



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Hydraulique  
Hydraulique Urbaine

Réf. : HU 41 /2018

---

Présenté et soutenu par :  
**ATTOUI Yaaqoub**

Le : dimanche 24 juin 2018

## Suivi qualitatif de la station de traitement des eaux par osmose inverse (El-Oued)

---

### Jury :

M.	OUAKOUAK Abdelkader	MCB	Université de Biskra	Président
Mlle.	GUERGAZI Saadia	Pr	Université de Biskra	Examineur
Mme.	YOUCEF Leila	Pr	Université de Biskra	Rapporteur

## *Remerciements*

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude avant tout à dieu qui ma aidé et donné le courage pour mener à bien ce modeste travail.

Mon encadreur de travail Madame Pr YOUCEF Leila et Co-encadreur :KHELEIL Oussama , pour la qualité de son encadrement, son orientation méthodologique, ses précieux conseils, sa disponibilité et son extrême gentillesse.

Nous formulons nos remerciements à : Mademoiselle GUERGAZI Saadia directeur de laboratoire de recherche en hydraulique de surface et souterraine (LARHYSS) à l'université de Biskra .

Je tiens aussi à exprimer toutes mes gratitudes et mes remerciements à tous les enseignants de département de Génie Civil et d'Hydraulique de l'Université de Biskra.

Toute ma profonde gratitude va aux agents du complexe touristique ‘ La Gazelle d’Or (El-Oued) , qui m'ont facilité l’obtention des données et des informations nécessaires pour la réalisation de ce travail.

Je remercie tout particulièrement, Messieurs les membres du jury qui ont accepté de lire et de critiquer objectivement mon travail

A toutes les personnes qui n'ont pas hésité un seul instant à m'encourager même avec un sourire je vous remercie de tout mon cœur

# *Dédicace*

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots,  
Que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude a  
Nos chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour  
Noter réussite et nous ont éclairé le chemin par  
Leurs conseils judicieux,  
Nous espérons qu'un jour,  
Nous pourrons leurs rendre un peu de ce qu'ils ont  
Fait pour nous, que dieu leur prête bonheur et longue vie.  
Nous dédions aussi ce travail a nos frères et  
Sœur, mes familles saïf et abderahmane , mes ami oubaida mohamed  
Abdou oussama anwar  
Tous mes professeurs qui nous ont enseigner  
Et a tous ceux qui nous sont chers.*

*Attoui yaaqoub*

## Résumé :

La technique de dessalement des eaux saumâtres en Algérie est devenue parmi les techniques courantes soit pour le traitement des eaux de mer ou les eaux souterraines surtout dans le sud algérien vu la rareté de la disponibilité des eaux douces.

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la performance de la station de dessalement des eaux de forage du complexe touristique « la Gazelle d'Or à El Oued » par osmose inverse.

L'étude a été effectuée par la réalisation des prélèvements des échantillons d'eau au niveau de cinq points de la filière de traitement, ceci une fois par mois (Janvier, Février et Mars 2018).

Le suivi de certains paramètres physico-chimiques (le pH, la conductivité électrique de l'eau le TH, le TAC et les concentrations en ions  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$  et  $SO_4^{2-}$ ) a montré que l'eau à la sortie de la station de traitement des eaux est de très bonne qualité en comparant les valeurs mesurées pour chaque paramètre aux normes de potabilité. Le rendement de l'abaissement de la conductivité électrique à la sortie de l'osmose inverse dépasse 91 % avec une concentration des éléments minéraux qui ne nécessite pas une reminéralisations ultérieure.

La technique de dessalement des eaux souterraines par osmose inverse est une technique de choix qui nécessite une étude sérieuse pour la généralisée dans le territoire Algérien.

**Mots clés :** eaux souterraines, eaux saumâtres, dessalement, osmose inverse, qualité physico-chimique.

## ملخص

إن تحلية المياه المالحة في الجزائر أصبحت من التقنيات الشائعة سواء لمياه البحر أو المياه الجوفية ولا سيما في الجنوب الجزائري ذلك لندرة المياه العذبة.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقدير مدى فعالية محطة تحلية المياه الجوفية التي تزود المركب السياحي " الغزالة الذهبية – بوادي سوف" عن طريق الأسموز العكسي (التناضح العكسي). تمت هذه الدراسة بعد أخذ عينات مائية عند خمس مراحل مختلفة للمعالجة على مستوى المحطة وذلك مرة كل شهر (جانفي، فيفري ومارس 2018).

متابعة تغير بعض العناصر الفيزيائية والكيميائية للمياه (الأس الهيدروجيني، التوصيل الكهربائي للمياه، TH وTAC وتركيز الأيونات  $K^+$ ،  $Na^+$ ،  $NO_2^-$ ،  $NO_3^-$ ،  $PO_4^{3-}$ ،  $Fe^{2+}$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $Cl^-$  و  $SO_4^{2-}$ ) بين أن الماء الموجود عند خروجه من محطة المعالجة ذو نوعية جيدة للغاية من خلال مقارنة القيم المقاسة لكل عنصر مع مقاييس المياه الصالحة للشرب. مردود تخفيض الناقلية الكهربائية عند خروج الماء من مرحلة المعالجة بالأسموز العكسي يتعدى 91 % مع تركيز للعناصر المعدنية لا يتطلب عملية رفع درجة التمعدن.

إن تقنية تحلية المياه الجوفية عن طريق التناضح العكسي هي تقنية الاختيار التي تتطلب دراسة جادة لتعميمها عبر كامل القطر الجزائري.

كلمات مفتاحية: مياه جوفية، مياه مالحة، تحلية المياه، الأسموز العكسي، النوعية الفيزيائية والكيميائية.

## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS .....	I
DEDICASE .....	II
RESUME .....	III
SOMMAIRE .....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES FIGURES.....	I IV
LISTE DES ABREVIATIONS.....	IVI
INTRODUCTION GENERALE .....	1

## Etude bibliographique

### Chapitre 1 : la pratique de la déminéralisation de eaux en Algérie

1.1. introduction.....	3
1.2 .Définitions .....	3
1.2.1. Eaux saumâtres.....	3
1.2.2. déminéralisation des eaux .....	3
1. 3. Etapes de dessalement des eaux de mer.....	4
1.3.1. Captage d'eau de mer.....	4
1.3.1. a)Les forages côtiers .....	4
1.3.1. b)La prise d'eau de surface .....	4
1. 3.2.Le prétraitement d'eau de mer.....	5
1.3.3. Le dessalement.....	5
1.3.4. Pratique de dessalement des eaux de mer en Algérie .....	5
1.4. Pratique de dessalement des eaux souterrains en Algérie.....	7
1.4.1. Déminéralisation des eaux souterrains.....	7
1.4.2. Stations de dessalement des eaux souterraines saumâtres en Algérie.....	8
1.5. Avantages et inconvénients liés au dessalement .....	10
1.6. Conclusion .....	11

## Chapitre 2 :: Techniques de dessalement des eaux

2.1.Introduction.....	12
2.2.Echange d'ions.....	12
2.3. Procédés membranaires.....	13
2.3.1. Généralités.....	13
2. 3.2. Types des membranes .....	13
2. 3.2.1. Membranes organiques .....	13
2. 3.2.2. Les membranes minérales (ou inorganique).....	13
2. 3.2.3. Les membranes composites.....	14
2. 3.2.4. Les membranes échangeuses d'ions (MEI).....	14
2. 3.3. Modes de filtration membranaire .....	15
2. 3.4. Osmose inverse .....	15
2. 3.4.1. Principe de l'osmose inverse.....	16
2. 3.4.2. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse .....	17
2. 3.3.3. Applications industrielles .....	17
2. 3.3.4. Durée de vie des membranes d'osmose inverse.....	18
2. 3.3.5. Nettoyage des membranes .....	18
2. 3.3.5.1. Les rétro lavages .....	18
2. 3.3.5.1. Nettoyages chimiques. ....	19
2. 3.3.6. Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse.....	19
2. 3.4. Nanofiltration .....	20
2. 3.4.1. Définition et principe.....	20
2. 3.4.2. Applications de la nanofiltration.....	21
2. 3.4.3. Différents forme de la membrane de nanofiltration.....	22
2. 3.5. Ultrafiltration.....	22
2. 3.5.1. Définition et principe.....	22
2. 3.5.2. Applications de l' Ultrafiltration.....	23
2. 3.6. Microfiltration.....	23
2. 3.6.1. Définition et principe.....	23
2. 3.6.2. Applications de Microfiltration.....	24
2. 3.6.3. Dispositifs de décolmatage en phase de production .....	24
2. 3.7. Différence entre ultrafiltration, microfiltration, nanofiltration et osmose inverse.....	25
2. 3.8. Électrodialyse (ED).....	27

2.4 . Conclusion.....	28
-----------------------	----

## **Partie expérimentale**

### **Chapitre 1 : Chapitre I Description de la station de déminéralisation par OI**

1.1. Introduction .....	29
1.2. Présentation du complexe La gazelle d'Or.....	29
1.3. Objectifs de la station de déminéralisation des eaux.....	31
1.4. Description de la filière de traitement.....	31
1.4.1. Pompes d'alimentation.....	34
1.4.2. Filtre Multimédia .....	34
1.4.3. Cartouche 20 microns.....	36
1.4.4. Système ultraviolet.....	36
1.4.5. La cartouche de filtration 5 microns.....	37
1.4.6. Pompes à haute pression.....	38
1.4.7. Osmose inverse.....	38
1.4.8. Système (NEP).....	41
1.4.9. Stations doseuses.....	42
1.4.9.1. Anticalcaire.....	42
1.4.9.2. Ajustement du pH.....	43
1.4.9.3. Chloration.....	44
1.5 . Opération et maintenance sur le système d'osmose inverse.....	45
1.5.1. Opération .....	45
1.5.1.A. Démarrage.....	45
1.5.1.B. Arrêt.....	45
1.5.2 Maintenance .....	46
1.5.2. A. Membrane.....	46
1.5.2.B. Tubes de pression.....	46
1.5.2.C. Filtres cartouche.....	46
1.6 .Conclusion.....	47

### **Chapitre 2 : Matériel et méthodes**

2.1. Introduction.....	48
2.2 .Prélèvement des échantillons d'eau.....	48
2.3. Méthodes de dosage.....	50

2.3.1. Dosage des nitrates.....	50
2.3.2. Courbe d'étalonnage.....	51
2.3.3. Dosage des nitrates dans les l'échantillons d'eau.....	52
2.4. Dosage des paramètres de la qualité de l'eau.....	52
1.5. Conclusion.....	54

### **Chapitre 3 Evaluation de la qualité des eaux de la station (1)**

3.1. Introduction.....	55
3.2. Paramètres de qualité destinés pour le suivi .....	55
3.3. Résultats et discussion .....	56
3.3.1. Paramètres physico-chimiques.....	56
3.3.1.1. Le pH.....	56
3.3.1.2. Conductivité électrique.....	56
3.3.1.3. Potassium.....	58
3.3.1.3. Sodium .....	59
3.3.1.4. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ).....	60
3.3.1.5. Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).....	61
3.3.1.6. Phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) et le fer (Fe).....	62
3.3.1.7. Titre hydrométrique (TH).....	63
3.3.1.7.1. Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ).....	65
3.3.1.7.2. Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ ).....	66
3.3.1.8. Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ).....	67
3.3.1.9. Sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ).....	68
3.3.1.10. Titre alcalimétrique complet (TAC).....	69
3.4. Conclusion .....	71
<b>CONCLUSIONS GENERALE .....</b>	<b>72</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERENCES EXPERIMENTALES .....</b>	<b>78</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 1:</b> les grandes stations de dessalement en Algérie.....	<b>06</b>
<b>Tableau 2:</b> Caractéristiques des stations de déminéralisation des eaux à Ouargla.....	<b>09</b>
<b>Tableau 3:</b> Caractéristiques des procédés de séparation.....	<b>26</b>
<b>Tableau 4:</b> Analyses physico-chimiques de l'eau brute alimentant la station de traitement au niveau du complexe (Données de la station en 2017).....	<b>33</b>
<b>Tableau 5:</b> Line principale.....	<b>35</b>
<b>Tableau 6:</b> Line de secours.....	<b>35</b>
<b>Tableau 7:</b> Caractéristiques du filtre multimédia.....	<b>36</b>
<b>Tableau 8:</b> Caractéristique de la cartouche 20 microns.....	<b>37</b>
<b>Tableau 9:</b> Caractéristiques du système Ultraviolet.....	<b>38</b>
<b>Tableau 10:</b> Caractéristiques de la cartouche 5 microns.....	<b>39</b>
<b>Tableau 11:</b> Pompe haute pression ligne principale.....	<b>39</b>
<b>Tableau 12:</b> Pompe haute pression ligne de secours.....	<b>39</b>
<b>Tableau 13:</b> Caractéristiques des membranes de l'osmose inverse de la ligne principale.....	<b>41</b>
<b>Tableau 14:</b> Caractéristiques des membranes de l'osmose inverse de la Ligne de secours...	<b>42</b>
<b>Tableau 15:</b> Caractéristiques du système (NEP).....	<b>42</b>
<b>Tableau 16:</b> Conditions d'utilisation de l'anticalcaire Ligne principale.....	<b>43</b>
<b>Tableau 17:</b> Conditions d'utilisation de l'anticalcaire Ligne de secours.....	<b>44</b>
<b>Tableau 18:</b> Ajustement du pH au niveau de la ligne principale.....	<b>44</b>
<b>Tableau 19:</b> Ajustement du pH au niveau de la ligne de secours.....	<b>44</b>
<b>Tableau 20:</b> Conditions de la chloration dans la ligne principale et la ligne de secours .....	<b>45</b>
<b>Tableau 21:</b> Données de la courbe d'étalonnage pour le dosage des nitrates.....	<b>52</b>
<b>Tableau 22 :</b> Classification de l'eau en fonction de la valeur de la dureté totale (TH°F).....	<b>64</b>

## **LISTE DES FIGURES**

<b>Figure 1:</b> Schéma général d'une installation de dessalement.....	2
<b>Figure 2:</b> Répartition géographique des grandes stations de dessalement sur le littoral Algérien....	06
<b>Figure 3:</b> Photos d'une station de déminéralisation de l'eau potable à Ouargla.....	10
<b>Figure 4:</b> Image MEB de la coupe transversale d'une membrane composite polyamide / polysulfone.....	14
<b>Figure 5:</b> Filtration en mode frontal (a) et tangential (b).....	15
<b>Figure 6 :</b> Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....	16
<b>Figure 7:</b> Schéma simple du procédé d'osmose inverse.....	17
<b>Figure 8:</b> Schéma du module de l'osmose inverse indiquant l'entrée de l'eau brute et la sortie du perméat et de la saumure.....	18
<b>Figure 9:</b> Schéma du principe de la nanofiltration.....	21
<b>Figure 10:</b> Schéma du principe de l'ultrafiltration.....	23
<b>Figure 11:</b> Schéma de principe de la microfiltration tangentielle.....	24
<b>Figure 12:</b> Représentation schématique des procédés de rétrofiltration.....	25
<b>Figure 13:</b> Hiérarchie des procédés membranaires.....	26
<b>Figure 14:</b> Principe de l'électrodialyse.....	27
<b>Partie expérimentale</b>	
<b>Figure 15:</b> Situation géographique du complexe touristique la Gazelle d'Or.....	29
<b>Figure 16:</b> Complexe touristique ' La Gazelle d'Or (El-Oued) '.....	30
<b>Figure 17 :</b> Schéma hydraulique de la station de traitement au niveau du complexe la gazelle d'Or. El Oued .....	33
<b>Figure 18:</b> Filtre multimédia .....	35
<b>Figure 19 :</b> Cartouche 20 microns au niveau de la station.....	36
<b>Figure 20:</b> Système UV au niveau de la station.....	37
<b>Figure 21:</b> Modules de l'osmose inverse au niveau de la station.....	39
<b>Figure 22 :</b> Disposition de ligne principale des membranes de l'osmose inverse.....	39
<b>Figure 23:</b> Schéma osmoseur ligne de secours.....	40
<b>Figure 24:</b> Points de prélèvements au niveau de la station de traitement.....	49
<b>Figure 25:</b> Spectrophotomètre UV-visible utilisé pour le dosage des nitrates.....	50
<b>Figure 26:</b> Courbe d'étalonnage de la mesure des nitrates ( $\lambda = 220 \text{ nm}$ ).....	50
<b>Figure 27 :</b> pH mètre utilisé au cours des essais.....	52
<b>Figure 28:</b> Conductimètre utilisé pour la mesure de la conductivité des échantillons d'eau....	52

<b>Figure 29:</b> Spectrophotomètre à flamme utilisé pour le dosage du sodium et du potassium...	<b>54</b>
<b>Figure30 :</b> Multi paramètre photomètre HI83200.....	<b>54</b>
<b>Figure 31:</b> Valeurs du pH de l'eau mesurés au niveau de différent points de prélèvement....	<b>56</b>
<b>Figure 32:</b> Evolution de la conductivité électrique de l'eau mesurée dans différents points de la station.....	<b>57</b>
<b>Figure 33 :</b> Rendement de la réduction de la conductivité électrique de l'eau de forage par l'osmose inverse pour les trois prélèvements .....	<b>57</b>
<b>Figure 34:</b> Evolution du potassium $K^+$ dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station.....	<b>58</b>
<b>Figure 35:</b> Rendement d'élimination du potassium de l'eau de forage par osmose inverse pour les trois prélèvements .....	<b>58</b>
<b>Figure 36 :</b> Evolution de la teneur du $Na^+$ dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station...	<b>59</b>
<b>Figure 37 :</b> Rendement d'élimination du sodium de l'eau de forage .....	<b>60</b>
<b>Figure 38:</b> Evolution des nitrites $NO_2^-$ dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station .....	<b>60</b>
<b>Figure 39 :</b> Rendement d'élimination du nitrites $NO_2^-$ de l'eau de forage par l'osmose inverse pour les trois périodes de prélèvements .....	<b>61</b>
<b>Figure 40 :</b> Evolution des nitrates ( $NO_3^-$ ) dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station....	<b>62</b>
<b>Figure 41:</b> Rendement d'élimination des nitrates de l'eau de forage pour les trois périodes de prélèvements.....	<b>62</b>
<b>Figure 42 :</b> Evolution de la dureté totale de l'eau entre l'entrée et la sortie de la station.....	<b>64</b>
<b>Figure 43 :</b> Rendement d'élimination du TH de l'eau pour les trois périodes de prélèvements.....	<b>64</b>
<b>Figure 44:</b> Evolution du calcium dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station.....	<b>65</b>
<b>Figure 45 :</b> Rendement d'élimination du calcium de l'eau de forage par l'osmose inverse pour les trois prélèvements.....	<b>65</b>
<b>Figure 46:</b> Evolution du magnésium dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station .....	<b>66</b>
<b>Figure47:</b> Rendement d'élimination du magnésium de l'eau de forage par osmose inverse pour les trois prélèvements. ....	<b>67</b>
<b>Figure 48 :</b> Evolution du chlorure dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station.....	<b>67</b>
<b>Figure 49:</b> Rendement d'élimination du magnésium de l'eau de forage par osmose inverse pour les trois prélèvements.....	<b>68</b>
<b>Figure 50 :</b> Evolution de sulfates dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station.....	<b>69</b>
<b>Figure 51 :</b> Rendement d'élimination des sulfates de l'eau de forage par osmose inverse pour les trois prélèvements .....	<b>69</b>
<b>Figure 52:</b> Evolution du TAC dans l'eau entre l'entrée et la sortie de la station. ....	<b>70</b>

**Figure 53** :Rendement d'élimination du TAC de l'eau de forage par osmose inverse pour les trois prélèvements..... 70

### Liste des abréviations

(MEB) : Microscope Electronique à Balayage

(OI) : Osmose inverse

(NF) : Nanofiltration

(MF) : Microfiltration

(UF) : Ultrafiltration

(MEI) : membranes échangeuses d'ions

(ED) : Électrodialyse

(UV) : Ultraviolet

(NEP) : Nettoyage En Place

OMS : Organisation mondiale de la santé

PH : Potentiel Hydrogène

TAC Titre alcalimétrique complet

TH : Dureté totale

(CE) : Conductivité électrique

# Introduction générale

L'eau est un élément indispensable à la vie de l'homme. Elle recouvre près de 70% de la surface de la terre et constitue le liquide le plus abondant sur la planète. Les besoins d'eau douce sont de plus en plus croissants. Les pressions qui pèsent sur les ressources en eau sont de plus en plus fortes, principalement en raison des activités humaines et notamment l'urbanisation, la croissance démographique, l'augmentation du niveau de vie, la concurrence croissante pour les ressources en eau et la pollution. De plus, le changement climatique et les variations des conditions naturelles viennent aggraver ces pressions (Ait khaldoun, 2011). Essentielle pour la vie, l'eau douce se trouve en quantité limitée sur terre et sa qualité est constamment menacée. Aujourd'hui, selon l'OMS, une personne sur trois dans le monde n'a pas assez d'eau pour répondre à ses besoins quotidiens (Fathalli, 2011)

L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ 1 million de km<sup>3</sup>. Mais, la répartition de cette eau est très inégale (Tahri et al, 2010).

À l'échelle mondiale, le problème s'aggrave à mesure que les villes grandissent, que la population augmente et que l'agriculture, l'industrie et les ménages ont besoin d'eau en quantités toujours plus grandes. Cela risque de mettre gravement en péril le ravitaillement en eau douce d'une grande partie de l'humanité et par voie de conséquence d'aggraver les conflits entre pays voisins ayant des ressources communes (Fathalli, 2011).

Face à cette situation, le dessalement des eaux de mer ou des eaux saumâtres constitue ainsi une des réponses possibles pour s'adapter à la pénurie croissante des ressources en eau (Fathalli, 2011).

En dessalement le principal procédé membranaire est l'osmose inverse (OI) qui représente à l'heure actuelle 53 % des capacités mondiales d'eau produites par dessalement et a ainsi dépassé les procédés de distillation depuis 2001 (Zemali, 2004).

L'expérience algérienne en matière de dessalement des eaux est en développement (Amitouche, 2016 ; Bourouga, 2015).

L'objectif de cette étude est d'observer l'efficacité de dessalement des eaux par la technique d'osmose inverse. Ceci par le suivi de la qualité physico-chimique des eaux brute et traitée au niveau de la station de dessalement des eaux de forage du complexe touristique « la Gazelle d'Or à El Oued ».

Le manuscrit se composera en deux parties principales. Chaque partie sera présentée en plusieurs chapitres.

La première partie de ce travail sera relative à l'étude bibliographique, subdivisée en 2 chapitres :

- Chapitre I: Une étude bibliographique sur la pratique du dessalement des eaux en Algérie.
- Chapitre II: sera consacré à la présentation d'une généralité sur les techniques existantes sur le dessalement des eaux.

La deuxième partie du mémoire concerne l'étude expérimentale. Cette partie sera présentée en trois chapitres :

- Chapitre I : Description de la station de déminéralisation par OI.
- Chapitre II : nous décrivons la procédure expérimentale suivie pour la réalisation des prélèvements et des analyses physico-chimiques au niveau du laboratoire.
- Chapitre III: L'objectif de ce chapitre est de présenter et de discuter les résultats des analyses physico-chimiques des eaux souterraines (El-Oued) brutes et traitées par la station d'osmose inverse. Les résultats de cette étude vont nous permettre de contrôler la performance et de suivre l'efficacité de différentes unités de la station.

# Etude bibliographique

# Chapitre I

## Pratique de dessalement des eaux en Algérie

## 1.1 Introduction

L'Algérie en vue d'assurer une sécurité future en matière de mobilisation de l'eau et faire face à la rareté de la ressource devant le phénomène de changement climatiques 'est orientée vers les eaux non conventionnelles comme le dessalement des eaux de mère et des eaux souterraines saumâtres.

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

Au cours de ce chapitre, nous allons présenter une synthèse sur les données existantes sur les stations de dessalement des eaux en Algérie.

## 1.2 Définitions

### 1.2.1 Eaux saumâtres

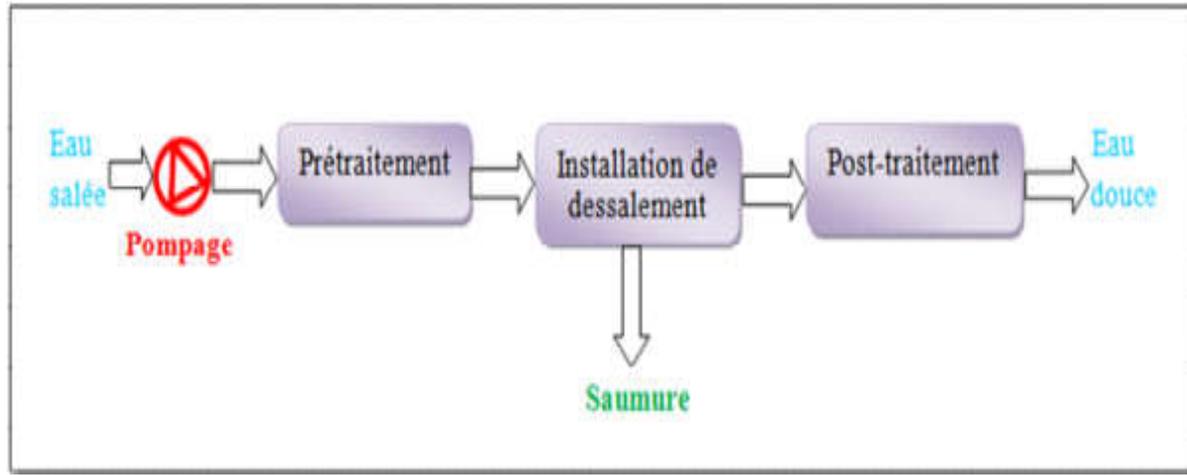
Une eau saumâtre est une eau dont la teneur en sel est sensiblement inférieure à celle de l'eau de mer. La concentration totale de sel dissous y est généralement comprise entre 1 et 10 g/la lors qu'elle est (en moyenne) de 35 g/l pour l'eau de mer. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui sont chargées en sels entraversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le  $\text{CaCO}_3$ , le  $\text{CaSO}_4$ , le  $\text{MgCO}_3$  et la  $\text{NaCl}$  (Benabadji et Saidi,2016)

### 1.2.2 Dessalement des eaux

Le dessalement consiste à avoir une eau de faible concentration en sels dissous à partir d'une eau saumâtre ou salée (eau de mer) par des techniques tels que :l'échange d'ions, la distillation et les procédés membranaires (Bourouga,2015). Cette dernière qu'on va se focaliser et qui représente la technique utilisée dans notre thème d'étude.

### 1. 3. Etapes de dessalement des eaux de mer

Le dessalement des eaux de mer passe par plusieurs étapes (Figure01 )commençant par le captage des eaux, le prétraitement, le dessalement et le post traitement ou minéralisation (Atallah,2014).



**Figure 01** :Schéma général d'une installation de dessalement (Benaissa, 2013).

#### 1.3.1. Captage d'eau de mer

Consiste à pomper l'eau de mer vers la station de dessalement, cette eau doit être bonne du point de vue matières en suspension. Sont utilisés dans cette étape deux types de technologies (Boukhiar ,2016):

##### a)Les forages côtiers

Soit verticaux soit sous forme de galeries horizontales permettant d'obtenir une eau de très bonne qualité et relativement stables.

##### b)La prise d'eau de surface

Peut être faite en pleine mer. Dans le cas idéal, le captage doit être effectué en zone profonde, éloigné de la côte, protégé des pollutions et des forts courants.

### 1.3.2 Le prétraitement d'eau de mer

Ce fait par des procédés physico-chimique afin d'éliminer les impuretés constituées essentiellement de :

Matières solides en suspension.

Matières en émulsion.

Matières colloïdales.

Matières organiques dissoutes.

### 1.3.3 Le dessalement

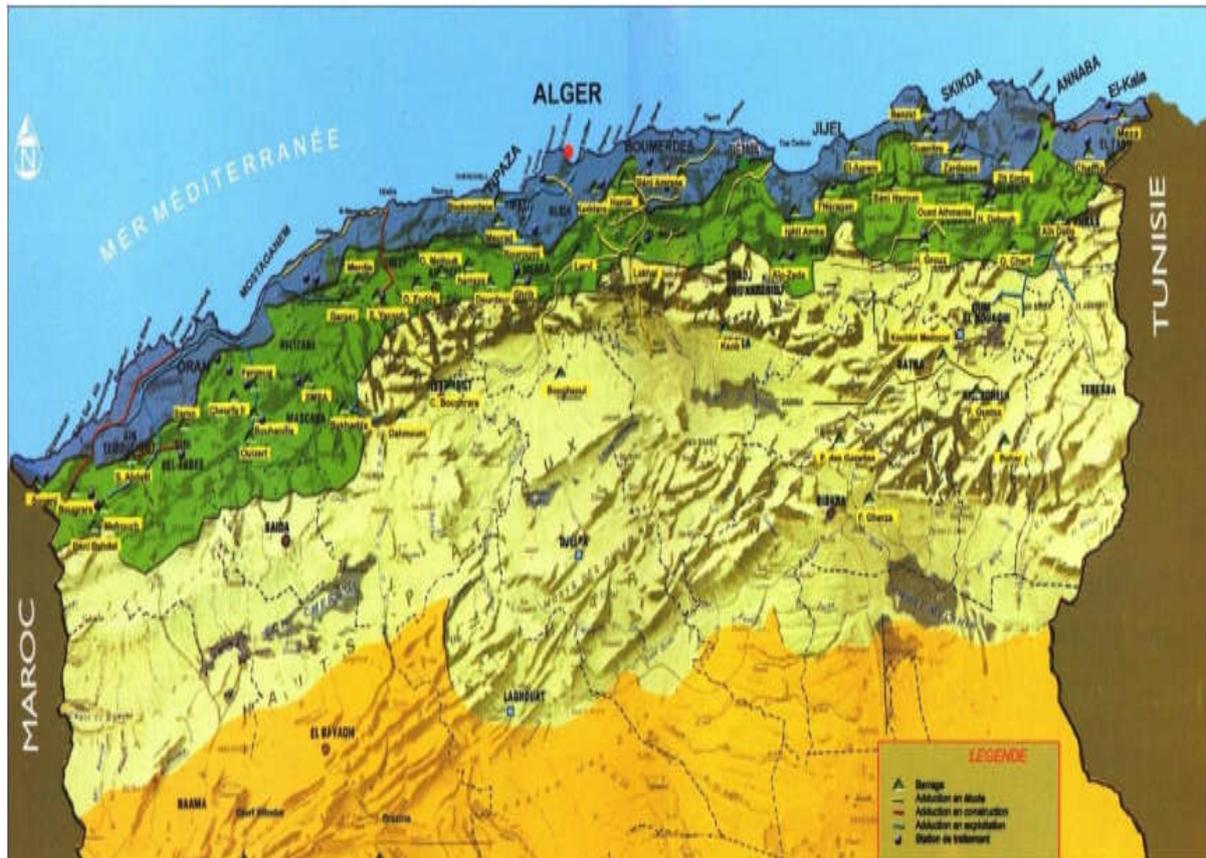
Plusieurs méthodes permettent la séparation de l'eau de mer en une eau douce contenant une faible concentration des sels dissouts, et une solution concentrée en sels. On citera notamment la distillation, l'osmose inverse, la congélation et l'électrodialyse. Cependant, les deux technologies utilisées actuellement, à l'échelle industrielle, sont celles basées sur la distillation et l'osmose inverse (Youssef,2011)

### 1.3.4. Pratique de dessalement des eaux de mer en Algérie

L'Algérienne des Eaux (entreprise nationale) qui a amorcé la première expérience en matière de dessalement de l'eau de mer par la réalisation de 23 stations monobloc, d'une capacité totale de  $57.500 \text{ m}^3/\text{j}$ , dans le cadre d'un programme d'urgence, dans les wilayas de Tlemcen, Oran, Tipaza, Alger, Boumerdès, Skikda et TiziOuzou et 14 grandes stations d'une capacité totale de  $1.940.000 \text{ m}^3/\text{j}$  sont mises en service en 2003 et 2005. Des autres stations sont mises en service dans les années 2009, 2010 et 2011. Il s'agit notamment des stations de Skikda ( $100000 \text{ m}^3/\text{j}$ ), Beni Saf ( $200\ 000 \text{ m}^3/\text{j}$ ), Souk Tlata et Honaine à Tlemcen ( $200\ 000 \text{ m}^3/\text{j}$  de chacune), Mostaganem ( $200\ 000 \text{ m}^3/\text{jour}$ ), Fouka et Oued Sebt à Tipaza (respectivement  $120000 \text{ m}^3/\text{j}$  et  $100\ 000 \text{ m}^3/\text{j}$ ) et Cap Djinet à Boumerdès ( $100\ 000 \text{ m}^3/\text{j}$ ). D'autres stations sont, également, en cours de réalisation à la wilaya de Chlef ( $200\ 000 \text{ m}^3/\text{j}$ ), El Tarf ( $50000 \text{ m}^3/\text{j}$ ) et la plus importante station est celle de Magtaâ, à Mostaganem, avec une capacité de production de  $500\ 000 \text{ m}^3/\text{j}$  (Mozas et Ghosn, 2013).

La production en eau dessalée, selon les experts, passe de  $500\ 000 \text{ m}^3/\text{jour}$  en 2008 à  $1\ 100\ 000 \text{ m}^3/\text{jour}$  en 2009 et  $2\ 260\ 000 \text{ m}^3/\text{jour}$  en 2011 pour atteindre  $4 \text{ m}^3/\text{j}$  en 2020 (Amitouche,2016).

La localisation des stations de dessalement des eaux de mer en Algérie est présentée dans la figure 02 .



**Figure 02 :** Répartition géographique des grandes stations de dessalement sur le littoral Algérien  
(Amitouche,2016)

Dans le tableau 01 on présente la capacité de production des grandes stations de dessalement des eaux de mer en Algérie, cette capacité semble très appréciable.

**Tableau01:** Les grandes stations de dessalement en Algérie.(Amitouche,2016)

	Station	wilaya	Capacité (m <sup>3</sup> /j)	Mise en service
01	Kahramaarzew	Oran	90 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2005
02	Hamma	Alger	200 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2007
03	Skikda	Skikda	100 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2007
04	Beni saf	Ain Ti mouchent	200 000	4 <sup>ème</sup> trimestre 2007
05	Mostaganem	Mostaganem	200 000	1 <sup>ème</sup> trimestre 2008
06	Douaouda	Alger Ouest	100 000	1 <sup>ème</sup> trimestre 2008

<b>07</b>	Sidnaouchaa	Telemcen	200 000	2 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>08</b>	Honain	Telemcen	200 000	2 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>09</b>	Cap blanc	Oran	200 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>10</b>	El_taref	El-Taref	50 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>11</b>	Ténés	Chlef	200 000	3 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>12</b>	Magtaà	Mostaganem	500 000	4 <sup>ème</sup> trimestre 2008
<b>Total</b>	12 stations		2 200 000	

#### 1.4. Pratique de la dessalement des eaux souterraines en Algérie

L'eau d'une nappe souterraine à une composition généralement plus stable que les eaux de surface et elle est plus riche en sels minéraux. Les nappes d'eau souterraine revêtent une importance énorme pour l'approvisionnement en eau, car elles constituent le plus grand réserves d'eau potable dans la plupart des régions du monde, c'est à dire les nappes souterraines produisent généralement une eau de bonne qualité et longtemps considéré comme pure et protégées par le sol contre les diverses activités humaine.

##### 1.4.1. Minéralisation des eaux souterraines

La minéralisation correspond à la totalité des sels dissous contenus dans l'eau. Elle peut être présentée par la conductivité. Selon (Tabouche et Achour,2004), toutes les valeurs mesurées de la conductivité des eaux du sud Algérien (dans la région orientale) indiquent une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . De plus, elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M.S ; soit 1500 mg/l.

l'eau du Sud contient une charge importante de minéraux dépassant les normes requises, ce qui la rend lourde et non mousseuse. La mission de l'Etablissement Public « Algérienne des Eaux » (E.P-ADE) est de diminuer le taux de sels minéraux pour obtenir un liquide à la limite de l'eau minérale . ([www.elmoudjahid.com/](http://www.elmoudjahid.com/)).

Les eaux de la nappe de l'Albien sont modérément minéralisées, les concentrations en sels varient entre 1,73 g/l (Albien Tamerna) à Touggourt et 3,01 (Albien Ouled Djellal) à Biskra. Une progression de la minéralisation a été observé et se fait du Sud- Ouest (à Ouargla) vers le Nord- Est (à Biskra), cette évolution se fait de 2 à 3 g/l (de substances minérales dissoutes

dans l'eau). Pour la nappe du miopliocène de la région d'Ouargla, les concentrations varient entre une valeur minimale de 2,07 g/l et une valeur maximale de 5,19g/l.

#### 1.4.2. Stations de dessalement des eaux souterraines saumâtres en Algérie

Le volume d'eaux saumâtres mobilisées actuellement est estimé à **510** hm<sup>3</sup>/an dont **160**hm<sup>3</sup>/an sont en exploitation pour satisfaire l'alimentation en eau potable. Douze (**12**) stations sont en exploitation dans les wilayas de : Tlemcen, Oran, TiziOuzou, Bejaia, Illizi, Biskra, Ouargla, Médéa et Ain Defla.

La production d'eau potable est de **24,2**hm<sup>3</sup>/an. Aussi, 241 hm<sup>3</sup>/an d'eaux saumâtres seront déminéralisés à partir d'un volume mobilisé de 464 hm<sup>3</sup>/an et ce à travers 35 stations et monoblocs de déminéralisation qui sont en phase d'étude et de travaux, inscrites dans différents programmes.

La capacité globale des stations de déminéralisation des eaux saumâtres (SDES) est de 91,5hm<sup>3</sup>/an. Le débit global mobilisé en amont dépasse les 428,9 hm<sup>3</sup>/an. La situation se présente comme suit(Bourouga , 2015) :

- En étude:**06** stations(Tamanrasset 4. El Oued 2) dont 04 SDES dont les études sont achevées (El Oued 2 et Tamanrasset 2) .
- Etude et réalisation : **01** station (Béchar) .
- En travaux:**12** stations (Ouargla 10, El Oued et Tamanrasset(ADE)).
- Travaux en cours de lancement : **02** station à l'indicatif de l'ADE (Tindouf et Illizi).
- Installation de SDES Monoblocs : **15** stations (El Oued) dont : **01** station achevée et mise en service et **14** stations en cours d'installation .
- Selon la documentation disponible on détail à titre d'exemple quelques données sur les stations de déminéralisation de l'eau potable à Ouargla :

La wilaya d'Ouargla est alimentée en eau potable exclusivement des nappes aquifères .Elle compte également 138 forages, dont 116 en service destinés à l'AEP en plus de 93 réservoirs d'une capacité de stockage de 56.590 m<sup>3</sup>.

Les 9 stations concernées par le projet de la ville de Ouargla sont actuellement alimentées en eau brutes à partir de 27 forages exploités, dont 2 forages Albiens (Tableau 02 , Figure03 ).

Le projet consiste à améliorer la qualité de l'eau potable actuellement distribuée à Ouargla et d'en réduire la salinité qui est actuellement de 3 à 6 g/l pour la ramenée après désalinisation à 0,8 g/l.

Les différentes stations permettront de traiter 70500m<sup>3</sup>/J pour fournir 75% d'eau déminéralisée, soit environ 53 000 m<sup>3</sup>/j (www.ade.dz).

**Tableau 02:** Caractéristiques des stations de déminéralisation des eaux à Ouargla  
(Algérienne des Eaux)

Nom de la station	Capacité d'eaux brutes (m <sup>3</sup> /j)	Objectif d'eaux traitées (m <sup>3</sup> /j)	nbre d'habitant servie moyenne de 150 l/J.hab	Forages
<b>GHARBOUZ (S1)</b>	3 000	2250	15000	2
<b>AIN EL KHEIR (S2)</b>	9 000	6750	45000	5
<b>HAI BOUZID (S3)</b>	4 500	3375	22500	3
<b>MEKHADMA (S4)</b>	3 000	2250	15000	3
<b>IFRI-GARA (S5)</b>	10500	7850	52333	4
<b>ZYAYNA (S6)</b>	3 000	2250	15000	2 (1 Albien)
<b>EL KHAFDI (S7)</b>	7 500	5625	37500	3
<b>BAMENDIL VILLAGE (S8)</b>	3 000	2250	15000	2
<b>EL HADEB (S9)</b>	27 000	20250	135000	3 (Albiens)



**Figure 03 :**Photos d'une station de déminéralisation de l'eau potable à Ouargla

### 1.5. Avantages et inconvénients liés au dessalement des eaux

Le dessalement de l'eau de mer apporte une réponse aux besoins d'eau douce. Il présente de nombreux avantages dont (Si Mohammed, 2013) :

- D'une part, il peut s'avérer très utile dans les situations d'urgence, lorsque les réserves d'eau ont subi des infiltrations d'eau salée, à la suite, par exemple, de marées salines, comme cela s'est produit récemment avec les tsunamis en Asie.
- D'autre part, l'irrigation à base d'eau dessalée est bénéfique pour l'environnement car elle permet une salinisation réduite du sol .

Toutefois, quel que soit le procédé utilisé, il n'est pas sans inconvénients :

- Besoins énergétiques importants
- Rejet des saumures concentrées en mer ou injectées dans le sol
- Emploi de produits chimiques pour nettoyer les membranes
- Un volume d'eau produite insuffisant comparé au volume d'eau de mer prélevé
- La dégradation de l'environnement marin due à l'extraction et au rejet d'eau avec une quantité de sels très élevée (rejet des concentrats)

## **1.6.Conclusion**

Selon la synthèse bibliographique que nous avons réalisé, il semble évident que notre pays a une bonne expérience dans le domaine de dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres par adaptation de la technique de l'osmose inverse. Malgré les difficultés que peut causer cette technique (coût et entretien), la forte demande d'une eau de consommation douce incite les autorités à l'orientation vers les eaux non conventionnelles.

## Chapitre II

### Techniques de dessalement des eaux

## 2.1.Introduction

Le dessalement des eaux saumâtres et des eaux de mer est un sujet très important actuellement, et l'idée de réaliser des unités de dessalement devient jour après jours une nécessité, car elle permet la satisfaction des besoins des consommateurs en eau potable du côté qualitatif (eau de bonne qualité, douce et agréable) (El Harrak et al ,2015). Le dessalement est une solution de plus en plus commune pour fournir de l'eau douce dans de nombreuses régions du monde. Parmi toutes les technologies de dessalement, l'osmose inverse est la technologie la plus répandue au niveau international. L'objectif de ce chapitre est de présenter et d'expliquer le principe des différentes techniques de la déminéralisation des eaux.

## 2.2.Echange d'ions

Les traitements par échange d'ions sont très utilisés. Ils consistent à faire passer la solution à traiter sur un matériau susceptible d'échanger un ion (le plus fréquemment  $\text{Na}^+$  ou  $\text{H}^+$ ) avec le cation polluant (Mabrouk, 2012).

Les échangeurs d'ions les plus couramment rencontrés peuvent être soit de nature inorganique comme les zéolithes, soit organique. Ces derniers, plus connus sous le nom de résines, sont des polymères, souvent des polystyrènes reliés par des groupements divinylbenzènes, sur lesquels sont greffés des groupements ionisés (Mabrouk, 2012).

Dans le cas des échangeurs de cations, les groupements les plus utilisés sont les sulfonâtes pour les résines fortement acides et les carboxylates pour les résines faiblement acides.

De nombreuses applications existent industriellement :

- Adoucissement,
- Déminéralisation,
- Traitement d'effluents (traitement de surface, galvanoplastie...).

Les traitements par échange d'ions présentent l'avantage d'une mise en œuvre facile, mais ont pour inconvénient un coût d'investissement relativement élevé lorsque les volumes à traiter sont importants, et des frais de fonctionnement non négligeables liés à la régénération du matériau lorsqu'il est saturé (Chikhi,2008)

## 2.3.Procédés membranaires

### 2.3.1. Généralités

La filtration sur membrane est une technique de séparation liquide/liquide, liquide/solide, liquide/gaz ou gaz/gaz qui fait intervenir une membrane semi-perméable et sélective sous l'effet d'une force motrice. Cette force motrice peut être soit un gradient de pression (cas de l'osmose inverse (OI), de la nanofiltration (NF), de l'ultrafiltration (UF) et de la microfiltration (MF)), un gradient de concentration (cas de la dialyse) ou un gradient de potentiel électrique (cas de l'électrodialyse) (Arousseau,2014).

Les matériaux membranaires doivent pouvoir être mis en forme facilement et permettre la fabrication d'une membrane fine, résistante, sélective et perméable. Quatre grandes catégories existent : les membranes organiques ou polymères, les membranes minérales. les membranes mixtes et les membranes échangeuses d'ions (MEI) (Belgaid,2015) .

### 2. 3.2 Types des membranes

#### 2. 3.2.1 Membranes organiques

Elles sont fabriquées, pour la plupart d'entre elles, à partir de polymères organiques (acétate de cellulose, polysulfones, polyamides, ...). chaque type de polymère possède des avantages et des inconvénients qu'on doit tenir compte. Les qualités de ces matériaux leur confèrent une grande adaptabilité aux différentes applications. Environ 90 % des membranes d'ultrafiltration et de microfiltration sont constituées de membranes organiques (Metaiche, 2014).

Les membranes organiques sont les plus utilisées malgré leurs résistances thermiques et chimiques relativement limitées car elles sont nettement moins chères que les membranes minérales. Elles ont ainsi permis d'étendre la technologie de la filtration membranaire à différents secteurs industriels et par conséquent d'augmenter significativement le nombre des applications des procédés membranaires .

#### 2. 3.2.2 Les membranes minérales (ou inorganique)

Ces membranes présentent une structure à la fois composite et asymétrique : elles sont composées d'un support macroporeux à base d'alumine ou de carbone sur lequel sont déposées un nombre variable de couches d'oxydes minéraux (aluminium, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>...).

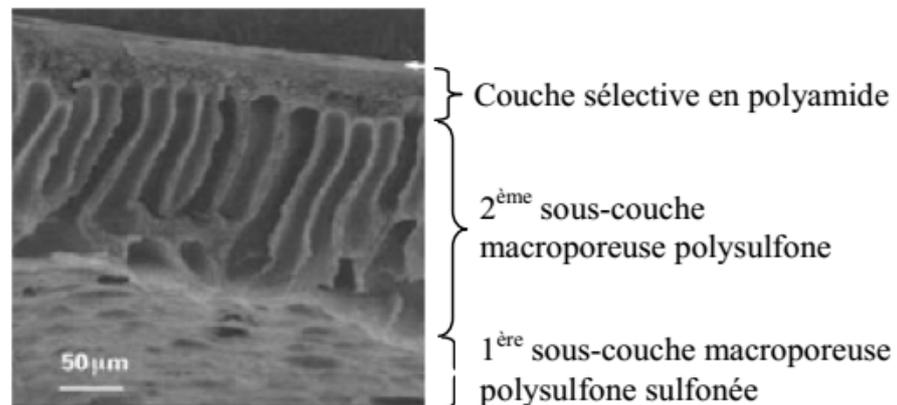
Le rôle de ces couches filtrantes de faible épaisseur est d'assurer la séparation des solutés grâce à un rayon de pore adapté, alors que le support assure la résistance mécanique.

Ces membranes peuvent travailler dans des conditions plus sévères que les membranes organiques grâce à leur résistance mécanique, chimique et thermique (jusqu'à P=40 bar, T=120°C et pH=1 à 14) ( El Khabbaze,2008).

### 2. 3.2.3 Les membranes composites

Elles sont constituées d'un assemblage de deux ou plusieurs couches de matériaux différents et présentant différentes porosités. Leur développement vise une optimisation de la perméabilité de la membrane pour une faible épaisseur (figure04).

Elles sont aussi appelées membranes "Thin Film Composite" (TFC). Il existe aussi des assemblages entre matériaux organiques et minéraux. Les membranes composites comportent deux types de couches : les couches actives (ou couche filtrante) et le support assurant de bonnes propriétés mécaniques(Bikai,2015)



**Figure 04:** Image MEB de la coupe transversale d'une membrane composite polyamide / polysulfone (Bikai ,2015)

### 2. 3.2.4 Les membranes échangeuses d'ions (MEI)

Ces membranes sont appelées aussi membranes perméables aux ions (MPI) ou membranes ioniques utilisées en électrodialyse : ce sont des membranes organiques denses échangeuses d'ions et composées de matériaux analogues à ceux des résines échangeuses d'ions : polymères organiques, conducteurs ioniques (membranes cationiques : perméables aux cations et membranes anioniques : perméables aux anions)( Hamdaoui,2016).

### 2. 3.3 Modes de filtration membranaire

Une opération de filtration membranaire peut être mise en œuvre selon 2 configurations différentes: en mode frontal (dead-end filtration) ou tangentiel (cross-flow filtration).

Dans le cas d'une filtration en mode frontal, le fluide à filtrer circule perpendiculairement à la membrane. Il en découle un débit de concentrât  $Q_R$  nul (figure 05). Ce mode de fonctionnement induit une accumulation importante de matière à la surface de la membrane au cours de son utilisation, ce qui en réduit progressivement la perméabilité. Afin de limiter ce phénomène, la filtration en mode tangentiel consiste à imposer au fluide à filtrer une circulation parallèle à la surface de la membrane (figure 05). Cette configuration permet d'obtenir dans une certaine gamme de débits, des contraintes de cisaillement constantes à la surface de la membrane, et donc de limiter le colmatage (Pellegrin, 2013).

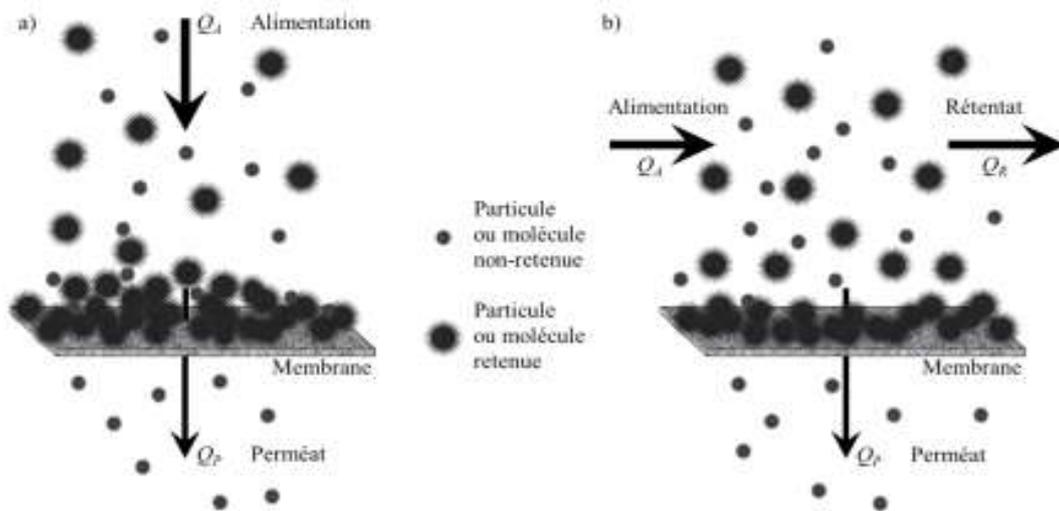


Figure 05: Filtration en mode frontal (a) et tangentiel (b) (Pellegrin, 2013).

### 2. 3.4. Osmose inverse

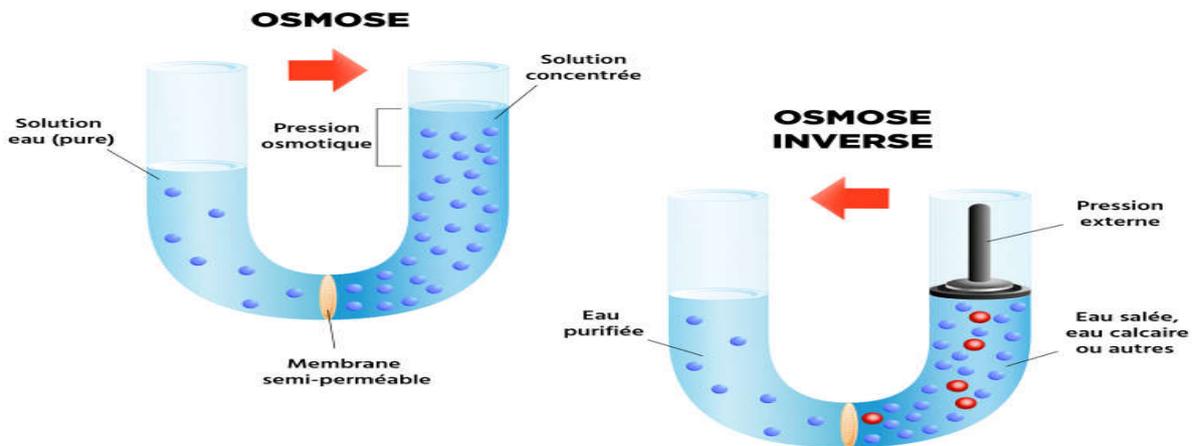
L'osmose inverse (OI) : Typiquement utilisée pour le dessalement de l'eau de mer ou la déminéralisation des eaux saumâtres. L'osmose inverse est la plus ancienne des techniques de séparation par membrane. Elle utilise des membranes denses pour retenir la majorité des solutés et ne laisser passer que le solvant (l'eau, en général) (Romdhane, 2014).

### 2. 3.4.1 Principe de l'osmose inverse

L'osmose est un phénomène qui tend à équilibrer la concentration en soluté de part et d'autre d'une membrane semi-perméable. C'est un phénomène naturel, notamment à travers les membranes cellulaires.

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux 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 va s'annuler.

Si pour simplifier, on suppose que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (Figure 06), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée ; c'est le phénomène d'osmose inverse (Atallah, 2014).



**Figure 06 :** Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse

([http://perso.wanadoo.fr/jose.braun/separation/uf\\_et\\_oi.htm](http://perso.wanadoo.fr/jose.braun/separation/uf_et_oi.htm))

Le procédé OI (Osmose inverse) consiste à séparer les substances dissoutes d'une solution salée pressurisée en la faisant diffuser à travers une membrane. En pratique, l'eau d'alimentation est pompée dans une cuve étanche où elle est pressurée contre la membrane. À mesure qu'une fraction de l'eau diffuse à travers la membrane, la teneur en sels de la fraction restante augmente. Dans le même temps, une partie de cette eau d'alimentation est rejetée, sans diffuser à travers la membrane. Sans ce rejet régulateur, l'eau d'alimentation pressurisée

continuerait à accroître sa concentration en sels, ce qui engendrerait des problèmes tels que la précipitation des sels sursaturés et une pression osmotique accrue à travers la membrane.(Romdhane,2014)

### 2. 3.4.2. Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Un système OI se compose des éléments de base suivants (Figure07 ) :

- a) Pré-traitement
- b) Pompes à haute pression
- C) Unité d'osmose inverse
- D) Post-traitement

Les unités d'osmose inverse comportent principalement en plus des modules les éléments suivants:

- Une pompe à haute pression (40 à 80 bars) pour l'osmose inverse.
- Un échangeur de chaleur pour maintenir les liquides aux températures souhaitées.
- Une étape d'élimination préalable des plus grosses particules est toujours nécessaire.( Filtre Multimédia, Cartouche 20 microns, Cartouche 5 microns) ( Noureddine,2008)

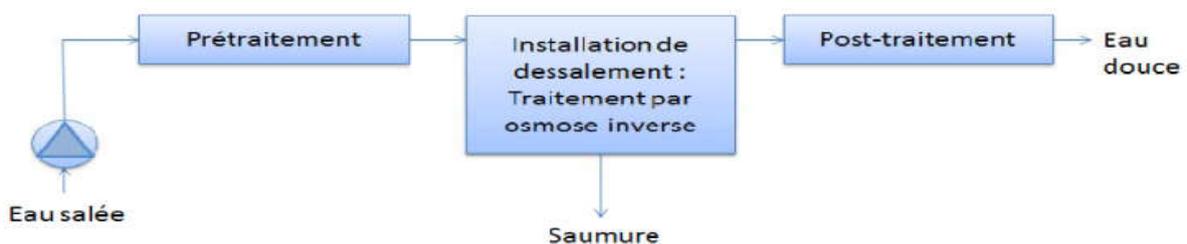


Figure07 : Schéma simple du procédé d'osmose inverse (Amitouche,2016)

### 2. 3.3.3 Applications industrielles

Les principales applications industrielles de l'osmose inverse sont les suivantes (Huguet, 2007;Boukhiar,2006) :

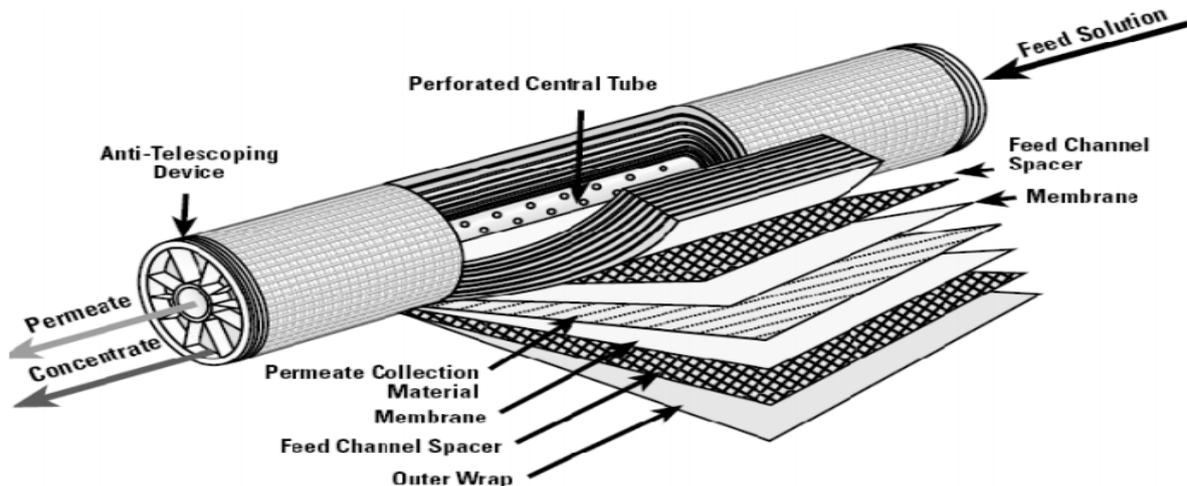
- Dessalement d'eau de mer et d'eaux saumâtres
- Elimination de pesticides et d'herbicides
- Production d'eau ultra-pure (industrie électronique, pharmaceutique...)
- Concentration d'antibiotiques

### 2. 3.3.4 Durée de vie des membranes d'osmose inverse

Il est très difficile de déterminer exactement la durée de vie des membranes d'osmose inverse. En effet, la durée de vie dépend de la nature de la membrane et aussi de ses conditions d'utilisation, notamment:

- La pression de fonctionnement ;
- La température de l'eau ;
- Le pH de l'eau ;
- La qualité du prétraitement.

Enfin, la notion même de la durée de vie d'une membrane n'est pas très nette. Les performances d'une membrane d'osmose inverse évoluent lentement au cours du temps et en général on change les membranes lorsque la qualité du perméat ( Figure08) dépasse un certain seuil. Mais pour différentes raisons, l'exploitant peut très bien augmenter la durée de vie des membranes en faisant fonctionner l'installation au-delà de ce seuil (Benaissa,2013).



**Figure 08** : Schéma du module de l'osmose inverse indiquant l'entrée de l'eau brute et la sortie du perméat et de la saumure (Metaiche,2014)

### 2. 3.3.5 Nettoyage des membranes

#### 2. 3.3.5.1 Les rétro lavages

Les rétro lavages consistent à inverser le sens d'écoulement au travers de la membrane et le gradient de pression de façon à envoyer le perméat au travers de la membrane et ainsi permettre l'évacuation du dépôt et des particules participant au blocage de pores.

Le succès d'une opération de filtration passe par une bonne efficacité des rétro lavages de façon à maintenir une productivité élevée. Ainsi, si les rétro lavages sont généralement réalisés à l'aide du perméat, il est aussi proposé d'utiliser de l'air et du perméat ou encore uniquement de l'air(Benaïssa,2013).

Les rétro lavages, quel que soit leur mode de mise en œuvre, ne permettent généralement pas d'assurer la restauration intégrale à long terme de la perméabilité des membranes .

### **2. 3.3.5.2 Nettoyages chimiques**

Le nettoyage chimique est presque toujours nécessaire si l'on veut que l'installation fonctionne suivant ses performances nominales(Benaïssa,2013).

La décision d'effectuer un nettoyage chimique d'un module d'osmose inverse peut être liée(Benaïssa,2013):

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

### **2. 3.3.6 Les avantages et inconvénients de l'osmose inverse**

#### **a) Les avantages(Mohammed,2013)**

- Un taux de conversion élevé (supérieur à 55%) ;
- Une consommation spécifique d'énergie basse (3 à 5Kwh/m<sup>3</sup>) ;
- Une flexibilité par rapport à la variation de la demande en eau ;
- Un coût d'investissement relativement bas ;
- Une durée de mise en œuvre réduite .
- Après l'osmose inverse on obtient une eau très pure possédant des mesures bio électroniques parfaites pour la santé, pratiquement identiques qu'à celles des eaux de sources les plus naturelles.
- pH légèrement acide de 6,6 (idéal pour la digestion, l'assimilation des aliments et rééquilibre de pH du sang généralement trop toxique).

- Résistivité élevée 20000 à 30000 Ohms, ce qui permet une parfaite élimination des toxines par les reins.

**b) Les inconvénients** (Hamdaoui, 2016;Benaissa, 2013)

Malgré les avantages, il y a aussi des inconvénients comme:

- Sensibilité à la variation de la qualité d'eau brute et surtout aux pollutions ;
- Nécessité d'un personnel qualifié ;
- Exploitation relativement difficile surtout au niveau du prétraitement ;
- Un coût de maintenance élevé dû aux frais de renouvellement des membranes d'une durée de vie ne dépassant pas 7 ans à présent .
- la perte de cinq litres d'eau pour un litre d'eau osmosée car la membrane doit être continuellement nettoyée.
- Comme l'eau est déminéralisée, elle est parfois agressive et corrosive pour les tuyauteries.
- L'eau perd tous ses minéraux y compris les minéraux bénéfiques comme certains alcalins, notamment le calcium et le magnésium. Il est donc préférable de reminéraliser l'eau avant de la boire .

## 2. 3.4 Nanofiltration

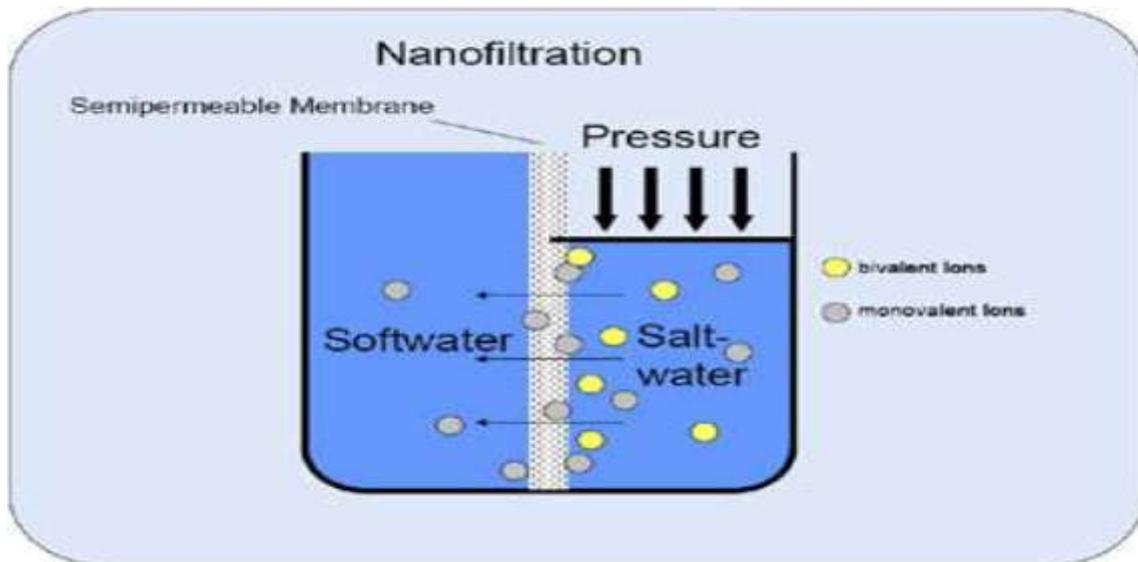
### 2. 3.4.1 Définition et principe

La nanofiltration (NF) est une technique membranaire relativement récente qui couvre un domaine de séparation intermédiaire entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse. Elle permet la séparation de composés ayant une taille en solution de l'ordre du nanomètre, d'où son nom. Les caractéristiques principales de la nanofiltration sont les suivantes(Guizard et Berland, 2000) :

- Les masses moléculaires des solutés retenus se situent entre 200 et 1000 g/mol.
- Les pressions de travail (de 10 à 50 bar) sont plus basses que celles utilisées en osmose inverse (de 30 à 100 bar) et les débits de filtration supérieurs à ceux obtenus avec cette technique.
- La séparation des solutés électriquement chargés ne se fait pas sur le seul critère de leur taille mais aussi en fonction de leur charge.

Ainsi, on observe une très forte différence de perméabilité entre deux molécules de même taille, suivant qu'elles sont électriquement chargées ou non (Guizard, et Berland, 2000).

En outre, les membranes de nanofiltration vont retenir beaucoup plus les ions multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) que les ions monovalents : elles sont donc sélectives (Figure 09).



**Figure 09:** Schéma du principe de la nanofiltration

[http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane processes/Nanofiltration/](http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane%20processes/Nanofiltration/).

### 2. 3.4.2 Applications de la nanofiltration

Deux grands domaines d'applications se dessinent aujourd'hui pour la nanofiltration (Sarrade, 1994):

- L'agro-alimentaire et la pharmacie,
- Le traitement de l'eau et des effluents.

C'est ce dernier secteur, en vu notamment de la potabilisation de l'eau, qui connaît la plus forte progression industrielle (Sarrade, 1994).

### 2. 3.4.3 Différents forme de la membrane de nanofiltration

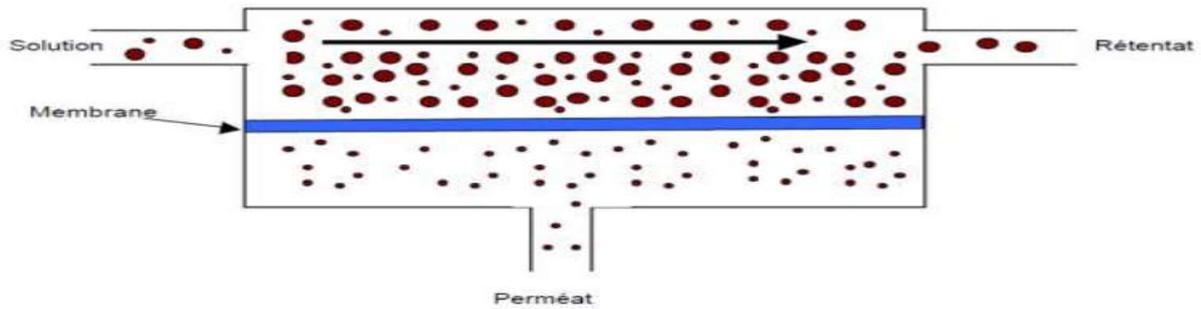
La séparation se déroule dans un module de filtration pouvant prendre plusieurs formes (Antoine, 2004) :

- **Module plan**: le système utilise des membranes sous forme de feuilles. Il s'agit du type de configuration le plus simple. La surface filtrante reste toutefois faible par rapport à l'encombrement engendré.
- **Module tubulaire** : il est constitué d'un support poreux percé d'un ou de plusieurs canaux que tapisse la membrane. Le fluide à traiter circule à l'intérieur des canaux. Le rétentat est collecté à l'extrémité des canaux tandis que le perméat traverse latéralement la membrane.
- **Fibre creuse** : les fibres sont des tubes auto-supportés de diamètre intérieur de l'ordre du mm dont la paroi interne ou externe constitue la couche active de la membrane. Elles sont alignées parallèlement dans une cartouche, récupérateur de perméat (mode peau interne) ou de rétentat (mode peau externe).
- **Module spiralé** : une ou plusieurs membranes planes sont enroulées autour d'un tube poreux et creux destiné à collecter le perméat. Ce type de module permet d'obtenir des surfaces filtrantes importantes pour un faible encombrement et un coût peu élevé.

### 2. 3.5 Ultrafiltration

#### 2. 3.5.1 Définition et principe

L'ultrafiltration (UF) repose sur un mécanisme de transfert de fluide sous l'effet de la pression. Cette technique utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. La séparation dépend principalement de la taille mais aussi de la forme des solutés. Les molécules de taille supérieure à la taille des pores de la membrane vont être retenues par cette dernière, alors que les petites molécules (et le solvant) vont pouvoir librement traverser la membrane (Figure 10).



**Figure10:** Schéma du principe de l'ultrafiltration(Aoufi,2016)

Le flux de solvant à travers la membrane est directement proportionnel à la pression appliquée, qui est généralement comprise entre 1 et 10 bar.

L'efficacité d'une membrane d'UF est en général caractérisée par son seuil de coupure, qui correspond à une rétention pratiquement totale (90% le plus souvent) d'une macromolécule déterminée par le fabricant. L'UF permet donc de séparer les constituants d'une solution en deux fractions : la première, appelée rétentat, où vont se concentrer les molécules plus grosses que le seuil de coupure de la membrane et la deuxième, appelée perméat ou filtrat, qui contient les molécules plus petites que les euidecoupure de la membrane. L'UF peut être utilisée comme procédé de fractionnement , de concentration ou de purification, le produit pouvant être le filtrat, le rétentat ou même les deux.( Mambayel,1994)

### 2. 3.5.2 Applications de l' Ultrafiltration

Les applications de l'UF sont multiples : l'UF sert ainsi à la déminéralisation des jus sucrés, à la clarification des jus de fruits, à la séparation des protéines du lait, à la concentration et à la déminéralisation des protéines dans l'industrie pharmaceutique ou encore à l'élimination des macromomolécules présentes dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel ou médical (Huguet,2007).

### 2. 3.6 Microfiltration

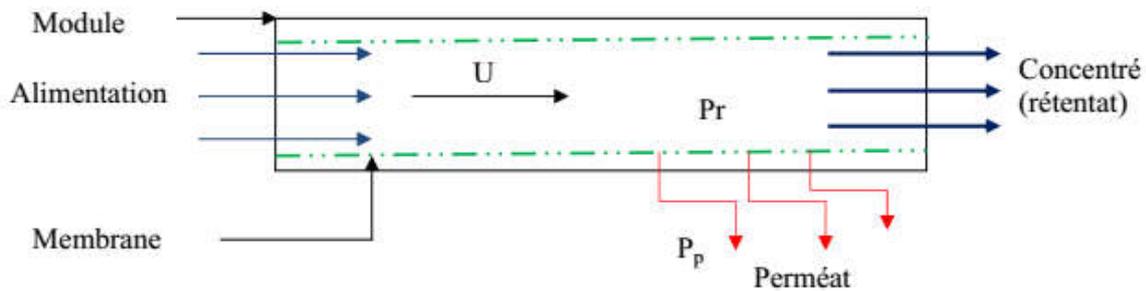
#### 2. 3.6.1 Définition et principe

Elle peut être définie comme un procédé de séparation solide / liquide à basse pression. Les pressions appliquées sont de quelques dixièmes de bar pour éviter un colmatage important.

Le mécanisme est basé exclusivement sur l'effet tamis (taille) et rend possible la rétention de particules en suspension ou de bactéries (Figure11).

Les membranes de microfiltration (diamètre de pore de 0,1 à quelques micromètres) permettent de retenir entre autres : les émulsions d'huile, les bactéries, les levures, les plus gros colloïdes, les gros pigments et les gros virus...

La microfiltration est le procédé de séparation membranaire le plus utilisé actuellement à l'échelle industrielle (en étape finale ou en pré-traitement). La MF peut aussi servir de prétraitement pour la NF et l'OI (Soro,2012).



(U : vitesse tangentielle, Pr : pression du rétentat, Pp : pression du perméat,).

**Figure 11** :Schéma de principe de la microfiltration tangentielle (Soro,2012)

### 2. 3.6.2. Applications de Microfiltration(Bikai,2015)

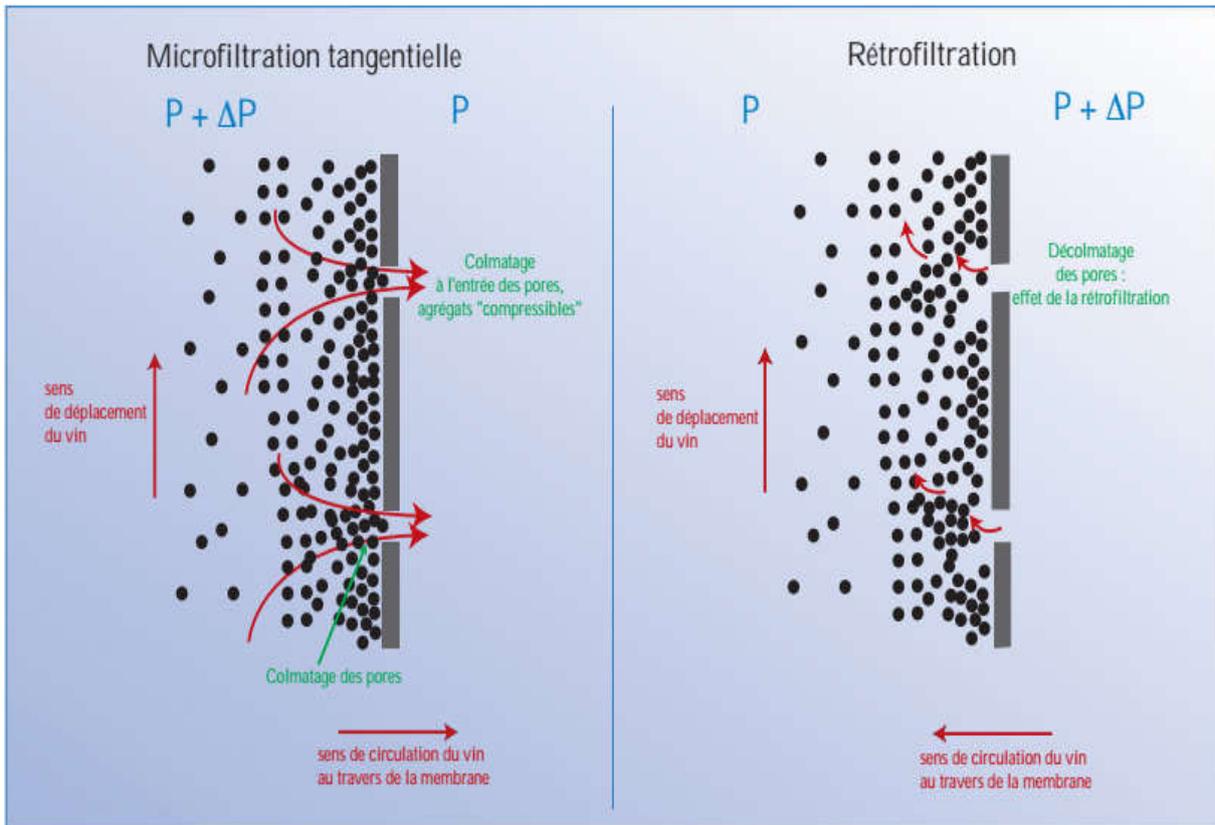
La microfiltration est utilisée dans les domaines suivants :

- La clarification des eaux.
- La séparation d'émulsions eau / huile.
- La débactérisation de solutions.
- La production d'eau potable (la microfiltration intervient ici comme une étape de pré-traitement).

### 2. 3.6.3 Dispositifs de décolmatage en phase de production

Le colmatage de la membrane est le facteur limitant en microfiltration tangentielle et se traduit par une diminution dans le temps des débits de filtration. Les performances peuvent être récupérées en fin de cycle de filtration par des opérations de rinçage et de nettoyage chimique (régénération). L'objectif est d'éliminer la couche de particules à la surface de la membrane et les pores. le système de décolmatage le plus développé est l'inversion périodique du flux, appelé également rétro-filtration, rétro-lavage ou back-wash . Ce procédé est basé sur l'inversion du sens de l'écoulement, une partie du filtrat étant renvoyée à contre-

courant à travers la membrane (Jean Luc, 2018). Cette action annule le gradient de concentration au voisinage de la membrane et, par action mécanique, décolle et remet partiellement en suspension les dépôts responsables du colmatage (figure 12).



**Figure 12 :** Représentation schématique des procédés de rétrofiltration (Jean-Luc, 2018)

### 2. 3.7. Différence entre ultrafiltration, microfiltration, nanofiltration et osmose inverse

On peut faire la différence entre chaque procédé membranaire selon la dimension des pores et la pression appliquée (Figure 13 et tableau 03).

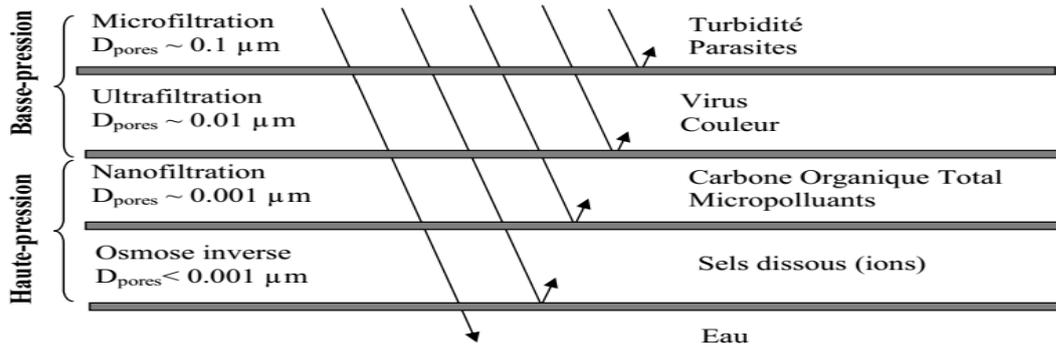


Figure 13 : Hiérarchie des procédés membranaires(Geismar,2011).

Tableau 03 : Caractéristiques des procédés de séparation (Nechad , 2009).

Procédé	Origine de la sélectivité	Force motrice (bar)	Diamètre des pores ( $\mu\text{m}$ )	Consommation énergétique ( $\text{kWh/m}^3$ )	Procédés concurrents
<b>Microfiltration MF</b>	Différence de taille entre particules ou molécules à séparer	Pression 0,1 à 3	0,1 à 10	1 -10	Filtration Centrifugation
<b>Ultrafiltration UF</b>	Différence de taille et de charge entre particules ou molécules à séparer	Pression 3 à 10	0,01 à 0,1	1 -10	Evaporation Distillation Echange d'ions
<b>Nanofiltration NF</b>	Différence de taille et de charge entre particules ou molécules à séparer	Pression 30 à 50	$10^{-3}$	5 – 50	Evaporation OI Echange d'ions
<b>Osmose Inverse OI</b>	Différence de solubilité et de diffusion à travers la membrane des molécules à séparer	Pression 30 à 100	Membrane dense	10-200	Evaporation Distillation Echange d'ions

### 2. 3.8 Électrodialyse (ED)

L'ED est un procédé qui utilise la mobilité des ions d'un électrolyte soumis à un champ électrique, le dessalement étant assuré par des membranes qui éliminent sélectivement les sels, ce qui permet d'obtenir de l'eau douce. L'ED a été introduite sur le marché au début des années 1960. L'unité ED de base se compose de plusieurs centaines de cellules reliées entre elles par des électrodes à un bloc extérieur qui constitue la pile. L'eau d'alimentation passe simultanément à travers toutes les cellules en fournissant un courant continu d'eau dessalée et de saumure concentrée qui dépend de la conception du système (Violleau,1999)(figure14 ).

En raison de la sélectivité des membranes; c'est à dire les ions  $\text{Na}^+$  peuvent uniquement traverser les membranes cationiques et les ions  $\text{Cl}^-$  les membranes anioniques, on obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments .Des produits chimiques peuvent être ajoutés au circuit pour réduire le pouvoir d'entartrage(Violleau,1999).

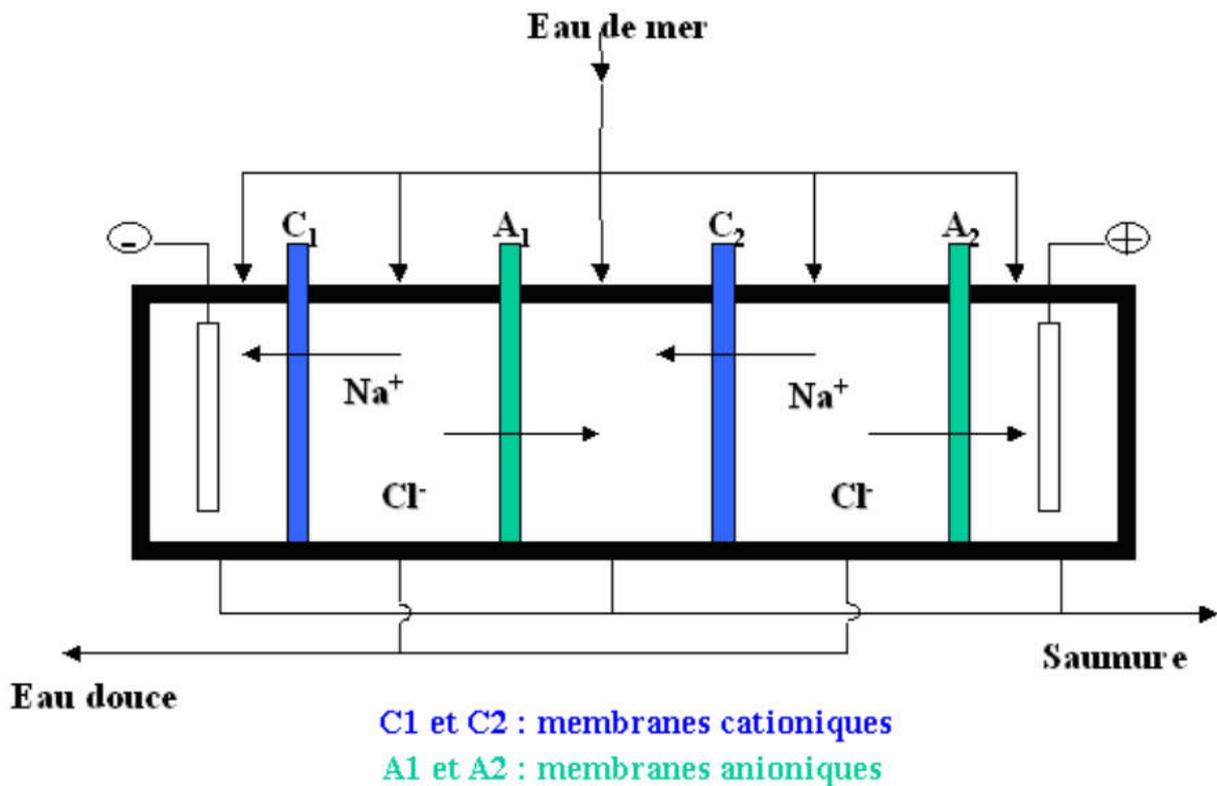


Figure 14: Principe de l'électrodialyse (Noureddine,2008)

## 2.4 Conclusion

Les procédés membranaires classiques et l'osmose inverse connaissent un essor important dans le dessalement des eaux de mer et saumâtres. Toutefois, quelle que soit le procédé, il constituera un élément dans une chaîne d'opération de traitement. Par ailleurs, comme nous l'avons précisé chaque industrie est un cas particulier. La synthèse bibliographique que nous avons réalisée montre que ces techniques membranaires offrent de nombreuses possibilités d'emploi et une qualité du perméat conforme aux normes.

**partie expérimentale**

# Chapitre I

## Description de la station de déminéralisation par OI

### 1.1. Introduction

Ce présent chapitre a pour but de donner une description générale sur la station de traitement des eaux par osmose inverse. Cette station est destinée à l'approvisionnement en eau potable du complexe touristique "La gazelle d'or", Ce complexe touristique est situé dans la wilaya d' El-Oued. Nous allons commencer le chapitre par une présentation du complexe touristique puis une description des différentes étapes de traitement des eaux de la station de dessalement par osmose inverse.

### 1.2. Présentation du complexe La gazelle d'Or

Ce complexe dénommé "La gazelle d'or", qui occupe une superficie de 140 hectares dans la localité de "Ouaziten", à l'entrée Ouest de la ville d'El-Oued Route de Touggourt (Figure15), est considéré comme la plus grande structure touristique au Sud du pays.



Figure 15 : Situation géographique du complexe touristique la Gazelle d'Or

Cette structure est caractérisée par sa conception architecturale harmonisant l'architecture islamique et le cachet typique à la région du Souf , et répondant aux spécificités climatiques des régions sahariennes grâce à l'usage de matériaux de construction locaux.

Une enveloppe estimée à 10 milliards DA a été consacrée à la réalisation de ce projet dont les travaux ont été lancés en septembre 2008, sous la supervision d'un bureau d'étude national spécialisé dans l'architecture et l'urbanisme pour en assurer le suivi technique. Le complexe touristique a été ouvert en mai 2016

Doté de toutes les commodités nécessaires, le complexe touristique "La gazelle d'or" dispose de diverses installations dédiées à l'hébergement et les loisirs, notamment un hôtel de 87 chambres, 72 bungalows, 51 "khaïmas" (tentes traditionnelles) équipées, 14 logements et un pavillon de 384 chambres pour le personnel,

Il comporte aussi un terrain de golf de 100 hectares, réalisé selon les normes internationales, un sauna, des piscines, cinq restaurants, une grande salle de conférence et un musée, ainsi qu'une palmeraie de 150 hectares comptant plus de 20.000 palmiers et oliviers.

<http://www.lematindz.net/>(figure16)



**Figure 16:**Complexe touristique ‘ La Gazelle d’Or (El-Oued)’

### 1.3. Objectifs de la station de dessalement des eaux

L'objectif du traitement de l'eau qui alimente le complexe touristique est la production d'une eau potable dont les caractéristiques physico-chimiques sont conformes aux normes de potabilité.

La potabilité de l'eau est soumise à la législation et le code de la santé publique relatif aux eaux destinées à la consommation humaine.

On distingue dans ce décret :

Les limites de qualités qui sont des concentrations maximales admises à respecter, et vérifier l'efficacité des filières de traitement et de quantifier la dégradation de la qualité de l'eau.

Les paramètres permettant de contrôler la potabilité d'une eau :

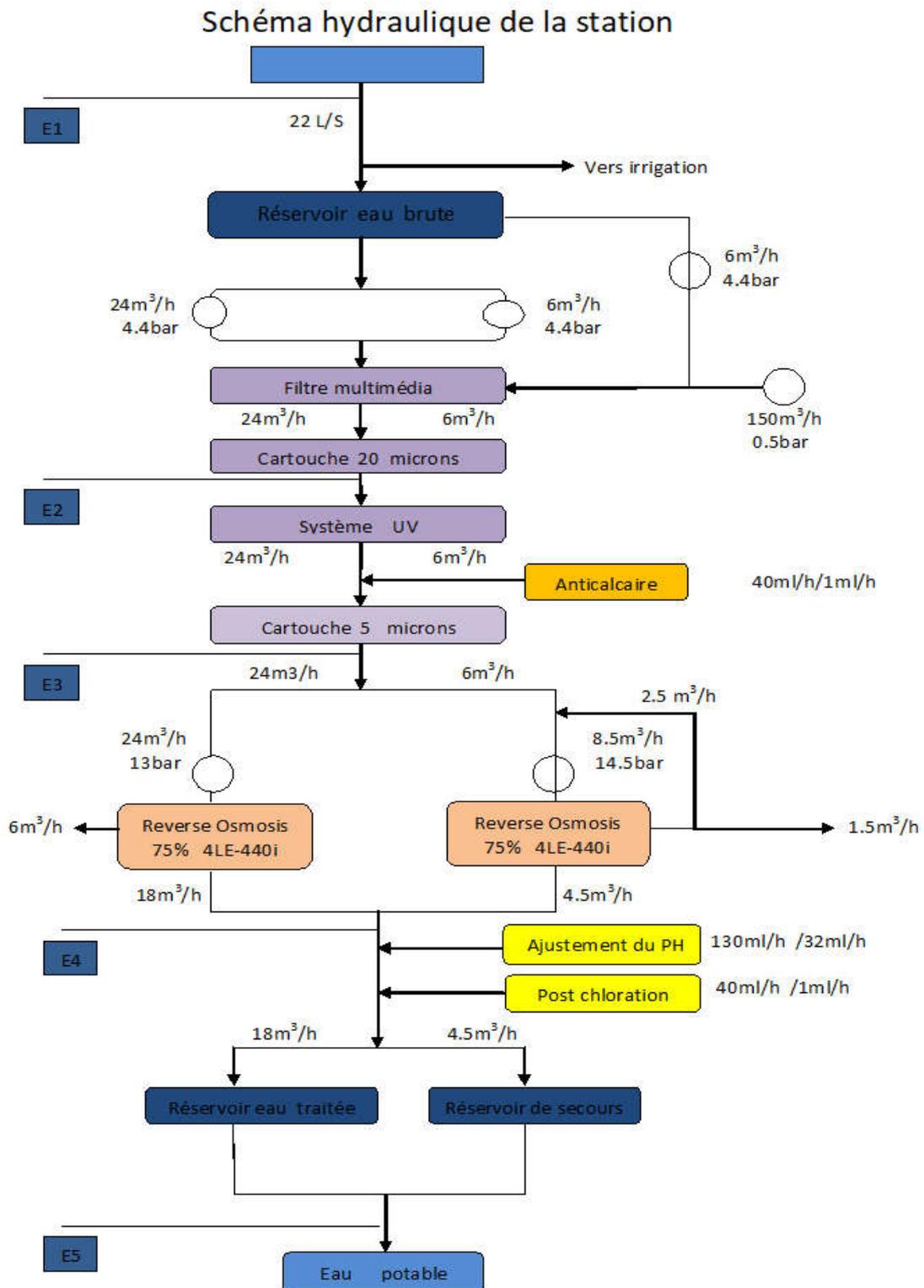
- Les paramètres organoleptiques : couleur, turbidité, odeur, saveur
- Les paramètres physico-chimiques concernant la structure des eaux : T°, pH, chlorures, sulfates, magnésium, sodium, potassium, aluminium, résidus secs....
- Les paramètres concernant des substances indésirables : nitrates, nitrites, fer, manganèse, fluor...
- Les paramètres concernant des substances toxiques : arsenic, plomb, mercure...
- Les paramètres microbiologiques :(bactéries, virus...).
- Les paramètres concernant les eaux adoucies : La dureté totale et l'alcalinité.

### 1.4. Description de la filière de traitement

Une partie de l'eau de forage situé à l'intérieur du complexe la Gazelle d'Or est destinée à l'irrigation au niveau du complexe et une partie ( 22 L/s) est utilisée pour l'alimentation du complexe touristique pour la consommation humaine. Cette eau est considérée comme une eau de salinité élevée, une dureté élevée, fortes teneurs en sulfate, en bicarbonate et très riche en ions chlorure et sodium(Tableau 04) d'où la nécessité d'un traitement préalable. De ce faite elle est acheminée vers le réservoir d'eau brute à partir duquel commence la chaine de traitement par osmose inverse (Figure 17).

**Tableau 04 :** Analyses physico-chimiques de l'eau brute alimentant la station de traitement au niveau du complexe (Données de la station en 2017).

Paramètre	Valeur
Température	15-30 C
Sels dissous calculés	3338mg/l
Turbidité	< 1NTU
Matières en suspension	Négligeables
pH	7,2-7,5
Sodium (Na <sup>+</sup> )	497,75 mg/l
Potassium (K <sup>+</sup> )	74,71 mg/l
Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	357,97 mg/l
Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	144,32 mg/l
Fer total	<0,06mg/l
Manganèse (Mn <sup>2+</sup> )	<0,06 mg/l
Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	942 mg/l
Sulfates(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1120,9 mg/l
Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	161,59 mg/l
Nitrate( NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	34,98 mg/l
Silice (SiO <sub>2</sub> )	6,51 mg/l
Phosphate( PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	<0,1 mg/l



**Figure 17 :** Schéma hydraulique de la station de traitement au niveau du complexe la gazelle d'Or. El Oued (FGO, 2016)

### 1.4.1. Pompes d'alimentation

A la sortie du réservoir d'eau brute on dispose de deux lignes de pompage qui alimentent le filtre multimédia. Les caractéristiques de chaque ligne sont présentées dans les tableaux 05 et 06.

**Tableau05** :Ligne principale (FGO, 2016).

<b>Pompe d'alimentation ligne principale</b>	
Débit	24 m <sup>3</sup> /h
Pression	4.4 bar

**Tableau06**: Ligne de secours(FGO, 2016).

<b>Pompe d'alimentation de secours</b>	
Débit	6 m <sup>3</sup> /h
Pression	4.4 bar

### 1.4.2. Filtre Multimédia

Le filtre-multimédia est la première étape de traitement dans la station après le réservoir d'eau brute. L'eau d'alimentation est introduite dans le système à un débit de 24 ou 6 m<sup>3</sup>/h et une pression minimale de 4 bar.

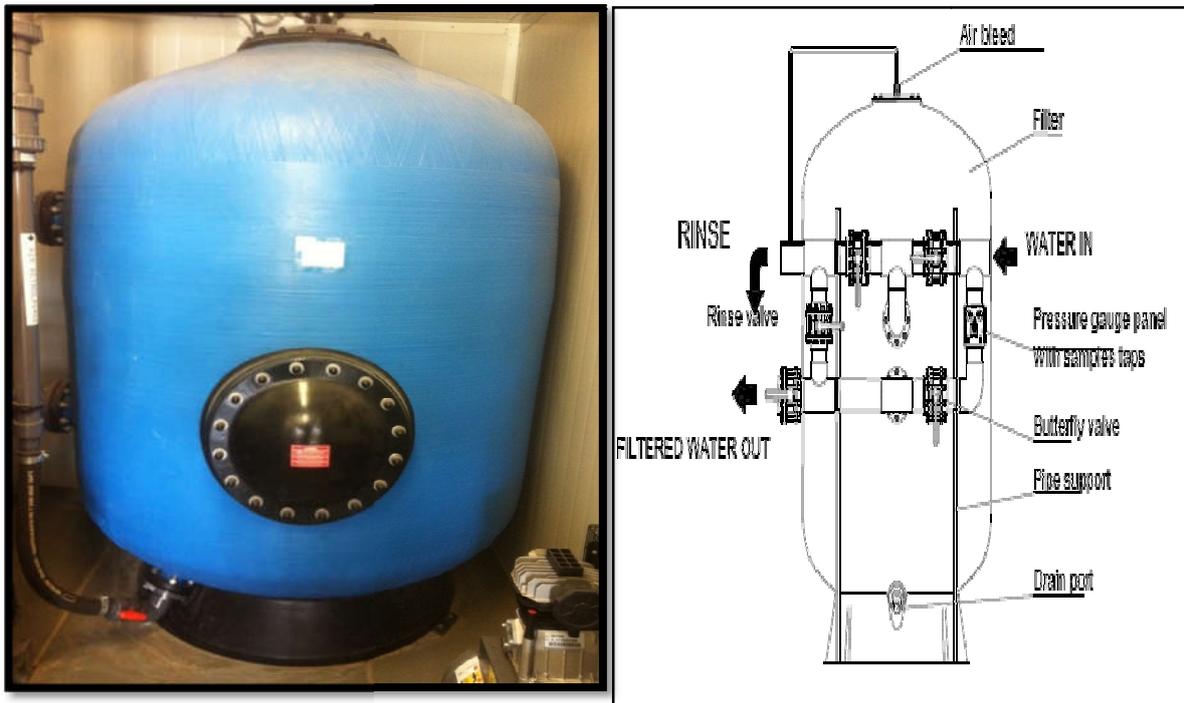
Ce filtre est composé d'un mélange de sable, gravier et anthracite pour éliminer les particules en suspension ayant une taille supérieure à 20-30 microns (Tableau07) .

Le filtre multimédia est équipé d'un système de lavage automatique (sous pression) le démarrage du lavage est contrôlé par un timer ou par différence de pression installé dans l'armoire de contrôle. Le rétro lavage du système est réalisé avec de l'eau d'alimentation.

Les systèmes de filtrations "multimédia" associent les avantages de chaque matière filtrante par un sur couchage successif des divers matériaux filtrants (Figure18)

**Tableau 07:** Caractéristiques du filtre multimédia(FGO, 2016).

Multimédia filtration		
Débit	24 m <sup>3</sup> /h	6 m <sup>3</sup> /h
Filtre diamètre	1600 mm	
Filtration rate	11,9 m <sup>3</sup> /h	3m <sup>3</sup> /h
Media	10% gravier,20% anthracite, 70% sable	
Volume de media	2400L	
Fréquence de retro lavage	24H(ajustable)	
Temps de retro lavage	0,25 h	
Eau par retro lavage	10,1 m <sup>3</sup>	
Temps de rinçage	5 minutes	
Eau par rinçage	0,5 m <sup>3</sup>	

**Figure18 :** Filtre multimédia au niveau de la station.

### 1.4.3. Cartouche 20 microns

Elle est composée de polypropylène en bobine avec un fil enroulé autour d'une armature(Figure19 ).

La cartouche filtre le sable, les algues, les poussières, le pollen, la rouille et toutes particules en tout genre. Les cartouches de 20 microns ont une grande résistance et une durée de vie. Les caractéristiques de cette cartouche sont regroupées dans le tableau 08 .



**Figure19** : Cartouche 20 microns au niveau de la station.

**Tableau 08** : Caractéristique de la cartouche 20 microns(FGO, 2016).

Cartouche 20 microns	
Débit	24 m <sup>3</sup> /h
Type	1* FON 40
Débit maximum	50 m <sup>3</sup> /h

### 1.4.4. Système ultraviolet

Après la cartouche filtrante à 20 microns, l'eau passe par le système UV (Figure 20 et tableau 09).Le procédé de désinfection par UV est basé sur un principe purement physique. Il consiste à faire passer les eaux dans un appareil dans lequel sont placées des lampes à vapeur de

mercure qui émettent des rayons UV. Ces rayons irradient les cellules vivantes contenues dans le liquide traversant l'appareil. L'utilisation de l'appareil est simple, il est facilement adaptable sur les systèmes hydrauliques déjà en place, son entretien est réduit et son coût de fonctionnement est relativement bas.

Les principaux avantages de cette technologie sont l'absence de formation de produits secondaires indésirables, de même que la simplicité et la sécurité d'exploitation comparativement aux méthodes chimiques (Milous,2011 ; Ghorzi, 2014)



**Figure20** : Système UV au niveau de la station.

**Tableau09** : Caractéristiques du système Ultraviolet(FGO, 2016).

Système UV	
Débit	24 m <sup>3</sup> /h
Type	Pression basse
Dose (mur)	21 mJ/cm <sup>2</sup>

#### 1.4.5. La cartouche de filtration 5 microns

La cartouche filtrante à 5 microns permet de retenir des particules plus fines que la cartouche à 20 microns. Ainsi, on obtient une finesse de filtration plus précise.

La cartouche de filtration 5 microns dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau 10 est formée par projection de fibres en matière synthétique alimentaire : du polypropylène. Formée ainsi de couches enchevêtrées de fils, la cartouche retient les particules. On appelle ce type de cartouche filtrante la cartouche extrudée.

**Tableau 10 :** Caractéristiques de la cartouche 5 microns (FGO, 2016).

<b>Cartouche 5 microns</b>	
Débit	24 m <sup>3</sup> /h
Type	1* FON 40
Débit maximum	30 m <sup>3</sup> /h

#### 1.4.6. Pompes à haute pression

Avant d'entrer dans les membranes d'osmose inverse, Les eaux souterraines est pressurisée au moyen de la pompe haute pression généralement entre 12 et 18bar, en fonction de la température et de la salinité de l'eau. On dispose de deux lignes de pompes (Tableau 11 et 12).

**Tableau 11:** Pompe haute pression ligne principale (FGO, 2016)

<b>Pompe d'alimentation ligne principale</b>	
Débit	24 m <sup>3</sup> /h
Pression	13 bar

**Tableau 12:** Pompe haute pression ligne de secours (FGO, 2016)

<b>Pompe d'alimentation ligne de secours</b>	
Débit	8,5 m <sup>3</sup> /h
Pression	14,5 bar

#### 1.4.7. Osmose inverse

En pratique, l'osmose inverse est réalisée comme un procédé de filtration cross flow. Une pompe haute pression est utilisée pour accentuer la pression coté eau salée pour changer la direction d'écoulement de l'eau. La plupart des sels dissous (95%-99%) ne passent pas à travers la membrane. Le débit d'entrée ( $Q=24 \text{ m}^3/\text{h}$ ) se divise au niveau de la membrane en

deux parties de concentrations différentes. Une partie (débit =  $18\text{m}^3/\text{h}$ ) passe à travers la membrane (perméat) alors que l'autre partie est retenue par la membrane (concentrat ou rétentat  $Q=6\text{m}^3/\text{h}$ ).

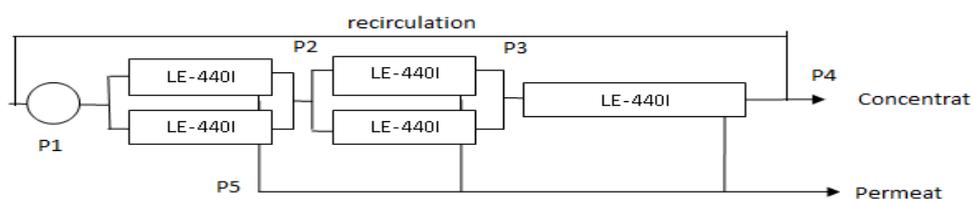
Une série de membranes de qualité (LE-440i) ont été installées à la station, cinq membranes ont été installées sur la ligne principale et deux sur la ligne de secours (Figure 21)



**Figure21** : Modules de l'osmose inverse au niveau de la station.

### a) Ligne principale

Les membranes sont regroupées en série dans des tubes de pression sur la ligne principale, Comme le montre la figure 22. La qualité de l'eau après traitement par cette ligne est présentée dans le tableau 13.



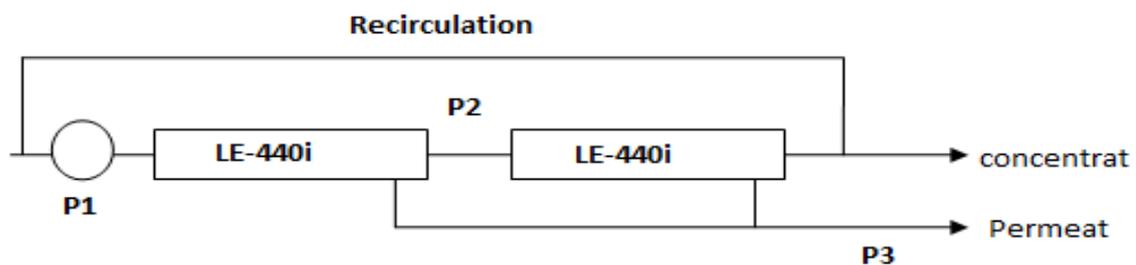
**Figure22** : Disposition de ligne principale des membranes de l'osmose inverse(FGO, 2016).

**Tableau 13:** Caractéristiques des membranes de l’osmose inverse de la ligne principale (FGO, 2016).

	P1	P2	P3	P4	P5	Qualité perméat	pH perméat
<b>T=30°C</b> <b>Flow factor:1</b>	9 bar	7,6 bar	6,8 bar	5,8 bar	1,5 bar	120 ppm	6,2 bar
<b>T=30°C</b> <b>Flow factor:0.85</b>	9,5 bar	8,1 bar	7,3 bar	6,3 bar	1,5 bar	120 ppm	6,2 bar
<b>T=15°C</b> <b>Flow factor:1</b>	11,6 bar	9,8 bar	8,8 bar	7,6 bar	1,5 bar	50 ppm	5,8 bar
<b>T=15°C</b> <b>Flow factor:0.85</b>	12,5 bar	10,8 bar	9,8 bar	8,5 bar	1,5 bar	50 ppm	5,8 bar

### b) Ligne de secours

Les membranes sont regroupées en séries dans des tubes de pression sur la Ligne de secours, comme le montre la figure 23. La qualité de l’eau après traitement par cette ligne est présentée dans le tableau 14.



**Figure 23:** Schéma osmoseur ligne de secours (FGO, 2016).

**Tableau 14:** Qualité de l'eau après traitement par la ligne de secours(FGO, 2016).

	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>Qualité perméat</b>	<b>pH perméat</b>
<b>T=30°C</b> <b>Flow factor:1</b>	9,6 bar	8,9 bar	8,3 bar	130ppm	6,2
<b>T=30°C</b> <b>Flow factor:0.85</b>	10,2 bar	9,5 bar	9 bar	130ppm	6,2

#### 1.4.8.Système (NEP)

Le NEP (Nettoyage En Place) peut être définie comme la circulation des liquides de nettoyage à travers des machines et d'autres équipements dans un circuit de nettoyage (Benyahia,2013).

Le principe repose sur la circulation d'eau d'agent de nettoyage et de désinfectant par pompage (Mango,2005).

Dans certains cas, les produits désinfectants sont également intégrés dans le système NEP.

Le choix de la procédure de nettoyage est déterminé par le type et la composition de la matière salissures ainsi que par la conception de l'équipement à nettoyer (Bremer,2006).

Il s'agit de façon relativement triviale du choix du détergent (nature et concentration), de sa température, du débit volumique aussi bien en rinçage qu'en nettoyage et du temps (Sylla,2011). Les caractéristiques du système NEP au niveau de la station du complexe sont regroupées dans le tableau 15.

**Tableau 15 :**Caractéristiques du système (NEP) (FGO, 2016).

<b>Système NEP</b>	
Débit	10-15m <sup>3</sup> /h
Temps de rinçage	5 minutes (ajustable)
Volume de réservoir	1m <sup>3</sup>

Le débit est compris entre 10 et 15 m<sup>3</sup>/h. Dans les systèmes plus complexes, différents cycles sont programmés avec des produits de lavage et de rinçage.

Le temps de rinçage est 5 minutes (ajustable)

- Pour le nettoyage de l'osmoseur pass 1:  $15\text{m}^3/\text{h}$
- Pour le nettoyage de l'osmoseur pass 2:  $10\text{m}^3/\text{h}$
- L'ajustement du débit est manuel .

### 1.4.9.Stations doseuses

#### 1.4.9.1. Anticalcaire

Vitec 3000® est un antispalant et dispersant liquide puissant, à large spectre, compatible avec les coagulants organiques. Il est très efficace à faibles doses et dans une large gamme d'eau d'alimentation. Ce produit est un anti-scalant multi-composant qui prévient les particules colloïdales dans les systèmes membranaires en acétate et en polyamide. Il est compatible avec les coagulants organiques qui peuvent être présents indirectement dans les eaux d'alimentation des municipalités ou directement présents à la suite de traitements de coagulation ou de floculation en amont du système d'osmose inverse (OI).

L'anticalcaire possède certains avantages de performance (<https://www.lenntech.com/>):

- Puissant contre ces types d'échelle et d'autres :Carbonate de calcium,  $\text{CaCO}_3$  ; Sulfate de calcium(  $\text{CaSO}_4$ ); Sulfate de baryum (  $\text{BaSO}_4$ ); Sulfate de strontium (  $\text{SrSO}_4$ ); Fluorure de calcium ( $\text{CaF}_2$ ) et la Silice (  $\text{SiO}_2$ ).
- Economique à utiliser,

Au niveau de la station du complexe on utilise l'enticalcaire Vitec 300 en deux lignes(Tableau 16et 17).

**Tableau 16:** Conditions d'utilisation de l'anticalcaire ligne principale (FGO, 2016).

Produit chimique	Vitec 3000 ou équivalent
Débit d'eau	$24\text{ m}^3/\text{h}$
Dose	2 ppm
Débit chimique	24 g/h
Débit pompe doseuse	0.1 l/h
Consommation pour un an	400 kg

**Tableau 17:** Conditions d'utilisation de l'anticalcaire ligne de secours (FGO, 2016).

Produit chimique	Vitec 3000 ou équivalent
Débit d'eau	6 m <sup>3</sup> /h
Dose	2 ppm
Débit chimique	12 g/h
Débit pompe doseuse	0,1 l/h
Consommation pour un an	100 kg

#### 1.4.9.2. Ajustement du pH

L'ajustement du pH ou la correction de l'acidité de l'eau est importante pour obtenir une bonne réaction physico-chimique. Les valeurs de pH de l'eau à la sortie de l'osmose inverse sont entre 5,8 et 6,2. Ces valeurs sont en dehors de la norme de potabilité (6,5 à 8,5). On doit donc ajuster le pH. A cet effet généralement des bases inorganiques sont utilisés comme NaOH (soude caustique). Le dosage est déterminé automatiquement afin d'obtenir le pH souhaité selon les conditions indiquées dans les tableaux 18 et 19.

**Tableau 18 :** Ajustement du pH au niveau de la ligne principale (FGO, 2016)

Produit chimique	NaOH 50%
Débit d'eau	18 m <sup>3</sup> /h
Dose active	5,5 ppm
Dose	11 ppm
Débit chimique	198 g/h
Débit pompe doseuse	0.2 l/h
Consommation pour un an	1600 kg

**Tableau 19 :** Ajustement du pH au niveau de la ligne de secours (FGO, 2016)

Produit chimique	NaOH 12,5%
Débit d'eau	4,5 m <sup>3</sup> /h
Dose active	5,5 ppm
Dose	11 ppm

Débit chimique	50 g/h
Débit pompe doseuse	0,1 l/h
Consommation pour un an	400 kg

### 1.4.9.3.Chloration

La chloration est la dernière étape de la station de traitement des eaux. La chloration est le procédé de désinfection le plus répandu pour le traitement final de l'eau destinée à la consommation humaine, compte tenu de son effet bactéricide, virulicide, rémanent, de sa disponibilité et de son moindre coût . En plus de ses avantages, le chlore et ses dérivés se montrent utiles aussi dans le contrôle des odeurs et des goûts, la prévention dans la croissance des algues, l'élimination du fer et du manganèse, la destruction de l'acide sulfhydrique, l'élimination des colorants organique. Plusieurs produits chlorés interviennent dans les procédés de désinfection de l'eau(Gado et Seini,2012) .

Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux. Il est particulièrement efficace pour détruire les microorganismes pathogènes, à condition d'assurer un temps de contact suffisant. Cependant, aux doses habituelles il demeure inefficace contre les kystes amibiens et les œufs de certains parasites intestinaux.

Le système de désinfection par chloration au niveau de la station du complexe est simple, il consiste à l'injection du chlore dans l'eau avec une pompe, et l'on attend que le chlore agisse selon les conditions opératoires présentées dans le tableau 20.

**Tableau 20 :** Conditions de la chloration dans la ligne principale et la ligne de secours (FGO, 2016).

Produit chimique	NaOCl 12,5%
Débit d'eau	4,5 m <sup>3</sup> /h
Dose active	0,3 ppm
Dose	2,4 ppm
Débit chimique	43 g/h
Débit pompe doseuse	0,1 l/h
Consommation pour un an	350 kg

## 1.5. Opération et maintenance sur le système d'osmose inverse

### 1.5.1. Opération

#### a) Démarrage

Avant de démarrer le système d'osmose inverse, les conditions suivantes doivent être prises en compte :

- Position des vannes
- Vanne de concentrât complètement ouverte.
- Désaérer les pompes.
- Vérifier la mise à disposition de l'eau d'alimentation.
- Laisser le système fonctionner avec la vanne de concentrâtes complètement afin désaérer le système.
- Pendant le démarrage utiliser la vanne de régulation de concentrâtes pour obtenir les débits souhaités

#### b) Arrêt

Les systèmes d'osmose inverse sont arrêtés et démarrés automatiquement .A chaque arrêt le système est rincé avec de l'eau de perméat à basse pression (automatique).

- ❖ Si le système est arrêté pour plus de 24 heures, il est important de vérifier :
  - Les membranes ne s'assèchent pas. Des éléments asséchés peuvent irréversiblement perdre leur flux
  - Rincer les membranes toutes les 24 heures afin de protéger les membranes d'un développement bactérien.
- ❖ Si l'arrêt dure plus de 24 heures mais jusqu'à une semaine. Rincer régulièrement le système avec de l'eau du perméat permet de limiter les risques de développement bactérien.
- Il est important de vérifier que les membranes restent humides.
- ❖ Si le système est arrêté pour plus de 7 jours, il est important de préserver les membranes avec une solution de 1,5% NaHSO<sub>3</sub> (Sodium Bisulphite-SBS). les

membrane dans le tubes de pression doivent être totalement immergés dans la solution de SBS .

Le pH doit être vérifié une fois par semaine. Quand le pH diminue en dessous de 3, il est important de changer la solution de SBS.

Pendant l'arrêt de système, le système doit être protégé du gel et de températures supérieures à 45 °C.

### **1.5.2 Maintenance**

#### **a) Membrane**

Les membranes doivent être nettoyées périodiquement (NEP-Nettoyage en pace) quand:

- La différence de pression sur les membranes augmente de plus de 15% par rapport aux conditions normales (ces conditions dépendent des paramètres pendant le démarrage de l'installation).
- Si la conductivité du perméat augmente de manière notable.

#### **b) Tubes de pression**

- Vérifier les têtes des tubes de pression en cas de fuites changer les têtes des tubes de pression si nécessaire.
- Il est important qu'il n'y ait pas de fuite du fait de la forte concentration en sels dans le concentrât.

#### **C)Filtres cartouche**

- vérifier la différence de pression sur les cartouches.
- Remplacer les cartouches si la différence de pression est supérieure à 0,8bar.
- Si la différence de pression diminue, ouvrir le corps de filtre afin de vérifier d'éventuels problèmes au niveau des cartouches.
- Remplacer les filtres cartouches au moins tous moins afin de limiter le développement bactérien sur les cartouches.

### **1.6.Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons décrit la situation de la station de traitement d'une eau souterraine par osmose inverse au niveau du complexe touristique 'La Gazelle d'or ' située dans la wilaya d'El Oued. et la destination des eaux traitées. Nous avons également donné une idée générale sur les caractéristiques des différents ouvrages de la station. Une idée générale a été donnée également sur leur mode d'entretien des différents ouvrages.

# Chapitre II

## Matériel et méthodes

## Chapitre III

Evaluation de la performance de la  
station d'osmose inverse d'El-Oued

# Conclusion générale

## Conclusion générale

L'objectif de cette étude a été d'observer l'efficacité de dessalement des eaux par la technique d'osmose inverse. Ceci par le suivi de la qualité physico-chimique des eaux brute et traitée au niveau de la station de dessalement des eaux de forage du complexe touristique «la Gazelle d'Or à El Oued.

L'étude bibliographique, présentées en deux chapitres. Le premier chapitre a permis de donner une synthèse bibliographique sur le pratique de dessalement des eaux en Algérie.

La filtration sur membrane est une technique de séparation qui fait intervenir une membrane semi-perméable et sélective sous l'effet d'une force motrice. Cette force motrice peut être soit un gradient de pression (cas de l'osmose inverse (OI), de la nanofiltration (NF), de l'ultrafiltration (UF) et de la microfiltration (MF), Le procédé de dessalement par osmose inverse est une technique de filtration membranaire. Il est utilisé pour le dessalement des eaux de mer, des eaux saumâtres. Il en ressort également que la déminéralisation des eaux saumâtre est un sujet préoccupant actuellement, et penser à réaliser des unités de dessalement de vient jour après jour une nécessité car il permet la satisfaction des besoins des consommateurs en eau potable. Une synthèse sur les données existantes sur les stations de dessalement des eaux en Algérie a été également réalisée. Il semble que notre pays a une bonne expérience dans le domaine de dessalement des eaux de mer et des eaux saumâtres par adaptation de la technique de l'osmose inverse.

L'étude expérimentale que nous avons réalisée a été structurée en trois chapitres. L'étude expérimentale que nous avons réalisée a été structurée en deux chapitres. Nous avons commencé par la description des différentes étapes de traitement au niveau de la station de dessalement des eaux du complexe touristique la Gazelle d'Or à El Oued. Ensuite nous avons donné une idée sur le mode opératoire pour la détermination des paramètres physico-chimiques des échantillons prélevées après différentes étapes de traitement.

Les résultats des essais analyses physico-chimiques a permis de faire les conclusions suivantes:

- Le rendement de l'abaissement de la conductivité électrique à la sortie de l'osmose inverse dépasse 91 % avec une concentration des éléments minéraux qui ne nécessite pas une reminéralisations ultérieure.

- L'eau à la sortie de la station de traitement des eaux est de très bonne qualité en comparant les valeurs mesurées pour chaque paramètre aux normes de potabilité. A titre d'exemple :
  - Le rendement d'élimination du sodium de l'eau de forage a été supérieur à 90%
  - Le rendement d'élimination de la dureté totale (TH) dépasse 92%.
- La technique de dessalement des eaux souterraines par osmose inverse est une technique de choix qui nécessite une étude sérieuse pour la généralisée dans le territoire Algérien.

### Références bibliographiques

- **Aurousseau M. (2014).** Procédés de séparation membranaire pour la production en continu de nanocristaux de polysaccharides : approche expérimentale et modélisation, Thèse de doctorat, Université de Grenoble
- **Ait khaldoun I (2011).** Optimisation du transport des cations Cu ,Zn ,cd par le tri-n-butylphosphate (tbp) à travers les membranes d'affinité. Mémoire de Magister en chimie de l'environnement, universités mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- **Atallah A .(2014).** Procède de dessalement et qualité physico-chimique de l'eau dessalée par la station de dessalement de l'eau de mer de honaine , Mémoire de Master ,Université Abou bekrbelkaid–Tlemcen
- **Antoine B .(2004)** .Etude de la nanofiltration pour son intégration dans les procédés de production d'acides organiques, Thèse de doctorat, Université paulsabatier, toulouse III .
- **Aoufi B. (2016).** Extraction par nanofiltration du cuivre (II) et fer (III) et leurs mélanges , Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid- Tlemcen.
- **Amitouche M.(2016).** Impacts des rejets des stations de dessalement sur le milieu récepteur, Thèse de doctorat ,Université Mohamed Khider – Biskra.
- **Benaissa F .(2013).** Etude sur le procédé d'osmose inverse pour le dessalement des eaux faiblement saumâtres, Mémoire de master, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen.
- **Belgaid D .(2015).** Etude comparative sur le vieillissement de membranes d'osmose inverse exploitées sur sites industriels : Maïnis (Ténès), Céramit (Sidi Akkacha), Chlore (Mostaganem), Mémoire de Master, Université de Chlef.
- **Bikai J.( 2015).** Etude de l'évolution des propriétés de surface d'un matériau minéral à porosité contrôlée lors de sa mise en œuvre dans des tests d'ultra/nanofiltration, Thèse de doctorat, Université de Haute-Alsace .
- **Bourouga M. (2015).** Déminéralisation des eaux de forage de la region d'Ouled abbès et son impact sur l'environnement (souk ahras, extrême nord-est algérien),Mémoire de magister, Université badjimokhtar-Annaba.
- **Benabadji A et SAIDI I. (2016).** Etude sur le Dessalement de l'Eau Saumâtre préparée à partir des Eaux de Mer issues du prétraitement de la station de Souk-Tlata, Mémoire de Master, Université AboubakrBelkaïd- Tlemcen.

- **Boukhiar S.(2016)** .Caractérisation des membranes d’ultrafiltration. Application au dessalement et à la concentration de jus de fruit, Mémoire de Master ,Université Hassiba Ben Bouali – Chlef.
- **CHIKHI M,( 2008)**.Etude de la complexations des cations métalliques en vue de leur séparation par un procédé membranaire, Thèse de doctorat , Université Mentouri - Constantine,
- **El Khabbaze H .(2008)**. Traitement des solutions modèles du lait par des membranes de nanofiltration et d'osmose inverse, Thèse de doctorat, Université V-AGDAL-Maroc.
- **EL Harrak N., Elazhar F., Belhamidi S., Elazhar M., Touir J., Elmidaoui A. (2015)**, Comparaison des performances des deux procédés membranaires: la Nanofiltration et de l’Osmose inverse dans le Dessalement des eaux saumâtres , Université Ibn Tofail, Iss 6 pp,383-390
- **Fathalli B. (2011)**. Influence des paramètres opératoires sur les performances d’un système de dessalement par osmose inverse, Master professionnel source alternatives en eau. Ecole national des ingénieurs de Tunis .
- **Guizard C., Berland M. (2000)** Guide de la nanofiltration, Cahier du Club Français des Membranes, CFM
- **Geismar N .(2011)**. réduction du colmatage membranaire par ozonation et filtration sur charbon actif, Mémoire De Master, Université De Montréal.
- **Huguet A . (2007)**.mise au point de procédés membranaires pour l’étude de la matière organique dissoute en milieux côtiers, Thèse de doctorat, Université Bordeaux 1-Canada.
- **(Hamdaoui T.(2016)** .Suivi du mode de fonctionnement des ouvrages de la station de traitement par osmose inverse (Cas de l’usine Tissage, Finissage de Biskra (TIFIB)),Mémoire de Master, Université Mohamed khider – Biskra.
- **Jean-Luc.,B.( 2018)**.Itinéraires n°19, Microfiltration tangentielle, Mises en oeuvre en œnologie Institut Français de la Vigne et du Vin.  
[www.vignevin.com/fileadmin/users/ifv/.../A.../Itin19\\_MicrofiltrationTangl.pdf](http://www.vignevin.com/fileadmin/users/ifv/.../A.../Itin19_MicrofiltrationTangl.pdf)
- **Jean F .(2006)**.évaluation d'une technologie compacte de production d'eau potable , Mémoire ,Université DU QUÉBEC – Montréal.
- **Mouedden K, (2014)** Extraction liquide-solide de l’ion cadmium par la résine Lewatit TP 208, Mémoire de Master, Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen .

- **Metaiche M. (2014).**Cours sur la Technologie Membranaire ,Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées, Université de Bouira.[www.univ-bouira.dz/.../cours/.../750-Génie%20de%20procédés?...Technologie%20M](http://www.univ-bouira.dz/.../cours/.../750-Génie%20de%20procédés?...Technologie%20M)
- **Mabrouk A (2012).**Caractérisation des résines échangeuses d'ions d'intérêt pour les Réacteurs à Eau sous Pression. Application et validation d'un modèle dédié, Thèse de doctorat, l'École nationale supérieure des mines – Paris.
- **Mozas,M. et Ghosn, A. (2013),** État des lieux du secteur de l'eau en Algérie, IPMEED .
- **Mambayel S.(1994).** Rétention des ions métalliques par complexations ultrafiltration :Application au cadmium, Thèse de doctorat, université cheikh antadiop de dakar.
- **Noureddine N.(2008).**Etude d'impact des rejets des déminéralisation de Brédeah sur L'environnement, Mémoire de Master, Université Es-Sénia –Oran ,Algérie .
- **Nechad A. (2009)** Elaboration d'une membrane de filtration d'eau à base de polyethylene basse densité et de gypse de Bouzsgaïa ,Mémoire de Master, Université hassiba ben bouali- chlef.
- **Nezli A .(2017).** Etude de stations de déminéralisation de la ville de Ouargla : cas des stations Gharbouz , Ziaina et Bamandil, Mémoire de master, Université KasdiMerbah-Ouargla.
- **Pellegrin B .(2013).**Analyse multi-échelle de la dégradation de membranes d'ultrafiltration en polyethersulfone / poly(N-vinylpyrrolidone) en conditions d'usage, Thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- **Romdhane A.(2014).**Procédés de séparation membranaire pour la production en continu de nanocristaux de polysaccharides : approche expérimentale et modélisation, Thèse de doctorat, Université de Grenoble.
- **Sarrade S. (1994).**Etude du couplage de l'extraction par co2 supercritique avec la séparation par membrane de nanofiltration, Thèse de doctorat, Université Montpellier II.
- **Si Mohammed F. (2013).**Etude expérimentale de l'efficacité d'une membrane en film mince de type spirale pour le dessalement des eaux saumâtres, Mémoire de projet de fin d'Etudes, Mémoire de master en Hydraulique, Option : Technologies de Traitement des Eaux, Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen.
- **Soro D.(2012).**couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits, Thèse de doctorat, Université De Montpellier SupAgro.
- **Tabouche N., Achour S.(2004).**Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien ,LARHYSS Journal, N° 03,pp.99-113.

- **Tahri T, Bettahar A., Douani M ., AbdulWahab A., A., AlHinai H., AlMulla Y. (2010).**Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole. [http://www.univ-chlef.dz/uhbc/seminaires\\_2010/Article\\_Tahri\\_C13.pdf](http://www.univ-chlef.dz/uhbc/seminaires_2010/Article_Tahri_C13.pdf).
- **Violleau V.(1999).**Déminéralisation par électrodialyse en présence d'un complexant application au lactosérum, Thèse de doctorat, Université de Toulouse.
- **Youssef M (2011).**Étude paramétrique du procédé de dessalement de l'eau de mer par congélation sur paroi froide, Thèse de doctorat ,Université claude bernard Lyon 1.
- **Zemali S (2004).** Comparaison entre l'osmose inverse et ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de forte concentration en sel ,Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique, université Aboubakr Belkaid, Tlemcen.
- [http://perso.wanadoo.fr/jose.braun/separation/uf\\_et\\_oi.htm](http://perso.wanadoo.fr/jose.braun/separation/uf_et_oi.htm)
- [http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane\\_processes/Nanofiltration/](http://www.fumatech.com/EN/Membrane-technology/Membrane_processes/Nanofiltration/)
- (<http://www.elmoudjahid.com/fr/actualites/78898>).
- <https://www.ade.dz/index.php/projets-2/projets-ade/6-projets>

### Références partie expérimentale

- **Benyahia N. (2013).** Recherche et caractérisation des bacilles thermophiles dans les équipements laitiers , Mémoire de Master, Université Abou BekrBelkaïd-Tlemcen .
- **Bremond R., Vuichard R. (1973).** Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris, 179.
- **CEE (1975).** Normes européennes de potabilité des eaux CEE [.https://hydrologie.org/MISC/gest/norpotab.htm](https://hydrologie.org/MISC/gest/norpotab.htm)
- **FGO (2016).** Rapport Formation la Gazelle d'Or, Système de traitement de l'eau-Maintenance, Lenntech Water.
- **Gado A .,Seini R . (2012) .**Optimisation du traitement au chlore de l'eau potable distribuée aArlit et Akokan ,Mémoire de Master -Niger.
- **Ghorzi W. (2014).**Elaboration d'un réseau de polymère acrylique par photo polymérisation UV : caractérisation par spectroscopie infrarouge, et suivi de la cinétique de gonflement dans des solvants , Mémoire de Master, Université Abou bekrbelkaïd – Tlemcen.
- **JORA (Journal Officiel de la République Algérienne).** (2014). Paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine. Décret exécutif N° 13 du 7 Joumada El Oula 1435 ; 9 mars 2014. Imprimerie Officielle. Les Vergers : Bir-Mourad Raïs. Alger. Algérie.
- **Khedidja A. (2016).** Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de Tadjnant Chelghoum Laid et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines. Magister en géologie appliquée. Université Batna. Algérie.
- **Levallois P ; Phaneuf D. (1992).** Risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates, Réseau de la santé publique du Québec, Bulletin d'information en santé environnementale, Vol.3, Iss.3, pp. 1-3.
- **Mango M. (2005) .**Etude de l'efficacité des procédures de nettoyage et de désinfection des surfaces dans une unité de transformation laitière artisanale: cas du g.i.e de nguekokh, Mémoire de Master, Université Chikh AntaDiop de Dakar .
- **Milous H . (2011)**Modélisation par la méthode numérique de la dynamique des fluides du procédé de désinfection des eaux par les rayonnements ultraviolets (UV) , Mémoire de Master, Université Mentouri- Constantine .
- **Nouayti N, Khattach D, Hilali M. (2015).**Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc). Journal of Materials and Environmental Science. J. Mater. Environ. Vol 6, N° 4, pp.1068-1081.

- **OMS, (2006).** Directives de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition. Recommandations. Organisation mondiale de la Santé, Genève, 78 p.
- **Ouhmidou M, Chahlaoui A, Kharroubi A, Chahboune M. (2015).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux du barrage Hassan Addakhil d'Errachidia (Maroc). Journal of Materials and Environmental Science. J. Mater. Environ. Vol 6, N° 6, pp.1663-1671.
- **Queneau P., Hubert J. (2009).** Place des eaux minérales dans l'alimentation. Rapport de l'académie national de médecine. Société française de l'hydrologie et climatologie médicale. France, pp.175- 220.
- **Rejsek F. (2002).** Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques, Collection biologie technique, Série Sciences et techniques de l'environnement. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.
- **Rodier J. (1984).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7<sup>ème</sup> édition, Ed. Dunod- Paris.
- **Rodier J., Legube B., Merlet N ; Coll. (2009).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 9<sup>ème</sup> édition (Entièrement mise à jour), Ed. Dunod, Paris-France.
- **Sylla Y . (2011)** Nettoyage en place des lignes agro-industrielles : Etude Cinétique d'élimination des biofilms négatifs au sein des installations fermées dans les industries agroalimentaires, Thèse de doctorat ,Agro Paris Tech .
- **Tardat-Henry M ., Beaudry J. P. (1984).** Chimie des eaux, Ed. Le griffon d'Argile INC-Canada.
- **Zine B. (2010).** La remonté des eaux souterraines en surface, mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas d'Oued Souf). Mémoire de Magister Hydraulique. Université El Hadj Lakhdar- Batna.
- <http://www.lematindz.net/>
- <https://www.lenntech.com/Data-sheets/Avista-PDS-Vitec-3000-L.pdf>