâtre	1 000 – 5 000
Eau modérément saumâtre	5 000 – 15 000
Eau très saumâtre	15 000 – 35 000
Eau de mer	35 000 – 42 000

Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes d'eau souterraine, contiennent le plus souvent de 2 000 à 10 000 mg/L de matière dissoutes. (Raymond, 1990)

I.2. Ressource de l'eau en Algérie

Étant donnée la situation critique que vit l'Algérie en matière de ressources en eau, nous sommes dans l'obligation de trouver des solutions rapides à ces situations, car, si dans un passé non lointain, la ressource en eau non conventionnelle en Algérie était évoquée très timidement, aujourd'hui elle devient une solution alternative aux ressources conventionnelles qui se font de plus en plus rares. (Benmoussat et Habi, 2009)

I.2.1. Les ressources d'eau de surface

Les écoulements de surface avaient été estimés pendant la période coloniale à 15 milliards de m³ pour le bassin tributaire de méditerranée, c'est-à-dire sans tenir compte des bassins qui dépendent des chotts. Dans les dernières études menées dans le cadre du plan national des ressources hydriques (ANRH) et de la direction des grands aménagements hydrauliques (DGAIH) et qui intégrant des années de sécheresse les ressources en eau de surface sont évaluées à 12,4 milliard de m³ réparties par bassin hydrographique selon le tableau (I.3)

Tableau I.3 : Répartition des eaux de surface en Algérie (Maurel, 2006)

Bassin	Oranaise	Chelif	Algérois	Constantinois	Sud	Total
Hydraulique	Chatt	Zahrez	Soummam	Seybouse		
	Chargui		Hodna	Méllegue		
Ressources pot (hm ³ /an)	1025	1840	4380	4500	600	12.34
Pourcentage (%)	8.7	15.7	37.3	38.3	0.48	100

En 2014 le secteur des ressources en eau en Algérie dispose de 84 barrages avec une capacité de stockage 8.9 milliards de m³. Pour l’heure, l’Algérie dispose de 70 barrages de grande et moyenne envergure, avec une capacité de 7 milliard de m³. (Maurel, 2006)

I.2.2. Les ressources d’eau souterraines

Dans le nord du pays : les eaux souterraines ont été évaluées par les services techniques de l’ANRH et la DGAIH dans le cadre national de l’eau à environs 1.9 milliard de m³. Ces ressources qui sont relativement facile à mobiliser, sont aujourd’hui exploitées à 90%, Beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique, actuellement ; on estime à plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l’agriculture et l’alimentation en eau potables.

La répartition par région hydrographique des eaux souterraines du nord se présente comme suit : tableaux (I.4)

Tableau I.4 : Répartition spatiale des eaux souterraines du nord du pays

Bassin	Oranise	Chelif	Algérois	Constantinois	Total
Hydraulique	Chatt Chargui	Zahrez	Soummam Hodna	Seybouse Méllegue	
Ressources pot (hm ³ /an)	375	231	745	543	1894
Pourcentage (%)	19.7	12.2	39.2	28.9	100

Dans le sud de pays : le sud algérien correspond à une zone désertique d'environ 2.156.000km² soit 85% du territoire globale du pays, avec une population de 3 million d'habitant. Les précipitations sont rares dans cette région ou les pluies torrentielles provoquent des crues vaillante et dévastatrices. Le charriage considérable de l'érosion des berges participe au transport solide des cours d'eau avec un débit appréciable.

Ainsi au niveau de ce grand espace, l'essentiel des ressources en eau est localisé dans deux grands systèmes aquifères : Les nappes du continental intercalaire ou albien qui est un grand réservoir d'eau fossile s'étendant sur tout le Sahara septentrional et les nappes du complexe terminal, qui es un aquifères peu profond. (Kouadio. 2015)

I.3. Accès à l'eau et stress hydrique

Les ressources en eau s'avèrent un bien précieux pour le développement économique des sociétés notamment pour satisfaire les besoins vitaux et sanitaires des populations en termes d'eau potable et d'hygiène et en termes de production alimentaire. Toutefois, la répartition géographique des ressources et des demandes en eau est inégale sur Terre. Les ressources en eau des pays développés satisfont quasiment intégralement les besoins en eau des populations (alimentation en eau potable, hygiène, alimentation). Les régions les plus critiques sont les zones arides. (Milano, 2012)

À mesure que les populations de ces régions s'accroissent et que les demandes en eau des différents secteurs socioéconomiques s'amplifient, il devient plus difficile et plus coûteux de mobiliser l'eau en particulier lorsque les potentialités des ressources en eau sont limitées.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

D'une façon générale, le taux de prélèvement (qui compare le volume d'eau prélevé au volume théoriquement mobilisable) indique la marge sur laquelle il est possible de compter pour accroître l'offre. Quand cette marge se rétrécit, la pression sur la ressource en eau se fait de plus en plus forte et la sensibilité des usages aux risques de pénurie de plus en plus concrète. La demande directe en eau pour couvrir les besoins urbains et industriels dépend du niveau de vie et du niveau d'industrialisation de la société mais reste en général modérée, En revanche, la demande en eau de la production agroalimentaire est élevée elle dépend du régime nutritionnel et évolue au rythme du changement des modes d'alimentation (Hoekstra. 2003), (Renault & Wallender, 2000).

La figure suivante présente l'accès à l'eau potable dans le monde

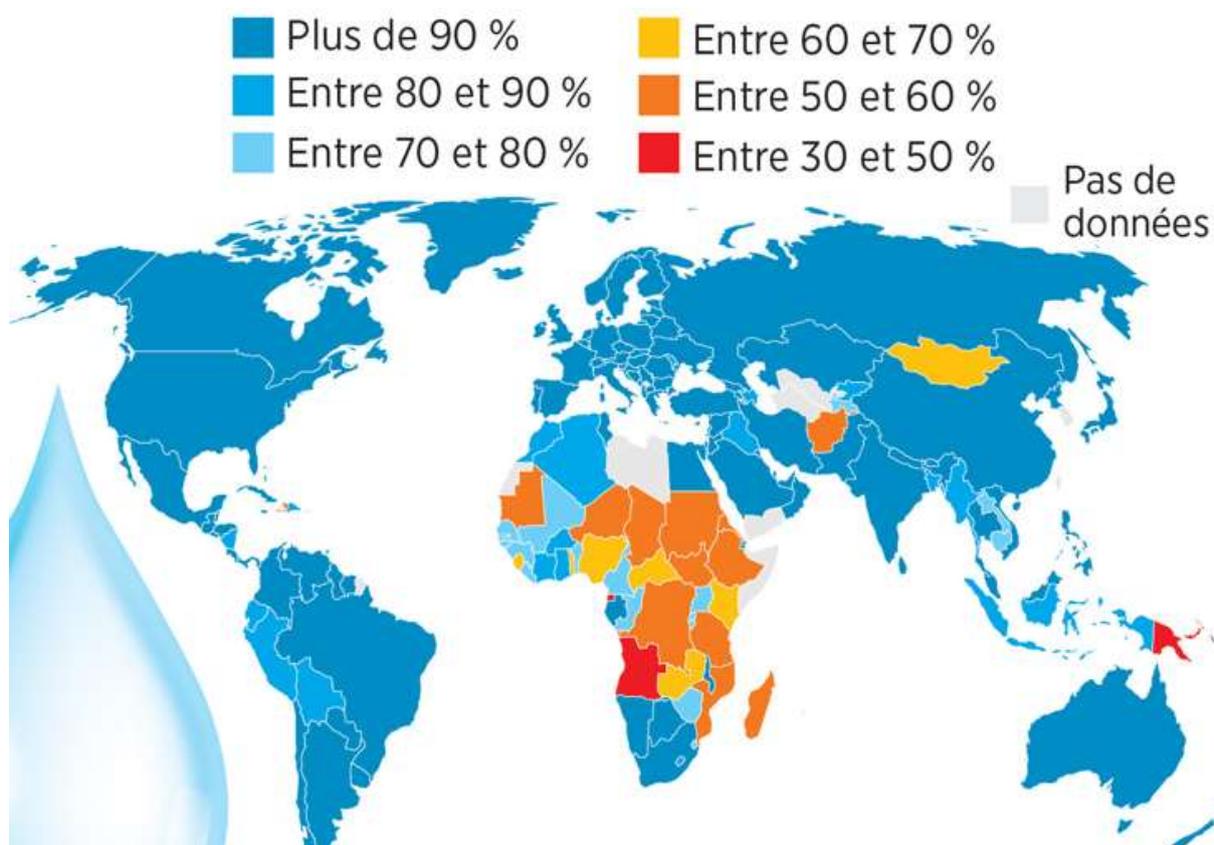


Figure I.1 : Pourcentage de la population ayant accès à l'eau potable

Pour répondre à l'insuffisance de la disponibilité des ressources en eau en Algérie, le recours au dessalement de l'eau de mer par des procédés thermiques ou membranaires est la solution qui a été envisagée pendant ces dernières années. (Zizi, 2013)

I.4. Généralités sur le dessalement

L'idée de séparer le sel de l'eau est très ancienne, datant du moment où le sel, pas l'eau, était un produit précieux. La croissance démographique, et par conséquent la demande en eau douce n'a pas cessé d'augmenter poussant les scientifiques et les industriels à rechercher des manières de produire l'eau douce dans des sites éloignés et, en particulier, sur les bateaux en mer. (Absar, 2012)

Les premières unités de dessalement d'eau de mer sont apparues avec les premiers bateaux à vapeur. L'usage du dessalement d'eau de mer pour la production d'eau douce (eau potable, usages domestiques et industriels, irrigation) s'est développé dans la seconde moitié du XXème, essentiellement depuis le premier choc pétrolier de 1973. Jusque dans les années 1960, la distillation à faisceaux noyés était le seul procédé industriel disponible. La température de chauffe très élevée, nécessaire à l'obtention d'un rendement acceptable, engendrait de fréquents arrêts pour détartre le bouilleur. Des procédés de distillation plus performants sont apparus à partir des années 1960 : FLASH, compression de vapeur, etc. A la même époque sont apparues les premières unités utilisant des procédés membranaires. Les progrès accomplis par le procédé d'osmose inverse (qualité des membranes, récupération d'énergie, baisse des coûts, etc.) lui ont permis de s'imposer pour les petites et moyennes unités et de rivaliser avec les autres procédés de distillation pour les grosses unités. (Bougis, 2013)

I.5. Dessalement en Algérie

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

L'option pour le dessalement a longtemps été bloquée par des hésitations découlant de la référence à l'expérience des pays du Golf où le coût de production était élevé. Les spécialistes, études comparatives à l'appui, ont réussi à plaider la cause du dessalement et de la méthode

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

d'osmose inverse particulièrement intéressante, avec son dimensionnement adaptable en fonction de la demande. (Kettab et Bessenasse, 2003)

Pour répondre aux exigences nationales en matière de ressources en eau, il est décidé par les pouvoirs publics de faire recours au dessalement de l'eau de mer comme ressource stratégique fiable non assujettie aux risques de raréfaction.

Le littoral de l'Algérie compte 26 stations de dessalement d'eau de mer réparties sur les 14 wilayas côtières et 7 autres en construction voir la (figure I.2), 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. (Maurel.2001)

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.5 : Liste des usines de dessalement en Algérie

Wilaya	Station de dessalement	Mis en service	Capacité de production m ³ /j
Chlef	Ténés	Juin 2015	200 000
Chlef	Beni Haoua	Station en construction	5 000
Béjaia	Tigheramt	Station en construction	300 000
Tlemcen	Souk Tléta	Avril 2011	200 000
Tlemcen	Honaine	Juillet 2012	200 000
Tizi ousou	Tigzirt	Juin 2019	2 500
Alger	Hamma	Juillet 2008	200 000
Alger	Staoueli	Aout 2021	7 500
Alger	Ai Banian	Septembre 2021	10 000
Alger	Zéralda	Octobre 2021	10 000
Alger	Bordj El Kiffan	Avril 2022	10 150
Alger	El marsa	/	60 000
Jijel	Jijel	/	200 000
Skikda	Skikda	Mars 2009	100 000
Annaba	Annaba	/	50 000
Annaba	Echat	Station en construction	
Mostaganem	Mostaganem	Mars 2020	200 000
Oran	Arzew	Février 2006	90 000
Oran	Bousfer	/	5 500
Oran	Ain turck	Décembre 2007	5 000
Oran	Magtaa	Juillet 2016	500 000
Oran	Cap Blanc	Station en construction	300 000
Boumerdes	Djinet	Juillet 2012	200 000
Boumerdes	Corso	/	/
Boumerdes	Cap-Djinet	Station en construction	300 000
El Tarf	El Tarf	/	50 000
El Tarf	Koudiet	Station en construction	300 000
Tipaza	Oued Sebt	Aout 2011	100 000
Tipaza	Fouka 1	Juillet 2011	120 000
Tipaza	Fouka 2	Station en construction	300 000
Tipaza	Bousmail	/	10 000
Ain Témouchent	Béni Saf	Octobre 2010	200 000
Ain Témouchent	Chatt El Hillal	/	200 000

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE



Figure I.2 : Les stations de dessalement d'eau de mer en Algérie

Aujourd'hui, dans de nombreuses régions du monde, les ressources en eau douce pour la production d'eau potable sont inexistantes ou insuffisantes vis-à-vis de la croissance démographique ou de la production industrielle. Par conséquent, des solutions telles que la réutilisation d'eau et le dessalement d'eau salée, qui représente la très grande majorité de l'eau disponible sur terre, deviennent des solutions clés, répondant en outre aux exigences du développement durable. La réutilisation d'eau est principalement utilisée afin de fournir de l'eau pour l'irrigation, ou les procédés industriels, et seulement considérée comme une méthode indirecte de production d'eau potable. En revanche, le dessalement est en passe de devenir une méthode prépondérante pour la production d'eau potable dans les zones de pénurie en eau douce. Malgré la crise économique, le marché du dessalement est un secteur en constant développement. (Baumont, 2007).

Malgré le progrès substantiel accompli ces dernières années, le dessalement d'eau de mer demeure une source mineure de production d'eau potable pour les pays les plus riches. Il demeure trop cher pour être une source primaire d'eau douce et présente des obstacles sociaux, environnementaux, et technologiques significatifs qui doivent être surmontés.

Néanmoins, dans quelques régions, les responsables en ressources hydriques voient dans le dessalement d'eau de mer un moyen pour surmonter les limitations naturelles de la disponibilité et de la qualité d'eau douce. (Kouadio.2015)

I.6. Production d'eau à partir du dessalement

La pénurie en eau semble devenir une perspective inquiétante pour l'humanité. Aujourd'hui les pays en situation de stress hydrique sont de plus en plus nombreux tandis que les besoins ne cessent de grandir. Face à ce constat, nombre de solutions techniques ont été apportées dont celle du dessalement de l'eau de mer. Cette activité est en pleine expansion du fait d'une amélioration constante des techniques et d'un coût de plus en plus réduit. (Salomon, 2012)

La (Figure II.1) montre l'augmentation de la production mondiale d'eau potable à partir d'eau de mer de l'année 2000 jusqu'à 2025.

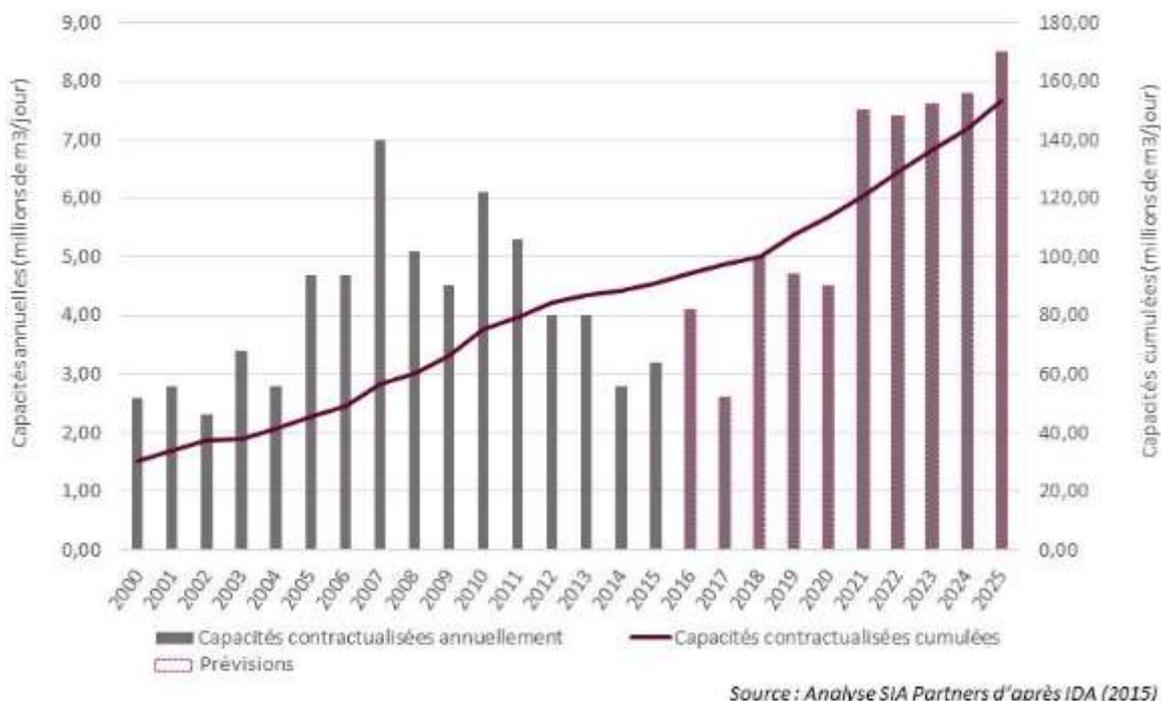


Figure I.3 : Évolution du marché de dessalement dans le monde

Sur la mer méditerranée l'Algérie est sur la 2^{ème} place en termes de production de l'eau potable à partir de l'eau de mer ou elle atteint une production près de 1.5 million de m³/j en 2009. Cette production est susceptible d'augmenter chaque année

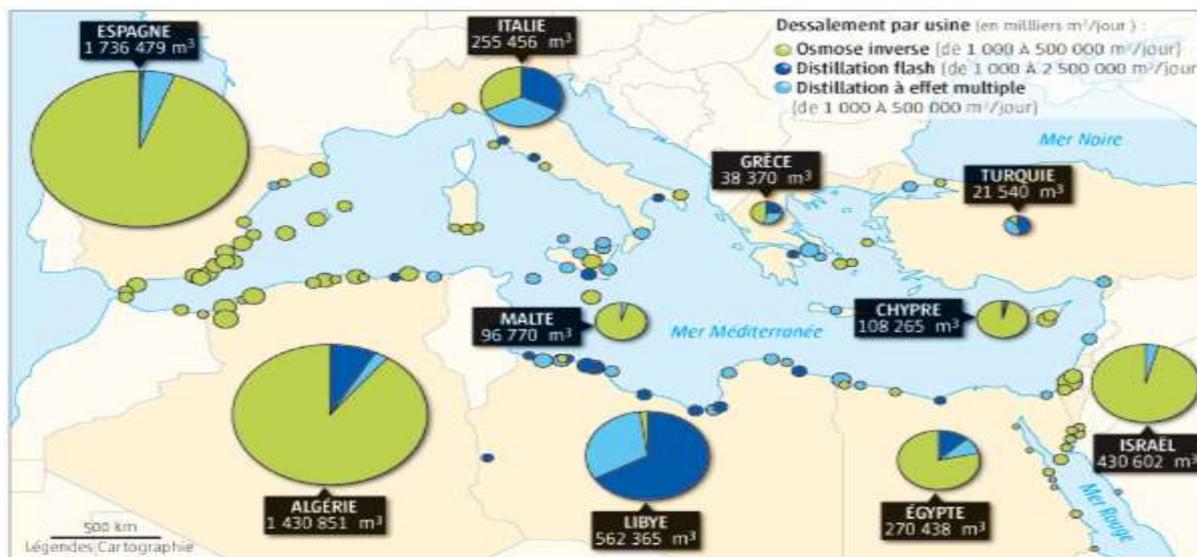


Figure I.4 : Le dessalement en méditerranée

I.7. Les coûts du dessalement

Les coûts du dessalement exprimés en USD/m³ d'eau douce produite dépendent de la technologie, de la taille de l'installation et de la teneur en sel de l'eau traitée. Les technologies membranaires peuvent produire de l'eau de bonne qualité à partir d'eau saumâtre avec un coût de 0,50 USD/m³. Les coûts, toutefois, sont plus élevés pour traiter l'eau de mer, le mètre cube produit à un coût estimé entre 0,5 et 1,1 USD pour l'osmose inverse et entre 0,65 et 1,8 USD pour la distillation. Les technologies thermiques tendent à être plus onéreuses que les technologies membranaires. Actuellement, les coûts des deux technologies affichent une tendance à la baisse. Elles peuvent bénéficier toutes les deux des économies d'échelle mais les coûts des technologies membranaires diminuent aussi en raison de leur développement incessant qui conduit à des gains d'efficacité (Morsli, 2013)

I.8. Principaux procédés utilisés dans le dessalement

Les techniques utilisées actuellement dans le dessalement d'eau de mer sont classées en trois catégories, selon le principe appliqué : Figure (I.5)

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases « la distillation »
- Les procédés utilisant des membranes : l'osmose inverse et l'électrodialyse échange ionique
- Procédés divers (congélation et autre)

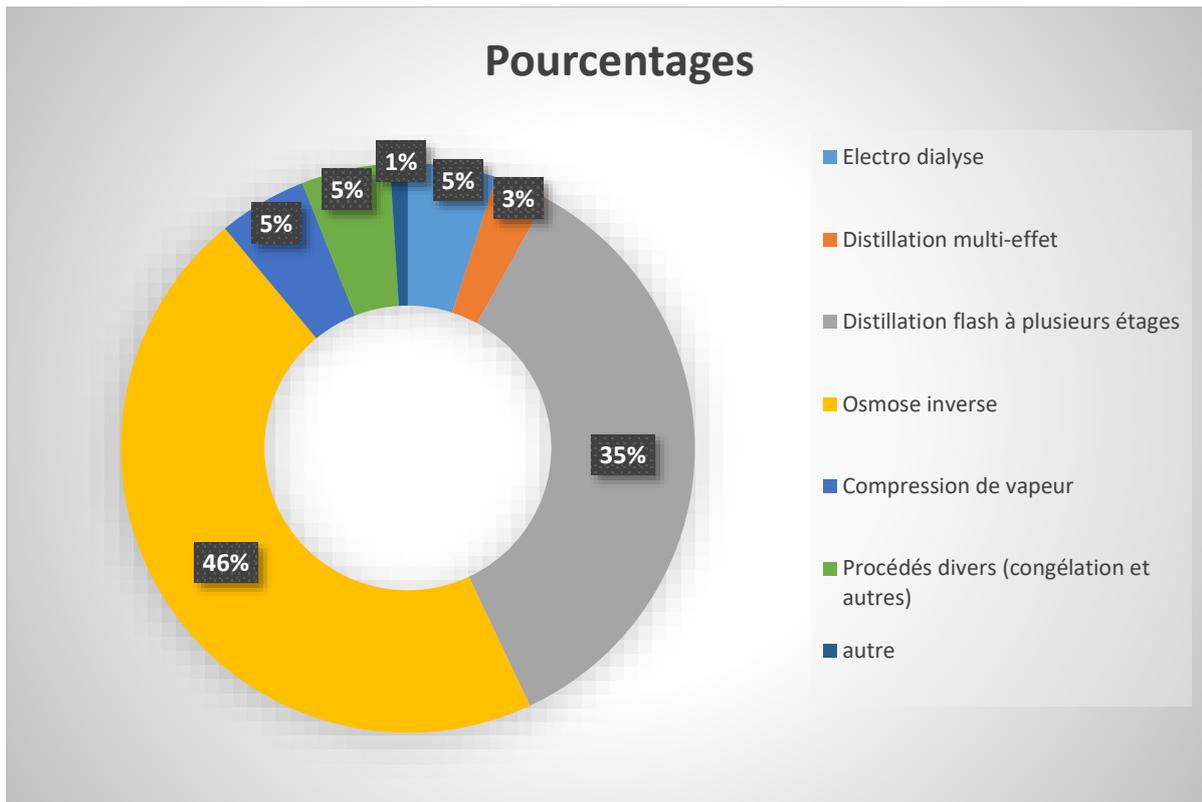


Figure I.5 : Techniques de dessalement utilisées dans le monde

I.9. Les paramètres de choix d'un procédé de traitement

Pour obtenir une eau potable : ils y'a plusieurs méthodes des traitements, on peut choisir d'un procédé de dessalement selon les paramètres suivants :

- Composition chimique de l'eau à traiter, particulièrement dans le cas des eaux saumâtres
 - Salinité des eaux produites, selon le l'usage qui en sera fait, elle peut varie de 300 - 500 ppm pour l'approvisionnement en eau potable et à 15 - 30 ppm pour l'alimentation en eau industrielle
 - Durée de vie de l'unité ;
 - Impact sur l'environnement ;
 - Le choix d'un procédé de dessalement reste tributaire du coût du m³ d'eau produit.
- (Ammour & Kettab, 2001)

I.10. Impact environnemental

Dans les zones à faibles ressources naturelles en eau, les besoins croissants en eau douce sont satisfaits par des procédés de dessalement d'eau de mer qui rejettent ensuite à la mer des saumures avec des concentrations en sel de l'ordre de 70 g/l. (Bougis, 2017)

Il n'existe pas actuellement de norme ni de règlement concernant la salinité des saumures de dessalement d'eau de mer. En absence de définition d'un seuil légalement autorisé, les impacts admissibles de ces rejets doivent être analysés à la lumière de leurs effets concrets sur la vie marine.

Pour la plupart des espèces animales et végétales marines, la salinité létale est comprise entre 50 g/kg et 70 g/kg ; tandis qu'une salinité inférieure à 40 g/kg est généralement sans effet (Shunya et al, 1994).

Pour une eau de mer de salinité $S_m = 37$ g/kg et pour un taux de conversion de 45%, l'effluent aura une salinité de $S_e = 67$ g/kg. Le rejet de l'effluent constitue donc manifestement une source de contamination létale pour la plupart des espèces de la flore et de la faune marines.

Une augmentation de la concentration de 0.5 g/kg, est généralement considérée comme une limite acceptable ; elle correspond à une dilution de l'ordre de 60 fois. Ainsi, dans la plupart des cas, pour ne pas sacrifier toute vie sur des superficies importantes, il conviendra d'obtenir le plus rapidement possible une dilution supérieure à 10 fois ; et si possible avant que le rejet ne touche le sol marin (Fernandez & Sanchez et al, 2005)

I.11. Eau de mer

L'eau de mer est une eau dans laquelle la concentration en sels est relativement élevée (plus de 10 g/l). Elle contient une quantité de sels dissous, plus particulièrement de chlorure de sodium par opposition à une eau douce. Sa concentration minimale en matières dissoutes peut être fixée conventionnellement en général à 1000 ppm. La salinité des mers ouvertes sur les masses océaniques est de l'ordre de 35g/l qui est considérée comme : salinité standard de l'eau de mer. Des variations plus ou moins importantes autour de cette valeur moyenne existent en fonction du bilan précipitation évaporation (Raymond, 1990)

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

La concentration des sels dissous des eaux des mers ouvertes est assez uniforme et égale approximativement à 3,5 pour cent ou à 35.000 parties par million (mg/l). Dans les régions à haute précipitation, la concentration de l'eau de mer est moins importante que celle des régions à forte évaporation (par exemple, mer rouge, Arabie saoudite,...etc.). Dans tous les cas, la proportion relative des principaux ions comparés au TDS demeure remarquablement constante. (Djemai, 2013)

On remarque également que dans une même mer, la salinité diffère d'un endroit à un autre, dans la méditerranée, près de détroit Gibraltar elle est de 36g/l, le long des côtes orientales de corse et la Sardaigne ou encore le long des côtes de l'Algérie, elle est de 38 g/l pour atteindre 39 g/l dans la zone voisine de l'Asie mineur. (Maurel, 2001)

La grande particularité de l'eau de mer est que les proportions relatives de ses constituants sont sensiblement constantes ; (c'est-à-dire indépendantes de la salinité) ; cette propriété a été établie par le chimiste allemand William Dittmar. Elle permet de considérer l'eau de mer comme une solution de onze constituants majeurs dans de l'eau pure, à savoir, par ordre décroissant d'importance, le chlorure, l'ion sodium, le sulfate, l'ion magnésium, l'ion calcium, l'ion potassium, le bicarbonate, le bromure, l'acide borique, le carbonate et le fluorure. Le tableau (I.6) représente les principaux sels dissous pour une eau de mer de salinité 35 g/l. (Bomboy, 2008)

**Tableau I.6 : Principaux sels dissous pour une eau de mer de salinité 35g/l
(Bakalowicz,1999)**

Anions	g/kg	mol/kg
Chlorure (Cl ⁻)	19,3524	0,54586
Sulfate (SO ₄ ²⁻)	2,7123	0,02824
Hydrogénocarbonate (HCO ₃ ⁻)	0,1080	0,001770
Bromure (Br ⁻)	0,0673	0,000842
Carbonate (CO ₃ ²⁻)	0,0156	0,000260
Fluorure (F ⁻)	0,0013	6,84E ⁻³
Hydroxyde (HO ⁻)	0,0002	1,2E ⁻⁵
Cations	g/kg	mol/kg
Ion sodium (Na ⁺)	10,7837	0,46907
Ion magnésium (Mg ²⁺)	1,2837	0,05282
Ion calcium (Ca ²⁺)	0,4121	0,01028
Ion potassium (K ⁺)	0,3991	0,01021
Ion strontium (Sr ²⁺)	0,0079	9,02E ⁻⁵
Ion lithium (Li ⁺)	1,73E ⁻⁴	2,49E ⁻⁵
Ion rubidium (Rb ⁺)	1,20E ⁻⁴	1,404E ⁻⁶
Ion baryum (Ba ²⁺)	2,0E ⁻⁵	1,46E ⁻⁷
Ions poly atomiques dont molybdène	1,0E ⁻⁵	1,04E ⁻⁷

I.11.1. Conductivité

La conductivité d'une solution est la mesure de sa capacité à conduire le courant électrique et elle s'exprime en mS/cm ou µS/cm. L'eau pure ne conduit pratiquement pas le courant, mais l'eau contenant des sels dissous conduit le courant électrique. Les ions chargés positivement et négativement conduisent le courant et la quantité conduite dépendra du nombre d'ions présents et la mobilité des ions chargés positivement et négativement.

La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sel dissous dans l'eau. Il traduit la minéralisation de l'eau, et par conséquent, renseigne sur sa salinité et permet d'apprécier sa qualité. (Maurel, 2001)

I.11.2. Turbidité

La turbidité est un paramètre, qui varie en fonction des composés colloïdaux (argiles, débris de roche, micro-organismes,...) ou aux acides humiques (dégradation des végétaux) mais aussi pollutions qui troublent l'eau. Avec un appareil (turbidimètre) on mesure la résistance qu'elle oppose par l'eau au passage de la lumière pour lui donner une valeur. On mesure la turbidité par la méthode normalisée NTU (Nephelometric Turbidity Unit) par spectrométrie, c'est à dire mesure de l'absorption de la lumière par l'eau.

Les classes de turbidités usuelles sont les suivantes :

NTU < 5 => eau claire

NTU < 30 => eau légèrement trouble

NTU > 50 => Eau trouble

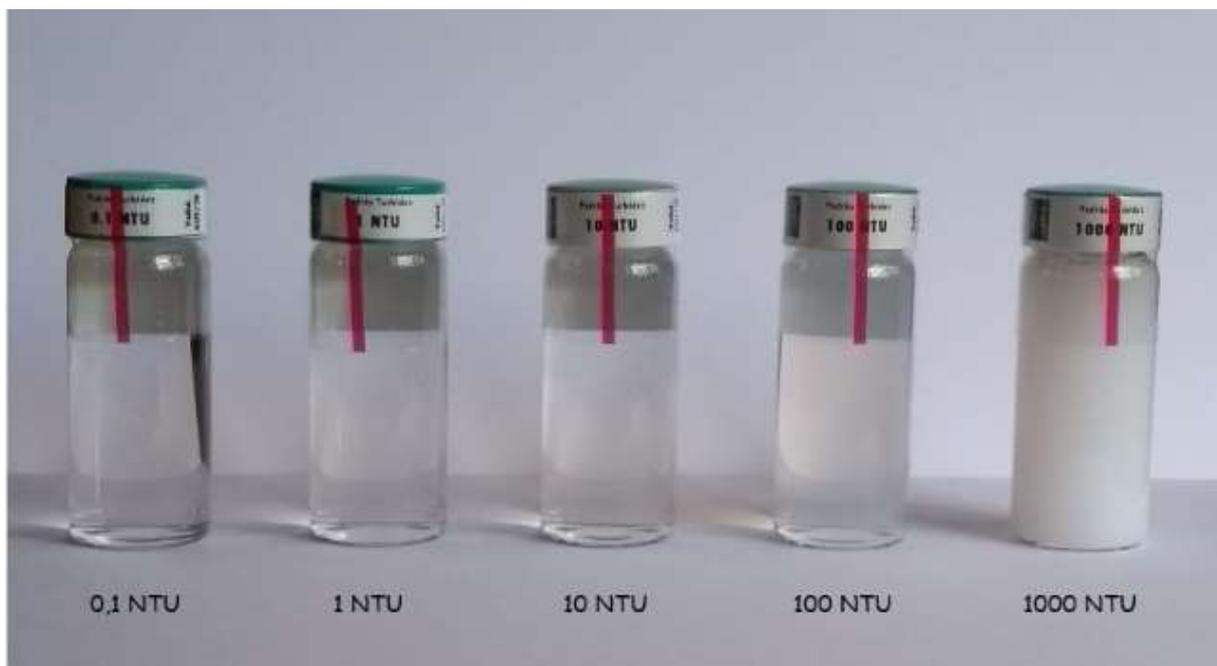


Figure I.6 : Turbidité de l'eau

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse) (indicateurs des pollutions, 2015)

I.11.3. Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) sont l'ensemble des particules solides minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles indiquent la présence dans la colonne d'eau de particules plus grosses que 0,45 µm. Cette matière organique particulaire est composée de limon, détritrus, fèces des animaux en élevage ou d'aliments désintégrés.

La présence de matière en suspension tout comme de matière organique affecte la qualité de l'eau. Elles servent d'indicateur de la qualité de l'eau et de sa turbidité. Ces solides en suspension sont généralement des matières décomposables, sous forme de boues. (Aquaportail, 2021)

I.11.4. Le potentiel hydrogène (pH)

La variation des formes ionisées, dépend de facteurs multiples dont l'origine de l'eau. Le pH moyen de l'eau de mer varie entre 7.5 et 8.4 l'eau de mer et donc légèrement basique. (Albared, 1971)

I.11.5. Température

Les eaux de la mer méditerranée se caractérisent par une température variable entre 12 et 30°C. (Gaida & Trealb, 2006)

La température de l'eau de mer est directement liée aux échanges thermiques entre la masse d'eau et l'environnement. Plusieurs facteurs provoquent cette élévation tels que : l'absorption de radiations solaires, le flux de chaleur à l'intérieur de la terre transmis par les fonds océaniques et la condensation de la vapeur d'eau. Elle diminue par des émissions de radiations à partir de la surface, convection de chaleur vers l'atmosphère et par évaporation. (Lefebver)

I.12. Différents polluants et leurs origines dans les eaux de mer

La particularité de la pollution dans le milieu marine est qu'elle ne reste pas localisée comme cela arrive à un milieu terrestre, les substances polluantes se dispersent au gré des vents et des courants. (Villard), présenté dans le tableau (I.7)

Tableau I.7 : Différentes pollutions des Mers et leurs origines

Pollution	Origine
Hydrocarbures (essence, huiles, fuel)	<ul style="list-style-type: none"> • Transport routier • Industrie • Accidents de pétroliers • Lessivage par la pluie des zones urbaines (parking, routes)
Métaux lourds	<ul style="list-style-type: none"> • Transport routier • Industrielle • Peinture et carnage de bateaux
Pesticide et insecticide	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation domestique • Agricole
Détergents	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux usées domestiques • Industrielle
Matière en suspension	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux usées domestiques • Lessivage des sols • Industrielle
Toute matière trouble	<ul style="list-style-type: none"> • Eaux usées domestique • Lessivage des sols • Industrielle

I.13. La potabilité

L'eau pure n'existe pas à l'état naturel, dans son parcours jusqu'à nos robinets, elle se charge des éléments à la fois indispensables à notre santé mais peut aussi rencontrer des substances potentiellement toxiques pour l'organisme, c'est pourquoi l'eau doit subir plusieurs traitements avant d'être considérée comme potable.

À ce jour, il existe plusieurs critères de potabilité de l'eau, que l'on peut regrouper en 5 grands paramètres :

- Les paramètres physico-chimiques : ils correspondent aux caractéristiques de l'eau tels que le pH, la température, la conductivité ou la dureté de l'eau et délimitent les quantités maximales à ne pas dépasser pour certains composants comme les ions, les chlorures, le potassium et les sulfates.
- Les paramètres organoleptiques : ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire, claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe.
- Les paramètres liés aux substances indésirables : ils concernent les substances telles que les nitrates, les nitrites et les pesticides.
 - La teneur en nitrates ne doit pas dépasser 50 mg/l
 - La teneur en fluor doit être inférieure à 1.5 mg/l
- Les paramètres liés aux substances toxiques : les micropolluants tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium ainsi que certains hydrocarbures sont soumis à des normes très sévères à cause de leur toxicité. Leur teneur tolérée est de l'ordre du millionième du gramme.
- Les paramètres microbiologiques : ils permettent de contrôler que l'eau ne contient aucun germe pathogène, comme les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies, voire d'épidémies. (ciseau)

I.14. Classement des eaux potables :

On peut classer les eaux selon :

- **La conductivité**, d'après le Tableau représenté ci-dessous (Rodier, 1996)

La mesure de la conductivité permet d'avoir très rapidement une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit le plus souvent une salinité élevée, comme elle peut conduire à un entartrage des conduites, si l'excès est dû aux ions de calcium. La minéralisation de l'eau (teneur globale en espèces minérales) peut entraîner selon les cas : un goût salé (variable selon la nature des sels présents), une accélération de la corrosion, et les dépôts dans les tuyauteries (entartrage). (Rodier, 1996)

Tableau I.8 : Classement des eaux potables selon leur conductivité

Conductivité (unité $\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation	Qualité de l'eau
$C < 100$	Très faible	Excellente
$100 < C < 200$	Faible	Excellente
$200 < C < 400$	Peu accentuée	Excellente
$400 < C < 600$	Moyenne	Bonne
$600 < C < 1000$	Importante	Utilisable
$C > 1000$	Excessive	Utilisable

- **Le titre hydrométrique (TH)** : La dureté de l'eau où titre hydrométrique est une mesure globale de la concentration en sels dissous dans l'eau. Sels constitués essentiellement de calcium et de magnésium. En excès, les sels dissous dans l'eau forment un composé avec le savon qui perd ainsi une partie de son pouvoir détersif et ne mousse que difficilement. Une eau à titre hydrométrique élevée est dite « dure ». Pour l'usage domestique, on peut utiliser des eaux tirant jusqu'à 500 mg de CaCO_3/l (50°F), mais la dureté agréable se situe entre 80 et 150 mg de CaCO_3/l (8et15°F). (Rodier, 1996)

Tableau I.9 : Classement des eaux potables selon leurs duretés

Dureté de l'eau (°F)	Eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau dure
> 30	Eau très dure

I.15. Les normes algériennes de potabilité

Pour pouvoir être consommée en toute sécurité, l'eau doit répondre à des critères de potabilités très strictes dictées par le ministère de la santé et le conseil supérieur du secteur d'hygiène publique. Ces normes varient en fonction de la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau destinée à la consommation humaine ou d'une eau industrielle.

Le tableau suivant résume quelque paramètre de potabilité selon le journal officiel de la république algérienne

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.10 : Paramètre de potabilité avec valeur indicatives

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS INDICATIVES
Paramètres organoleptiques	Couleur	mg/l Platine	15
	Turbidité	NTU	5
	Odeur à 12°C	Taux dilution	4
	Saveur à 25°C	Taux dilution	4
Paramètres physico-chimiques en relation avec la structure naturelle des eaux	Alcalinité	mg/l en CaCO ₃	500
	Calcium	mg/l en CaCO ₃	200
	Chlorures	mg/l	500
	Concentration en ions hydrogène	Unité pH	≥ 6,5 et ≤ 9
	Conductivité à 20°C	µS/cm	2800
	Dureté	mg/l en CaCO ₃	200
	Potassium	mg/l	12
	Résidu sec	mg/l	1500
	Sodium	mg/l	200
	Sulfates	mg/l	400
	Température	°C	25

Un système de dessalement d'eau de mer est constitué principalement d'une section de prétraitement, d'une section dite d'osmose inverse, constituée de plusieurs modules selon une géométrie bien spécifique, et d'une section de post-traitement utilisée pour obtenir la qualité d'eau désirée.

- Une prise d'eau de mer ou saumâtre avec une pompe et une filtration grossière.
- Un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte.
- Le procédé de dessalement lui-même.
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite.

À l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre. (Amitouche, 2016)

Les étapes principales d'une installation d'osmose inverse présentée dans la (figureIII.1) :

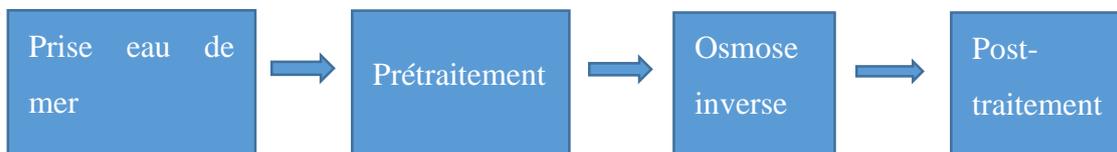


Figure I.7 : Les étapes de dessalement par osmose inverse

I.16. Prétraitement

Le prétraitement de l'eau brute qui est destiné à réduire le SDI₁₅, est considéré comme une étape importante pour un bon fonctionnement des membranes.

Le SDI (silt density index) est un paramètre indicateur du potentiel de colmatage (fouling) des membranes. Il dépend de la nature et de l'origine de l'eau brute. Les fournisseurs de membranes recommandent un SDI₁₅ inférieur à 3 en amont des membranes mais acceptent des valeurs épisodiques de 4. (Gaida et Trealb, 2006)

Le prétraitement de l'eau de mer avant osmose inverse est absolument nécessaire car les membranes d'osmose inverse sont très sensibles aux différents types de colmatage et une bonne qualité de l'eau à l'entrée des modules d'osmose inverse est indispensable pour assurer des performances stables de l'osmose inverse à long terme.) (Maurel. 2008)

Le schéma suivant présente les procédés de prétraitement, de prise eau de mer jusqu'à la sortie des filtres a cartouches.

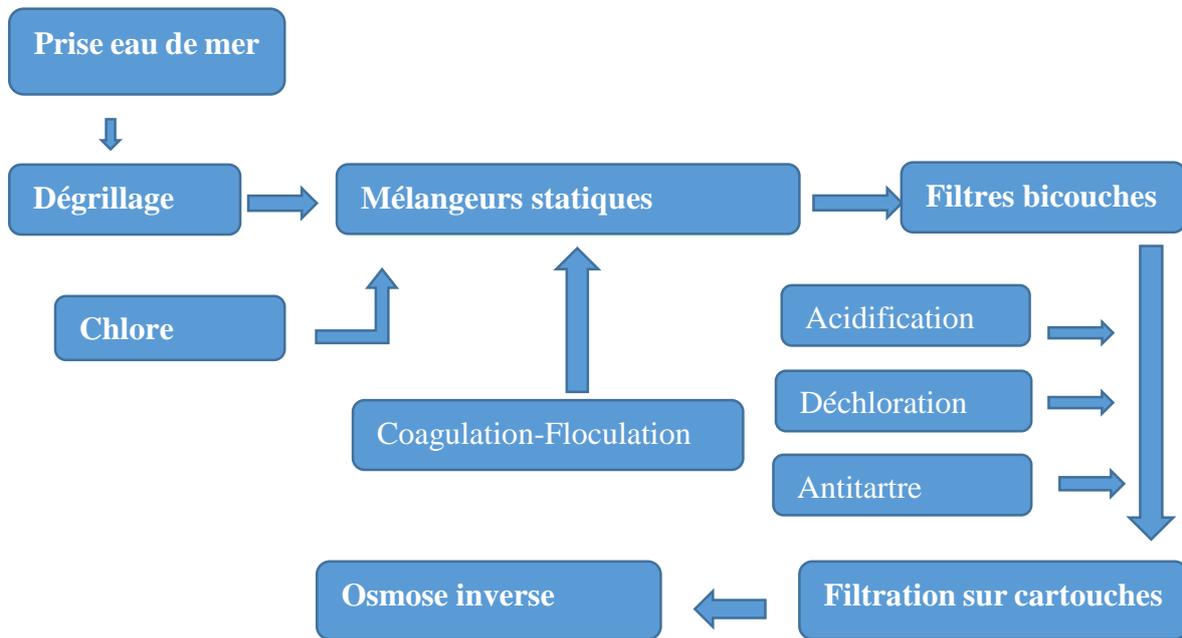


Figure I.8 : Étape du prétraitement avant osmose inverse

I.16.1. Dégrillage

L'eau passe d'abord par une étape de filtration grossière permettant d'éliminer les gros matériaux susceptibles d'endommager les installations et de diminuer l'efficacité globale du procédé de traitement. (Omar & Khaldi, 2017)

I.16.2. Chloration

La chloration a pour objectif l'inactivation des microorganismes «bactéries principalement» mais aussi les microalgues, champignons, qui outre le fait que certains peuvent être pathogènes, sont à l'origine d'un colmatage important des membranes appelées biofouling, directement par le développement d'une biomasse.

La prolifération des organismes vivants est bloquée par un procédé de désinfection. Sinon, cela peut conduire à l'obstruction des canalisations ou au colmatage des membranes. Le procédé le plus répandu consiste à injecter du chlore, réactif dont le stockage et la manipulation exigent des précautions strictes. Le chlore dissous dans l'eau libère l'acide hypochloreux (HClO), qui est l'agent actif de la stérilisation. Pour éliminer le danger lié au chlore, on peut lui substituer par l'hypochlorite de sodium (eau de Javel), ou l'hypochlorite de calcium. (Maurel, 2008)

I.16.3 Coagulation-Floculation

La coagulation permet de favoriser l'agglomération des colloïdes en diminuant les forces de répulsion électrostatique (liées aux charges superficielles). La floculation consiste à agglomérer ces particules en micro floes puis en floes plus volumineux décomptables. Les substances les plus couramment utilisées sont :

- pour la coagulation : sulfate d'aluminium, sulfate ferrique, et le chlorure ferrique,
- pour la floculation : les polymères organiques à longues chaînes de masse molaire élevée. (Monnot, 2015)

Le prétraitement par coagulation-floculation de l'eau de mer (plutôt chargés négativement) en amont des membranes d'osmose inverse doit s'effectuer rapidement et de façon homogène dans tout le volume de l'eau, sous une vitesse d'agitation convenable. Dans le cas d'injection directe du coagulant et du floculant dans les conduites, il est obligatoire d'utiliser soit un bon système de dispersion rapide dans une zone de forte turbulence, soit des mélangeurs statiques ou mécaniques. (Hamouni, 2008)

I.16.4 Les filtres bicouches

À Fouka, la filtration se fait sur 20 filtres bicouches (2 en arrêt pour lavage). Chaque filtre est un ensemble de deux couches, une couche de sable de 0.6m sur le faux fond suivi par une deuxième couche d'anthracite de 0.4m.

La séparation s'effectue le long d'un milieu poreux (le sable), plus ou moins tortueux, qui se colmatra en profondeur au fur et à mesure de l'accumulation des particules en suspension lors du passage du fluide. Un milieu poreux représente un ensemble de grains ou d'agrégats autour desquels des espaces vides, appelés pores, sont interconnectés ou non. Le matériau doit être perméable à un écoulement de fluide.

Les filtres les plus répandus dans le traitement des eaux sont les filtres à sable et à anthracite. La taille efficace des grains de l'ordre de 0,6-0,8 mm pour le sable, et 0,8-1,6 mm pour l'anthracite. L'utilisation de filtres mixtes : une couche d'anthracite sur une couche de sable, permet une meilleure pénétration de la matière en suspension dans le lit de filtration. Ceci rend la filtration plus efficace et rallonge aussi le cycle de fonctionnement du filtre. La profondeur de la couche filtrante doit avoir un minimum de 0,8 m. (Absar, 2012)

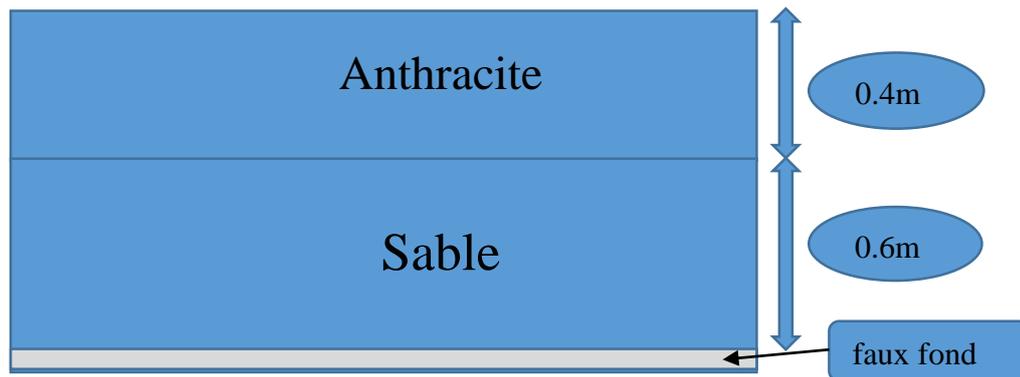


Figure I.9 : Schéma simple d'un filtre à sable bicouche

Remarque : le faux fond c'est le porte-couche de filtre à sable qui est perméable uniquement pour l'eau.

I.16.5. Acidification

L'acidification réduit le pH de l'eau de mer (entre 5 et 7 généralement), ce qui augmente la solubilité des différents sels tels que le carbonate de calcium de manière à éviter leur précipitation. L'acide le plus couramment utilisé est l'acide sulfurique (H₂SO₄), mais l'acide chlorhydrique (HCl) peut également être employé. (Monnot, 2015)

I.16.6. Déchloration

La déchloration est indispensable avant passage dans les membranes d'osmose inverse si le désinfectant utilisé dans l'eau brute est le chlore, car les membranes d'osmose inverse sont souvent constituées de polyamides aromatiques qui sont des composés très sensibles à l'attaque chimique par le chlore. La déchloration peut être réalisée en ajoutant du métabisulfite de sodium qui réduit l'acide hypochloreux ou en ajoutant un filtre à charbon actif.



C'est la solution la plus utilisée car elle est efficace et d'un coût relativement faible. (ABSAR, 2012)

I.16.7. Antitartre

L'entartrage des équipements doit être évité. La méthode la plus utilisée pour éviter les tartres (CaCO₃, CaCO₄, 2 H₂O...) dans les modules d'osmose inverse consiste à injecter dans l'eau brute des inhibiteurs d'entartrage ou antitartres. Les produits utilisés sont : Les polyphosphates et les polymères carboxyliques. (Maurel, 2004)

- Les polyphosphates : ces produits sont efficaces et bon marché mais ils peuvent éventuellement former des dépôts d'ortho phosphatés par suite de phénomènes d'hydrolyse.

- Les polymères carboxyliques : efficaces sur la plupart des tartres, ces produits ne posent pas de problèmes pour les rejets. Ils présentent l'inconvénient d'être chers.

I.16.8. Filtration sur cartouches

Dans tous les cas, une installation d'osmose inverse doit être protégée par une filtration de sécurité sur cartouches entre 3 et 5 μm .

Afin de filtrer les particules pouvant s'échapper des filtres bicouches et protéger ainsi les membranes contre un encrassement, (Amitouche, 2016). À Fouka des filtres à cartouches capables de filtrer jusqu'à 3 μm . Sont installés en amont des unités d'osmose.

À cette station, dix (10) filtres à cartouche sont installés, chacun d'eux contient 376 cartouches.

Lorsque la baisse de débit à travers les filtres à cartouche est inférieure à une valeur préétablie, les cartouches du filtre doivent être remplacées.

I.17. Traitement

Traitement par l'osmose inverse est un procédé de séparation hors équilibre à membranes perméables à très haute capacité de rétention de sels. (Strathmann, 2011)

À Fouka, c'est la deuxième étape du processus de dessalement, l'eau préfiltrée arrive au système de pompage de haute pression jusqu'à 70 bars puis envoyée vers les membranes d'osmose inverse. Composée de 6 racks, chacun d'eux contient 216 tubes de pression, qui sont composés de sept membranes spirales.

Un seul tube fournit un équivalent de 3.8 m^3/h de perméat, ce qui fait au total 6 racks produisent jusqu'à 5000 m^3/h de perméat. C'est-à-dire 120.000 m^3/j

I.17.1 Principe de l'osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de la pression (54 à 80 bars pour le traitement de l'eau de mer). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement électrique consommée principalement par les pompes haute pression. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de 1 g/l

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de

concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. (Crecep).

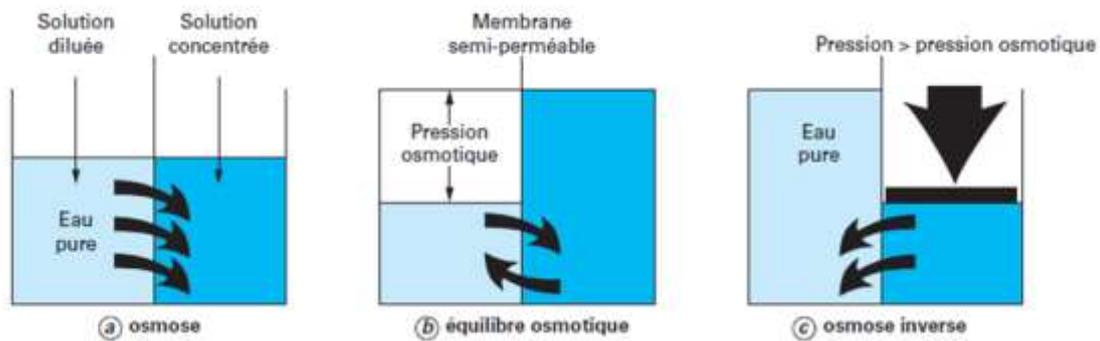


Figure I.10 : Principe d'osmose inverse (Rovel, 2012)

I.17.2. Les avantages et les inconvénients du dessalement par l'osmose inverse

Le dessalement par osmose inverse présente de nombreux avantages mais certains inconvénients subsistent :

➤ Les avantages de l'osmose inverse :

- Investissement faible dû à l'alimentation des performances des membranes et à une diminution importante des coûts des membranes.
- Faible consommation énergétique par rapport aux autres procédés.
- Spécialisation du personnel exploitant moins importante et contrôle de l'installation facile.
- Surface d'implantation moindre pour ce procédé. Délais de réalisation moindre pour l'osmose inverse d'environ 50 % de 6 à 8 mois en fonction de la capacité.
- Réduction des besoins de pompage et de pré traitement des eaux brutes qui permet de réduire l'impact sur l'environnement.
- La salinité de l'eau produite qui se situe aux environs de 1g/l convient bien pour les usages domestiques.

➤ Les inconvénients de l'osmose inverse :

- Les membranes sont semi perméables au colmatage et en particulier au biofouling.
- Consommation de pièces de rechanges entraînée par l'oxydation des métaux

- La salinité élevée 45 et 50 g/l entraîne une hausse non négligeable des coûts (nécessite de prévoir dans certains cas deux étages pour maintenir la qualité de l'eau déminéralisée).

- Nécessite un entretien et une exploitation dans les règles. (Safaeg-France)

I.17.3. La membrane

Est appelée membrane tout matériau qui est sous la forme de parois minces à la propriété d'opposer une résistance sélective au transfert des différents constituants d'un fluide et donc de permettre la séparation de certains des éléments composants ce fluide. La membrane est constituée d'une surface plane dont la perméabilité est sélective. Son objectif principal est d'éliminer le sel. Elle assure également la rétention des composants indésirables dans l'eau (micro algues, bactéries, certains virus, microorganismes, micropolluants), supprime la turbidité (eaux troubles), limite les sous-produits de désinfection et permet la production d'une eau épurée. (Rovel, 2012)

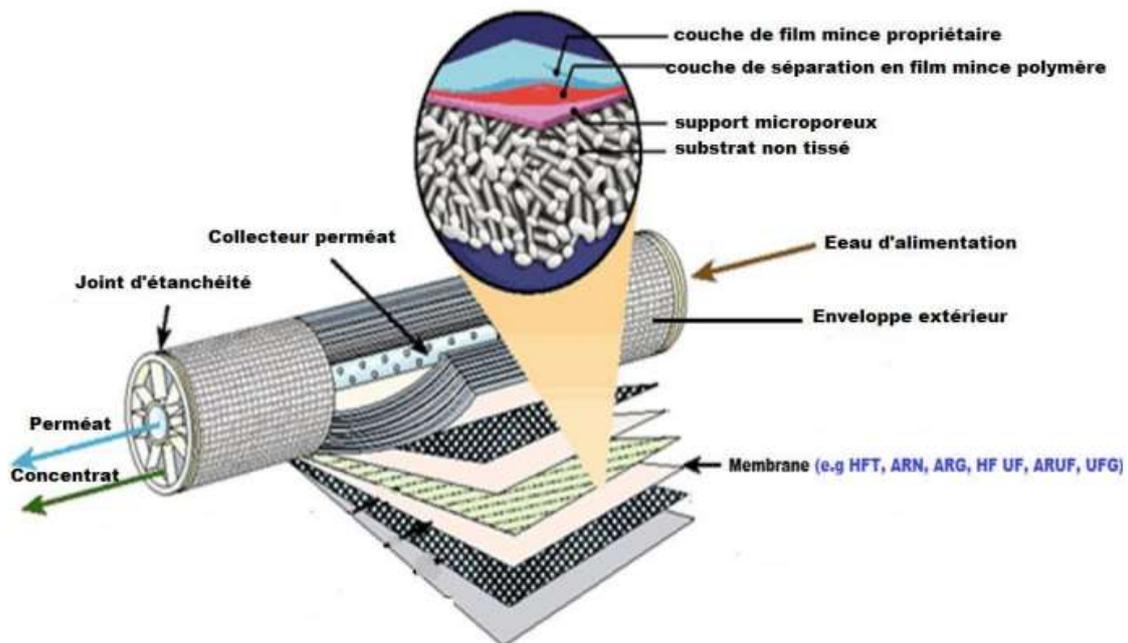


Figure I.11 : Coupe d'une cartouche à osmose (Rovel, 2012)

I.17.4 Principe de fonctionnement d'une membrane

Une membrane peut être définie comme étant une couche mince de matière, permettant l'arrêt ou le passage sélectif de substances dissoutes ou non, sous l'action d'une force motrice de transfert (Figure III.6). Les critères de séparation des particules, des molécules et/ou des ions peuvent être (50) :

- La dimension et la forme
- La nature chimique

- L'état physique
- La charge électrique, etc.

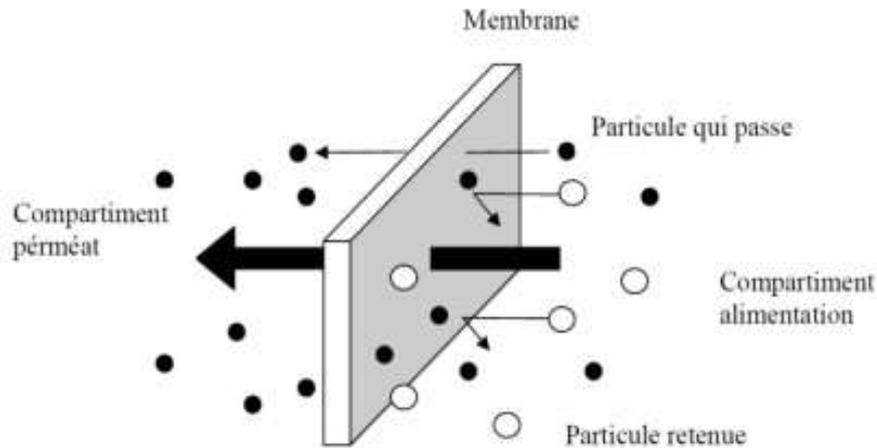


Figure I.12 : Membrane sélective

I.17.5. Taux de conversion et récupération d'énergie

Sur le plan économique, il est intéressant de choisir une conversion Y élevée pour diminuer simultanément la quantité d'eau brute à pomper (investissement plus faible pour les pompes, filtres...etc. et énergie consommée plus faible) et les rejets à éliminer. Ce dernier point est important puisque le rejet dans le milieu naturel d'une eau saumure concentrée n'est pas toujours possible et son retraitement par lagunage ou même par distillation est alors indispensable.

Sur le plan technique, un taux de conversion élevé a pour conséquence une augmentation de la concentration en sels pouvant dépasser la limite de solubilité de certains d'entre eux entraînant l'entartrage des modules. Une autre conséquence est l'augmentation de la salinité de l'eau produite. (Amitouche, 2016)

La pompe à haute pression d'alimentation des modules d'osmose inverse destinée au dessalement de l'eau de mer ainsi que les dispositifs de récupération de l'énergie hydraulique du concentrat qui y sont associés, représentent des postes très importants dans la conception des usines de dessalement, tant du point de vue de l'investissement, que celui de l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement. Les pompes à 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. (figureIII.7)

- Pompes BOOSTER : Le rapport entre le débit du perméat et le débit d'alimentation donne le facteur de conversion ($Y=45\%$), on déduit donc que 55% de l'eau de mer est rejetée

représente le concentrât qui possède une énergie hydraulique très importante qu'il convient de récupérer afin de réduire la consommation en énergie électrique. (Amitouche, 2016)

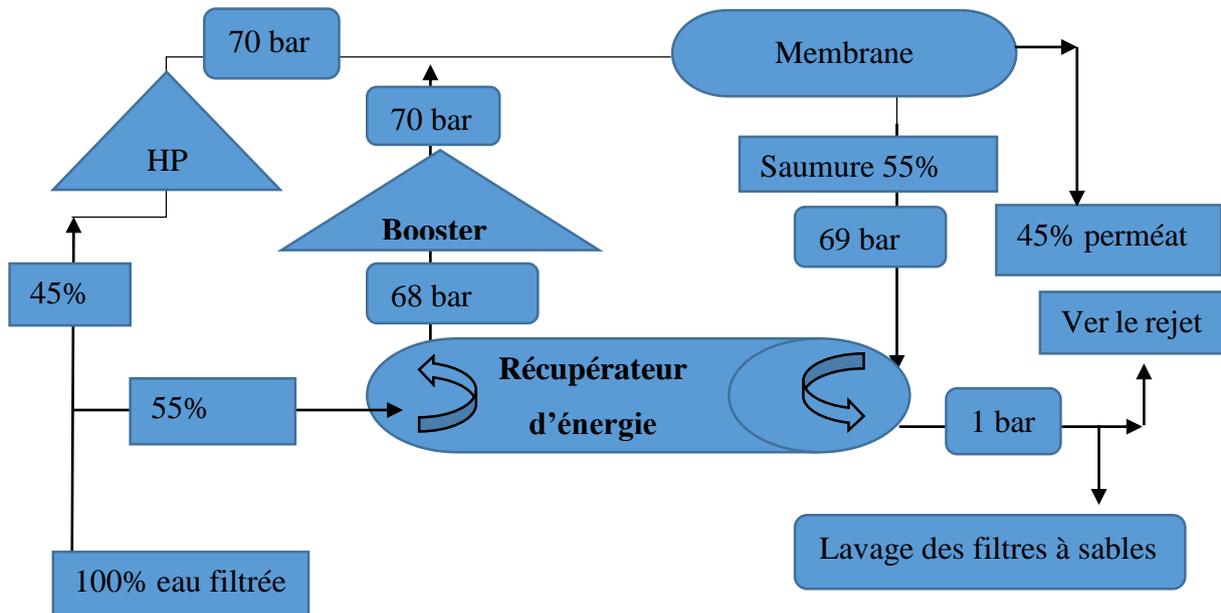


Figure I.13 : Schéma générale de Taux de conversion et récupération d'énergie

I.18. Post de traitements de perméat :

À la sortie de l'osmoseur il est constaté que :

- La minéralisation du perméat est constituée à 90 % de sodium et de chlorures, ce qui confère à l'eau un goût fade ;

- Un TH Calcique et un TAC très faibles ;

- Un pH très faible. Par conséquent cette eau est de qualité très agressive et corrosive, donc il faudrait faire des traitements pour la rééquilibrer.

I.18.1. La reminéralisation

La reminéralisation qui consiste à augmenter les valeurs du TH Ca et TAC, pour atteindre 8° F pour ces deux paramètres, peut être obtenue de plusieurs façons : (Raymond, 1990)

En faisant percoler l'eau à travers du carbonate de calcium. Le CO₂ présent dans l'eau va dissoudre le carbonate de calcium, ce qui provoquera l'augmentation de la dureté calcique (10 g/m³ de CO₂ neutralisés apportent environ 2,3 °F). Mais du fait d'une concentration très faible du CO₂ dans le perméat, il faudrait en rajouter avant passage sur le carbonate de calcium.

En injectant de la chaux Ca(OH)₂ sous forme d'eau de chaux. Là encore la concentration en CO₂ est insuffisante.

En injectant des réactifs permettant d'apporter du calcium et des bicarbonates. Il peut être alors utilisé :

- Du chlorure de calcium (CaCl_2) qui élèvera le TH calcique (11,1 g/l de CaCl_2 100 % l'élève de 1°F)
- Du bicarbonate de sodium (NaHCO_3) qui élèvera le TAC (16,8 g/l de NaHCO_3 100% l'élève de 1°F).

I.18.2. Correction du pH

Après reminéralisation, il est nécessaire de mettre à l'équilibre calco-carbonique l'eau en corrigeant son pH pour atteindre une valeur de l'indice de Langelier légèrement positive, et donc une eau très légèrement incrustante. (Raymond, 1990)

La correction du pH s'effectue à l'aide de :

- Soude (NaOH).
- Carbonate de sodium (Na_2CO_3).

I.18.3. 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-traitements. Elle est assurée par injection de chlore sous forme d'hypochlorite de sodium ou d'une solution d'hypochlorite de calcium (gls.oi eau, 2006)

**CHAPITRE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTAL ET
DESCRIPTION DE L'SDEM FOUKA-
TIPAZA**

II.1 Présentation de la station de dessalement d'eau de mer Fouka-Tipaza

II.1.1. Site de la station

Le site de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka est localisé dans la wilaya de Tipaza, à 20 km de chef-lieu de wilaya et a environ 35 km à l'ouest d'Alger, elle est sillonnée par la route nationale N°11 en provenance d'Alger et en direction ver Chlef et relié à Koléa le chemin de la wilaya N°110 et à Bousmail par le chemin de la wilaya N°126.

La commune de Fouka s'étends sur une superficie de 1273 ha et se situe au nord- Est de la ville de Tipaza : elle est limitée par :

- Au nord par la mer méditerranée
- Au sud par la commune de koléa
- À l'Est par la commune de douaouda
- À l'Ouest par la commune de bousmail

Le site considéré par l'usine de dessalement s'étend sur une superficie de 4 hectares, et présente une longueur de 300 m et une largeur de allant jusqu'à 150 m.



Figure II.1 : Station de dessalement d'eau de mer FOUKA (Google Earth)

II.1.2. Station de dessalement de Fouka

La Station de Dessalement d'Eau de Mer de Fouka est l'un des 13 projets décidés par le Gouvernement Algérien au début des années 2000 qui faisait suite à 20 ans de sècheresse.

Sur décision du Conseil Interministériel du 12 Octobre 2003, L'algérie opte pour le Dessalement d'Eau de Mer, et un grand programme est lancé par la société Algerian Energy Company (AEC, crée en 2001) qui est chargée de sa mise en œuvre.

CHAPITRE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTAL ET DESCRIPTION DE L'SDEM Fouka-TIPAZA

AEC lance un Appel d'Offre international dans le cadre d'un 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 pour l'Ouest de la Wilaya d'Alger et l'Est de la Wilaya de Tipaza.

Le marché est remporté 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 dans le Dessalement d'Eau de Mer.

L'Usine de Dessalement d'Eau de Mer de Fouka est gérée par – MYAH 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.

II.1.3. Prise eau de mer

La prise d'eau de mer se fait par 2 conduites de polyéthylène 1,6m de diamètre. L'aspiration, marquée par les bouées (voir la figure II.2), se fait à travers une grille située entre -13 et -9 m de profondeur, se trouve à 900 m de la cote.



Figure II.2 : Tête de prise eau de mer

II.1.4. Station de pompage eau de mer

La station de pompage d'eau de mer relève l'eau jusqu'au système de filtration. Elle est constituée de 7 pompes (dont une de secours) de 230 kW refoulant 1900 m³/h à 22 m.



Figure II.3 : Station de pompage eau de mer

II.1.5. Système de prétraitement et filtration

Le prétraitement permet d'amener l'eau à la qualité nécessaire avant son passage sur les membranes d'osmose. Il est constitué de :

- Une injection de Chlorure ferrique « FeCl_3 », qui permettent en particulier d'agglomérer les matières en suspension de manière à ce qu'elles soient retenues sur les filtres bicouches « Anthracite + Sable »
- Un passage à travers des filtres (au nombre de 18+02) constitués d'une couche de sable et d'une couche d'anthracite (charbon) ;
- Un pompage de l'eau filtrée assuré par 7 pompes (dont une de secours) de 450 kW refoulant $1.900 \text{ m}^3/\text{h}$ à 50 m ;
- Une filtration fine de l'eau filtrée à travers 10 filtres à cartouche (élimination des particules de plus de $5 \mu\text{m}$).



Figure II.4 : Les filtres à cartouches

II.1.6. Système d'Osmose inverse et réservoir de lavage des filtres

L'eau filtrée est aspirée par les pompes Haute Pression + les pompes booster (jusqu'à 70 bar) et refoulée à travers les membranes d'Osmose.

Environ 45% de l'eau passe à travers les membranes, débarrassée d'une grande partie de son sel « eau déminéralisée, également appelée Perméat ».

Les 55% restant très concentrée en sel « appelée Concentrât », retourne à la mer après la récupération de son énergie « pression » a été récupérée par le système ERI « Energy recovery » en passant par un réservoir qui sert à alimenter le rétro-lavage des filtres bicouches et par un dispositif de traitement des effluents.

CHAPITRE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTAL ET DESCRIPTION DE L'SDEM Fouka-TIPAZA

Le système d'osmose est constitué de 9.072 membranes identiques disposées en parallèle dans 6 racks de production d'une capacité unitaire de 20.000 m³/jour pour une production nette totale de 120.000 m³/jour.

Chaque racks est composée de :

- 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 ;
- 216 tubes de pression contenant chacun 7 membranes.

L'Usine dispose d'un dispositif de lavage des membranes (Bacs de préparation, pompes, filtre et tuyauteries). (Figure II.5)



Figure II.5 : Les racks d'osmose inverse de la station (Fouka-Tipaza)

II.1.7. Traitement des effluents

Les rejets de procédé comprennent les eaux suivantes :

- Le concentrât ;
- Les eaux de décharge des saturateurs de chaux ;
- Les eaux de lavage des filtres bicouche
- Les eaux de lavage ou déplacement des racks de l'osmose inverse.

Ces eaux sont acheminées vers le réservoir de traitement (neutralisation) des effluents et, de là, vers l'émissaire constitué d'une conduite en polyéthylène 1.400 mm de diamètre. Le

point de rejet, à 450 m de la côte, est équipé d'un diffuseur qui permet une dilution quasi immédiate des eaux de rejet dans l'eau de mer, afin de ne pas perturber les écosystèmes

II.1.8. Reminéralisation du perméat

L'eau déminéralisée (perméat) est une eau agressive qui doit être reminéralisée pour satisfaire aux critères de potabilité. À cette fin, l'usine est équipée d'un système de reminéralisation qui comprend une injection de chaux + CO₂ (gaz carbonique) produit in-situ à partir de gaz naturel.

II.1.9. Station de pompage d'eau traité

Après la reminéralisation, l'eau est stockée dans un réservoir d'eau traitée de 3 600 m³, où elle subit une désinfection finale au Chlore.

L'eau est ensuite refoulée vers le réseau externe par 7 pompes (dont une de secours) de 800 kW débitant 833 m³/h à 240 m.

L'Usine dispose par ailleurs d'un réseau d'eau de service, d'un réseau incendie et d'un réseau d'eau potable.

II.1.10. Sous station électrique 60 kw

L'alimentation continue en électricité de l'Usine est indispensable. Elle est assurée par 2 lignes Sonelgaz de 60 kV dédiées, alimentant une station de transformation composée de 2 transformateurs de 30 MVA dont la tension de sortie est de 6.000 V. Ces lignes sont :

- Ligne 431 – MAZAFRAN 60 kV : Ligne aérienne de 60 kV longue de 12 km provenant de l'installation de Mazafran de 220/60 kV.
- Ligne 432 – HAMR EL AIN 60 kV : Ligne aérienne de 60 kV longue de 35 km provenant de l'installation de Hamr El Ain de 220/60 kV.

II.1.11. Réseau de distribution externe

L'eau produite est acheminée par :

- Une conduite de diamètre 900 mm en fonte ductile de longueur 35 km au réservoir Hai Mouaz de 2 x 15.000 m³ pour alimenter les localités de l'Est de la Wilaya de TIPAZA (Dont Koléa, Fouka, Douaouda...);
- Une conduite de diamètre 900 mm en fonte ductile de longueur 10 km vers le réservoir Sahel de 30.000 m³ pour alimenter les localités de l'Ouest de la Wilaya d'ALGER (Dont Zéralda, Staouéli, Club des Pins...). (Myah Tipaza)

II.2. Matériel et méthodes

Dans cette partie on va étudier les performances d'un filtre à sable bicouches de la station de dessalement d'eau de mer de Fouka-Tipaza. Et pour cela on doit faire un diagnostic de différents paramètres important pour le bon fonctionnement d'un prétraitement, afin de protéger et augmenter la durée de vie des matériaux, et assurer la bonne qualité de l'eau produite.

Cette partie est constituée de quatre (4) étapes, la première étape comporte les analyses physicochimiques de l'eau (eau de mer, eau traitée, la saumure et eau sortie de filtre a sables bicouche). La deuxième est consacrée à la détermination de la concentration de chlorure ferrique (FeCl_3) optimal à injecter dans l'eau de mer pour la coagulation. La troisième étape est basée sur l'étude de la variation de la turbidité, conductivité et les matières en suspension durant la phase de maturation après lavage des filtres à sables bicouches. En fin la quatrième étape qui est basée sur la mesure du SDI_{15} (SILT DENSITY INDEX), dont la valeur ne doit pas dépasser 3. Si la valeur de SDI_{15} est inférieur ou égale a 3 l'eau prétraitée peut passer au traitement par osmose inverse sans qu'elle ne provoque un risque de colmatage des membranes.

II.2.1. l'analyse physicochimique :

Nous avons effectué des prélèvements le 11/05/2022 dans le but des analyses physicochimiques (turbidité, conductivité, température et pH), au niveau des points suivant :

- À l'entrée d'eau de mer.
- À la sortie d'eau produite.
- À la sortie du rejet (saumure).
- À la sortie des filtres à sable.

La station est dotée de plusieurs sites de prélèvements, généralement en amont et en aval de chaque étape de traitement.

Cette étude est réalisée au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de la station de dessalement d'eau de mer Fouka-Tipaza

Mode de prélèvement :

Le prélèvement a été effectué selon les étapes suivantes :

Préparations des flacons propres en plastique ou bien en verre de 500 ml et 1L. Puis l'ouverture de la vanne d'échantillonnage ce qui permet à l'eau de s'écouler pendant au moins 2 minutes avant le remplissage des flacons, En suit on procède au rinçage du flacon d'échantillonnage au moins deux fois avec l'eau à prélever. Puis on remplit chaque flacon

lentement avec un faible débit pour éviter les turbulences et la formation des bulles d'air, on ferme le flacon pour s'assurer qu'il n'y a pas de vide au-dessus de l'échantillon. En fin on fait l'étiquetage des flacons d'échantillonnage en mentionnant le point de prélèvement, la date et l'heure.

II.2.1.1. Mesure de la turbidité

Matériel utilisé :

- Capsules en verre
- Turbidimètre (HACH, 2100N)
- Solution d'étalon (0.2 NTU)



Figure II.6 : Turbidimètre (Hach, 2100N)

Mode opératoire :

À l'aide d'un turbidimètre la mesure de turbidité s'effectue selon les étapes suivantes : on procède d'abord à étalonnage du turbidimètre par la solution (0.2NTU), En suite on remplit la capsule par l'échantillon, on nettoie la capsule et on s'assure que la surface de la capsule soit sèche et qu'elle ne contienne aucune tache, On place par la suite la cuvette dans le turbidimètre et on appuie sur READ, et on lie directement sur l'écran de l'appareil, la valeur affichés qui s'exprime en NTU (Nephelométric Turbidity Unit).

II.2.1.2. Mesure de la conductivité :

Matériel utilisé :

La mesure de la conductivité se fait avec un appareil multi-paramètres à sonde (HACH, sension7)



Figure II.7 : Appareil multi-paramètres à sonde (HACH, session7)

Mode opératoire :

On met l'appareil en marche, on l'étalonne avec de l'eau distillée, on plonge la sonde tout en agitant légèrement notre échantillon, en fin on lit la valeur la plus stable qui s'affiche.

II.2.1.3. Mesure de la température et du pH d'eau de mer

Matériel utilisé :

- Un pH-mètre (HACH, HQ430d)
- Un bécher.
- Eau distillé.

Remarque : La mesure de la température et du pH se fait avec le même mode opératoire de la conductivité après l'étalonnage.

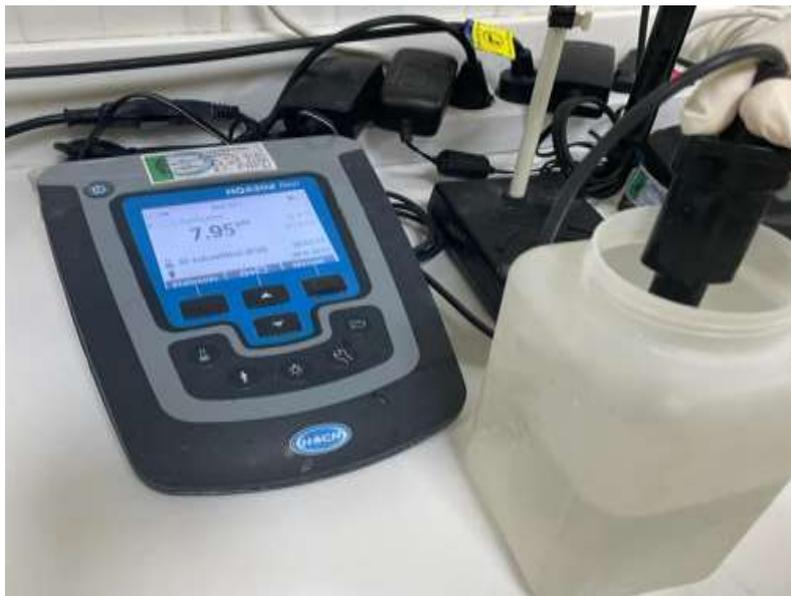


Figure II.8 : pH-mètre (HACH, HQ430d)

II.2.2. Mesure des TDS et de MES d'eau de mer

L'or de cette étape nous avons effectué des prélèvements le 13/05/2022 dans le but de mesurer le taux des sels dissout et les matières en suspension dans l'eau de mer. Le prélèvement est effectué à l'entrée d'eau de mer.

Matériel utilisé :

- Un flacon contenant 1 litre d'échantillon d'eau de mer
- Une membrane filtrante en fibre de verre, (micro-filtre de 0.7 μ m)
- Une étuve
- Une balance de précision.
- Pompe à vide
- fiole en verre
- une éprouvette de 500 ml
- une pince
- deux creusets en verre
- une éprouvette de 200 ml.
- un dessiccateur

Mode opératoire

On commence par pesée un creuset en verre contenant une membrane filtrante en fibre de verre, soit P0 la masse de l'ensemble, puis on pèse un creuset vide en porcelaine d'une

contenance de 200 ml, soit P1 sa masse, en suite on va placer la membrane filtrante sous le cône de filtration en inox, après avoir vérifié le bon positionnement des robinets de la rampe de filtration, et que le tuyau reliant la rampe de filtration à la fiole en verre soit vide, en suite on va vérifier aussi que la fiole en verre soit vide et que son bouchon est bien fermé, on va mélanger énergiquement le flacon contenant au moins 1 litre d'échantillon et on remplir rapidement (pour éviter la décantation de matière en suspension) une éprouvette de 500 ml avec l'échantillon. Transvaser rapidement le contenu de l'éprouvette dans le cône de filtration, mettre la pompe à vide en marche et arrêter celle-ci lorsque tout l'échantillon a été filtré (le filtrat ayant été récupéré dans la fiole en verre pour la mesure de TDS). Évacuer le vide résiduel dans la rampe à filtration en ouvrant un de ses robinets non utilisés, en suite on va retirer le cône de filtration et décoller délicatement à l'aide d'une pince la membrane filtrante que l'on déposera dans son creuset en verre d'origine. Introduire le creuset en verre contenant la membrane filtrante dans une étuve dont la température est à 105°C (noter l'heure d'introduction du creuset).

Après 2 heures de séchage, on va laisser refroidir le creuset en verre contenant la membrane filtrante dans un dessiccateur pendant 15 mn, Puis peser le creuset en verre contenant la membrane filtrante, soit P2 sa masse, mélanger le filtrat contenu dans la fiole en verre et en prélever rapidement 200 ml à l'aide d'une éprouvette propre, Sans attendre, on va verser le contenu de l'éprouvette dans le creuset en porcelaine précédemment pesé, introduire le creuset en porcelaine contenant les 200 ml de filtrat dans une étuve qu'on allumera, sa température étant réglée à 180°C, le creuset en porcelaine restera 12 heures à l'intérieur de l'étuve (on note l'heure d'introduction du creuset).

Après séchage, on va refroidir le creuset en porcelaine dans un dessiccateur pendant 30 mn en suite on pèse le creuset en porcelaine contenant les matières dissoutes, soit P3 sa masse.

Calculs : la masse P0, P1, P2 et P3 en (g)

$$\text{MES en mg/l} = (P2 - P0) \times 2000$$

$$\text{TDS en g/l} = (P3 - P1) \times 5$$

II.2.3. Analyse volumétrique d'eau traitée

Matériel utilisé :

- Un flacon d'eau traitée
- Une burette
- Une pipette en plastique

- Une fiole jaugée de 50 ml
- Une spatule
- Un erlenmeyer et un erlenmeyer de 250 ml
- Fiole jaugée de 100ml

Réactif et produits chimiques :

- Un flacon de l'EDTA 0.01 M
- Une solution de NaOH 2 N
- Une solution tampon pH10
- Une solution de 1 g de NET dans 100 g de NaCl
- Flacon de HCl 0.02N
- $\text{Na}_2\text{SO}_3, 5\text{H}_2\text{O}$ 0,1N
- Phénolphtaléine
- Vert de bromocrésol
- Une solution de AgNO_3 0,02 N
- Une solution de 10g de K_2CrO_4 dans 100ml
- Murexide

II.2.3.1. Le calcique (Ca^{2+})

Mode opératoire :

On commence par agiter délicatement le flacon de l'EDTA 0.01 M, en suite on va Remplir la burette avec l'EDTA 0.01 M, On élimine les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet, à l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, on introduis 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml et on ajoute 2 ml de NaOH 2 N à l'aide de la pipette en plastique propre, puis à l'aide de la spatule on ajoute un peu de murexide jusqu'à obtenir une coloration bien rose, on mélange le tout et commence à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration violette en suite on note le volume « V » de burette et on calculer la concentration en calcium à l'aide de la formule suivante :

Calculs :

$$\text{TH}_{\text{CA}^{2+}} = \text{Concentration en calcium en mg par litre} = V \times 8.016$$

$$\text{TH}_{\text{CA}^{2+}} = \text{Concentration en calcium en mg par litre CaCO}_3 = V \times 20.04$$

II.2.3.2. la dureté totale (TH)

Mode opératoire :

À l'aide d'une fiole jaugée propre de 50 ml, introduire 50 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml, en suite on va ajouter 4 ml de Tampon pH10 à l'aide de la pipette en plastique propre, à l'aide de la spatule, on ajoute un peu de NET jusqu'à obtenir une coloration rose-violette, après avoir mélangé le tout, on va commencer à verser l'EDTA goutte à goutte tout en mélangeant énergiquement jusqu'à la coloration bleue franche, en fin on note le volume « V » de burette.

Calculs :

$$\text{TH en mg par litre CaCO}_3 = V \times 20$$

II.2.3.3. Le magnésium (Mg²⁺)

Le calcul de Mg²⁺ se fait de la manière suivante :

$$\text{On a: TH} = \text{TH Ca}^{2+} + \text{TH Mg}^{2+} \Rightarrow \text{TH Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$$

II.2.3.4. TA et du TAC

Mode opératoire :

On commence par agitée délicatement le flacon de HCl 0.02N, et remplir la burette avec HCl 0.02N, éliminer les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet, en suite on va agiter l'échantillon doucement et à l'aide d'une fiole jaugée propre de 100ml, introduire 100ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250ml et ajouter une goutte de Na₂SO₃, 5H₂O 0,1N et 3 gouttes de phénolphaléine et puis mélanger.

Si une coloration rose apparaît, alors on commence à verser HCl goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à décoloration complète, On note le volume de la burette « V1 » S'il n'y a pas de coloration rose, alors « V1=0ml », après on ajoute 5 gouttes de vert de bromocrésol dans le même erlenmeyer et on mélange, (on obtient une coloration bleue). On continue de verser HCl goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'à obtenir le début d'une coloration jaune, on note le volume de burette « V2 ».

Calculs : TA et TAC de la manière suivante :

$$\text{TA en mg/lCaCO}_3 = V1 \times 10$$

$$\text{TAC en mg/lCaCO}_3 = V2 \times 10$$

II.2.3.5. Les chlorure (Cl)

Mode opératoire :

On agite délicatement le flacon d'AgNO₃ 0,02 N et on remplit la burette avec AgNO₃ 0,02 N, on élimine les bulles d'air contenues dans la partie inférieure de la burette en ouvrant le robinet.

À l'aide d'une fiole jaugée propre de 100 ml, introduire 100 ml d'échantillon dans un erlenmeyer propre de 250 ml, en suit on ajoute 1 ml de K₂CrO₄ avec la pipette en plastique propre et on mélange, après on commence à verser AgNO₃ 0,02 N goutte à goutte tout en agitant l'erlenmeyer jusqu'à ce que la solution prenne une couleur brune-orange, on note le volume de burette « V »

Calculs :

$$\text{Concentration en chlorure en mg/l} = (V - 0,2) \times 7,0906$$

$$\text{Concentration en chlorure en mg/l CaCO}_3 = (V - 0,2) \times 10$$

II.2.3 : Détermination du dosage optimal du chlorure ferrique (FeCl₃) pour l'essai à du jar-test.

Matériel utilisé :

- Équipement JAR-TEST :
- 4 béciers en verre de 1000ml
- 4 hélices d'agitations de 25mm * 75mm
- Pipette de 2 ml gradué
- Pipette de 5ml
- Fiole jaugée de 1000 ml
- Éprouvette en verre de 1000ml
- Chronomètre
- PH-mètre (HACH, HQ430d)
- Équipement HACH ou similaire pour déterminer le Fer total
- Turbidimètre (HACH, 2100N)



Figure II.9 : JAR-TEST

Réactif et produits chimiques :

- 5 litres d'eau de mer à problème
- Eau distillée
- Solution commerciale de chlorure ferrique (FeCl_3) (coagulant)
- un réactif de fer (pour lire ça valeur dans un photomètre)
- Flocculant

Mode opératoire :

1. Caractérisation de l'échantillon de l'eau de mer

Avant la réalisation du JAR-TEST il est nécessaire de déterminer préalablement le pH, la turbidité et la concentration du fer total d'eau de mer.

Pour le pH et turbidité se mesure avec le même mode opératoire précédent. Pour le fer total d'eau de mer, un réactif de fer est ajouté dans l'échantillon de 10 ml, en suite placer dans le photomètre et lire la valeur.

2. Préparation de la solution diluée de FeCl_3

On prépare une solution diluée dans de l'eau distillée a concentration 1 g/l. pour cela on procède à la manière suivante :

On mesure 500 ml d'eau distillée avec l'éprouvette et on l'ajoute à la fiole jaugée de 1L, en suite on pipete 1,77 ml de solution commerciale FeCl_3 et on l'ajoute à la fiole jaugée et remplir la fiole jaugée jusqu'à 1000ml avec l'eau distillée, après on agite la fiole pour homogénéiser la solution diluée.

3. Préparations des solutions du jar-test

Pour cette étape on prépare 4 échantillons d'une solution d'eau de mer et FeCl_3 de concentration variable, Pour la station de dessalement d'eau de mer de FOUKA ces concentrations sont de 2 mg/l, 2,5 mg/l, 3 mg/l, et 3,5 mg/l.

La procédure à suivre pour la réalisation de ces solutions est la suivante :

On ajoute dans chaque bécher 900ml d'eau de mer avec une éprouvette de 1000 ml, et avec une pipette de 5 ml on ajoute le volume de la solution diluée de FeCl_3 nécessaire pour obtenir les concentrations désirées dans chaque bécher comme indiquée dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : préparation des solutions de jar

Concentration du FeCl_3 (mg/l)	Volume de solution diluée 1g/l de FeCl_3 en (ml)
2	1.8
2.5	2.25
3	2.70
3.5	3.15

Remarque : Signaler dans chaque verre les concentrations qu'il contient.

4. Temps et paramètre d'agitation

Durant le Jar-test on tente de reproduire à l'échelle du laboratoire le procédé de coagulation- floculation d'eau de mer. Ce procédé est caractérisé par ces différentes phases :

1. Mélange rapide : il s'agit de la phase dans laquelle le coagulant entre en contact avec l'eau.
2. Temps de coagulation : ici le coagulant déstabilise les particules colloïdales et commence à former un floc (micro-flocs).
3. Temps de floculation : au cours de cette phase, la formation de floes se produit à partir des micro-flocs formés lors de l'étape de coagulation.
4. Décantation : cette phase vise à décanter les floes formés au cours de l'essai du reste du contenu du bécher.

Tableau II.2 : Vitesse et temps d'agitation

Phase	Agitation tour/min	Temps (min)
Mélange rapide	200	1.5
Temps de coagulation	50	10
Temps de floculation	40	10
Décantation	0	30

5. Analyse d'eau de mer après la décantation

Une fois le test avec l'équipement JAR-TEST effectuée, il se produit une décantation du pH, la turbidité et la concentration de Fer total dans chaque bécher.

Pour déterminer la turbidité et le fer total, on doit plonger environ 15 mm le bout d'une pipette de 25 ml .il faut réaliser le pipetage sur les zones avec la mineur présence de flocs.

Pour trouver la valeur de fer total, un réactif de fer est ajouté dans l'échantillon de 10 ml en suite placer dans le photomètre et lire la valeur.

II.2.4. Colmatages et lavage d'un filtre bicouches

L'eau de mer contient une masse de matière en suspension dans chaque litre, cela signifie que dans une grande quantité d'eau de mer à filtrer, une importante masse de matière en suspension rentre dans le filtre à sable. La matière en suspension retenue forme au fure et à mesure ce qu'on appelle le gâteau.

Le gâteau formé provoque le colmatage des pores ce qui rend le passage de l'eau difficile, par conséquent le débit de l'eau filtré diminue ce qui est indésirable et le niveau d'eau de mer dans le filtre augmente, dans ce cas le filtre doit être lavé.

Tableau II.3 : Les dimensions de filtre à sable

Nombre de filtre	20
Surface du filtre	77.50 m²
Nombre de cellule par filtre	01
Largeur de la cellule	5.00 m
Longueur de la cellule	15.50 m
Surface total	1550 m²
Sables	0.6 m de profondeur
Sables	0.66 mm Taille effective
Anthracite	0.4 m de profondeur
Anthracite	1.5 mm Taille effective
Débit de filtration	634 m³/h
Vitesse de filtration	8-9 m/h
Vitesse d'eau de lavage	40 m/h
Vitesse d'air de lavage	60 m/h

Fluides :

➤ **Eau de mer :**

- i. **TDS : 37 000 ppm**
- ii. **Densité : 1030 kg/m³**
- iii. **Température d'eau : 15°C – 27°C**
- iv. **pH : 6.6 – 8.1**

➤ **Saumure de lavage :**

- i. **TDS : 66 500 ppm de NaCl**
- ii. **Densité : 1 060 kg/m³**
- iii. **pH : 8 – 9**

II.2.4.1. Évolution du nettoyage du filtre à sable

Pour déclencher le nettoyage des filtres bicouches, on procède depuis la base d'un filtre qui est déjà colmaté à 75%. Car un tel colmatage peut entrainer l'arrêt d'un rack et/ou des racks par manque de débit d'eau filtrée dans le réservoir d'eau filtrée.

En premier lieu, après avoir mis en service un filtre qui est déjà nettoyé, nous procédons ensuite à l'opération suivante :

Marquer le filtre qui va être lavé. Procéder à l'arrêt : fermeture des vannes d'entrée eau de mer et sortie d'eau de filtrée qui alimente le réservoir d'eau filtrée.

En suite procéder au lavage : vidange du filtre aux effluents (sortie d'eau filtré du réservoir d'eau filtré jusqu'à niveau 20%)

Préparation des soufflantes : sélectionner une soufflante et vérifier que la vanne de purge soit ouverte avant le démarrage de la soufflante.

Phase avec la soufflante d'air : le temps de fonctionnement de la soufflante est programmé à 300 secondes (5min), le débit nominal d'air de la soufflante est de $34.109 \text{ Nm}^3/\text{h}$, jusqu'à constater le niveau du filtre qui augmente jusqu'à 32.9%, le temps de repos est de 600 secondes (10min).

Lavage du filtre avec du concentrât : la durée de nettoyage est programmée à 1200 seconde (20min), avec un débit qui augmente jusqu'à $519.2 \text{ m}^3/\text{h}$ niveau atteint dans le filtre bicouche de 50%, après 10 minutes l'ouverture progressive de la vanne commence jusqu'à atteindre une valeur de 48 % avec un débit de $2500 \text{ m}^3/\text{h}$.

Sédimentation : une durée de repos de 300 secondes, plus 350 secondes de remplissage du filtre à 80 %.

Maturation : le débit d'eau de mer doit être augmenté de $300 \text{ m}^3/\text{h}$, car cette phase requiert un débit d'entrée et sortie de filtre en maturation de $300 \text{ m}^3/\text{h}$ pendant une durée de 18000 seconde (5 heures), l'objectif principal de cette phase est de réduire au minimum la conductivité de l'eau sortie filtre bicouche et de nettoyer les matières en suspension pour les empêcher d'entrer à travers le filtre de sécurité et éventuellement de passer au niveau des membranes d'osmose inverse.

II.2.5. Mesure de l'indice SDI_{15} (Silt Density Index)

L'eau pressurisée à une pression de 2.1 bars traverse une membrane filtrante de $0.45 \mu\text{m}$ et de 47mm de diamètre.

Au fur et à mesure de l'encrassement du filtre, le débit de l'eau diminue engendrant une augmentation du temps de remplissage d'un récipient de 500ml installé à la sortie de l'instrument.

L'analyse consiste en l'enregistrement de différents intervalles de temps et de volumes permettant ainsi le calcul du SDI_{15} .

Matériel utilisé :

- Membrane de porosité 0,45 µm et de 47mm de diamètre
- Un récipient de 500ml
- Support de la membrane spéciale
- Un chronomètre
- Régulateur de pression

Mode opératoire :

On place la membrane de porosité 0,45 µm dans son support et l'humidifier, on purge l'air du circuit, on ajuste et on maintient durant toute l'analyse la pression de l'eau d'alimentation à 2,1 bar, puis on met en route le chronomètre et le début de la filtration de l'eau en même temps et on arrête plus le chronomètre et la filtration de l'eau pendant toute la durée de l'opération, on enregistre le temps nécessaire T_0 pour remplir une première éprouvette de 500 ml avec de l'eau filtrée.

Après 15mn de filtration (depuis le début de l'analyse), on mesure le temps nécessaire T_{15} pour remplir à nouveau l'éprouvette de 500ml.



Figure II.10 : Mesure de SDI₁₅

Calculs :

La valeur du SDI est donnée à 15mn (SDI₁₅)

$$\text{SDI}_{15} = \frac{100 \times (1 - T_0/T_x)}{15}$$

15

CHAPITRE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTAL ET DESCRIPTION DE L'SDEM Fouka-TIPAZA

Où :

- T_0 est le temps de remplissage de la première éprouvette
- T_x est le temps de remplissage des éprouvettes et est égal à T_{15}
- T est égal à 15min

CHAPITRE III : RÉSULTAT ET DISCUSSION

III.1. Analyse physicochimiques

Le tableau (III.1) présente les résultats des analyses physicochimiques d'eau de mer, eau traitée, la saumure et eau sortie des filtres a sables bicouches.

Tableau III.1 : Résultat physicochimique

Paramètres	Eau de mer	Eau de mer après filtres bicouches	Eau de saumure	Eau traitée
Température (°C)	17.5	19	19	19
pH	8.10	8.07	8.0	8.28
Conductivité (mS/cm²)	54.8	54.8	91	0.634
Turbidité (NTU)	0.66	0.20	0.27	0.59

D'après le tableau (III.1), nous remarquons que les valeurs de pH restent constantes durant tous les procédés de dessalement, la valeur 8.28 d'eau traitée se réfère aux normes de qualité de l'eau potable, Les valeurs de pH de l'eau produite sont conformes aux normes Algériennes dont les valeurs sont fixées entre 6,5 et 9.

La température d'eau de mer augmente de 17.5°C à 19 °C, durant tous les procédés de dessalement, et cela remonte à la confrontation de l'eau de mer avec l'air ambiant qui a une température plus élevée que la température d'eau de mer.

On remarque aussi que la conductivité d'eau de mer reste la même après la filtration sur sable bicouche (54.8 mS/cm²). Cela montre que les filtres bicouches filtrent les matières en suspensions uniquement, et la concentration des sels dissous qui ont un effet direct sur la conductivité sont séparés, dans la phase de traitement par osmose inverse, ce qui explique à son tour l'augmentation de la conductivité de la saumure à 91 mS/cm² qui est plus concentrée en sels dissous, et la diminution de la conductivité dans l'eau traitée jusqu'à (0.634mS/cm²) qui est très faible en sels dissous.

La turbidité par contre diminue après la filtration sur filtre à sable bicouche de 0.66 NTU à 0.20 NTU, et cela s'explique par la diminution de la matière en suspension qui est retenue par les filtres à sable bicouches. Après traitement, la turbidité d'eau traitée augmente jusqu'à 059 NTU à cause de certains minéraux (la chaux) injectés dans la phase de la

reminéralisations et la désinfection, et cette valeur reste dans l'intervalle de norme de potabilité algérienne.

III.2. TDS et de MES d'eau de mer

Les tableaux suivants présentent les résultats obtenus lors des mesures TDS et MES :

Tableau III.2 : Mesure de la masse de MES

Masse de filtre P ₀ (g)	0.1320
Masse de filtre P ₂ (g)	0.1366
MES (mg/l)	9.2

Tableau III.3 : Mesure de la masse de TDS

Creuset P ₁ (g)	46.6230
Creuset P ₃ (g)	54.3450
TDS g/l	38.61

Les tableaux (III.2 et III.3) montrent que l'eau de mer dans la région de Fouka-Tipaza contient de 9.2 mg/l de matière en suspension, et 38.61g/l de solide dissout. Et ces valeurs peuvent varier

III.3. Analyse volumétrique de l'eau traitée :

Le tableau (III.4) présente les résultats des analyses volumétriques.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau III.4 : Analyse volumétrique d'eau traitée

/	Volume versé (ml)	Concentration (mg/l)	Concentration (mg/lCaCO ₃)	Norme algérienne de potabilité
Calcium (Ca ²⁺)	2.9	23.25	58.12	<200 mg/l
La dureté totale (TH)	3.8	/	76	<500mg/lCaCO ₃
Magnésium (Mg ²⁺)	/	4.35	17.88	< 50 mg/l
TA	0	0	0	< 5 mg/l
TAC	7	/	70	< 500 mg/lCaCO ₃
Chlorure	31	218.39	308	< 250 mg/l

Les résultats obtenus de l'analyse volumétrique montre que l'eau traitée est conforme à la norme algérienne de potabilité

III.4. Dosage optimal de chlorure ferrique (FeCl₃)

Les résultats du jar test effectué le 24/05/2022 sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.5 : Résultat de l'analyse de jar-test

Échantillons (mg/l FeCl ₃)	pH	Turbidité (NTU)	Fer total (mg/l)
Eau de mer (le blanc)	8.16	0.44	0.02
2	7.58	0.40	0.30
2.5	8.00	0.29	0.29
3	7.80	0.50	0.37
3.5	8.03	0.8	0.75

Ces résultats nous permettent de tracer les graphes suivants :

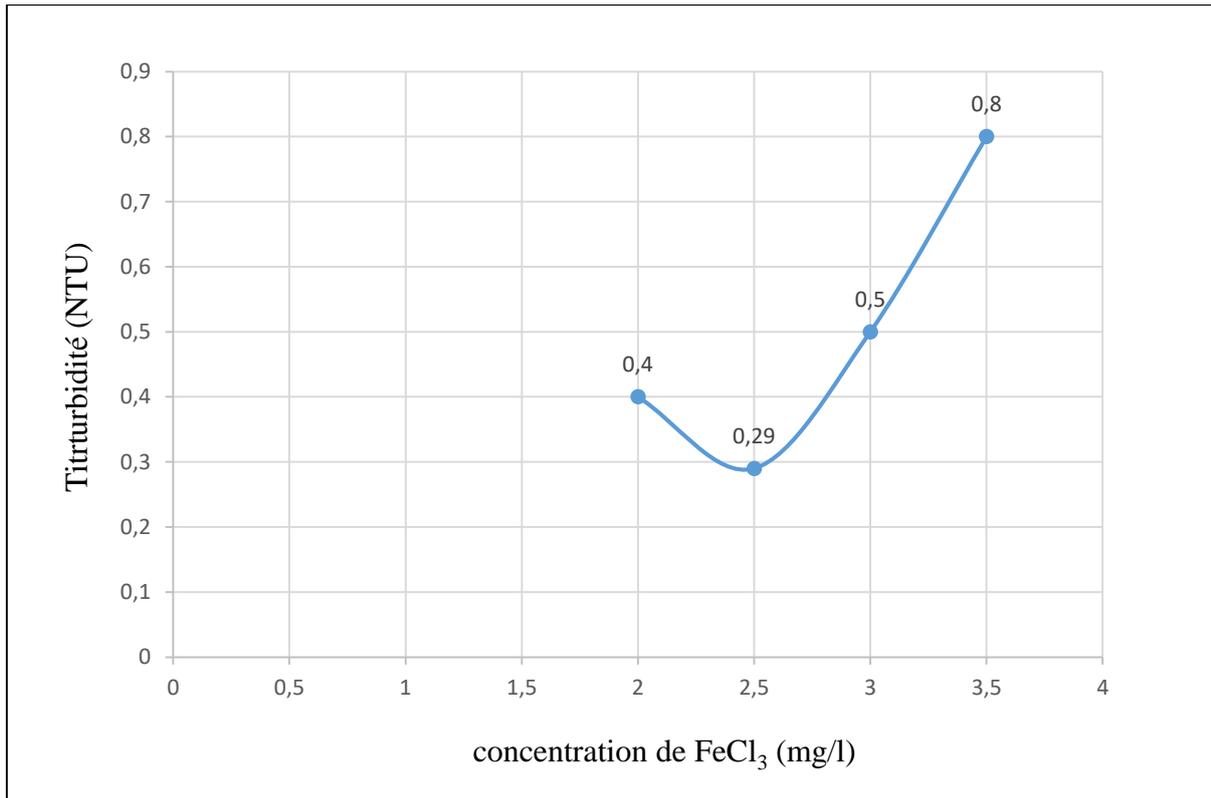


Figure III.1 : Variation de la turbidité en fonction de la concentration FeCl₃ injecté dans l'eau de mer

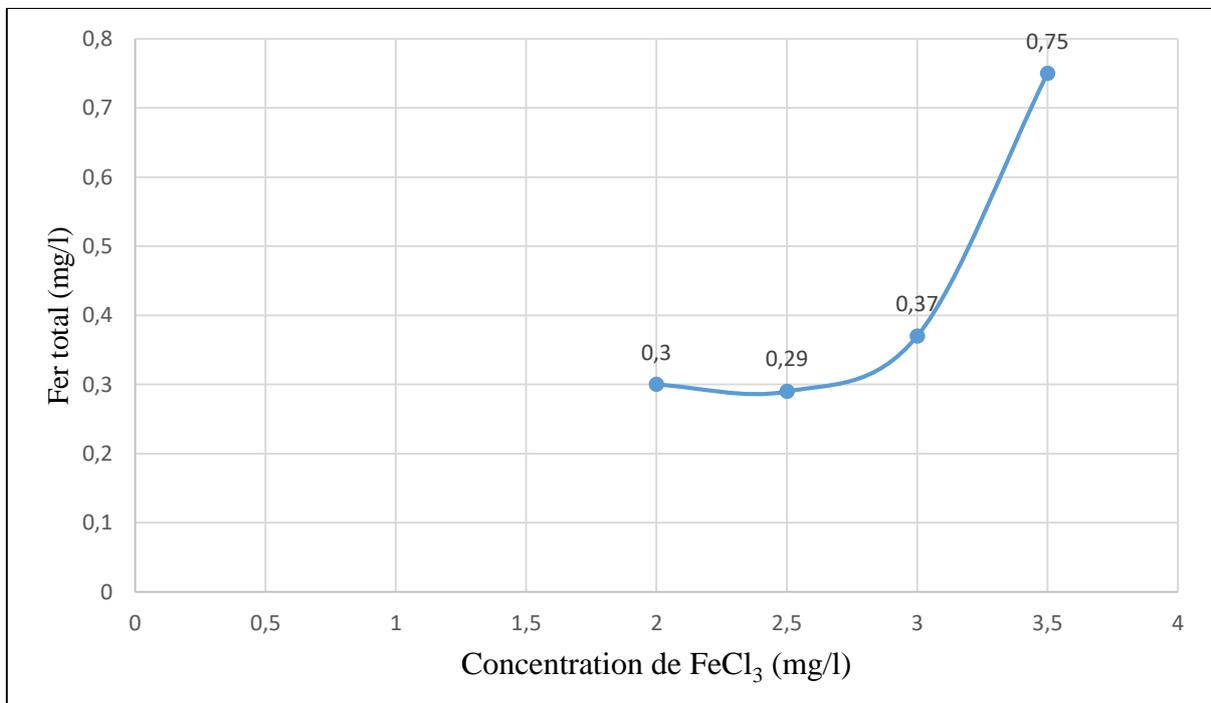


Figure III.2 : Variation de fer total en fonction de la concentration de FeCl₃ injecté dans l'eau de mer

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

D'après la figure (III.1) et la figure (III.2). On peut observer que l'échantillon de concentration 2.5mg/l de FeCl₃ a présenté les plus faibles valeurs de turbidité 0.29 NTU et de fer total 0.29 mg/l. Cependant si on augmente la dose à 3.5 mg/l la turbidité atteint des valeurs de 0.8 NTU et le fer total 0.75 mg/l.

Un dosage de 2.5mg/l de FeCl₃ dans l'eau de mer est préférable pour obtenir la meilleure coagulation possible.

III.5. contrôle de l'évolution du nettoyage du filtre à sable

Le tableau (III.6) représente des analyses de conductivité, turbidité et MES chaque 10 min durant la phase de maturation pendant 5 heures.

Tableau III.6 : Analyse de l'eau mer après filtres bicouches durant la période de maturation

Temps (min)	Conductivité (mS)	Turbidité (NTU)	MES (mg/L)
00	90,00	0,75	90,00
10	89,09	0,72	44,40
20	88,70	0,67	32,50
30	88,65	0,65	33,30
40	73,20	0,61	39,90
50	62,01	0,64	38,80
60	58,89	0,63	31,80
70	56,92	0,61	37,80
80	56,45	0,57	34,90
90	56,06	0,56	26,40
100	55,65	0,50	25,00
110	55,66	0,41	23,10
120	55,59	0,42	34,80
130	55,61	0,39	20,10
140	55,54	0,39	14,60
150	55,32	0,36	13,90
160	55,38	0,37	13,20
170	55,31	0,37	15,00
180	55,35	0,34	16,20
200	55,30	0,36	13,30
220	55,29	0,32	9,90
240	55,28	0,28	11,20
260	55,31	0,29	8,80
280	55,27	0,26	9,40
300	55,30	0,26	9,10

Ces résultats nous permettent de tracer les graphes suivants :

III.5.1. Qualité de l'eau durant la maturation pour les (MES) :

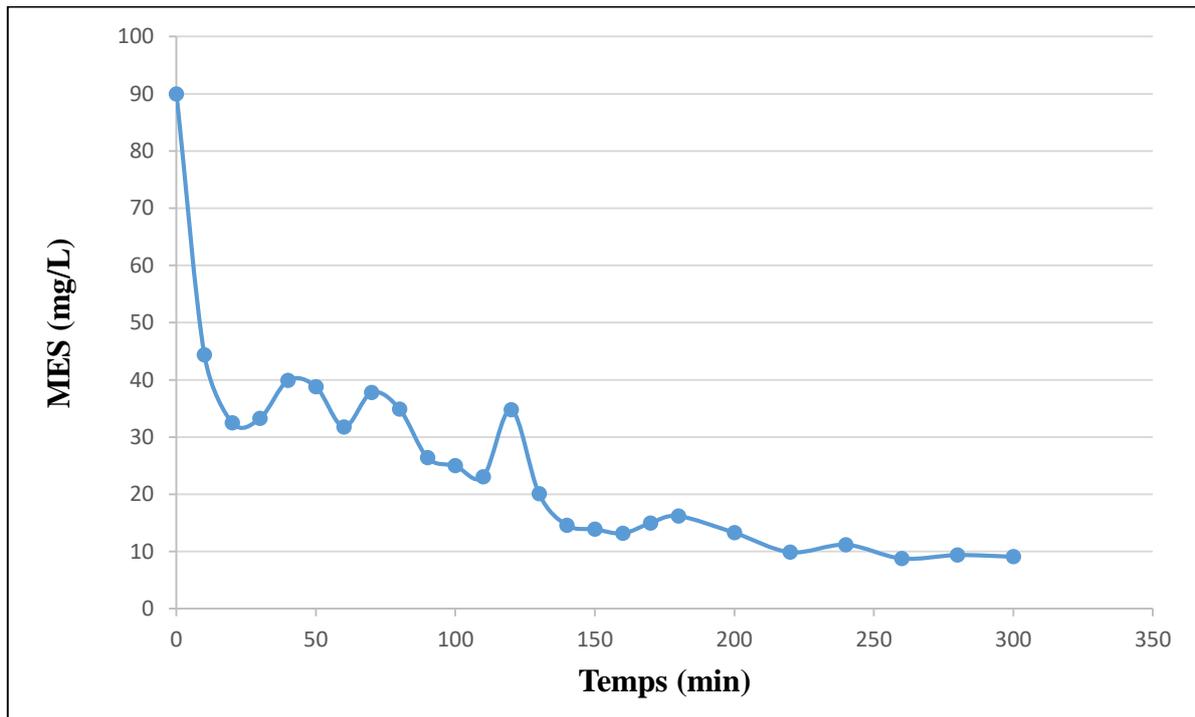


Figure III.3 : Variation de MES en fonction de temps durant la maturation.

D'après la figure (III.3), à $t=0$ min la quantité retenue par les filtre à sable bicouche est importante, ça montre que le long d'un milieu poreux (le sable), plus ou moins tortueux, qui se colmatra en profondeur au fur et à mesure de l'accumulation des particules en suspension lors du passage du fluide.

On peut observer clairement que la quantité de MES diminue en fonction du temps jusqu'à atteindre une valeur de 9.10 mg/l après 220 min de maturation puis se stabilise autour de cette valeur après 5 heures, on conclut que les MES qui se trouve dans les filtre a sables ont complètement disparues après 5h de maturation, et que 9.2 mg/l est la quantité des MES d'eau de mer.

III.5.2. Qualité de l'eau durant la maturation pour la turbidité.

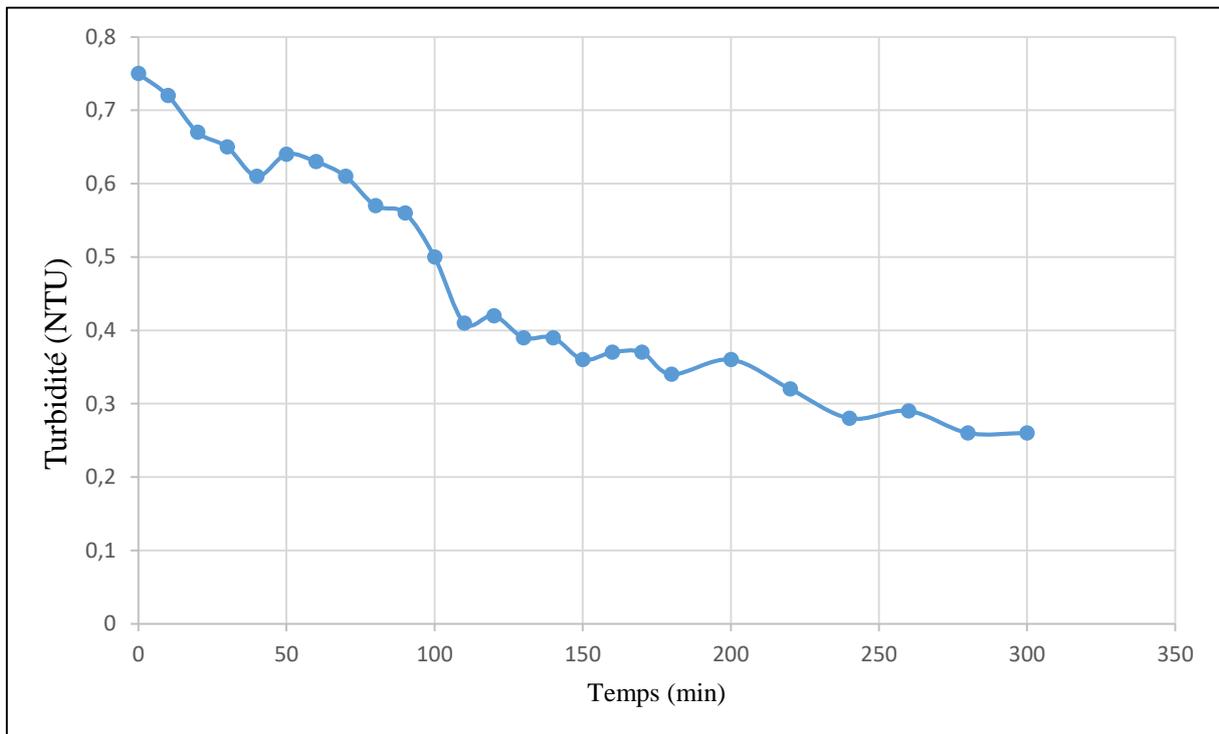


Figure III.4 : Variation de la turbidité en fonction de temps durant la maturation.

D'après la figure (III.4). La diminution des MES est suivi par la diminution de la turbidité de façon remarquable de 0.75NTU jusqu'à une valeur de 0.26NTU après 280 min de maturation, puis un abaissement à des valeurs autour de 0,2 lorsque le filtre est mis en service. Cette diminution de turbidité est le résultat de la diminution des MES.

III.5.3. Qualité de l'eau durant la maturation pour la conductivité

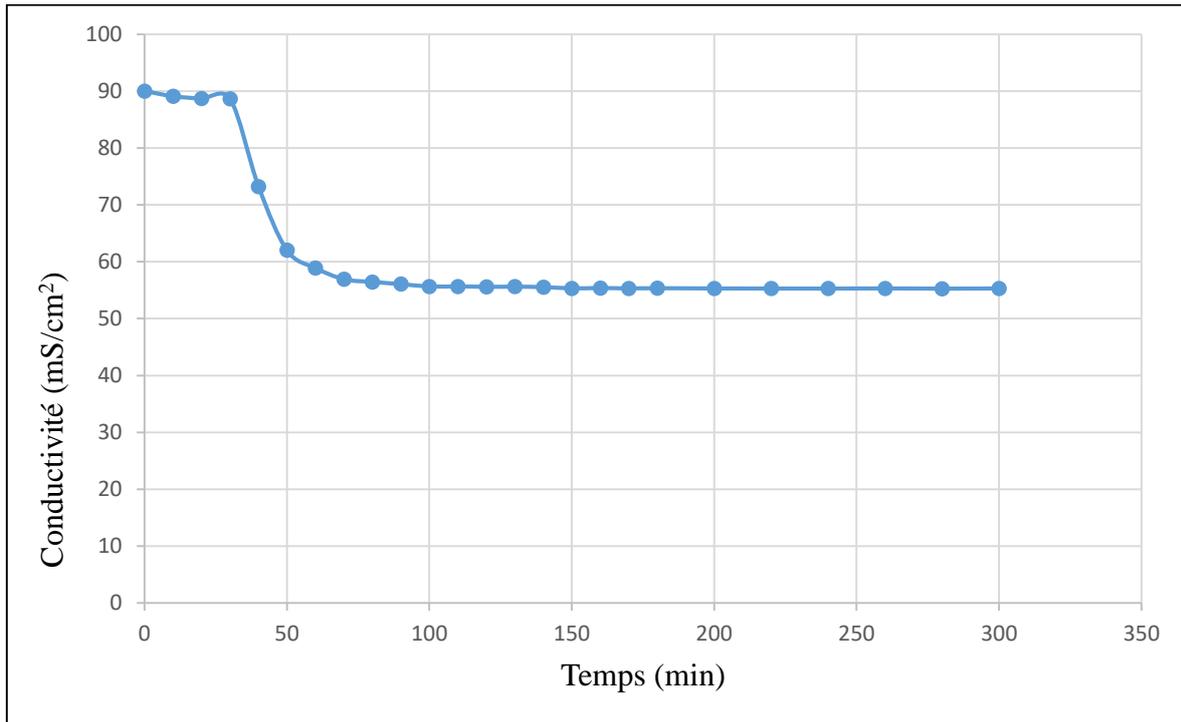


Figure III.5 : Variation de la conductivité en fonction de temps durant la maturation

Dans le graphe de la figure (III.5) On remarque que la conductivité d'eau sortie du filtre à sable diminue rapidement de 90 mS/cm² ce qui correspond à la conductivité de la Saumur à des valeurs autour de 56 mS/cm² après 90 min de maturation, puis se stabilise à des valeurs autour 55mS/cm² qui correspond à la conductivité d'eau de mer.

Ces valeurs confirment qu'une bonne maturation d'un filtre à sable bicouche nécessite un minimum de 288 min pour obtenir une eau filtrée de bonne qualité.

III.6. L'indice SDI₁₅ (Silt Density Index)

Les résultats obtenus après la mesure de SDI₁₅ sont présenté dans le tableau suivant :

Tableau III.7 : Résultat de mesure SDI₁₅ :

T ₀ (sec)	21
T _X (sec)	31
T (min)	15
SDI ₁₅	2.15

D'après le résultat obtenue lors de la mesure du SDI₁₅ de l'eau sortent des filtres à cartouches et avant l'osmose inverse (SDI₁₅ = 2.15) qui est inférieure à 3 sachant que les fournisseurs de membranes recommandent un SDI₁₅ inférieur à 3 en amont des membranes mais acceptent des valeurs épisodiques de 4.

On peut donc conclure que l'eau de mer sortie des filtres bicouches peut passer au traitement par osmose inverse sans qu'elle ne provoque pas un risque de colmatage des membranes.

CONCLUSION

CONCLUSION

En Algérie, comme dans de nombreux pays du monde les ressources en eau potable sont insuffisantes par rapport à la croissance démographique, vu que l'Algérie dispose d'une large cote de 1200 km, le dessalement d'eau de mer est devenu un moyen d'accès à l'eau potable en Algérie.

Cette étude, bien que limitée dans le temps, nous a permis de réaliser certain objectifs concernant les procédés de dessalement d'eau de mer de la station Fouka wilaya de Tipaza, en général et les performances d'un prétraitement avec un filtre à sable bicouche en particulier, ceci nous a donné un aperçu général sur les ressources en eau et la production d'eau potable en Algérie.

Les résultats obtenus nous montrent que les filtres les plus répandus dans le traitement des eaux sont les filtres à sable bicouche, et la taille efficace des grains de l'ordre de 0,6-0,8 mm pour le sable et 0,8-1,6 mm pour l'antracite. L'utilisation de filtres mixtes : une couche d'antracite sur une couche de sable, permet une meilleure pénétration de la matière en suspension dans le lit de filtration. Ceci rend la filtration plus efficace et rallonge aussi le cycle de fonctionnement du filtre.

Ce qui nous a permis de conclure que la station de dessalement de l'eau de mer Fouka-Tipaza est une station de production d'eau potable de qualité. Et que le système utilisé dans la phase de prétraitement avec des filtres bicouche est un système performant, vu que l'eau de mer sortant des filtres bicouche est une eau qui ne provoque aucun risque de colmatage des membranes.

Références Bibliographiques

Absar b, 2012, modélisation et simulation de systèmes de dessalement d'eau de mer par osmose inverse et énergies renouvelables. thèse, université abdelhamid ibn badis mostaganem.

Akli s et bedrani b, 2011, produire de l'eau par le dessalement ou en l'économisant grâce à l'adoption de l'irrigation localisée.

Amitouche, m 2016, impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur, thèse de doctorat en sciences hydraulique, université mohamed khider – biskra.

Ammour f & kettab a, & oussedik s. 2001. le dessalement des eaux de mer en algérie : expérience et perspectives. hydrotop ,1-8.

Anonyme, 2006 : (document interne 2, manuel de formation, 2006). « Formation à l'exploitation et à la maintenance des unités de dessalement d'eau de mer de l'algérienne des eaux ». gls.oieau, novembre

Bakalowicz m, 1999, connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, agence de l'eau Rhône méditerranée, corse.

Baumont s & Philippe j, 2007, agnès lefranc, antoine franconi, école nationale supérieure agronomique de toulouse, réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en île-de-france, 169p.

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.

Benmoussat a1 & Habi m2, 2009 les procedes de dessalement de l'eau de mer et leur impact sur l'environnement, 1 faculté des sciences de l'ingénieur & université abou bekr belkaid.chetouane. 2dpt d'hydraulique. Faculté des sciences de l'ingénieur. chetouane.

Bomboy a, 2008 « l'odeur rafraîchissante de l'océan » [archive].

Boudjadja, a, & Messahel, m. & Pauc, h. 2003 ressources hydriques en algérie du nord. Revue des sciences de l'eau / journal of water science.

Bougis J, 2017, approche globale des rejets en mer : usines de dessalement, centrales thermiques et assainissement, conférence méditerranéenne côtière et maritime edition 4, split, croatia.

Définition matières en suspension publiée le 15/05/2009 (mise à jour le 15/01/2021).
www.aquaportail.com.

Djemai i, 2013 ; comportement des éléments chimiques dans les eaux de surface du barrage de founel gueiss (est Algérie). Université de Batna.

Fernández y & Sanchez j & l, gonzálezcorrea j m. (2005). préliminaire résultat of the monitoring of the brine discharge produced by the swro desalination plant of alicante (se spain). desalination. vol. 182, n°1-3, pp. 395-402. doi.org/10.1016/j.desal.2005.03.023

Francis a, 2015, (professeur à l'école normal supérieure de lyon news groups : fr. géosciences).

Gaida k & Trealb y, 2006, le dessalement des eaux par osmose inverse : l'expérience de véolia water, european desalination society and the university of montpellier ii, montpellier, france,

Hamouni s, 2008, étude des prétraitements en osmose inverse pour une eau de mer cas de la station de dessalement de corso (Alger, est), université des sciences et de la technologie houari Boumediene, magister en génie des procédés.

Hoekstra a y. 2003. virtual water trade : proceedings of the international expert meeting on virtual water trade, delft, the netherlands, value of water research report, series no.12, ihe, delft, the netherlands.

Jean bougis, 2013, revue des aspects maritimes du dessalement d'eau de mer, revue paralia, vol. 6, pp 1.1–1.13.

Journal officiel de la république algérienne.

Kara o & khaldi a, 2017, dessalement de l'eau de mer et impacts environnementaux : cas de la station d'el-mactaâ, article, université des sciences et technologie Mohammed Boudiaf.

Kettab a & Bessenasse m2, 2003 1. École nationale polytechnique (Alger) - laboratoire lrs – eau (e.n.p) 2. Université Saad dahleb (blida). - laboratoire lrs – eau (e.n.p) alger.

Kouadio m, 2015, ingénieur en chimie industrielle.

Le centre de l'information sur l'eau (<https://www.cieau.com/>)

Lefebver m y, (1993), comité des techniciens, circuits eaux de mer : traitement et matériau, édition technip, paris.

Mandri y, 2011, étude paramétrique de procédés de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide, thèse de doctorat, l'université club bernard lyon, france.

Maurel .2001, dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. lavoisier tec&doc.

Maurel a, 2006, dessalement d'eau de mer et des eaux de saumâtre, 2em édition 286p.

Maurel a, 2006, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, 2eme édition, tec &doc.286p.

Maurel a, 2008, dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre 2ème édition

Milano m, 2012 changements globaux en méditerranée : impacts sur le stress hydrique et la capacité à satisfaire les demandes en eau, thèse de doctorat, université Montpellier 2.

Monnot m, 2015, conception d'une filière intensifiée par membrane pour le dessalement autonome d'eau de mer : étude du prétraitement et de son effet sur le biocolmatage. Génie des procédés. insa de Toulouse. Français. nant : 2015isat0040ff. fftel-01579005.

Morsli m, 2013. «Impact des arrêts techniques de l'usine de dessalement de l'eau de mer sur l'entreprise et l'environnement» ; mémoire de magister ; université d'oran

Moudjeber d, 2015, utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement : cas de l'Algérie, thèse de doctorat, université Abdelhamid ibn badis de Mostaganem

Myah tipaza : www.myahtipaza.dz

Paramètres physiques et chimiques de l'eau : indicateurs des pollutions publié le 1 janvier 2015.

Pesson p & villards g, 2006 : la pollution des eaux continentales (esson.p.ed.gauthier villards, paris.)

Raymond d, 1990 : le traitement des eaux 2ème édition de l'école polytechnique de montréal.

Raymond d, 1990 le traitement des eaux deuxième édition revue et enrichie, montréal.

Renault d & wallender w.w, 2000. nutritional water productivity and diets : from crop per drop towards nutrition per drop. agricultural water management, 45 : 275-296.

Rodier j, 1996 « l'analyse de l'eau naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer », 8édition, dunod, paris.

Rovel j, 2012, dessalement de l'eau de mer, technique de l'ingénieur.

Salomon, j. 2012, le dessalement de l'eau de mer est-il une voie d'avenir?, revista de geografia e ordenamento do território, n°1 (junho). centro de estudos de geografia e ordenamento do território.

Shunya i & Shiger s, & ayako m, 1994, the lethal effect of hypertonic solutions and avoidance of marine organisms in relation to discharged brine from desalination plant. desalination, vol.97, pp. 389-399. doi.org/10.1016/0011-9164(94)00102-2

SNC lavan international españa s.a.u- acciona agua s.a.u.

Strathmann h. 2011, introduction to membrane science and technology, wiley-vch,

Tansakul c, 2009, procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse, thèse, 'université de toulouse.

Zizi n, 2013, stations de dessalement de l'eau de mer en Algérie : choix des sites prioritaires, les techniques utilisées et leurs impacts positifs et négatifs sur leur environnement immédiat, thèse de magister en science de la terre-hydrogéologie.

(crecep). « les techniques membranaires : différences et usages », article rédigé par le centre de recherche et de contrôle des eaux de paris

(Étude générale sur le dessalement de l'eau de mer (safaege-france)).

Résumé

Généralement, il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter (eaux de surface, telles que lac et rivière, ou eau souterraine), que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, les sources d'eau douce sont inexistantes ou deviennent insuffisantes au regard de la croissance démographique ou de la production industrielle.

L'eau de mer a une salinité d'environ 35 g/L, avec des variations régionales significatives. Cette concentration a un effet direct sur le choix d'un procédé convenable pour un bon rendement.

Ce présent travail consiste à étudier l'efficacité du prétraitement de l'eau de mer de la station de dessalement d'eau de mer (Fouka–Tipaza), sur un filtre à sable bicouche en amont des membranes dans le but d'augmenter les performances du traitement et de protéger les matériaux, afin d'assurer le bon fonctionnement des membranes.

D'après les résultats obtenus, le prétraitement avec des filtres à sables bicouche est un système performant, vu que l'eau prétraité ne provoque aucun risque de colmatage des membranes.

Mots clés : filtre à sable, dessalement, eau de mer, membrane, station Fouka, colmatage.